

VAZDUHOPLOVNO JEDRILIČARSTVO

VAZDUHOPLOVNO JEDRILIČARSTVO

I

SAVEZNA UPRAVA ZA CIVILNU VAZDUŠNU PLOVIDBU

BEOGRAD

KOMISIJA ZA VAZDUHOPLOVNO JEDRILIČARSTVO
IZVRŠNOG ODBORA VAZDUHOPLOVNOG SAVEZA JUGOSLAVIJE

AUTORI:

Čedomir Janić: ISTORIJA VAZDUHOPLOVSTVA I VAZDUHOPLOVNOG JEDRILIČARSTVA; inž. Mladen Berković: TEORIJA LETENJA; mr. Ante Kuletin: OPŠTA JEDRILIČARSKA METEOROLOGIJA; Dejan Gajić: TEHNIKA JEDRENJA I PRELETA; Dejan Gajić: VAZDUHOPLOVNA JEDRILIČARSKA NAVIGACIJA; inž. Zdravko Gabrijel: POZNAVANJE I GRADNJA JEDRILICA; inž. Srđa Basarić: POZNAVANJE INSTRUMENATA

Konsultant i stručni recenzent publikacije generalmajor avijacije dr inž. Zlatko Rendulić

VAZDUHOPLOVNO JEDRILIČARSTVO

I



Poslednja decenija razvoja vazduhoplovnog jedriličarstva u svetu obeležena je velikim napretkom tehničkih dostignuća, letačkih rezultata i sistema školovanja mladog letačkog kadra.

U većini tehnički razvijenih zemalja postoji ozbiljno interesovanje za ovu delatnost. Školovanjem pilota jedriličara stvara se sposoban kadar pogodan za sve letačke specijalnosti. Savremene jedrilice predstavljaju savršenstvo aerodinamike, konstrukcije i tehnoloških rešenja u svom domenu, što daje doprinos opštem napretku vazduhoplovstva.

U poslednjem periodu se i u našoj zemlji ulažu napori za stvaranje šire osnove razvoja savremenog jedriličarstva. Pored ostalih potreba, gde posebno mesto zauzima obnova letačkog parka i tehničke opreme, prišlo se i formiranju neophodnih sredstava za potrebe redovne nastave i usavršavanja letača.

Knjiga „Vazduhoplovno jedriličarstvo" namenjena je mladim letačima za njihove školske potrebe, kao i pilotima jedrilica za dalje usavršavanje. Ova knjiga dolazi u vreme oskudice pogodnih izdanja koja bi pružila pomoć letačima i stvorena je saradnjom grupe jedriličarskih aktivista Vazduhoplovnog saveza Jugoslavije. I pored teškoća, Izvršni odbor Vazduhoplovnog saveza Jugoslavije je uspeo da obezbedi autorske radove za ovo izdanje, te je zahvaljujući finansijskoj pomoći Savezne uprave za civilnu vazdušnu plovidbu omogućeno izdavanje knjige.

Posebna zahvalnost pripada drugu generalmajoru avijacije dr inž. Zlatku Renduliću, koji je pružio dragocenu pomoć u toku pripremanja ove knjige.

I

ISTORIJA VAZDUHOPLOVSTVA I VAZDUHOPLOVNOG JEDRILIČARSTVA

Upoznavanje sa istorijom vazduhoplovstva i vazduhoplovnog jedriličarstva predstavlja obavezu svakog jedriličara. No, s obzirom da je ta istorija dosta duga i prebogata događajima i ličnostima i da je nemoguće da se u potpunosti izloži u jednom ovakvom udžbeniku, ograničićemo se na izlaganje samo najznačajnijih činjenica koje bi, po našem mišljenju, trebalo da poznaje svaki novi pilot-jedriličar. Oni koje istorija bude više zainteresovala naći će na kraju ovog poglavlja spisak knjiga u kojima se nalazi obilje podataka o svim periodima i oblastima vazduhoplovne istorije.

OD MAŠTE DO PRVIH LETEĆIH SPRAVA



*

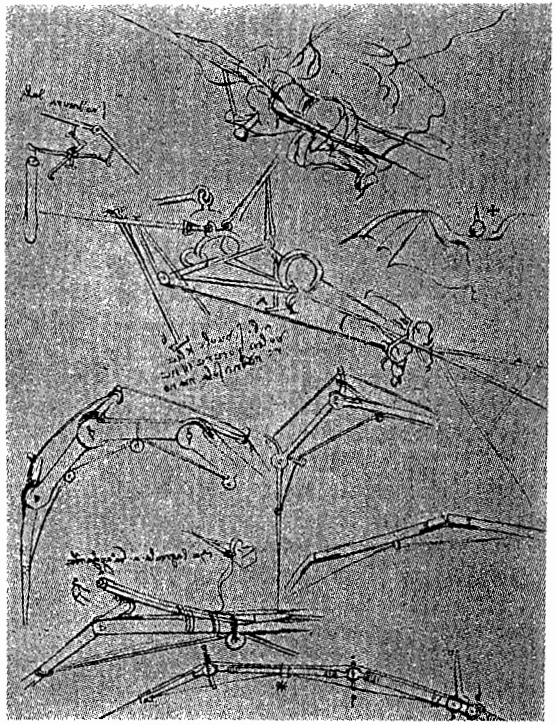
Čovekova želja da poleti nastala je verovatno onog trenutka kad je postao svestan prednosti koje u savlađivanju prostora imaju ptice i druga živa bića obdarena sposobnošću da lete. Ali ta sposobnost, zbog nepoznavanja njene prirode, smatrala se božanskim svojstvom i zato bogovi i mitska bića, u koje su verovali mnogi narodi, imaju krila poput ptica ili lete uz pomoć nekih drugih sila koje su nedostupne ljudima. Međutim, svoju stvarnu nemoć da oponašaju let ptica ljudi su nadoknađivali maštom. Tako su postale mnoge legende, kao, na primer, priča o Etani, kralju starih Sumeraca, koji je, po zapisima nastalim još pre 6000 godina, leteo na leđima velikog orla. Čovekova želja za letenjem još je izrazitija u poznatoj grčkoj legendi o Dedalu i Ikaru, koji su se domogli slobode leteći uz pomoć krila sačinjenih od ptičjeg perja zalepljenog voskom.

*** Dedal i Ikar**

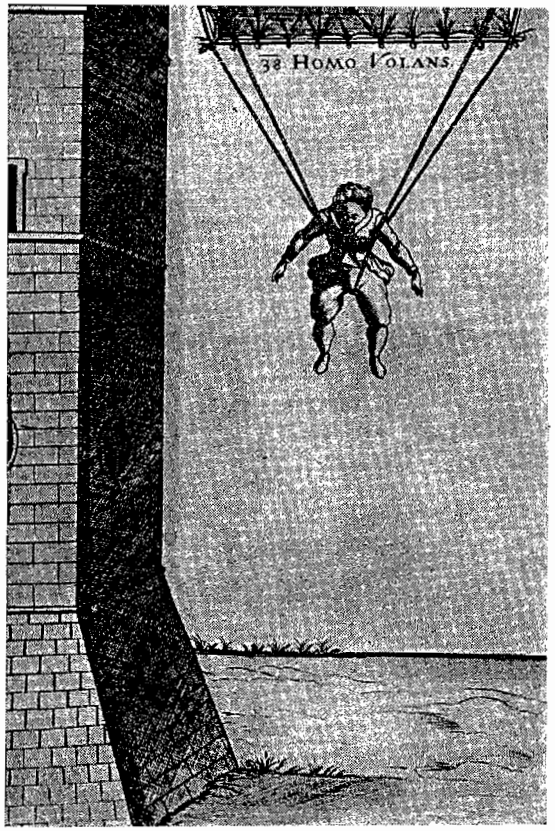
Po rečima našeg narodnog pesnika majka Jugovića leti na Kosovo labudovim krilima, vojvoda Momčilo ima krilatog konja, planinske vile su krilate devojke, a Rade neimar se, baš kao i Ikar, spasava tamnice uz pomoć krila sačinjenih po ugledu na ptice.

Međutim, stari vek nam nije ostavio samo legende i slike iz mitologije. U analima rimskih pisaca zabeleženi su izveštaji o modelima letećeg drvenog goluba, koga je gradio grčki matematičar Arhita u šestom veku pre naše ere. Četiri stotine godina kasnije kineski general Han Sin koristio je u svojim pohodima leteće zmajeve od bambusa i svile. Zabeleženi su i neki drugi slučajevi izrade letećih sprava u starom veku.

Srednji vek bi predstavljao praznu stranicu u istoriji vazduhoplovstva da engleski franjevac Rodžer Bekon nije u svom delu „O tajnim proizvodima umetnosti i prirode", objavljenom u 13. veku, pored ostalih savremenih saobraćajnih sredstava, predskazao i opisao leteću spravu. Primer Bekona, ma koliko usamljen, pokazuje da je ideja o ostvarenju ljudskog leta bila živa i u uslo-



Skice Leonarda da Vinčija iz knjige „Atlantski kodeks"



„Leteći čovek" Fausta Vrančića iz 1595. godine

vima koji su pod uticajem crkvenih dogmi sputavali uzlete ljudskog duha.

Neki pisci smatraju da istorija vazduhoplovstva počinje tek u 15. veku, sa pojavom slavnog italijanskog umetnika i naučnika Leonarda da Vinčija. Ovaj svestrani genije renesanse prvi je naučno pristupio istraživanju problema letenja. Posmatrajući let ptica, uspeo je da nasluti izvesne zakone leta i izradi više projekata letećih sprava koje bi letele mahanjem krila. Pored toga, Leonardo je skicirao prvi padobran i elisu za vertikalno poletanje, koja, u stvari, predstavlja idejnog preteču današnjeg helikoptera. Na žalost, u suštini, Leonardo je krenuo pogrešnim putem. On je hteo da konstruiše sprave kojima bi se čovek dizao u vazduh samo snagom sopstvenih mišića. Mnogobrojni eksperimenti izvedeni u docnijim vekovima pokazali su, međutim, da je to nemoguće ostvariti zbog nedovoljne ljudske snage da savlada veliki otpor vazduha.

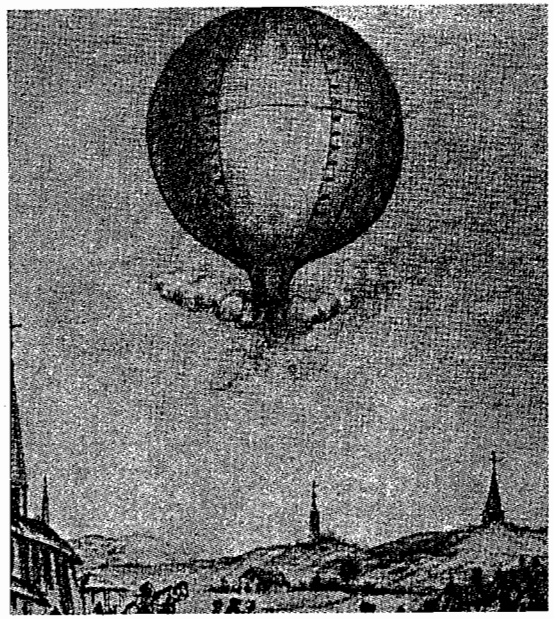
Od 15. do kraja 18. veka zabeleženi su u mnogim zemljama Evrope, bliskog i dalekog istoka brojni pokušaji ostvarenja letećih sprava. Jedni su išli u pravcu ostvarenja mahokrilca (ornito-

ptera), ali su se pokazali bezuspešnim. Drugi su, kao, na primer, Francuz Beni (1678. g), već pokušavali da izgrade letelicu sa ukočenim krilima. Neki su se opet, kao Italijan Boreli i slavni fizičar Njutn, bavili teoretskim razmatranjem leta ptica i strujanjem vazduha oko zmajeva, postavivši prve teorije o letu sprava težih od vazduha. Istovremeno, ostvarena je i ideja o padobranu. Tome je znatno doprineo i naš zemljak Fausto Vrančić iz Šibenika, koji je, nezavisno od Leonardove skice, prikazao u jednoj svojoj knjizi, objavljenoj u Veneciji 1595. godine, crtež padobrana pod naslovom „Leteći čovek", dajući opis konstrukcije i njeno funkcionisanje.

Već 1628. godine Francuz Lavin je sa visoke zatvorske kule izvršio prvi skok padobranom koji je dokazan u istoriji vazduhoplovstva. Za njim su sledili mnogi uspeli pokušaji skokova sa raznih visina i tako je padobran postao prva sprava koja je omogućila čoveku da bar delimično ostvari svoj san o letenju.

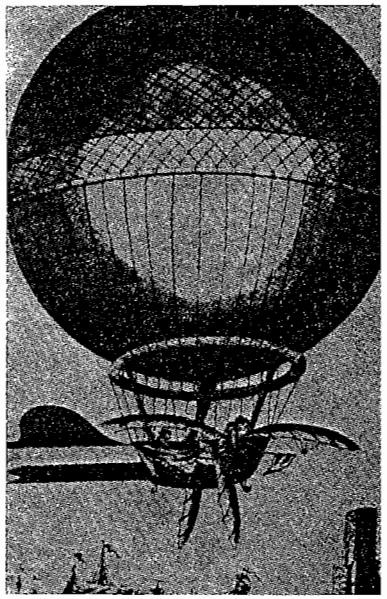
BALONI I DIRIŽABLI

U 17. i 18. veku, istovremeno sa napretkom upoznavanja fizičkih i hemijskih svojstava lakih gasova, stvorena je ideja o izradi leteće sprave lakše od vazduha — balona. Preteča pronalaska balona bio je italijanski fizičar Frančesko Lana, koji je 1670. god. izložio ideju o izgradnji vazdušnog broda koji bi se uzdizao bakarnim kuglama iz kojih je prethodno izvučen vazduh. Neki istorijski



Prvi balon braće Mongolfije 1783. godine

izvori govore da je Brazilijanac Grzmao prikazao 1709. godine, na dvoru portugalskog kralja, mašinu koja se digla u vazduh pomoću potiska zagrejanog vazduha. Ali, slava za pronalazak balona pripala je Francuzima, braći Žozefu i Etjenu Mongolifijeu. Oni su 5. juna 1783. godine u svom rodnom mestu Anonaju, blizu Pariza, pustili u vazduh balon napravljen od hartije u vidu lopte, koji je bio napunjen toplim vazduhom. Tada je započela era balona i napredak vazduhoplovstva bio je privremeno usmeren u pravcu koji nije obezbeđivao potpuni uspeh.



Blanšarov balon sa perajima

Ohrabren uspehom braće Mongolfije, francuski fizičar Pilart de Rozje, zajedno sa markizom od Arlanda, izveo je 21. novembra 1783. godine prvi let balonom napunjenim toplim vazduhom. Ovi prvi letači u istoriji vazduhoplovstva preleteli su Pariz na visini 1000 metara, uz ogromno divljenje sveta koji je mislio da je najzad rešen davnašnji san o čovekovom letu. Novi uspeh postigao je fizičar Šarl koji je, uz pomoć braće Rober, uspeo da izradi balon od svile, premazan rastvorom kaučuka i napunjen vodonikom. Šarl je uveo i ventil za ispuštanje gasa i nošenje balasta što je omogućavalo izvesno manevrisanje balonom po visini. Ovim usavršenim balonom Šarl je već 1. decembra 1783. godine dostigao visinu od 3000 m. Međutim, prvi duži prelet balonom, iz Dovera u Engleskoj do Kalea u Francuskoj, izvršio je Francuz Blanšar sa Amerikancem Džefrizom 7. januara 1785. godine. Tada se rodila ideja o uspostavljanju vazdušnog saobraćaja između Pariza i Londona.

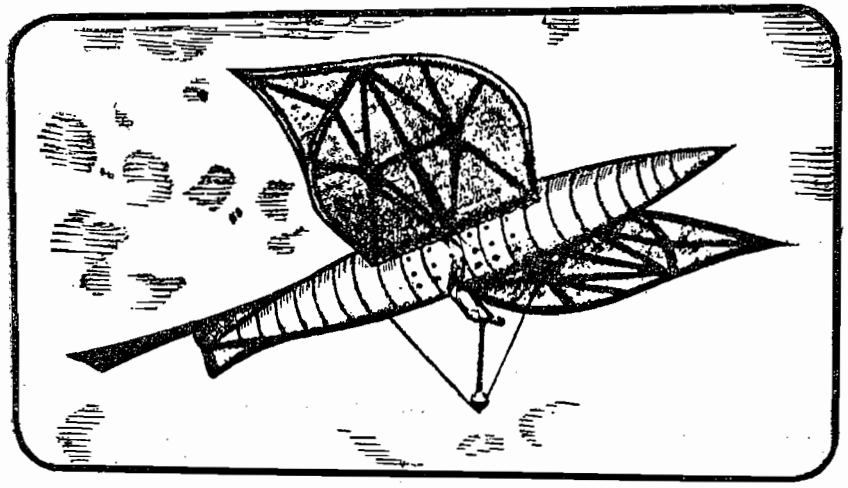
Baloni su vrlo brzo našli primenu i u vojsci. U toku francuskih revolucionarnih ratova stvorena je aprila 1794. godine prva balonska četa, koja je upotrebljena za izviđanje bojišta kod Mobeža. Iste godine francuska armija je uspešno koristila vezane balone na različitim frontovima u Evropi, a 1798. godine, kada je Napoleon krenuo u osvajanje Egipta, u sastavu njegove vojske nalazila se i jedna balonska četa. U toku 19. veka baloni su korišćeni u armijama najvećih zemalja Evrope i Amerike. Naročito su ostala zapažena izviđanja iz balona u bici kod Solferina 1859. godine u francusko-austrijskom ratu, kada je načinjen i prvi snimak iz vazduha, zatim u američkom građanskom ratu, a Austrijanci su 1849. godine čak pokušali da bombarduju iz slobodnih balona op-

koljenu Veneciju. Baloni su uspešno upotrebljeni i prilikom opsade Pariza 1870. godine kada su grad napustila 64 slobodna balona, prenoseći kurire, poštu i hitne poruke.

Istovremeno sa vojnom primenom, balonima su u 19. veku postizani i znatni sportski i naučni uspesi. Više balonista uspevalo je da, koristeći povoljne vetrove, preleti rastojanja veća od 2000 km, a u cilju ispitivanja sastava atmosfere, meteoroloških pojava, kosmičkih zračenja i zemljinog magnetizma, vršeni su letovi i do gornjih slojeva troposfere, tj. do visine od 8 do 10 hiljada metara.

Međutim, i pored ovih uspeha, pokazalo se da je balon leteća sprava ograničenih sposobnosti. Njegov let uslovljavali su vetrovi, koji se često menjaju, tako da je balonist zavisio od hira prirode i samo je retko mogao da se kreće u željenom pravcu. To je stvorilo potrebu da se izgradi upravljivi balon — dirižabl. Prvu ideju dao je još Blanšar 1784. godine ugradivši velika peraja na gondolu svoga balona. Ali tek kada je balonu dat izdužen oblik i kada je stvorena motorska snaga koja je mogla da se suprotstavi sili vetra, omogućeno je da se balon povinuje komandama upravljača. Ovo je prvo uspelo francuskom inženjeru Anri Žifaru, koji je 1852. godine u dirižabl ugradio parnu mašinu od 3 KS, koja je pokretala velike elise.

Dva naša sunarodnika takođe su doprinela daljem usavršavanju dirižabla. Prvi je bio inž. Ognjeslav Kostović iz Bečeja, koji je osamdesetih godina 19. veka projektovao i gradio veliki dirižabl u Petrovgradu (Lenjingradu). Njegov dirižabl je, za razliku od pret-



Skica dirižabla Ognjeslava Kostovića

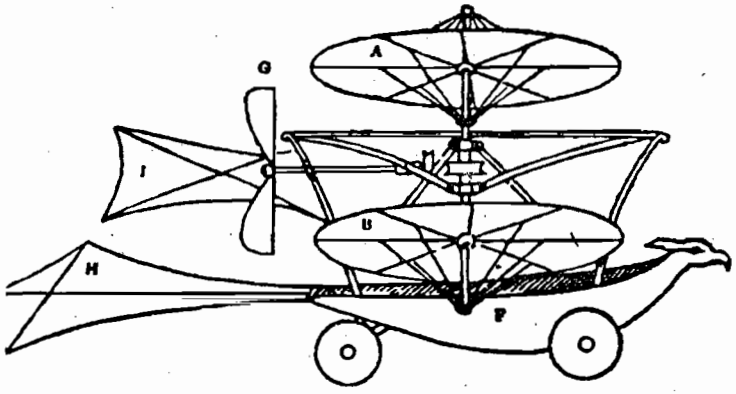
hodnih, imao čvrst kostur izgrađen od drveta. Kostović je 1882. godine izradio i benzinski motor od 80 KS za pogon dirižabla. Međutim, njegov dirižabl nije ispitan u letu, jer je izgoreo u toku završnih radova. Zagrepčanin David Švarc takođe je zadužio vazduhoplovstvo, jer je prvi uveo aluminijum u izgradnju letelica. Njegov vazdušni brod opremljen motorom od 12 KS izrađen je u Berlinu i 1897. godine izveo je probni let.

Dirižabl Davida Švarca bio je neposredni prethodnik konstrukcija nemačkog generala Cepelina, koji je od 1900. godine pa sve do kraja prvog svetskog rata izradio nekoliko desetina ovih vazdušnih džinova, koji su upotrebljavani za civilni vazdušni transport i raznovrsne vojne zadatke u ratu. Slične vazdušne brodove različitih sistema gradile su i druge velike sile u Evropi. No, ubrzo se pokazalo da avioni predstavljaju mnogo savršenije letelice, zbog čega su dirižabli počeli sve manje da se grade i upotrebljavaju.

PRONALAZAK LETEĆIH SPRAVA TEŽIH OD VAZDUHA

Ma koliko da su prvi baloni fascinirali svet, oni su istovremeno ispoljili i veliki broj nedostataka pa su neki naučnici i pronalazači došli do zaključka da prava budućnost u osvajanju vazduha leži samo u izgradnji leteće sprave teže od vazduha, koja će poput ptice koristiti druge sile za održavanje u vazduhu. To je bila stara ideja, koju je formulisao još Leonardo da Vinči, samo što su pronalazači sada krenuli drugim putem u pokušajima njenog ostvarenja. Za razliku od Leonarda i njegovih sledbenika, oni su pokušavali da utvrde princip jedrenja ptica, tj. kako one lete kad ne mašu krilima. Prvi je u tome uspeo engleski naučnik Džordž Kejli koji je uveo pojmove o aerodinamičkim silama uzgona i otpora. Međutim, njegovi praktični opiti sa modelima, koje je vršio 1809. godine, nisu uspeli. Kasnije, na osnovu baš Kejlijevih postavki Englez Henson je 1842. godine sagradio model koji je osim krilaca imao sve osnovne delove aviona, a bio je pokretan elisama kojima je snagu davala mala parna mašina. Ipak, Hensonova letelica nije mogla sigurno da poleti, jer još nije bio rešen problem stabilnosti. Prva praktična primena elise, kao vučne sile na letelici, pripisuje se Francuzu Penou, koji je 1871. godine sagradio model sa dvokrakom elisom pokretanom elastičnom gumenom trakom. Model Penoa izvršio je više uspešnih letova.





Kejli i njegova letelica

Krajem osamdesetih godina prošlog veka zabeleženi su novi pokušaji konstruisanja letelica na parni pogon. Pored Engleza Maksima i Filipsa, ozbiljne rezultate postigao je ruski oficir Možajski, koji je između 1882. i 1885. godine izvršio više proba svojom letelicom. Ove eksperimente delimično je pratila i specijalna vojna komisija. Francuz Kleman Ader sagradio je 1897. godine leteću spravu na parni pogon koju je nazvao avion. Od tada se sve slične letelice nazivaju tim imenom. Avion Adera imao je za pogon dve parne mašine od po 20 KS, a njegova ukupna težina iznosila je 400 kg. U jednom od prvih pokušaja, posle leta od nekoliko desetina metara, avion Adera se razbio pa eksperimenti nisu više ni nastavljeni. Svi ovi pokušaji ukazivali su na to da još nisu pronađena konačna rešenja za održavanje stabilnog leta i komandovanja avionom u vazduhu a, takođe, ni pogodno pogonsko sredstvo koje bi bilo lako i istovremeno dovoljno snažno da letelici dâ potrebnu brzinu za poletanje i održavanje u vazduhu.

Veliki doprinos rešavanju problema stabilnosti i daljem razvoju aerodinamike dao je nemački inženjer Oto Liliental. U želji da utvrdi najpogodniji položaj krila i kormila kojim će se obezbediti upravljanje i stabilnost, Liliental je između 1891. i 1896. godine u blizini Berlina izvršio više od 2000 letova, spuštajući se svojim jedrilicama — planerima sa omanje uzvišice. Većina njegovih jedrilica imala je oblik ptičjih krila izrađenih od lakog vrbovog drveta presvučenog platnom, dok je ravnotežu u letu održavao pomeranjem položaja tela. Više puta Liliental se, zahvaljujući vetru i svojoj usavršenoj tehnici letenja, održavao u letu bez gubitka visine i tada je uspevao da preleti rastojanje i do 250 metara.

Eksperimentišući svojim planerom, Liliental je, pored ostalog, uspeo da utvrdi da sila uzgona koja održava jedrilicu u letu zavisi

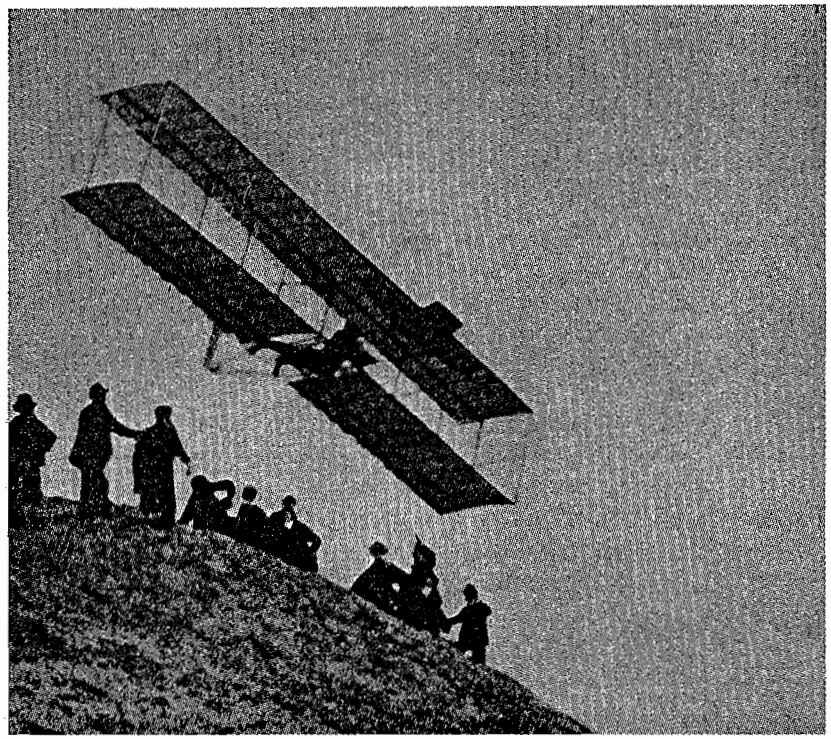


Jedan od uspelih Lilientalovih letova



Oto Liliental ⟶

Jedan od Lilientalovih sledbenika, Francuz Arkadon



i od iskrivljenosti profila krila. On je, takođe, prvi dao prikaz karakteristika krila u vidu polarnog dijagrama, koji je od tada ostao u upotrebi pod nazivom „Lilientalova polara".

Smatrajući da su za upravljanje jedrilicom potrebna kormila, Liliental je izradio dvokrilca sa krmom za dubinu. Prvi letovi bili su uspešni i Liliental je, u nameri da sagradi avion, već bio poručio benzinski motor kod fabrike Benc. Na žalost, 10. avgusta 1896. godine, pri jednoj probi, njegova jedrilica se prevrnula i pala sa visine od 15 metara usmrtivši slavnog pionira vazduhoplovstva, koga mnogi nazivaju ocem jedriličarstva.

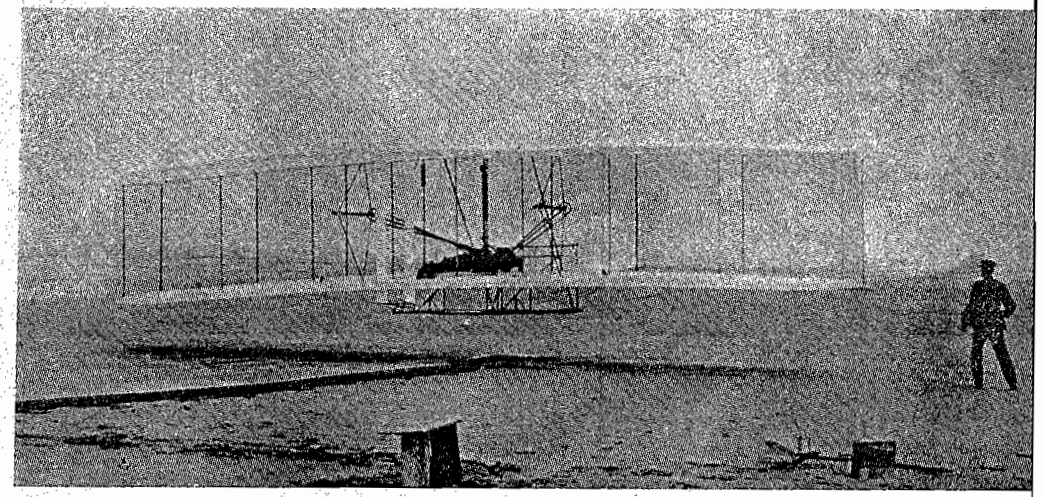
U Nemačkoj nisu odmah shvatili značaj Lilientalovog rada, ali je on zato imao mnogo sledbenika u Francuskoj, Engleskoj, Rusiji i Sjedinjenim Državama Amerike. Naročito su bili značajni eksperimenti koje je vršio Oktav Šanit, Amerikanac francuskog porekla, koji je pokušavao da stabilnost reši većim brojem krila postavljenih jedna iznad drugih. Njihovom redukcijom Šanit je konačno izradio jedrilicu — dvokrilca, koja je postala obrazac za sve kasnije slične konstrukcije. Šanitovi pomoćnici izvršili su 1896. godine ovom jedrilicom više uspešnih letova, od kojih je najduži iznosio 110 metara.

Svoje i Lilientalove rezultate i doprinose drugih konstruktora i letača Šanit je objavio u knjizi „Progres letećih sprava težih od vazduha".

PIONIRSKO DOBA AVIJACIJE

Dragoceno iskustvo prikupljeno vekovima predstavljalo je osnovu za nagli razvitak vazduhoplovstva na samom početku dvadesetog veka. U to vreme konstrukcija aviona bila je već razrađena, a mogućnost njegovog leta naučno dokazana, pa se očekivalo samo pravo tehničko ostvarenje. Više konstruktora u raznim zemljama bilo je vrlo blizu cilja, ali su u tome prvi uspeli Amerikanci — braća Vilbur i Orvil Rajt iz Dejtona (Ohajo) u Sjedinjenim Američkim Državama. I oni su eksperimentisali jedrilicama sličnim Šanitovim, dok nisu rešili problem stabilnosti po nagibu, dubini i pravcu. Tada su na svoju letelicu ugradili benzinski motor od 12 KS koji je pokretao dve potisne elise. Najzad su 17. decembra 1903. godine u pustinji Kiti Houk izvršili prvi komandovani let avionom, koji je zvanično priznat u istoriji vazduhoplovstva.

Toga dana izvršena su tri leta, od kojih je prvi trajao samo 12 sekundi, za koje vreme je avion preleteo 36,5 metara. U trećem



Prvi let braće Rajt u pustinji Kiti Houk, 17. decembra 1903. godine

letu za 59 sekundi avion braće Rajt preleteo je 250 metara na visini od 3 metra. Braća su ubrzano nastavila sa eksperimentima, usavršavajući svoje avione tako da su već 1905. godine uspeli da uspešno izvode zaokrete, postigli su vreme leta od 28 minuta i preleteli razdaljinu od 35 kilometara.

Zahvaljujući svojim dugim vazduhoplovnim tradicijama, Evropa je već bila pripremljena za pojavu aviona i zato je brzo reagovala na događaj koji se desio u Kiti Hauku. Ona odmah postaje poprište novih napora i uspeha u usavršavanju aviona. Prve letove avionom u Evropu izveli su 1905. godine Danac Elhamer i rumunski inženjer Trajan Vuja. Sledeće godine u Parizu se poslavio Brazilijanac Santos Dimon koji je, napustivši izradu dirižabla, uspeo da postavi svojim avionom „14-bis" prvi zvanično priznati svetski rekord u brzini od 42,29 km/h. Za njim sledi čitava plejada proslavljenih pionira vazduhoplovstva, među kojima se naročito ističu Francuzi Farman, De la Granž, Voazen, Polan, Latam, Blerio i drugi, koji su sve do prvog svetskog rata bili najzaslužniji za brzi napredak avijacije.

Svet je naročito bio iznenađen uspehom Luja Blerioa koji je 25. jula 1909. godine svojim jednokrilcem „Blerio XI" preleteo kanal Lamanš za svega 27 minuta. Istovremeno ovo je bio prvi let preko mora što je predskazivalo da će avion biti jedno od najznačajnijih prevoznih sredstava budućnosti. Od tada avioni počinju da lete sve brže, duže i dalje. Te iste godine Polan postiže svetski

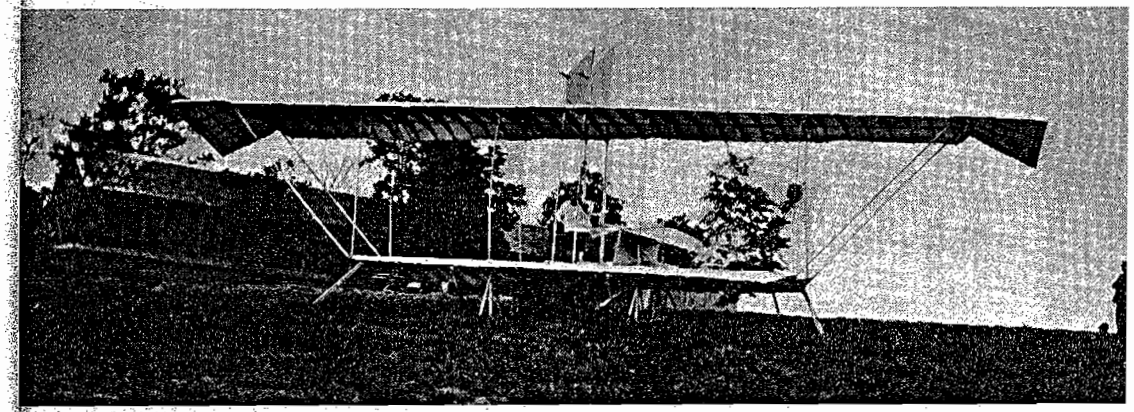


Luj Blerio nad Lamanšom juna 1909. godine

rekord visine od 500 metara, a već 1911. Francuz Rolan Garo postiže visinu 4000 m, a 1913. avionom tipa „Blerio" preleće Sredozemno more između Marseja i Alžira (oko 800 km) za nešto više od sedam časova. Istovremeno se organizuju i prva takmičenja, počinju da rade prve fabrike aviona i avionskih motora, a Blerio i Farman organizuju pilotske škole u kojima su veštinu letenja savladali pripadnici mnogih nacija, koji su u svojim zemljama bili pobornici širenja vazduhoplovstva.

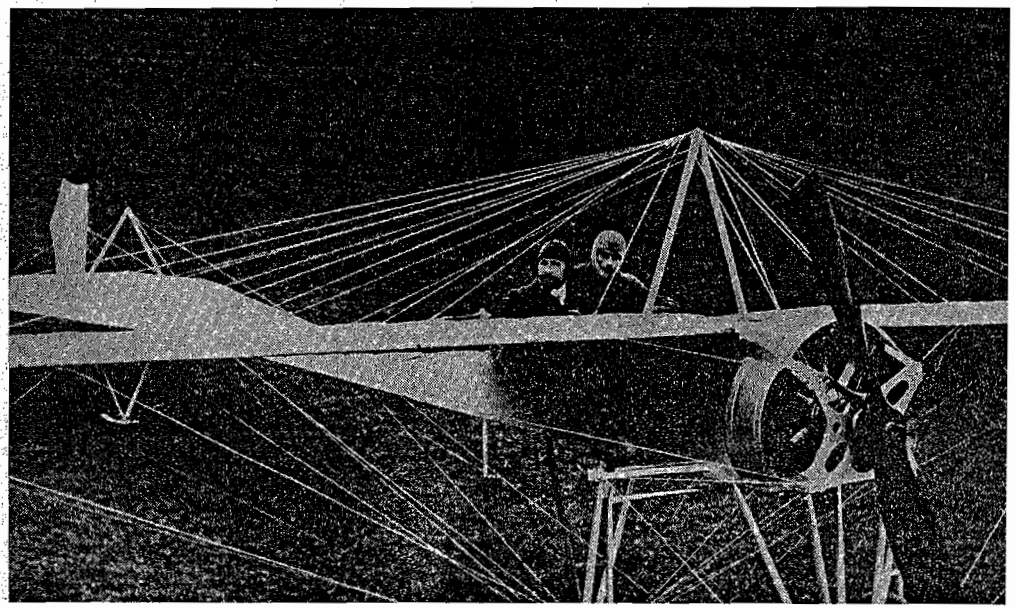
I u jugoslovenskim zemljama avijacija je vrlo brzo našla svoje poklonike. Još 1901. godine beogradski lekar dr Stokić patentirao je u Parizu jedan poseban tip letelice koja je imala sve osnovne elemente aviona. Drugi naši konstruktori gradili su u prvo vreme samo modele letelica, ali je već u proleće 1909. godine Oskar Ržiha iz Maribora uspešno leteo dvokrilnom jedrilicom sa skijama, kojom je uspeo da preleti rastojanje od 600 m, što je za ono vreme predstavljalo veliki uspeh. Oktobra iste godine skokove jedrilicom vršio je i dr Aleksić iz Pančeva.

Rusjan i Merćep u svom monoplanu u Zagrebu 1910. godine ⟶



Jedrilica pančevačkog lekara Vladimira Aleksića

Prvi let avionom kod nas izvršio je Edvard Rusjan iz Gorice, koji je novembra 1909. g. uspevao da svojim avionom — dvokrilcem „Eda-1" preleće rastojanja veća od 500 m. Do proleća 1910. godine Rusjan je, zajedno sa svojim bratom Josipom, konstruisao i sagradio još tri aviona različite koncepcije kojima je uspešno leteo u okolini Gorice. Peti avion Rusjan je sagradio u Zagrebu uz pomoć Mihajla Merćepa i posle uspešnih ispitivanja i javnih letova pred zagrebačkom publikom prijatelji su došli u Beograd. Devetog januara 1911. godine vetar je polomio krila Rusjanovog aviona koji je pao na sam bedem Kalemegdanske tvrđave. Tako



je Rusjan postao prvi pilot i prva žrtva jugoslovenskog vazduhoplovstva.

Godine 1910. leteli su uspešno u Subotici Ivan Sarić, u Zagrebu Slavoljub Penkala, a u periodu do prvog svetskog rata istakli su se i drugi naši konstruktori i letači, od kojih posebno treba spomenuti inž. Bloudeka, koji je 1911. god. konstruisao dvokrilca sa potpuno zatvorenim trupom i pilota Bulimbašića, koji je bio jedan od prvih ljudi koji su izveli luping i druge akrobacije. U Beogradu se od 1910. godine jedna grupa srednjoškolaca bavila izradom i letenjem jedrilicama-planerima.

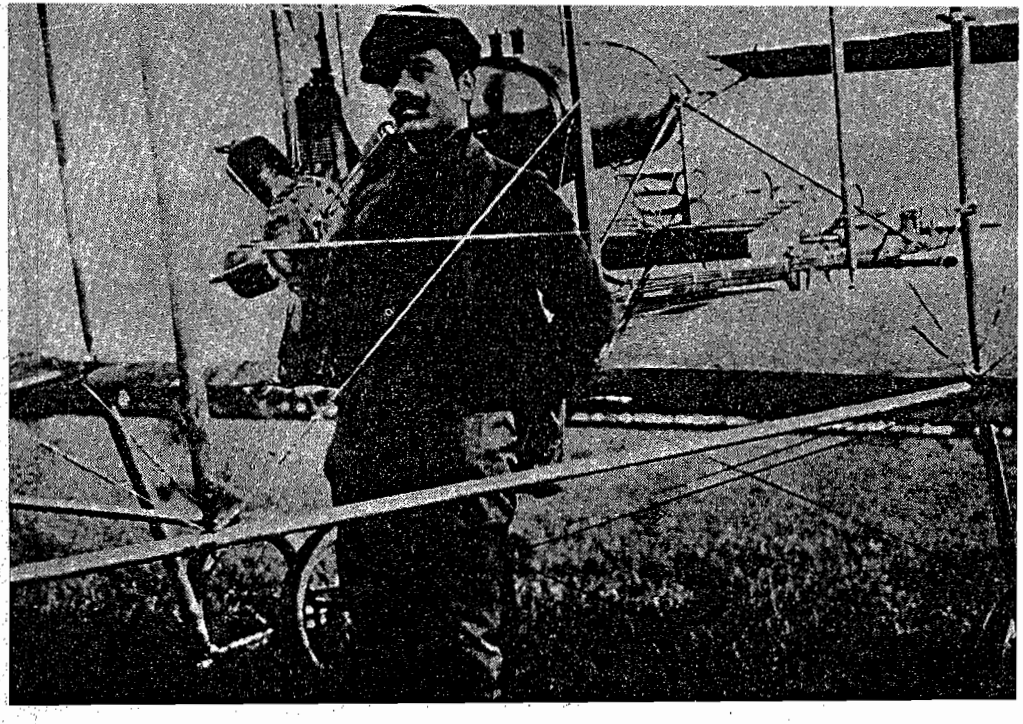
STVARANJE VOJNOG VAZDUHOPLOVSTVA I NJEGOVO UČEŠĆE U PRVOM SVETSKOM RATU

Kada je avion postao dovoljno pouzdan i stekao osobine koje su mogle da se iskoriste i u vojne svrhe, armije mnogih, naročito velikih država, uključile su ga u svoje naoružanje. Ulaganjem znatnih sredstava, kojima pioniri nisu raspolagali, stvoreni su uslovi konstruktorima i proizvođačima da nastave sa usavršavanjem i razvijanjem novih i sve boljih aviona.

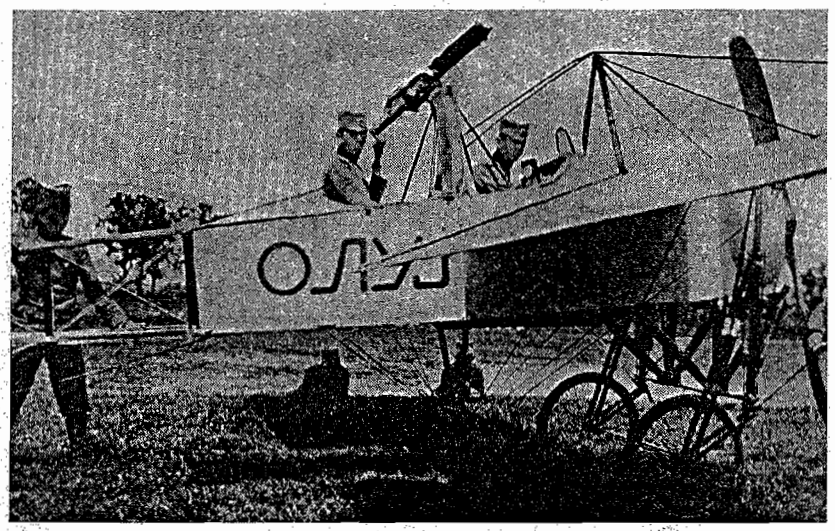
Prve jedinice naoružane avionima stvorene su u Francuskoj još 1909. godine, ubrzo posle leta Blerioa preko Lamanša, a za Francuskom ubrzo slede Nemačka, Rusija, Engleska, Italija i druge manje zemlje. Kao borbeno sredstvo avion je prvi put upotrebljen 1911. godine u italijansko-turskom ratu u Libiji, kada su avioni korišćeni za izviđanje i snimanje iz vazduha.

U to vreme i srpska vojska, koja se pripremala za obračun sa turskom carevinom, pristupila je organizovanju vojne avijacije. U Francusku je upućeno na obuku šest oficira i podoficira, koji su po povratku u zemlju krajem decembra 1912. formirali Vazduhoplovnu komandu koja je raspolagala sa dva balona i deset aviona. Prilikom opsade Skadra ovim avionima vršena su izviđanja turskih položaja. Marta 1913. godine poginuo je, ispavši iz aviona, narednik Mihailo Petrović, postavši tako jedan od prvih pilota u svetu koji je izgubio život na borbenom zadatku.

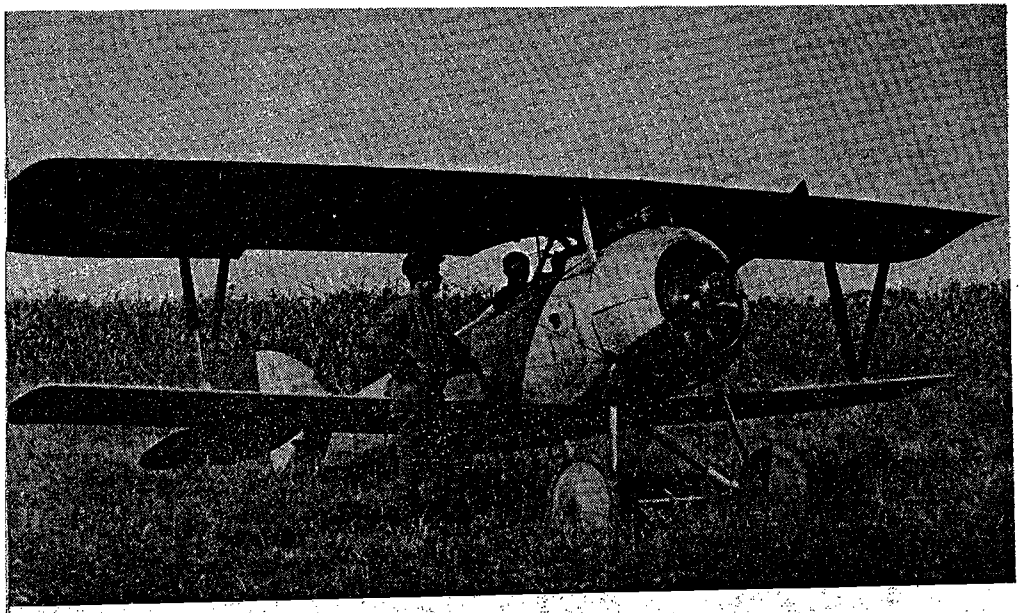
Kada je 1914. godine otpočeo prvi svetski rat, glavne zaraćene strane raspolagale su relativno skromnim brojem od po 200 do 300 aviona i većim brojem jedinica naoružanih izviđačkim balonima i dirižablima. Pošto nisu bili naoružani, avioni su u početku korišćeni samo za izviđanja neprijatelja. Zbog ovakve njihove



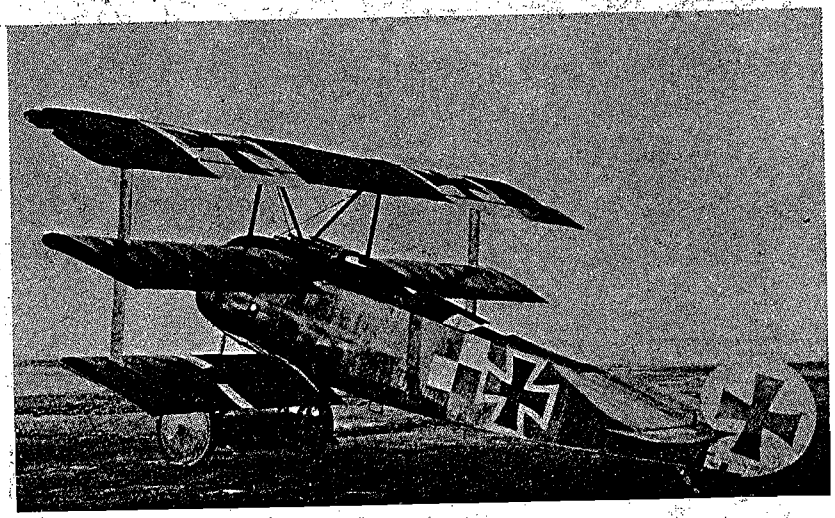
Mihajlo Petrović, prvi vojni pilot i prva ratna žrtva našeg vojnog vazduhoplovstva



Prvi naoružani avion srpske vojske u Požarevcu 1915. godine



Francuski lovac Njepor



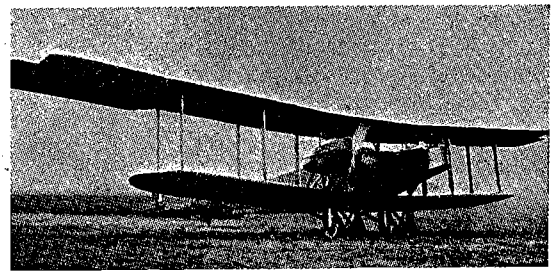
Nemački lovac Foker

uloge često su ih nazivali „vertikalna konjica", jer su, u stvari, preuzeli njenu ulogu. Međutim, već tokom 1914. godine posadama je stavljeno u zadatak da iz pušaka, a zatim i mitraljeza, napadaju neprijateljske izviđačke avione i balone, koji su predstavljali

opasnost jer su vrlo efikasno pomagali artiljeriju. Tako je došlo do prve podele avijacije na izviđačku i lovačku.

Ubrzo su ovako promenjeni zahtevi za lovačku avijaciju izazvali pojavu posebnih tipova aviona-jednoseda, koji su zbog manjih dimenzija bili nešto brži i pokretljiviji, što je omogućavalo uspešne napade na izviđače i vođenje vazdušnih borbi. Pored toga, lovački avioni naoružavani su fiksnim mitraljezom, koji je gađao u pravcu leta aviona, a ubrzo i kroz polje okretanja elise, tako da je pilot nišanio celim avionom, što je znatno povećavalo preciznost pogodaka. Prvi su ovakve avione uspeli da izgrade Francuzi što je njima i njihovim saveznicima na zapadnom frontu mesecima obezbeđivalo prevlast u vazduhu i dovelo nemačku avijaciju u izrazitu krizu. Tada se, prvi put u istoriji ratova, moglo proceniti koliko je nadmoćnost u vazduhu značajna za dejstvo trupa na zemlji, jer su zapadni saveznici, odstranivši nemačke izviđače, uspeli da prikriju svoje pripreme za veliku ofanzivu na reci Somi 1916. godine.

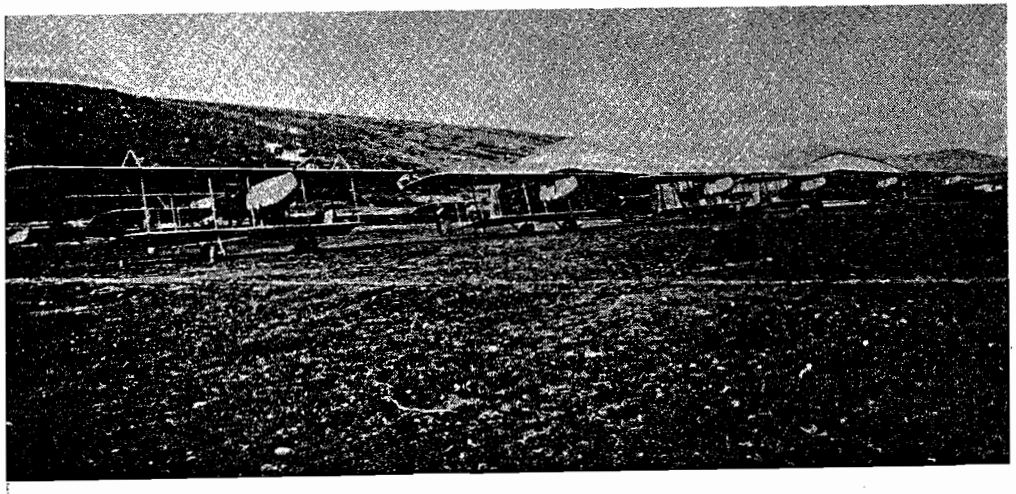
Vazdušne borbe postale su svakodnevna pojava na svim frontovima prvog svetskog rata. Piloti, koji još nisu bili naučili veštinu grupne borbe, trudili su se da protivničkom avionu što pre zađu



Engleski bombarder Hendli Peedž



Francuski lovac Spad



Aerodrom srpskog vazduhoplovstva u Vertekopu 1918. godine

za rep, koristeći se pri tom raznim akrobacijama i manevrima, koje je protivnik parirao na sličan način. Bili su to pravi vazdušni dvoboji u kojima je pobeđivao veštiji pilot i bolji strelac. Na trupovima svojih aviona pobednici su obično beležili raznim znacima broj ostvarenih pobeda. Onaj pilot koji je imao deset i više vazdušnih pobeda nazivan je „asom". Najpoznatiji piloti-asovi bili su Francuzi Fonk sa 75 pobeda i Ginemer sa 54, Nemac Rithofer imao je 80 pobeda, Englez Bišop 72, a u asove se ubrajao i srpski pilot Marinković koji je, boreći se u sastavu francuskog vazduhoplovstva, oborio 22 nemačka aviona.

Bombardovanja iz aviona otpočela su još 1914. godine. Ali sa nekoliko malih bombi od po 3,5 kilograma, koliko su tada mogli da ponesu izviđački avioni i bez nišanskih sprava, nisu se mogli očekivati neki ozbiljniji rezultati.

Tek kada su se na zapadnom frontu tokom 1915. godine pokretna dejstva pretvorila u rovovski rat i kada su van domašaja artiljerije počela da se stvaraju velika slagališta municije i drugog ratnog materijala a železničke pruge bile zakrčene vojnim ešelonima, vojni stručnjaci su došli do zaključaka da jedino avioni mogu da zamene artiljeriju prenoseći na veće udaljenosti u neprijateljskoj pozadini tovare bombi. Kako postojeći tipovi izviđača, i pored izvesnih usavršavanja, nisu odgovarali ovakvim zadacima, to su obe zaraćene strane počele da stvaraju specijalne avione-bombardere, koji su se odlikovali znatno većom sposobnošću nošenja bombi. U početku bombardovanja su izvođena pojedinačno i samo danju, ali kako su lovci ubrzo počeli da obaraju znatan broj nezaštićenih bombardera, prešlo se na noćna bombardovanja. Rezultati noćnih bombardovanja bili su vrlo slabi što je uslovilo povratak na dnevna dejstva, ali su sada bombarderi bili

naoružani većim brojem mitraljeza, povećana im je brzina i moć penjanja, a uz to često su dobijali i lovačku pratnju, koja je odbijala napade neprijateljskih lovaca. Ovo je omogućilo da Nemci vrše bombardovanja Pariza i Londona a saveznici nemačke industrijske centre.

Zbog ovog nadmetanja između zaraćenih strana i različitih vidova avijacije, tehnički razvoj aviona i motora napredovao je za vreme prvog svetskog rata džinovskim koracima. Slobodno se može tvrditi da je za pet ratnih godina učinjen veći napredak nego za više od deset godina mirnodopskog razvitka. Tako, dok su avioni na početku rata postizali brzinu od 80 do 100 km/h, već 1918. standardni lovci su leteli do 220 km/h, višemotorni bombarderi sa nosivošću od preko 1000 kg bombi prodirali su stotinama kilometara duboko u neprijateljsku teritoriju, a pojedini izviđači i lovci mogli su da krstare na visinama od 6000 m. Istovremeno, snažno se razvila i proizvodnja aviona i motora. Francuske fabrike u kojima je 1918. godine bilo zaposleno preko 180.000 radnika i tehničara izradile su za vreme rata 68.000 aviona i 85.000 motora, dok su Nemci proizveli 48.000 aviona i 40.000 motora. U pilotskim školama obučeno je nekoliko desetina hiljada pilota. Sve je ovo bio dokaz da je vazduhoplovstvo postalo važan faktor u ratu koji je od tada za svoje poprište dobio i treću dimenziju — vazduh.

Srpsko vazduhoplovstvo učestvovalo je, takođe, aktivno u prvom svetskom ratu mada je zbog gubitaka iz balkanskih ratova, koji nisu na vreme nadoknađivani, u početku raspolagalo sa svega tri ispravna aviona i jednim balonom. No, i pored toga, zahvaljujući krajnjem zalaganju pilota i balonaca, ono je u toku operacija u zapadnoj Srbiji, tokom leta i jeseni 1914. godine, uspevalo da komandama dostavlja važne podatke sa vazdušnih izviđanja.

Tokom 1915. godine, posle nabavke novih aviona naoružanih mitraljezima i bombama, srpsko vazduhoplovstvo se, uz pomoć jedne francuske eskadrile, uspešno suprotstavljalo pritisku brojnih austrougarskih i nemačkih eskadrila. Za vreme povlačenja srpske vojske preko Albanije i Crne Gore ka Jadranskom moru piloti su učinili znatne usluge prenoseći ranjenike, kurire i naređenja preko besputnih krajeva. U ovim akcijama uništeni su januara 1916. godine i poslednji ispravni avioni.

Posle reorganizacije na ostrvu Krfu aktivnost srpskih vazduhoplovaca preneta je maja 1916. godine na Solunski front. Ovde su oni bili uključeni u pet francusko-srpskih eskadrila, koje su bile pridodate srpskim armijama. Sistematskim školovanjem pilota, izviđača i mehaničara u Francuskoj i Sedesu kod Soluna, povećao se broj srpskog osoblja u mešovitim jedinicama, tako da je već početkom 1918. godine bilo omogućeno osnivanje samostalnih eskadrila, koje su uzele vidnog učešća u raznovrsnim akcija-

ma na frantu i u neprijateljskoj pozadini. Srpske eskadrile naročito su se istakle u toku priprema i u sprovođenju velike septembarske ofanzive 1918. godine, koja je prethodila konačnoj pobedi saveznika.

U toku raspada austrougarske monarhije od osoblja jugoslovenskih nacionalnosti formirane su u Sloveniji i Hrvatskoj tri eskadrile, koje su 1919. godine učestvovale u borbama protiv Austrije. Ove jedinice su priključene eskadrilama koje su došle sa Solunskog fronta.

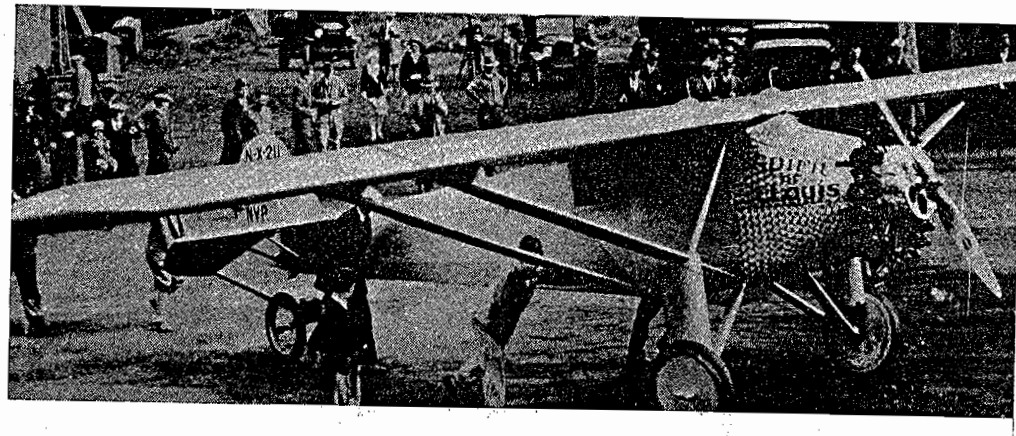
RAZVOJ VAZDUHOPLOVSTVA od 1919. do 1939. godine

U vremenu između dva svetska rata vazduhoplovstvo je nastavilo da se razvija ubrzanim tempom, dobijajući pri tome nove osobine, koje su se naročito ogledale u povećanoj raznovrsnosti njegove primene u civilne svrhe.

Ovakav razvoj bio je uslovljen činjenicom da je po završetku rata snažna vazduhoplovna industrija ostala bez narudžbina, a hiljade pilota i specijalista tražili su mogućnost da svoje znanje iskoriste u uslovima mira. Zato već 1919. godine u Francuskoj, Nemačkoj i drugim zemljama dolazi do stvaranja prvih preduzeća za vazdušni saobraćaj, koja su prepravljenim vojnim avionima otpočela da prevoze putnike, poštu i teret. Te iste 1919. godine sklopljena je i tzv. Pariska konvencija kojom su regulisani pravni i tehnički propisi vezani za međunarodni vazdušni saobraćaj. Naša zemlja bila je jedna od prvih potpisnica ove Konvencije.

Još od tih prvih dana pokazalo se da će vazdušni saobraćaj predstavljati značajan činilac u povezivanju zemalja i kontinenata i da će se, zahvaljujući njegovoj brzini, izmeniti dotadašnji pojmovi o vremenu i rastojanjima. Tako je već 1919. godine otvorena prva međunarodna vazduhoplovna linija između Londona i Pariza, a ubrzo se mreža linija širi preko cele Evrope i postepeno prelazi na druge kontinente.

Prethodnicu saobraćajnih linija činili su letovi vojnih i civilnih ekipa i pojedinaca, koji su često predstavljali prave podvige veštine i hrabrosti. Treba se naročito setiti leta engleskih pilota Alkoka i Brauna, koji su 1919. godine preleteli za 16 časova Atlantski okean na njegovom najužem delu. Godine 1927. američki pilot Čarls Lindberg uspeo je da za 33 časa i 39 minuta preleti rastojanje od Njujorka do Pariza, koje iznosi preko 5700 kilometara.



Lindbergov avion „Duh svetog Luja"



Ričard Berd sa posadom pred let ka Južnom polu

Ubrzo su drugi piloti uspešno preleteli južni Atlantik, Tihi okean i obleteli oko sveta, dok je američki oficir Ričar Berd prvi sa svojom posadom preleteo Severni i Južni pol čime je dokazao da avion može da se upotrebi kao sredstvo za istraživanje nepoznatih predela naše planete. Naročito je bio zapažen i let ruskih pi-

lota Čkalova, Bajdukova i Bjeljakova, koji su 1937. godine prvi uspeli da prelete iz Evrope u Sjedinjene Države preko Severnog pola, prevalivši od Moskve do Vankuvera 9.130 km za 63 časa.

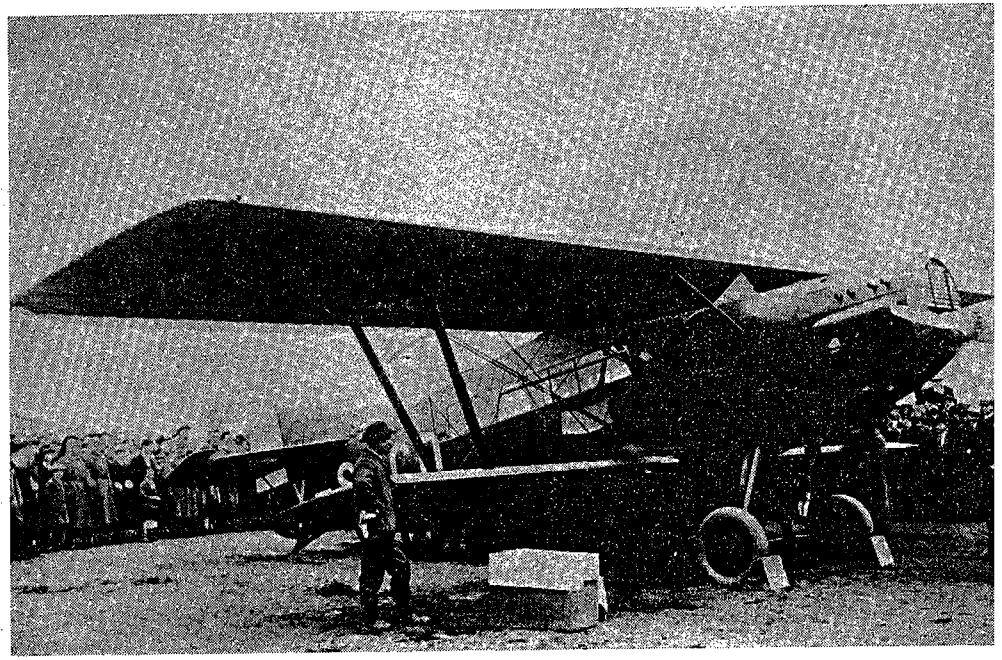
I naša zemlja se relativno rano uključila u mrežu međunarodnog vazdušnog saobraćaja. Od 1923. godine preko Beograda je vodila linija Pariz—Bukurešt—Carigrad, a februara 1928. godine otvorilo je svoju prvu unutrašnju liniju Beograd—Zagreb domaće preduzeće „Aeroput", koje je do drugog svetskog rata razvijalo domaći i međunarodni avionski saobraćaj.



Bjeljakov, Čkalov i Bajdukov

Vazduhoplovna tehnika, tehnologija i industrija zabeležili su, takođe, vidan napredak između dva rata. Nesređena međunarodna situacija i razvitak civilnog vazduhoplovstva uticali su da se države i privatni kapital znatno angažuju na polju vazduhoplovstva, pomažući rad naučnih vazduhoplovnih institucija i konstruktorskih biroa. Dalji razvoj aviona odvijao se u pravcu povećanja snage motora i upotrebe kompresora što je, pored aerodinamičkih usavršavanja, znatno uticalo na povećanje brzine leta i moći penjanja. Već oko 1930. godine upotrebljavani su motori jači od 500 KS, a avioni su postizali brzine od preko 650 km/h, dok su motori pred rat imali već preko 1000 KS, a brzine rekordnih aviona premašale su 750 km/h. Paralelno sa povećanjem snage motora menjala se i struktura konstrukcije, tako da su drvene avione u najvećem broju slučajeva zamenjivali metalni. Oprema i instrumenti su, takođe, usavršeni, tako da su avioni iz 1939. godine predstavljali sigurne letelice sposobne da izvršavaju veliki broj zadataka u miru i ratu.

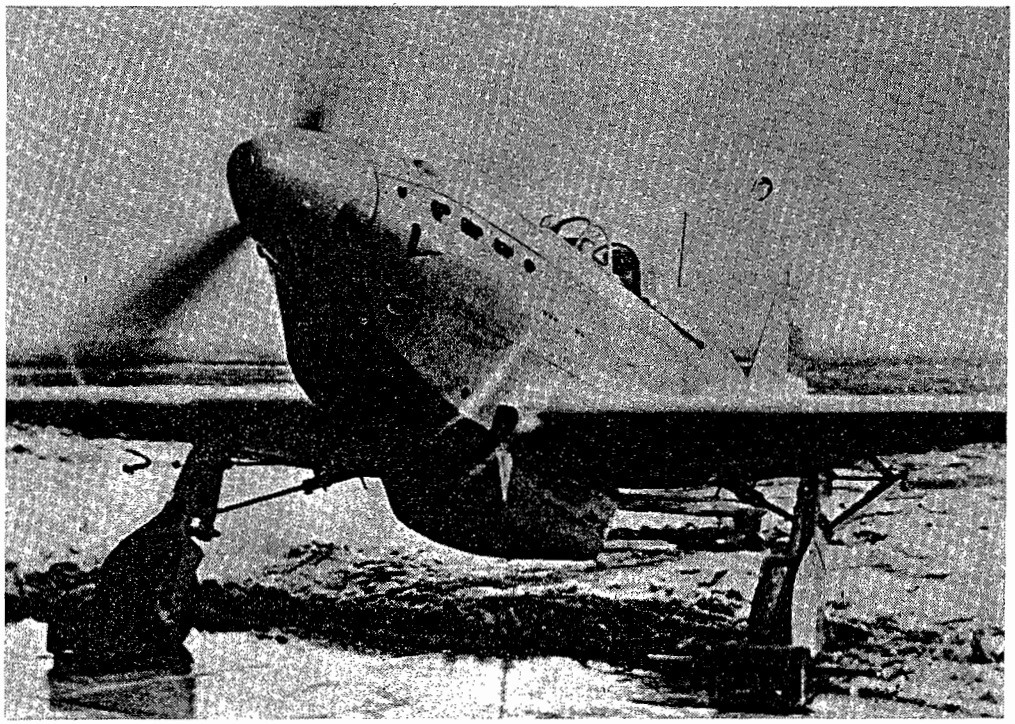
U našoj zemlji vazduhoplovna industrija je počela da se razvija 1923. godine i pred drugi svetski rat postigla je visok nivo, koji joj je omogućavao da proizvodi najsavremenije vojne avione i neke vrste avio-motora. Domaći konstruktori takođe su postizali značajne rezultate u projektovanju školskih i borbenih aviona, od kojih su neki, kao lovac „IKZ", predstavljali vrhunska dostignuća u svojoj kategoriji.



Prvi avion jugoslovenskog vazdušnog saobraćaja Potez-29

Između dva rata razvile su se turistička, poljoprivredna, sanitetska i sportska avijacija. Avioni su počeli da se upotrebljavaju za kartografska i druga snimanja iz vazduha, njima su otkrivena rudna nalazišta u nepristupačnim krajevima i obavljani mnogi drugi poslovi. Sve je to povećavalo značaj avijacije, i ona je ubrzo postala nezamenljivi deo ljudske civilizacije.

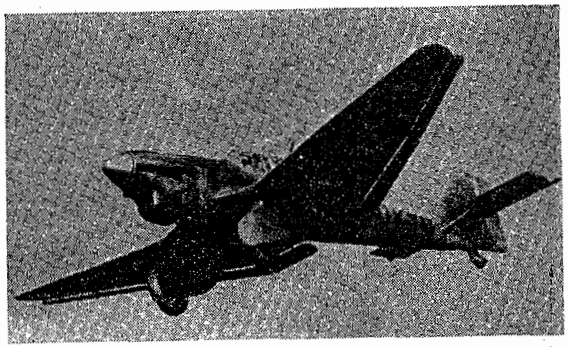
PRIPREME I UČEŠĆE VOJNOG VAZDUHOPLOVSTVA U DRUGOM SVETSKOM RATU



Lovac jugoslovenske konstrukcije i proizvodnje IKZ

Oslanjajući se na bogata iskustva stečena u prvom svetskom ratu, koja su pokazivala da se budući ratni sukobi neće moći rešavati bez učešća avijacije, veliki broj država nastavio je da usavršava svoja vojna vazduhoplovstva, oslanjajući se pri tom na različite doktrine i teorije o ulozi i zadacima avijacije u ratovima. Jedna grupa teoretičara, na čelu sa italijanskim generalom Duetom, zastupala je ekstremno gledište da se pobeda u ratu može postići samo avionima i to bombarderima, koji su trebali da razore pozadinu neprijatelja. Drugi su, pak, smatrali da je osnovni zadatak avijacije da izbori prevlast u vazduhu i usko sarađuje sa

Nemački bombarder za obrušavanje JU-87 — „Štuka"

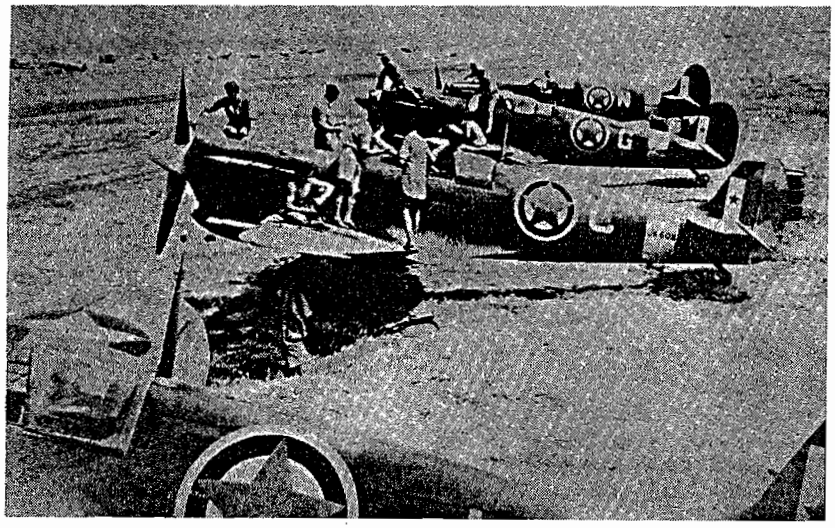


suvozemnim i pomorskim jedinicama, i oni su prema tim zahtevima podešavali osobine svojih borbenih aviona. Istorija drugog svetskog rata pokazala je, međutim, da se pravo rešenje nalazilo u skladnom korišćenju svih vidova avijacije.

Prvo ispitivanje taktičkih postupaka i osobina najnovijih aviona koji će učestvovati u drugom svetskom ratu vršeno je od 1936. do 1939. godine u toku građanskog rata u Španiji. Nemci i Italijani, koji su podržavali generala Franka, upotrebili su već tada svoje poznate lovce „Meseršmit" i „Fijat", bombardere „Hajnkel" i „Kaproni", kao i neke druge najnovije avione.

Već na samom početku drugog svetskog rata došao je do izražaja veliki značaj avijacije. Jedna od osnovnih karakteristika nemačke doktrine o „munjevitom ratu", koja im je i obezbedila prve pobede nad saveznicima, sastojala se u masovnoj upotrebi jurišnih aviona „JU-87-Štuka" i drugih bombardera. U sadejstvu sa oklopnim jedinicama ovi avioni činili su špiceve udarnih klinova, koji su raspolagali iznenađujućom snagom i brzinom napada. Napadajući bombama i mitraljeskom vatrom, uz zavijanje specijalnih sirena, „Štuke" su unosile paniku na pretrpanim drumovima Francuske i po gradovima Poljske, Holandije, Belgije i drugih napadnutih država. Masovnim napadima bombardera teško su oštećeni Varšava, Roterdam i drugi gradovi i naselja koji su predstavljali centre otpora. Istovremeno, nemački lovci i jurišnici su iznenadnim napadom na aerodrome naneli ozbiljne gubitke savezničkim vazduhoplovstvima i već u prvim danima rata izvojevali su privremenu prevlast u vazduhu što je omogućilo brzo prodiranje njihovih trupa.

Nemačko ratno vazduhoplovstvo (Luftvafe) prvi put je naišlo na ozbiljan otpor kod Denkerka kada je 16 skvadrona britanskih lovaca uspelo da onemogući 1000 nemačkih aviona u ometanju



„Spitfajeri" prve eskadrile NOVJ pred svoj prvi ratni zadatak avgusta 1944. godine

povlačenja ostataka britanskih i francuskih trupa preko kanala Lamanša. Ubrzo zatim, u toku takozvane „Bitke za Britaniju" Nemci su pokušali da sa 2860 borbenih aviona unište Britansko vazduhoplovstvo (RAF), koje je u Engleskoj raspolagalo sa 700 lovaca „Hariken" i „Spitfajer" i oko 1000 drugih borbenih aviona. Kada im nije uspelo da izbore prevlast u vazduhu, bez koje nije mogla da otpočne invazija, Nemci su prešli na bombardovanje industrijskih centara i luka sa ciljem da unište englesku privredu i pokolebaju moral stanovnika. Ali u tome nisu uspeli, jer su naišli na dobro organizovanu i srčanu odbranu, koju je podržavao čitav narod i moćna industrija, koja je uspevala da nadoknadi avione oborene u vazdušnim borbama. Odbrani je, takođe, znatno pomogla i upotreba radara,koji je tada prvi put upotrebljen za otkrivanje nemačkih aviona na većim udaljenostima, noću i pri slaboj vidljivosti. U toku bitke koja je trajala 10 meseci (od jula 1940. do aprila 1941. godine) Nemci su izgubili 1950 aviona, od kojih 830 bombardera, dok su Englezi izgubili oko 1000 aviona, pretežno lovaca. Ovako velike gubitke u avionima i posadama Nemci su osećali sve vreme rata.

„Bitka za Britaniju" potvrdila je ogroman značaj vazduhoplovstva. Tadašnji predsednik engleske vlade, Vinston Čerčil, izrazio je to najbolje rečima: „Nikada do sada sudbina jedne nacije nije zavisila od tako malog broja ljudi", misleći pri tom na engleske pilote-lovce koji su uspeli da spreče iskrcavanje Hitlerovih divizija na engleska ostrva.

Pri napadu na Jugoslaviju, 6. aprila 1941. godine, Nemci, Italijani i Mađari angažovali su preko 2000 aviona, dok su jugoslo-

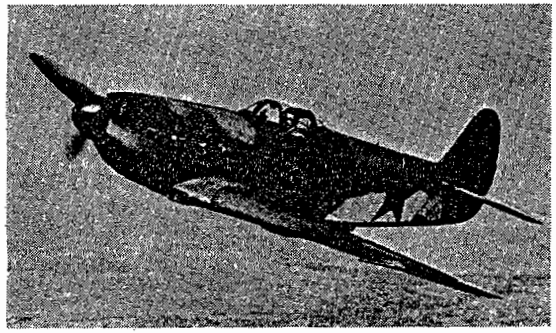
venski pukovi raspolagali sa svega 290 borbenih aviona i oko 100 zastarelih izviđača. Pored izrazite brojčane slabosti, dejstva jugoslovenskog vazduhoplovstva ometali su i nedostatak zapaljive municije, slaba organizacija, a posebno snažna „peta kolona" i defetizam u komandnim vrhovima. Pa ipak je među vazduhoplovcima postojala jasno izražena želja da se bore protiv fašističkih agresora. To dokazuju mnogobrojni primeri herojskog držanja jugoslovenskih pilota u vazdušnim borbama kod Beograda, Kumanova, Mostara i drugih naših gradova, pri napadu jugoslovenskih bombardera na neprijateljske aerodrome kod Pečuja i Arada, kao i u zadržavajućim borbama kod Skoplja u Kačaničkoj klisuri i na drugim frontovima. U toku tih borbi poginulo je više od 90 jugoslovenskih letača, oboreno je 100 aviona, dok su skoro svi ostali uništeni na zemlji od strane neprijatelja ili samih posada, koje nisu htele da ih prepuste neprijatelju. Izvestan broj aviona preleteo je u Grčku i SSSR.

U toku napada na Grčku došlo je do prve velike vazdušnodesantne operacije u istoriji ratova. Pošto nisu imali prevlast na moru, Nemci su odlučili da ostrvo Krit zauzmu pomoću padobranske divizije koja se iskrcala u blizini britanskih aerodroma na ostrvu i posle ogorčenih borbi uspela da njima ovlada. To im je omogućilo da dobiju pojačanja vazdušnim putem. Ipak je za Nemce ovaj uspeh bio prava „Pirova pobeda", jer su u borbama pretrpeli teške gubitke, naročito među elitnim padobranskim trupama.

Nezadovoljan razvojem situacije na zapadu Hitler je još u jesen 1940. godine izdao naređenje da se otpočne sa pripremama za napad na Sovjetski Savez. Do 22. juna 1941. godine, kada je napad izvršen, Nemci i njihovi saveznici koncentrisali su prema granicama evropskog dela SSSR-a 190 divizija sa mnogobrojnim oklopnim i artiljerijskim jedinicama. Vazduhoplovstvo, koje je učestvovalo u napadu, brojalo je oko 3500 aviona što je u tom trenutku predstavljalo preko 60% nemačke avijacije. Pored toga, u napadu su učestvovale i vazduhoplovne snage Finske i Rumunije koje su brojale oko 1000 aviona.

Po broju aviona vazduhoplovstvo SSSR-a bilo je ravno vazduhoplovstvu Nemačke i njenih saveznika, ali je po kvalitetu znatno zaostajalo, jer je bilo naoružano uglavnom zastarelim lovcima I-15 i I-16 (Rata), koji su bili sporiji čak i od najbržih nemačkih bombardera. Samo jedan manji broj jedinica imao je savremene tipove lovaca JAK, LAG i MiG i jurišnike IL-2, koji su tek od kraja 1940. godine počeli da se uvode u naoružanje.

Napad je potpuno iznenadio jedinice Crvene armije. Najveće gubitke pretrpelo je sovjetsko vazduhoplovstvo, koje je bilo koncentrisano u pograničnoj zoni, tako da su samo do pred podne prvog dana rata gubici iznosili 1200 aviona, od kojih je 800 uni-



Sovjetski lovac JAK-3

šteno na zemlji, Međutim, u daljem toku operacija nemačko vazduhoplovstvo se zbog ogromnog prostranstva ratišta rasplinulo na mnogobrojne zadatke, oštra ruska zima stvorila je mnoge poteškoće u eksploataciji i manevru jedinica, tako da je sovjetsko vazduhoplovstvo, podržano od protivavionske artiljerije, uspevalo da organizuje snažne protivudare, koji su postepeno počeli da slamaju snagu „Luftvafe". Već pri kraju 1941. godine Nemci su na Istočnom frontu raspolagali sa svega 1700 aviona.

Masovno uvodeći nove avione JAK-3, usavršenije jurišnike II-2 i bombardere Pe-2, sovjetsko vazduhoplovstvo je za vreme čuvene staljingradske bitke, krajem 1942. godine, uspelo da se izjednači sa nemačkim, dok je u toku vazdušnih borbi nad Kubanom, u leto 1943. godine, uspelo da zadobije prevlast u vazduhu, koju je zadržalo do kraja rata. Snaga sovjetskog vazduhoplovstva naročito je došla do izražaja u bici za Berlin kada je više hiljada aviona podržavalo jedinice Crvene armije u konačnom uništenju hitlerovske Nemačke.

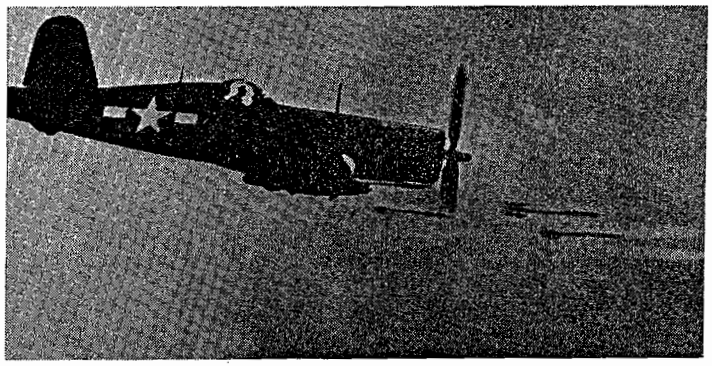
Dok se na istoku sovjetsko vazduhoplovstvo borilo protiv nemačke „Luftvafe" za prevlast u vazduhu, saveznici su na zapadu otpočeli veliku bombardersku ofanzivu protiv Nemačke i izvora snabdevanja u drugim okupiranim državama Evrope. Od sredine 1942. godine Amerikanci su preuzeli dnevna bombardovanja, dok su Englezi vršili noćne napade. Bombardovanja su vršena četvoromotornim bombarderima B-17 „leteća tvrđava", „Liberatorima", „Lankasterima" i drugim, koji su leteli u velikim grupama, često i preko 1000 aviona, tako da su mogli da se brane od nemačkih lovaca i zadaju ozbiljne rušilačke udare nemačkoj industriji, postrojenjima za proizvodnju i preradu goriva, podmorničkim bazama, saobraćaju, gradskim naseljima i mnogim drugim ciljevima koji su bili od vitalnog interesa za nemački ratni potencijal.

Najveća koncentracija vazduhoplovnih snaga u drugom svetskom ratu postignuta je u toku savezničkog iskrcavanja u Nor-

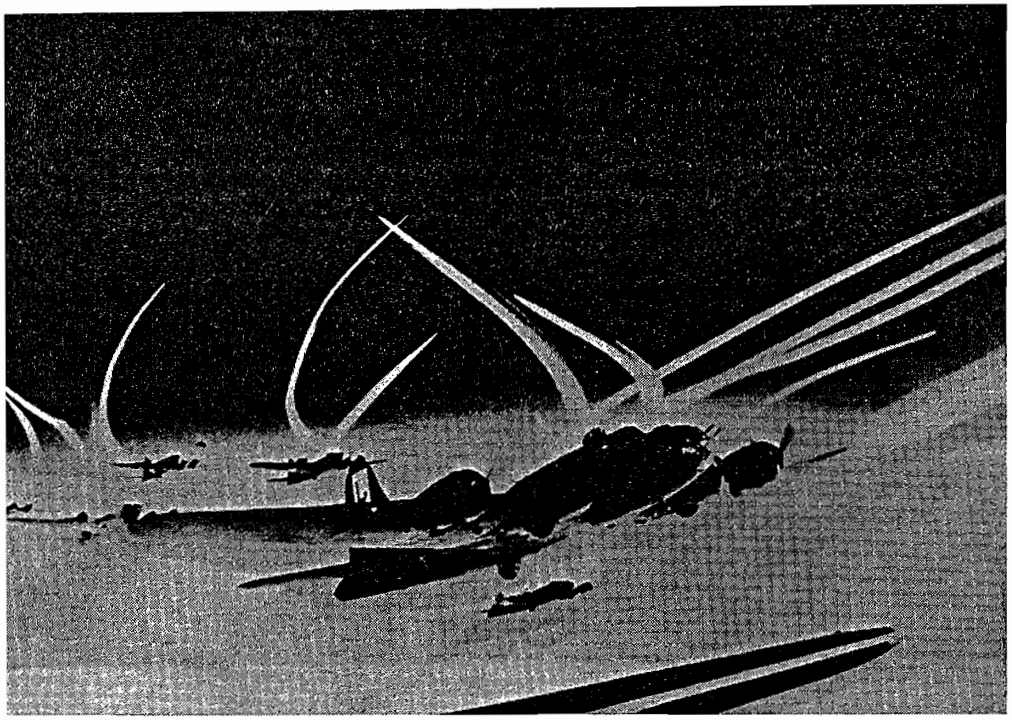
mandiji, juna 1944. godine. Preko 12.000 aviona i oko 800 transportnih jedrilica upotrebljeni su za iskrcavanje vazdušnodesantnih jedinica, obimna sistematska bombardovanja zone iskrcavanja i vrlo efikasno blokiranje celokupnog saobraćaja koji je vodio ka mostobranima. Ova snažna vazduhoplovna armada nastavila je da podržava savezničke operacije, uz istovremeno stalno bombardovanje pozadine što je znatno doprinosilo dezorganizaciji nemačke odbrane.

Tako je pri kraju rata nemačko vazduhoplovstvo, i pored povećane produkcije aviona, došlo u situaciju da se bezuspešno brani od naraslih snaga saveznika, koje su potpuno zavladale nebom Nemačke, dokazujući da prevlast u vazduhu znači važan faktor pobede u savremenom ratu. U očajničkom pokušaju da se suprotstave premoći saveznika u vazduhu Nemci su pri kraju rata počeli da upotrebljavaju i nova „tajna" oružja — dirigovane letelice sa pulzirajućim mlaznim motorom „V-1" i rakete „V-2" kojima su bombardovani London i neki drugi gradovi. Ali, kako su to bila još nedovoljno usavršena oružja i relativno malobrojna, rezultati njihovog dejstva nisu mogli da utiču na sudbinu rata. Isto tako, ni upotreba manjih grupa prvih lovaca na mlazni i raketni pogon (Me-262 i Me-163), koji su inače predstavljali vrlo uspele avione, nije mogla da zaustavi savezničku bombardersku ofanzivu protiv Nemačke. Ovi i drugi nemački mlazni avioni, kojima se ubrzo priključio i engleski mlazni lovac „Meteor", koji je uspešno obarao „V-1", predstavljali su vesnike nove ere u istoriji vazduhoplovstva, ere mlazne avijacije.

U toku narodnooslobodilačkog rata formirano je i novo Jugoslovensko ratno vazduhoplovstvo, koje se već od maja 1942. godine uključilo u borbu protiv Nemaca i domaćih kvislinga. Prvi partizanski letači, narodni heroji Franjo Kluz i Rudi Čajavec, izvršili su od maja do jula 1942. godine više uspelih borbenih zadataka u Bosanskoj Krajini dokazavši time da ni velika neprijatelj-



Američki mornarički lovac Korser



Formacija američkih bombardera B-17 nad Nemačkom

ska nadmoćnost u vazduhu ne može da spreči aktivnost partizanske avijacije ako je ona vešto vođena i raspolaže srčanim posadama.

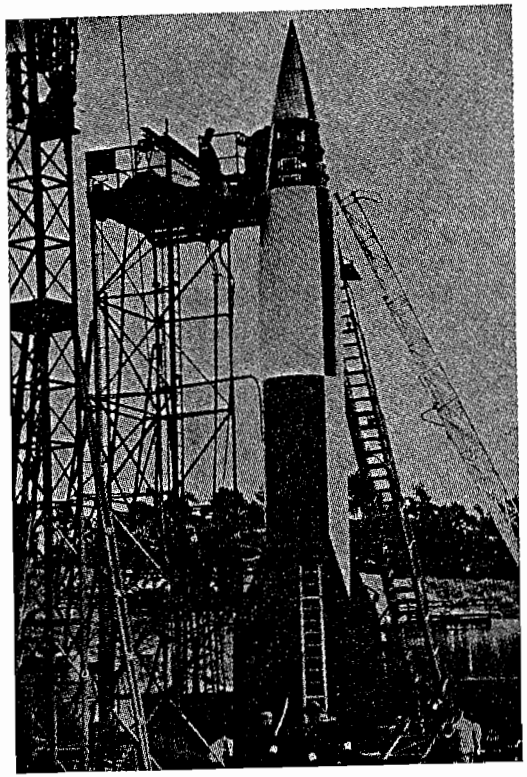
Kapitulacijom Italije i međunarodnim priznanjem NOB-a stvoreni su povoljni uslovi za osnivanje vazduhoplovnih jedinica Narodnooslobodilačke vojske Jugoslavije. Oktobra 1943. godine u Livnu je formirana Prva vazduhoplovna baza, koja je imala zadatak da okupi sve vazduhoplovce iz partizanskih jedinica i pripremi ih za upućivanje u savezničke školske centre. Obuka koja je započeta u Livnu nastavljena je januara 1944. godine u južnoj Italiji, a aprila iste godine u severnoj Africi osnovana je Prva eskadrila NOVJ koja je naoružana sa 16 aviona lovaca „Spitfajer-V". Posle intenzivne obuke ova eskadrila je već 18. avgusta 1944. godine otpočela ratna dejstva nad teritorijom Jugoslavije. Druga eskadrila oformljena je 1. jula 1944. godine i njenih 16 lovaca-bombardera „Hariken MK-IV", naoružani raketama, počeli su da dejstvuju na frontu 13. oktobra. Obe eskadrile dejstvovale su najpre sa aerodroma Kana u Italiji, a zatim sa aerodroma na ostrvu Visu i kod Zadra.

Svesni velikog borbenog i moralnog značaja svojih dejstava za borbe u Jugoslaviji, piloti prvih eskadrila koji su se već tri godine borili protiv nadmoćnijeg neprijatelja bez podrške sopstvene avijacije, svojim besprimernim zalaganjem izvršili su za 9 meseci 2180 borbenih letova, napadajući neprijateljski saobraćaj na Jadranu, kolone, utvrđenja i druge ciljeve u unutrašnjosti zemlje.

Krajem 1944. godine, posle oslobođenja severoistočnih krajeva Jugoslavije, oformljene su, uz pomoć Sovjetskog Saveza, dve vazduhoplovne divizije, koje su bile naoružane jurišnim avionima „IL-2" i lovcima „Jak". Od januara 1945. godine, kada su u ove jedinice stigle prve grupe jugoslovenskih pilota, one su uspešno učestvovale u odbijanju neprijateljske protivofanzive u Sremu, u uništavanju nemačkih trupa koje su se povlačile iz Grčke, a zatim i u žestokim borbama za mostobrane na reci Dravi. Naši letači naročito su se istakli svojim jurišnim dejstvima u velikoj ofanzivi aprila i maja 1945. godine, kada su uništene i poslednje fašističke jedinice na teritoriji Jugoslavije.

Iznenadnim napadom japanskih aviona na američku flotu koja je bila usidrena u luci Perl Harbur na Havajima otpočeo je decembra 1941. godine rat na Pacifiku i Dalekom istoku. Ovo

Pripreme za lansiranje nemačke rakete V-2



prostrano ratište odlikovalo se kombinovanim pomorsko-vazduhoplovno-kopnenim operacijama znatnih razmera u kojima je vazduhoplovstvo odigralo vrlo značajnu ulogu, dok je nosač aviona predstavljao osnovnu udarnu snagu i potisnuo je bojne brodove, koji su do tada suvereno vladali u pomorskim operacijama.

U najvažnijim pomorskim sukobima, kao što su oni u Koralnom moru, kod Midvejskih ostrva ili u zalivu Lejte, protivničke flote su vodile bitke a da se uopšte nisu videle. Borba je vođena avionima koji su, poletevši sa palube nosača, leteli često i nekoliko stotina kilometara da bi zadali udarce neprijateljskoj floti a zatim su se opet vraćali na svoje nosače. Ovi su ponekad zajedno sa svojom pratnjom, u međuvremenu, bili napadnuti od protivničkih aviona. U ovim sukobima premoć je od polovine 1942. godine pripala američkoj mornarici i vazduhoplovstvu. Vazduhoplovstvo je i na Pacifiku počelo sve više da se upotrebljava za potpomaganje desantnih operacija u kojima su zauzimana pojedina značajna ostrva, koja su postajala baze za masovna strateška bombardovanja samog Japana. Sa jednog od tih ostrva poletela je 6. avgusta 1945. godine i leteća tvrđava „B-29" iz koje je bačena atomska bomba na Hirošimu što je ubrzalo okončanje drugog svetskog rata.

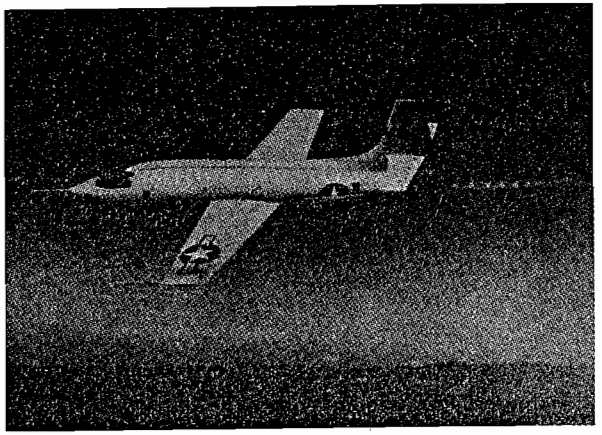
Vazduhoplovstvo je iz drugog svetskog rata izašlo znatno ojačano, sa usavršenom tehnikom, poboljšanom i proširenom organizacijom i masovnim industrijskim potencijalom. Ono je sada definitivno dobilo isti značaj kao i ostala dva vida oružane sile — kopnena vojska i mornarica.

RAZVITAK VAZDUHOPLOVSTVA POSLE DRUGOG SVETSKOG RATA

Snažan napredak vazduhoplovstva nije usporen po završetku rata, čak bi se moglo reći da je u nekim elementima i znatno ubrzan. Atmosfera hladnog rata, koja je zavladala među nekadašnjim saveznicima, i povećana uloga vazduhoplovstva u modernom ratu, nalagali su potrebu da naročito velike i blokovski orijentisane države napregnu do kraja svoje materijalne i intelektualne sposobnosti da bi u nezajažljivoj trci u naoružanju nadmašili svog potencijalnog ratnog neprijatelja.

To rivalstvo, koje još uvek traje i preti da dovede do novog svetskog sukoba, vidljivo je naročito u pojavi mnogobrojnih tipova

Raketni avion Bel X-1 kojim je Čarls Jeger prvi probio zvučni zid



borbenih aviona na mlazni pogon, koji, pored raznovrsne upotrebe helikoptera, daju karakteristiku celom posleratnom periodu razvoja vojnog vazduhoplovstva. Mlazni motor je zbog ogromnog potiska i drugih povoljnih osobina omogućio da brzina leta aviona već 1947. godine pređe brzinu zvuka, tj. 1250 km/h, uz istovremeno znatno povećanje moći penjanja i visine leta. Nepunih deset godina kasnije avioni u operativnoj upotrebi lete već dvostrukom brzinom zvuka, a eksperimentalni raketni avioni, kao što je poznati američki X-15, postižu brzine koje su tri do četiri puta veće od brzine zvuka. Poslednjih godina svedoci smo još značajnijih rezultata vrhunske vazduhoplovne tehnike i tehnologije. Sve je to, uz povećanje moći ubojnih sredstava, naročito atomskih bombi, dovelo do promene načela upotrebe avijacije i bitno uticalo na njenu organizaciju.

U toku protekle dve decenije nesumnjiv napredak postiglo je i civilno vazduhoplovstvo. Uvođenjem redovnih transkontinentalnih i prekookeanskih letova, za koje su do kraja pedesetih godina uglavnom korišćeni avioni sa klipnim motorima, a od tada mlazni vazdušni džinovi, saobraćajna avijacija je uspela da postane nosilac putničkog saobraćaja na većim udaljenjima, potiskujući brodove i zemaljska saobraćajna sredstva. Sličan proces odvija se u nekim razvijenim zemljama i na kraćim, unutrašnjim linijama. Zbog svojih specifičnih povoljnih osobina avioni i helikopteri našli su primenu u gotovo svim granama ljudske delatnosti i otvorili su neslućene mogućnosti novih prilagođavanja potrebama čoveka.

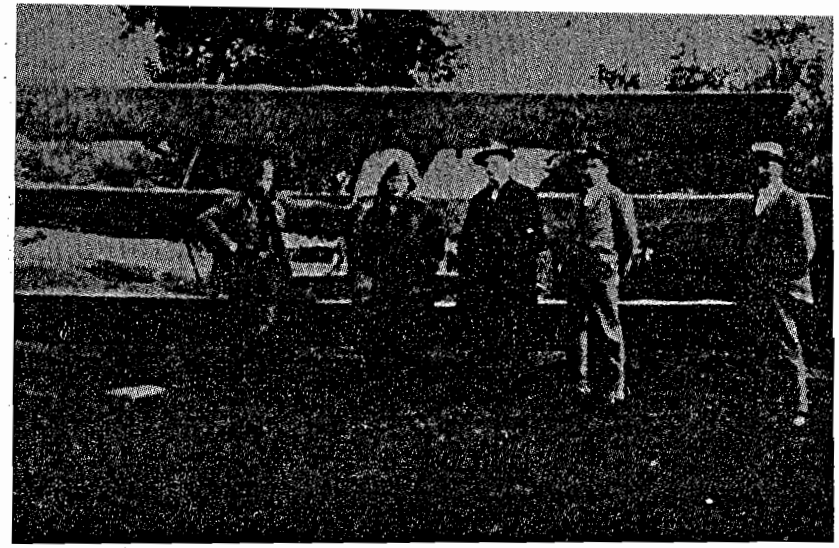
Kao rezultat brzog razvitka vazduhoplovstva, u toku poslednjih decenija ostvareni su mnogi pronalasci na naučnom, tehničkom i tehnološkom polju koji su doprineli razvitku ostalih naučnih dis-

ciplina i industrijskih grana. Pod okriljem vazduhoplovstva razvijale su se raketna tehnika i astronautika, a i sada se još uvek koriste letačkim i tehničkim vazduhoplovnim kadrovima, jer oni mogu najbolje da odgovore visokim zahtevima koji se postavljaju pred osvajače svemirskog prostranstva.

RAZVITAK JEDRILIČARSTVA OD BRAĆE RAJT DO NAŠIH DANA

A sada da se vratimo istoriji jedriličarstva. Već sama činjenica da smo, prateći osnovne tokove istorije vazduhoplovstva, prestali da češće spominjemo jedrilice od vremena braće Rajt, govori nam da je jedriličarstvo početkom dvadesetog veka ispunilo svoju istorijsku ulogu kao prateća pojava aviona, koji je svojim daleko većim mogućnostima za ostvarenje čovekovog leta privukao svu pažnju i stvaralaštvo entuzijasta i radoznalost javnosti. Konstruisanjem i letenjem jedrilicama bavili su se prvih godina ovog veka još samo oni vazduhoplovci koji su u želji da sagrade avion, morali da, zbog nedovoljnog poznavanja principa letenja, pređu isti put koji su već ranije uspešno prevalili braća Rajt i njihovi sledbenici. Ali, pošto se znanje o konstruisanju jedrilica sve više bogatilo, to su i jedriličarski letovi bili sve duži i interesantniji, tako da su se još u to vreme pojavili prvi nagoveštaji bavljenja jedriličarstvom kao savremenom granom sporta. I sama braća Rajt, na vrhuncu slave, vratila su se 1910. godine jedriličarstvu, da bi jedan od njih postavio i prvi svetski rekord u dužini trajanja leta, koji je iznosio 11 minuta. Najveći prelet pre prvog svetskog rata, koji je iznosio 950 m, ostvario je austrijski jedriličar i konstruktor Etrih.

Stvarni razvitak jedriličarstva počinje, međutim, tek posle prvog svetskog rata, i to najviše zahvaljujući činjenici što je pobeđenoj Nemačkoj bilo mirovnim ugovorom zabranjeno da poseduje vojno vazduhoplovstvo. Da bi nadoknadili i izigrali ova ograničenja, Nemci se okreću jedriličarstvu u kome su videli mogućnost stvaranja masovne baze budućih pilota vojnih aviona. Širom Nemačke niču jedriličarske škole i centri u kojima se pod vidom sporta obučava veliki broj omladinaca u savlađivanju osnovne tehnike pilotiranja. Tu treba tražiti osnovu tako izrazite premoći nemačkog jedriličarstva u periodu između dva svetska rata. Drugi narodi su sa izvesnim zakašnjenjem ocenili bitne prednosti jedri-



Jedrilica Hosua i Tišme u Sisku 1923. godine

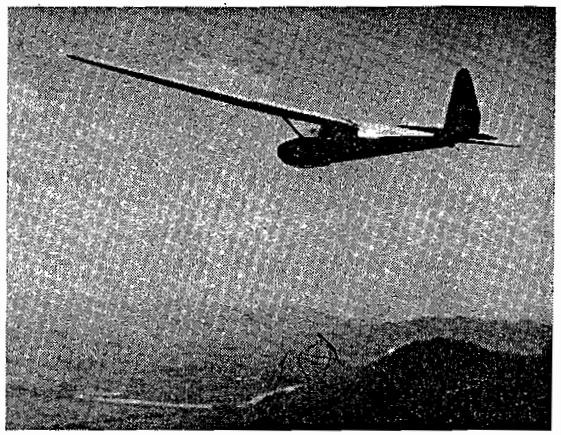
ličarstva i počeli su da razvijaju svoje organizacije tek od kraja dvadesetih godina. U tome su se naročito isticale Poljska, Francuska, SSSR i neke druge zemlje Evrope.

U našoj zemlji prve jedrilice posle prvog svetskog rata gradili su 1923. godine inženjeri Mikl i Fizir i entuzijasti Hosu i Tišma. Razvitak organizovanog sportskog jedriličarstva počinje 1930. godine kada je pri fabrici aviona „Ikarus" u Zemunu osnovana jedriličarska grupa, dok je sistematsko školovanje otpočelo 1932. godine osnivanjem jedriličarske škole u Beogradu. Ubrzo i u drugim mestima širom zemlje osnivaju se jedriličarske grupe, koje su, uz minimalnu pomoć Aerokluba, same gradile svoje jedrilice. Do drugog svetskog rata uspešno su radila i dva centra za padinsko jedrenje, na Zlatiboru i Blokama u Sloveniji. Najbolje sportske rezultate postizali su jedriličari iz grupe „Deveti", koji su odneli nekoliko pobeda i na međunarodnim takmičenjima.

U pogledu razvoja konstrukcije jedrilica i korišćenja različitih energija atmosfere, jedriličarstvo je posle prvog svetskog rata prošlo kroz nekoliko faza. U početku, letelo se samo na padinama pogodnih brda jedrilicama-klizačima, koje su startovale pomoću zategnutog gumenog užeta. Ako je duvao pogodan vetar, letovi su trajali po nekoliko minuta bez gubitka visine. Osobne jedrilica poboljšavane su smanjenjem njihove težine, ali kako problem čvrstoće nije dozvoljavao preterivanja u tome pravcu, konstruktori su bili primorani da više pažnje posvete aerodinamičkom usavršavanju jedrilica što je imalo za posledicu osetno poboljšanje njihovih osobina.



Sa otvaranja Prve jedriličarske škole u selu Pinosavi kod Beograda 1932. godine

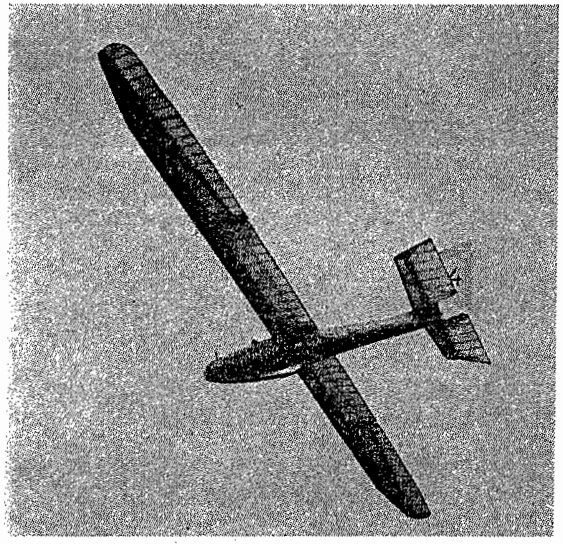


Jedrilica „Slovin" grupe „Deveti" na takmičenju u Čehoslovačkoj 1937. godine

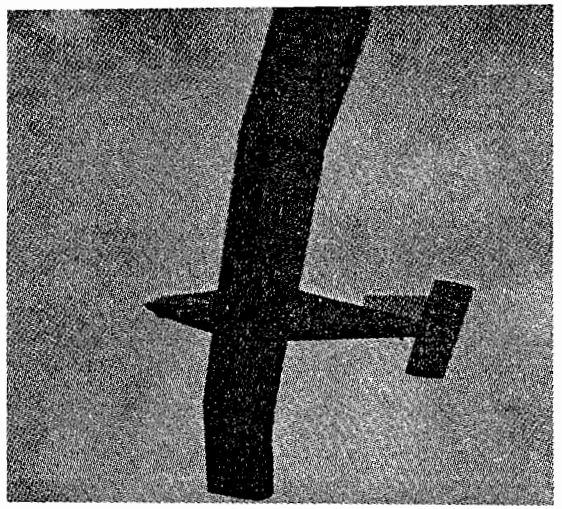
Pojava novih jedrilica, od kojih se naročito isticala nemačka konstrukcija Vampir iz 1922. godine, uticala je na bolje korišćenje usponih strujanja. Više francuskih i nemačkih jedriličara uspevalo je u to vreme da se održi u vazduhu po nekoliko sati, a rekord u trajanju leta, koji je 1923. godine postavio Francuz Barbo, iznosio je već 8 časova i 36 minuta. Jedriličari su, na žalost, još dugo vremena bili vezani za padinu, koja nije dozvoljavala da se leti u željenim pravcima.

Izgledalo je da letovi na padini i po neki „skok" sa jedne planine na drugu predstavljaju vrhunac jedriličarstva. Jedriličari su, međutim, počeli sve više da se interesuju za meteorologiju, koja im je pomogla da otkriju nova uspona strujanja pogodna za jedrenje. Tako, prvo su od 1926. godine počela da se koriste uspona strujanja, koja nastaju ispred olujnih frontova, što je omogućilo jedriličarima izvesnu slobodu kretanja i postizanje prvih preleta dužih od 50 kilometara. Dalji razvoj ovog načina jedrenja naročito je ometala iznenadna pojava frontova i opasnost kojima su se izlagali pilot i jedrilica, jer se događalo da oluja sustigne jedrilicu pri sletanju ili na zemlji.

Godine 1928. konačno je otkrivena i mogućnost jedrenja u termici. Tome je najviše doprinelo korišćenje variometra, instrumenta koji je registrovao vertikalna kretanja nagore ili nadole, što je omogućavalo jedriličarima da otkrivaju relativno uska polja usponih termičkih strujanja. Na taj način jedrenje više nije bilo vezano samo za podinu i jedriličari su dobili ogromne mogućnosti za postizanje preleta, koji čine osnovicu jedriličarstva. Ali, jedrenje na termici zahtevalo je i izvesne promene u konstrukciji jedrilica, koje su do tada imale vrlo malu pokretljivost u naginjanju



„Konzul"



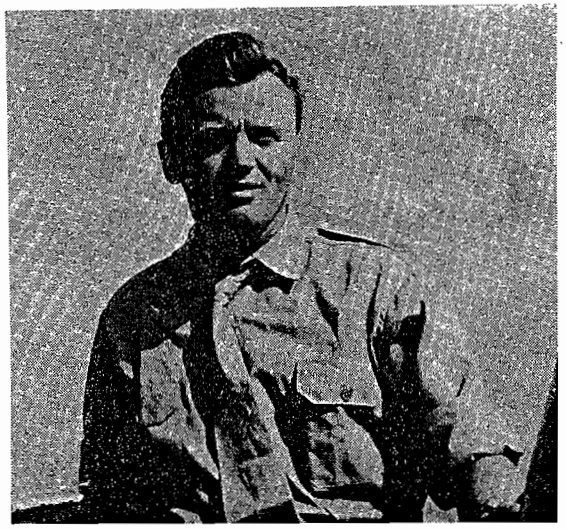
„Vampir"

i skretanju. Ovi nedostaci otklonjeni su ubrzo pogodnim rešenjima koja su dozvoljavala da jedrilice izvode efikasne zaokrete i pri manjim brzinama što je omogućavalo bolje korišćenje termičkih stubova.

Za dalji razvoj jedriličarstva od presudnog značaja bilo je uvođenje takmičenja, koja su pružala priliku jedriličarima da izmere svoje sposobnosti pri jednakim vremenskim uslovima i nad istim terenom. Takmičenja su stvarno počela da se organizuju odmah posle prvog svetskog rata, ali je tada njihov cilj bio da samo što duže ostanu u vazduhu ili eventualno koriste uspon strujanja nad padinom za postizanje maksimalne visine leta. Međutim, u uslovima termičkog jedrenja, a posebno uvođenjem brzinskih preleta u „Sportski pravilnik", što je učinjeno posle drugog svetskog rata, jedriličarima je omogućeno da organizuju mnogo svestraniju sportsku borbu, koja je uskoro dovela do vrhunskih rezultata i pomogla jedriličarstvu da postigne današnji visok stepen razvoja.

Prva veća jedriličarska međunarodna takmičenja održana su pre drugog svetskog rata u Švajcarskoj, Nemačkoj, Poljskoj, Čehoslovačkoj i nekim drugim zemljama. U okviru olimpijskih igara održano je u Berlinu 1936. godine jedriličarsko takmičenje na kome je učestvovao i predstavnik Jugoslavije. Po redovnim takmičarskim skupovima naročito se isticao nemački jedriličarski centar Ren-Vaserkupe u kome je 1937. godine održano prvo svetsko jedriličarsko prvenstvo.

Posle drugog svetskog rata, kao rezultat naglog napretka jedriličarstva u zemljama Evrope i drugih kontinenata nastavilo se sa tradicijom održavanja svetskih prvenstava koja se redovno organizuju svake druge godine. Do sada su održana prvenstva: u Švajcarskoj 1948. god., Švedskoj 1950, Španiji 1952, Engleskoj 1954, Francuskoj 1956, Poljskoj 1958, Z. Nemačkoj 1960, Argentini



Maks Arbajter, jedriličar sa titulom najupornijeg takmičara na Svetskom jedriličarskom prvenstvu 1950. godine



Sa Svetskog jedriličarskog prvenstva u Poljskoj 1968. godine

1962. i opeto u Engleskoj 1965. godine. Jugoslovenska ekipa učestvovala je prvi put na prvenstvu u Švedskoj kada su na opšte iznenađenje Milan Borišek, koji je leteo domaćom jedrilicom „Orao II", i Marks Arbajter, na „Vaji", uspeli da zauzmu drugo i treće mesto u ukupnom plasmanu čime su uvrstili našu zemlju u etilu svetskog jedriličarstva. Još veći uspeh postigli su jedriličari Zvonko Rajn i Božidar Komac kada su 1954. godine u Engleskoj, leteći jedrilicom „Košava", uspeli da osvoje prvenstvo sveta u klasi dvoseda. Godine 1956. Rajn i Stepanović su na svetskom prvenstvu u Francuskoj uspeli da osvoje drugo mesto u klasi dvoseda, a Aleksandar Saradić se sa „Meteorom" plasirao na četvrto mesto u kategoriji jednoseda. Saradićev uspeh ponovio je Komac na prvenstvu održanom u Poljskoj, osvojivši četvrto mesto u kategoriji jednoseda otvorene klase, dok je Vasilije Stepanović osvojio osmo mesto u standardnoj klasi, koja je tada prvi put uvedena na svetskim prvenstvima umesto klase dvoseda. Na prvenstvu u Nemačkoj 1960. godine naš takmičar Jože Mrak plasirao se pri dnu tabele, na prvenstvu u Argentini jugoslovenska ekipa nije učestvovala, a na poslednjem svetskom prvenstvu u Engleskoj 1965. godine Ciril Križnar je osvojio peto mesto u otvorenoj klasi, postigavši istovremeno najbolji rezultat u disciplini slobodan prelet, čime je delimično povratio visok ugled našeg jedriličarstva.

Još od prvih dana postojanja jedriličarstva kao sportske discipline, beleženi su visoki rezultati, koji su proglašavani za nacio-



Zvonimir Rain i Božidar Komac, prvaci sveta 1954. godine u klasi dvosedih jedrilica

nalne ili svetske rekorde. Međutim, tek kada je Međunarodna vazduhoplovna federacija (FAI), sa sedištem u Parizu, počela da vodi evidenciju jedriličarskih rekorda, uvedena je zvanična lista koja je u skladu sa razvojem jedriličarstva obogaćivana novim disciplinama. U najnovijoj listi rekorda vodi se deset disciplina za jednosede i dvosede jedrilice, posebno za muškarce i žene. Jugoslovenski jedriličari postavili su do sada četiri svetska rekorda za muškarce i jedan za žene, ali su svi oni u toku poslednjih godina oboreni od jedriličara drugih nacija.

Pored takmičenja i rekorda, jedriličari odmeravaju svoje sposobnosti i u borbi za osvajanje jedriličarskih značaka čije je uslove odredila FAI. Pored početničke „C" značke, prvo je uvedena srebrno „C", zatim zlatno „C" a kada je osvajanje i ove značke postalo dostupno većem broju jedriličara, uvedena je 1950. godine i zlatna značka sa tri dijamanta, koju je zbog težine izvesnih uslova do sada osvojilo svega 591 jedriličar u svetu. Jugoslovenski jedriličari su uspeli da do 1968. godine osvoje 589 srebrno „C", 76 zlatno „C" i samo 6 zlatnih „C" sa dijamantima, dok su 27 jedriličara ispunili po dva uslova i za kompletiranje im je potreban još samo prelet od 500 kilometara, koji se u našim vremenskim i terenskim uslovima relativno teško postiže. U poređenju sa drugim zemljama, članicama FAI-a, Jugoslavija se po broju osvojenih značaka različitog stepena nalazi između osmog i desetog mesta, što s obzirom na veličinu naše zemlje predstavlja značajan uspeh.

VAŽNIJI DATUMI U RAZVOJU VAZDUHOPLOVSTVA

XV. vek, *Leonardo da Vinči,* izvodi prva naučna zapažanja o letu ptica i izrađuje skice padobrana i helikoptera.

1595. godine *Fausto Vrančić* objavljuje crtež padobrana i objašnjava njegovu funkciju.

1628. godine Francuz *Lavin* izvodi prvi skok padobranom.

1783. 5. juna, poleteo je prvi balon braće *Mongolfije* u Anonaju, Francuska.

1783. 21. novembra, izvršen prvi let balonom; *Pilar de Rozije* i *markiz od Arlanda* leteli su u Parizu balonom punjenim toplim vazduhom.

1785. 7. januara, *Blanšard i Đefriz* izvršili su let balonom iz Engleske u Francusku preko kanala Lamanša.

1794. 2. juna, balon je prvi put upotrebljen u ratne svrhe kod Mobeža.

1891. godine *Oto Liliental* otpočinje eksperimente sa jedrilicama-klizačima.

1896. 9. avgusta, *Oto Liliental* je poginuo pri padu sa 15 metara visine.

1903. 17. decembra, *Braća Rajt* izvršila su prve letove u istoriji avijacije.

1904. 15. septmbra, *Orliv Rajt* je izveo prve zaokrete avionom.

1906. 13. septembra, Brazilijanac *Santos Dimon* prvi put je pred javnošću prikazao u Evropi let avionom.

1908. 13. januara, francuski pilot i konstruktor *Henri Farman* preleteo je bez sletanja jedan kilometar čime je postavio prvi svetski rekord daljine.

1909. 25. jula, *Luj Blerio* preleteo je kanal Lamanš od Kalea do Dovera.

1909. 25. novmbra, poleteo je u Gorici avionom „Eda-1" prvi jugoslovenski pilot *Edvard Rusjan.*

1911. 23. oktobra, izvađačkim letom italijanskog aviona u Tripolisu otpočela je upotreba avijacije u ratu.

1913. 27. avgusta, ruski pilot *Nestorov* izveo je prvi luping (petlju); samo tri dana docnije istu akrobaciju izveo je i Francuz Pegu.

1918. 15. maja uvedena je prva redovna linija potšanskog vazdušnog saobraćaja na relaciji Njujork—San Francisko.

1919. 5. februara, otpočeo je prevoz putnika avionima na liniji Berlin—Lajpcig—Vajmar.

1919. 8. februara, otvorena je prva međunarodna vazdušna linija između Pariza i Londona.

1919. 14. juna, engleski piloti *Akok* i *Braun* izvršili su prvi prelet Atlantika od Njufaudlenda do Irske.

1920. 20. kotobra, prvi put je avionom postignuta brzina veća od 300 km/h; rekord je postavio *Lekont* avionom Njepor-Delaž.

1926. 9. maja, *Berd* i *Benet* prvi su preleteli avionom Severni pol.

1927. 20—21. maja, *Čarls Lindberg* preleteo je od Njujorka do Pariza bez sletanja.

1929. 30. septmbra, *Fric Opel* izvršio je prvi let jedrilicom za koju je bio pričvršćen raketni motor sa čvrstim gorivom.

1934. 24. oktobra, italijanski pilot *Agelo* leteo je brže od 700 km/h hidroavionom Maki.

1937. 18—20. juna, sovjetski piloti *Čkalov, Bajdukov* i *Bjeljakov* izvršili su prvi prelet Evropa-Amerika preko Severnog pola.

1947. 17. oktobra, američki raketni avion „Bel X-1" kojim je pilotirao *Čarls Jeger* prvi je leteo brzinom većom od brzine zvuka.

1948. 28. februara — 2. mart, avionom „B-29" koji je snabdevan gorivom u vazduhu prvi put je obletena Zemljina kugla bez sletanja (37.000 km za 94 časa).

LITERATURA

1. *Viktor Bubanj:* **ČOVEK U PROSTORU**
„Naprijed", Zagreb 1960.

2. *Oto Bihalji-Merin:* **OSVAJANJE NEBA**
„Prosveta", Beograd 1949.

3. *Živorad Vukosavljević:* **KAKO SMO DOBILI KRILA**
Beograd, 1935.

4. *Fojhter:* **ISTORIJA VAZDUŠNOG RATA**
„Vojno delo", Beograd 1962.

5. *C. Bergius:* **CESTA PILOTA**
„Stvarnost", Zagreb 1962.

6. *Sava Mikić:* **ISTORIJA JUGOSLOVENSKOG VAZDUHOPLOVSTVA**
Beograd, 1933.

7. *Čedomir Janić:* **KRATKA ISTORIJA JUGOSLOVENSKOG VAZDUHOPLOVSTVA** Beograd 1957.

8. *Stanislav Škoberne:* **PADOBRAN KROZ VJEKOVE**
„Tehnička knjiga", Zagreb 1957.

9. *Boris Cijan:* **VAZDUHOPLOVNO JEDRILIČARSTVO**
„Tehnička knjiga", Beograd 1949.

10. *Dobrivoje Dumitrov:* **VAZDUHOPLOVSTVO U RATOVIMA**
Beograd, 1957.

II

TEORIJA LETENJA

Teorija letenja u širem smislu proučava kretanje raznih tela u vazdušnoj sredini i mehaničke veličine povezane sa tim kretanjem. Pod nazivom „mehaničke veličine" podrazumevaju se putanje tela, brzine, ubrzanja, sile koje deluju na tela i ostali pojmovi koje proučava mehanika.

Cilj ovog kursa je da prikaže teoriju letenja jedrilica, koja predstavlja deo opšte teorije letenja, a čije izučavanje, zajedno sa izučavanjem ostalih jedriličarskih disciplina kao što su meteorologija, tehnika jedrenja itd., omogućuje svrsishodno i bezbedno letenje.

Pored toga, obnovićemo neke osnovne pojmove iz mehanike i upoznaćemo se sa osobinama vazduha u mirovanju i strujanju, kao i nekim geometrijskim karakteristikama jedrilica, što je neophodno da bi se shvatila celokupna materija. U toku izlaganja imaćemo prilike da se uverimo da letenje ne predstavlja ništa izuzetno, i da za njega važe isti oni zakoni fizike koji važe i za sva ostala kretanja, a koji se dovoljno detaljno uče i u srednjoj školi.

Iz svega izloženog možemo zaključiti da teorija letenja jedrilice proučava kretanje jedrilice kroz vazduh i mehaničke veličine sa kojima je to kretanje povezano.

NEKE OSNOVNE MEHANIČKE VELIČINE I NJIHOVE JEDINICE

Podsetimo se nekih osnovnih pojmova iz mehanike koji će nam biti potrebni u daljem radu. Jedan od najvažnijih je, svakako, brzina.

Brzina je jednaka pređenom putu u jedinici vremena, i označavaćemo je slovom v.

Jedinice brzine koje ćemo koristiti su:

1 m/s (jedan metar u sekundi) i 1 km/h (jedan kilometar na čas).



Brzina jedrilice je jednaka pređenom putu u jedinici vremena i označava se slovom V.

Sledeća veličina je **ubrzanje.**

Ubrzanje predstavlja promenu brzine u jedinici vremena i označavaćemo ga slovom a.

Jedinica ubrzanja je 1 m/s^2 (jedan metar u sekundi za sekundu).

Razmotrimo sada neke složenije veličine. Poznato je da se telo koje **miruje** ili se pravolinijski **kreće** nekom određenom brzinom protivi promeni toga stanja. Na primer, kada se nađemo u vozilu koje ubrzava ili koči, primetićemo da teško zadržavamo naše telo jer teži da produži kretanje istom brzinom. Ova težnja tela da nastavi mirovanje ili pravolinijsko kretanje istom brzinom zove se **sila inercije** i, kao što smo videli, javlja se pri svakoj promeni brzine tela.

Eksperimentalno je utvrđeno da je ova sila upravno srazmerna ubrzanju i da je uperena u suprotnom smeru od ubrzanja.

Posmatrajmo sada dva tela izložena istom ubrzanju. Ako se kod njih pojave različite sile inercije, kazaćemo da imaju različite mase, i da su sile inercije upravno srazmerne masama tela.

Pošto su sile inercije upravno srazmerne masama i ubrzanjima a suprotnog su smera od ubrzanja, možemo da ih prikažemo u obliku proizvoda m (−a), gde je slovom m označena masa tela. Da bi mase različitih tela mogli da upoređujemo, treba da uvedemo jedinicu mase. Za jedinicu mase usvojena je masa jednog kubnog decimetra (jednog litra) vode na temperaturi od 4 stepena Celzijusa i označava se sa 1 kg (jedan kilogram).

Iz iskustva je poznato da je ubrzanje nekog tela moguće ostvariti samo ako na njega deluje neka sila koja je suprotnog smera a iste veličine kao i sila inercije koja se pri tom ubrzanju javlja (na primer, ako želimo da pokrenemo neko vozilo, treba primeniti vučnu silu motora). Ovo se može napisati jednostavnom jednačinom:

$$F = ma, \qquad (1)$$

gde je F oznaka za silu.

Pošto silu možemo da prikažemo kao proizvod mase i ubrzanja, i jedinica sile predstavlja proizvod ovih dveju jedinica:

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \frac{\mathrm{kg\ m}}{\mathrm{s}^2}.$$

Prema tome, jedinica sile je 1 N (jedan njutn), a nazvana je tako prema čuvenom engleskom naučniku Isaku Njutnu koji je prvi objasnio veze između sile, mase i ubrzanja, koje smo već spomenuli.

U praksi se češće koristi jedna druga jedinica, koja se naziva **kilogram sile** i obeležava sa kG. Ova jedinica predstavlja silu koja masi od jednog kilograma daje ubrzanje zemljine teže. Ubrzanje zemljine teže, koje se ogleda u težnji slobodnih tela da se kreću u smeru središta zemlje (da padaju), označava se slovom g i isto je za sva tela na istoj tački zemljine površine. Ono se neznatno menja sa geografskom širinom, i u našim krajevima iznosi oko 9,81 m/s². Prema tome:

$$1\ \mathrm{kG} = 9{,}81\ \frac{\mathrm{kgm}}{\mathrm{s}^2} = 9{,}81\ \mathrm{N}.$$

Dakle, kilogram sile je jedinica sile približno deset puta veća od njutna.

Sledeći pojam sa kojim ćemo se često sretati jeste **gustina.** Gustina predstavlja masu jedinice zapremine nekog tela. Označava se slovom ρ. Jedinica gustine je 1 kg/m³ (jedan kilogram po metru kubnom).

Zaključak. — *Brzina je pređeni put u jedinici vremena. Ubrzanje je promena brzine u jedinici vremena. Masa je osobina tela koja pokazuje koliko se telo protivi promeni brzine. Sila je uzrok promene brzine tela i jednaka je proizvodu mase i ubrzanja.*

Gustina je masa jedinice zapremine nekog tela.

OSNOVNI POJMOVI O PRITISKU I STRUJANJU VAZDUHA

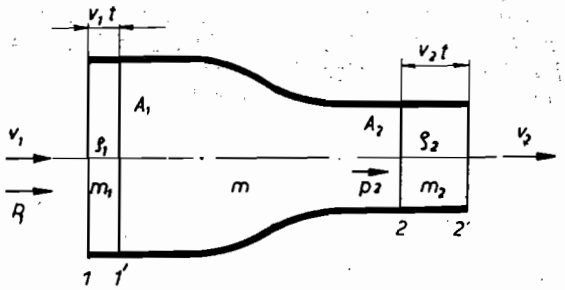
Videli smo da je ubzanje zemljine teže isto za sva tela. Ovo se odnosi i na čestice vazduha. Pošto je kretanje prizemnih čestica vazduha ograničeno zemljinom površinom, to one na ovu površinu deluje određenim silama, kao i sva druga tela koja se nalaze na površini zemlje. Čestice koje se nalaze iznad njih, takođe, deluju svojim silama na ovaj prizemni sloj, i tako redom do kraja atmosfere.

Kao posledica sabiranja ovih sila, sile kojima vazdušna sredina deluje na zemljinu površinu su znatne. Da bismo mogli da upoređujemo ovakve sile koje deluju na određenu površinu, uvešćemo pojam pritiska. **Pritisak** je sila koja deluje na jedinicu površine i može da se izrazi upr. jedinicom 1 N/m² (jedan njutn po metru kvadratnom) ili 1 kG/m² (jedan kilogram sile po metru kvadratnom). Pritisak se obeležava slovom p. Ovde treba imati na umu još jednu osobinu koju ima vazduh, kao i ostali gasovi i tečnosti. Naime, pritisak vazduha u nekoj tački isti je u svim smerovima. Na primer, ako ronimo u vodi, pritisak na naše lice se ne menja bez obzira da li to činimo u normalnom položaju ili na leđima.

Do sada smo posmatrali mirovanje vazduha. Da vidimo šta se dešava kada se vazdušna sredina ili neki njen delić kreće. Za vazduh, kao i za sva ostala tela, važe osnovni fizički zakoni, pa i zakon o očuvanju mase. Ako posmatramo neki delić vazdušne sredine

koji se kreće, možemo reći da njegova masa za vreme toga kretanja ostaje nepromenjena. Analizirajmo sada kretanje vazduha kroz cev promenljivog preseka (sl. 1).

Izdvojimo određenu masu vazduha m između preseka 1 i 2. Pošto se vazduh kreće kroz cev, za neko vreme t presek 1 pomeriće se u položaj 1′, a presek 2 u položaj 2′. Po zakonu o očuvanju mase, sada se posmatrana masa m nepromenjena nalazi između preseka 1′ i 2′.



Slika 1

Prema tome, priraštaj mase između preseka 2 i 2′ jednak je gubitku između preseka 1 i 1′, odnosno $m_1 = m_2$. Ako masu izrazimo pomoću gustine i zapremine, dobićemo da je:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2, \qquad (2)$$

gde su: A_1 i A_2 površine poprečnih preseka 1 i 2,

ρ_1, ρ_2, v_1 i v_2 odgovarajuće gustine i brzine.

Prema ovoj jednačini, kroz svaki presek cevi u jedinici vremena protekne ista masa, i zove se **jednačina protoka mase.**

Pri brzinama koje mi proučavamo, a koje su znatno manje od brzine zvuka, može se smatrati da je vazduh nestišljiv, što znači da mu se gustina ne menja od preseka do preseka cevi. Sada jednačinu (2) možemo da napišemo u obliku:

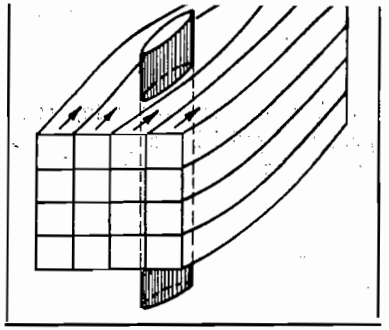
$$A_1 v_1 = A_2 v_2. \qquad (3)$$

Prema ovoj jednačini kroz svaki presek cevi u jedinici vremena protekne ista zapremina vazduha, i zove se **jednačina protoka zapremine.** Jednačinu (3) možemo da napišemo u obliku:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}, \qquad (4)$$

što znači da je brzina kretanja vazduha obrnuto srazmerna preseku cevi.

Slika 2



Sve ovo što smo izveli za strujanje kroz jednu stvarnu cev, važiće u potpunosti i za strujanje u slobodnoj vazdušnoj sredini ako zamislimo da je vazdušna masa koja se ustaljeno kreće prividno izdeljena na niz cevi postavljenih u pravcu kretanja. Ove zamišljene cevi u vazdušnoj masi koja se kreće zovu se **strujnice.** Jedan mogući način podele vazdušne struje na strujnice prikazan je na slici 2.

Zaključak. — *Pritisak vazduha je sila po jedinici površine kojom vazdušna sredina deluje na sva tela koja se u njoj nalaze. Brzina kretanja vazduha obrnuto je srazmerna preseku strujne cevi.*

BERNULIJEV ZAKON

Kao što smo pri izvođenju jednačine protoka pošli od osnovnog fizičkog zakona o održanju mase, tako ćemo ovde poći od zakona o održanju energije. Po zakonu o održanju energije zbir potencijalne i kinetičke energije ostaje nepromenjen pri kretanju. Ako posmatramo sliku 1, videćemo da smo pri pomeranju izgubili deo mase između preseka 1 i 1′ a dobili deo između preseka 2 i 2′. Prema tome, promena kinetičke energije pri pomeranju mase m iz položaja 1, 2 u položaj 1′, 2′ biće jednaka razlici kinetičkih energija ovih delova:

$$\frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{2}.$$

Ovde smo se poslužili poznatim stavom iz mehanike da je kinetička energija jednaka proizvodu mase i kvadrata brzine podeljenom sa dva.

Priraštaj potencijalne energije koji smo pri ovom pomeranju dobili jednak je radu koji bi izvršile spoljne sile pri vraćanju mase u prvobitni položaj. Poznato je da je rad jednak proizvodu

sile i puta. Spoljne sile, koje su u našem problemu od značaja, jesu sile pritiska u presecima 1 i 2. Prema tome, priraštaj potencijalne energije jednak je:

$$p_2 A_2 v_2 t - p_1 A_1 v_1 t .$$

Sada se uslov da ukupna promena kinetičke i potencijalne energije bude jednaka nuli može napisati u obliku jednakosti:

$$p_1 A_1 v_1 t + \frac{m_1 v_1^2}{2} = p_2 A_2 v_2 t + \frac{m_2 v_2^2}{2} .$$

Ovde je međutim

$$m_1 = m_2 = \rho A_1 v_1 t = \rho A_2 v_2 t.$$

Zamenom u gornjoj jednačini i skraćivanjem dobija se Bernulijev zakon:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} . \qquad (5)$$

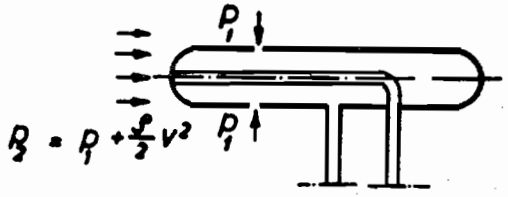
prema kome je zbir statičkog pritiska p i dinamičkog pritiska $\rho v^2/2$ jednak u svakom preseku strujnice.

PRIMENA BERNULIJEVOG ZAKONA

Ovaj zakon, koji važi za strujanje uopšte, može vrlo korisno i direktno da se primeni za neke praktične svrhe, od kojih je verovatno najvažnije merenje brzine.

Za merenje brzine koristi se pito-cev i venturi-truba.

Pito-cev je uređaj prikazan na slici 3.



Slika 3

Neka su p_1 i v_1 pritisak i brzina vazduha u slobodnoj struji, a p_2 i v_2 na ustima cevi. Pošto na ustima cevi dolazi do zaustavljanja vazdušne struje, biće

$$v_2 = 0, \text{ a } p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 .$$

Prema tome, brzina vazduha u slobodnoj struji biće:

$$v_1 = \sqrt{2 \frac{p_2 - p_1}{\rho}} .$$

Dakle, iz ove formule možemo lako da izračunamo brzinu vaznušne struje ako se pritisci p_1 i p_2 izmere bilo kojim manometrom. Avionski instrumenti tako su podešeni da mere razliku ovih pritisaka a na skali im se direktno očitava brzina.

Za merenje brzine može da posluži i venturi-truba čiji je presek prikazan na slici 4.

Venturi-truba je konstruisana u obliku cevi koja se sužava. Prilikom primene venturi-trube, pritisak p_1 može da se uzima na sličan način kao i za pito-cevi, ali može i sa bilo kog drugog mesta gde vlada čist atmosferski pritisak. Ovo važi i za pito-cev. Na primer, kod jedrilica se ovaj pritisak često uzima iz kabine.

Ako preuredimo malo Bernulijevu jednačinu (5), možemo da napišemo da je:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho v_1^2}{2} \left(\frac{v_2^2}{v_1^2} - 1 \right).$$

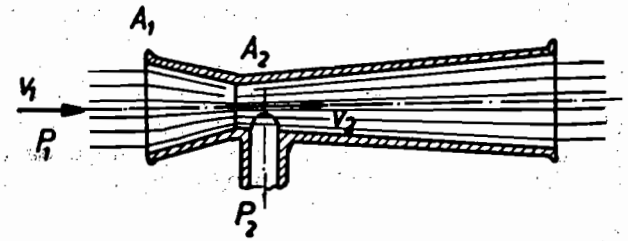
Ako ovde zamenimo jednačinu protoka u obliku (4), dobićemo da je:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho v_1^2}{2} \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]. \qquad (6)$$

Brzinu sada možemo da odredimo iz obrasca:

$$v_1 = \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{\rho}} \; \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}} .$$

u kojem osim p_1 i p_2 figurišu A_1 i A_2, površine preseka venturi-trube na ulazu i u najužem preseku, u kome se meri pritisak p_2.



Slika 4

Iz jednačine (6) možemo da zaključimo da je p_2 manje od p_1 i da njihova razlika zavisi od kvadrata brzine i kvadrata odnosa preseka. Odatle je očigledno da je pomoću venturi-trube moguće ostvariti znatne potpritiske, koji se koriste za pogon raznih instrumenata koji rade na principu žiroskopa. Pored toga, minijaturne venturi-trube koriste se umesto primača statičkog pritiska za tzv. „variometre totalne energije".

MEĐUNARODNA STANDARDNA ATMOSFERA (MSA)

Veličine koje smo do sada upoznali — pritisak, gustina, a takođe i temperatura, znatno se menjaju sa visinom. Opšta im je karakteristika da sa visinom naglo opadaju. Tako, na primer, na visini od 10 kilometara gustina opada na trećinu vrednosti koju je imala pri zemlji, a pritisak skoro na četvrtinu.

Temperatura se pri tome smanjuje za oko 65°C. Sa druge strane, videli smo da brzina koju nam pokazuje brzinomer zavisi, na osnovu Bernulijevog zakona, od pritiska i gustine vazduha. Saznaćemo kasnije i da ostale osobine jedrilica, kao i ostalih vazduhoplova, u velikoj meri zavise od navedenih veličina. Pored promene sa visinom, pritisak, gustina i temperatura vazduha znatno zavise i od geografskog položaja mesta, doba godine i vremena u meteorološkom smislu, što je dovelo do neophodne potrebe da se usvoje neke srednje vrednosti promene ovih veličina koje bi se koristile pri proračunima i ispitivanjima vazduhoplova i njihovom upoređivanju.

Zamišljeni model atmosfere u kome se promene pritiska, gustine i temperature po visini vrše po određenim zakonima, dok na površini mora ove veličine imaju određenu vrednost, zove se **Međunarodna standardna atmosfera** ili skraćeno **MSA.**

Proračuni i ispitivanja jedrilica mahom se svode na uslove koji po MSA vladaju na nivou morske površine. Ovi uslove su sledeći: temperatura $t_0 = 15°C$, pritisak $p_0 = 10330$ kG/m² i gustina vazduha $\rho_0 = 1{,}225$ kg/m³.

Promena temperature sa visinom je ravnomerna — po 6,5°C na 1 km do visine 11 km, iznad koje temperatura ostaje konstantna do visina koje uopšte mogu da interesuju jedriličare.

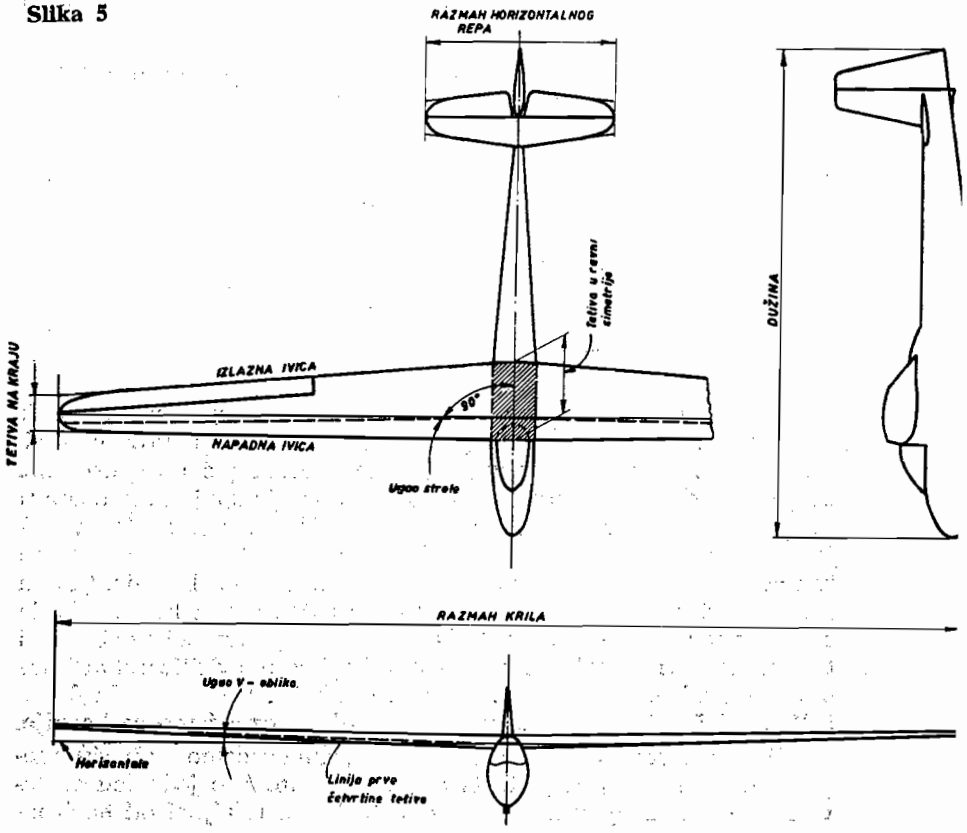
Pritisak i gustina menjaju se po nešto složenijim zakonima, ali ni ovde neravnomernost nije velika za dijapazon visina u kome jedrilice uopšte lete. Kao orijentacija mogu da nam posluže podaci koji su dati u početku ovog odeljka.

Zaključak. — *Međunarodna standardna atmosfera je zamišljeni model atmosfere u kome na nivou površine mora pritisak, gustina i temperatura vazduha imaju određenu vrednost, a sa visinom se menjaju po određenim zakonima.*

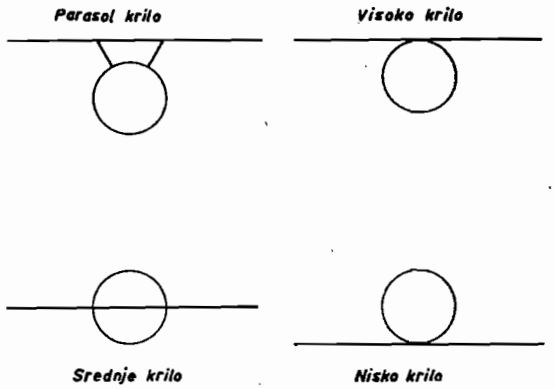
GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE JEDRILICA

Osnovne geometrijske karakteristike jedrilica prikazane su na slici 5, i uglavnom su jasne iz same slike.

Slika 5

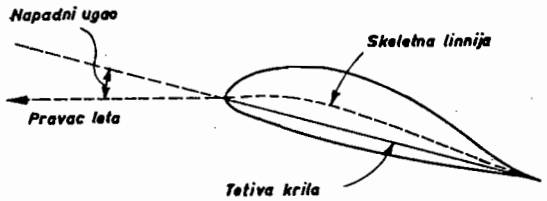


Mogući položaji krila u odnosu na trup šematski su prikazani na slici 6.



Slika 6

Tetiva krila u nekom poprečnom preseku je najduža tetiva tog preseka. Ona je prikazana na slici 7.



Slika 7

Poprečni presek krila koji je prikazan na ovoj slici ima oblik aeroprofila. Oblik aeroprofila prilagođen je kretanju kroz vazdušnu sredinu. Sem tetive, aeroprofil karakterišu još neke osobine. To je, na primer, skeletna linija, koja se dobija spajanjem centara krugova upisanih unutar konture aeroprofila. Ako se skeletna linija poklapa sa tetivom, kažemo da je aeroprofil simetričan. Ugao između pravca leta i tetive zove se napadni ugao. Pod debljinom aeroprofila podrazumeva se prečnik najvećeg kruga koji može da se upiše u aeroprofilu, a relativna debljina je količnik debljine i tetive. Relativna debljina aeroprofila koji se u jedriličarstvu koriste za krila i repne površine varira u širokim granicama od 0,09 do 0,21. Sa još nekim osobinama aeroprofila upoznaćemo se kasnije.

Pod nazivom **površina krila** podrazumevaćemo najveću moguću površinu projekcije krila na neku ravan. Ako jedrilicu postavimo tako da krajevi krila budu podjednako udaljeni od horizontalne ravni, a tetiva u ravni simetrije bude paralelna ovoj, površina krila će biti projekcija krila na horizontalnu ravan. U ovu površinu uračunava se i deo površine krila koji je pokriven trupom, a prikazan je šrafirano na slici 5. Površinu krila obeležavamo slovom S.

Srednja tetiva krila je odnos površine i razmaha krila:

$$l_m = \frac{S}{b}. \tag{7}$$

Ovde je slovom b označen razmah krila.

Vitkost krila je odnos razmaha i srednje tetive:

$$\lambda = \frac{b}{l_m}.$$

Ako ovde zamenimo l_m iz (7), dobićemo izraz:

$$\lambda = \frac{b^2}{S}, \tag{8}$$

u kome se vitkost izračunava direktno iz razmaha i površine.

Za horizontalni i vertikalni rep ove veličine određuju se na sličan način.

Zaključak. — *Osnovne geometrijske karakteristike jedrilica prikazane su na slici 5. Pored očiglednih iz slike, najvažnije karakteristike su površina i vitkost krila.*

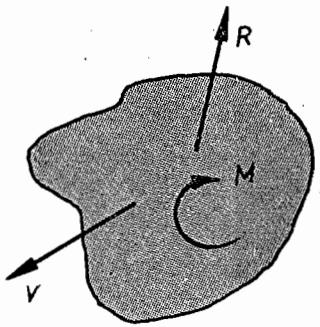
AERODINAMIČKA SILA I MOMENT

Zamislimo neko proizvoljno telo koje se na bilo koji način kreće kroz vazduh nekom brzinom v.

Iz iskustva je poznato da se vazduh suprotstavlja takvom kretanju. Sve sile kojima vazduh deluje na telo mogu da se prikažu u obliku rezultujuće aerodinamičke sile R i rezultujućeg aerodinamičkog momenta M.

Pokazalo se da je aerodinamička sila upravno srazmerna dinamičkom pritisku $\rho v^2/2$ i nekoj uslovno usvojenoj površini S, koja, na primer, može da bude površina nekog preseka tela ili njegova projekcija na neku ravan.

Aerodinamička sila zavisi, takođe, od niza drugih veličina — na primer, oblika tela, ugla prema vazdušnoj struji, glatkoće nje-



Slika 8

gove površine itd. Ove uticaje teško je teorijski izračunati pa se određuju ispitivanjem i prikazuju u obliku tablica ili dijagrama tzv. koeficijenata.

Prema tome, aerodinamička sila može da se prikaže izrazom:

$$R = c_r \frac{\rho v^2}{2} S \qquad [N] \qquad (9)$$

Ako je ovde gustina data u kg/m³, brzina v u m/s a površina u m², rezultujuća aerodinamička sila dobiće se izražena u N (njutnima). Ako želimo da je dobijemo u kilogramima sile, treba ceo iznos da podelimo sa 9,81.

Ako uz to želimo da ovu vrednost izračunamo za standardne uslove na nivou mora, onda je:

$$R = c_r \frac{1{,}225\, v^2}{9{,}81 \cdot 2} S = \frac{1}{16} c_r v^2 S \quad [kG]. \qquad (9')$$

Slično se moment prikazuje izrazom:

$$M = c_m \frac{\rho v^2}{2} S l \qquad [N \cdot m], \qquad (10)$$

odnosno:

$$M = \frac{1}{16} c_m v^2 S l \qquad [kG \cdot m]. \qquad (10')$$

Ovde je l neka uslovno usvojena dužina, koja može, na primer, da bude najveća dimenzija nekog tela (tetiva aeroprofila, dužina trupa itd.). Pri proučavanju leta vazduhoplova, aerodinamička sila deli se na dva dela — uzgon i otpor. Pod uzgonom se podrazumeva komponenta vazdušne sile upravna na pravac vazdušne struje a pod otporom sila koja leži u pravcu vazdušne struje (sl. 16).

Sila uzgona data je izrazom:

$$R_z = c_z \frac{\rho v^2}{2} S \qquad [N], \qquad (11)$$

a sila otpora:

$$R_x = c_x \frac{\rho v^2}{2} S \qquad [N]. \qquad (12)$$

Na površini mora i u kilogramima sile biće:

$$R_z = \frac{1}{16} c_z v^2 S \qquad [kG]. \qquad (11')$$

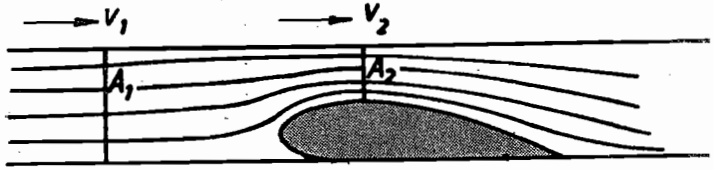
$$R_x = \frac{1}{16} c_x v^2 S \qquad [kG]. \qquad (12')$$

Zaključak. — *Sve sile kojima vazdušna sredina deluje na telo koje se u njoj kreće mogu da se prikažu pomoću aerodinamičke sile R i momenta M. Aerodinamička sila može da se rastavi na uzgon, koji je normalan na pravac leta, i otpor koji pada u pravac leta, ali je suprotnog smera.*

POJAVA UZGONA

Na slici 4 upoznali smo se sa aeroprofilom kao poprečnim presekom krila. Uopšte uzevši, poprečni preseci svih površina koje se koriste u vazduhoplovstvu (krila, horizontalni i vertikalni rep, krakovi elise, rotori helikoptera) imaju oblik aeroprofila. Zajednička osobina aeroprofila je da primenjeni pri konstruisanju odgovarajućih delova vazduhoplova daju ovima izvanredno mali otpor, zahvaljujući činjenici da ih strujnice obilaze uz najmanje moguće skretanje i vrtloženje.

Posmatrajmo sada uticaj aeroprofila na pojavu uzgona. Na slici 9 prikazan je aeroprofil postavljen pod izvesnim uglom u odnosu na struju vazduha.



Slika 9

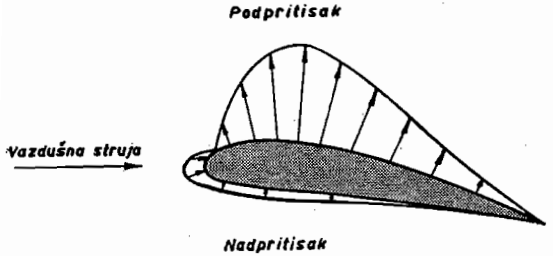
Ako ovaj aeroprofil posmatramo kao poprečni presek krila određenog razmaha, jasno je da će on izazvati izvesne poremećaje u slobodnoj struji vazduha. Izdvojimo ovaj poremećeni deo struje i posmatrajmo ga izolovano. Vidi se da aeroprofil prouzrokuje sužavanje struje vazduha, efekat koji smo imali kod venturi-trube. Prema tome, za ovo strujanje važiće jednačina izvedena za venturi-trubu:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho v_1^2}{2}\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right].$$

Pošto je površina A_1 veća od A_2, pritisak u tački 2 je manji od pritiska u slobodnoj struji. Razlika u pritiscima između slobodne struje i površine aeroprofila menja se od tačke do tačke. Međutim, konačan rezultat je pojava uzgona na krilu.

Sa druge strane, ovo izaziva skretanje vazdušne struje na izlaznoj ivici krila. Maksimalno skretanje struje pojavljuje se znatno iza krila, jer zbog inercijalnih sila vazduh ne može trenutno da promeni pravac kretanja.

Raspored pritisaka po obodu aeroprofila prikazan je na sl. 10.



Slika 10

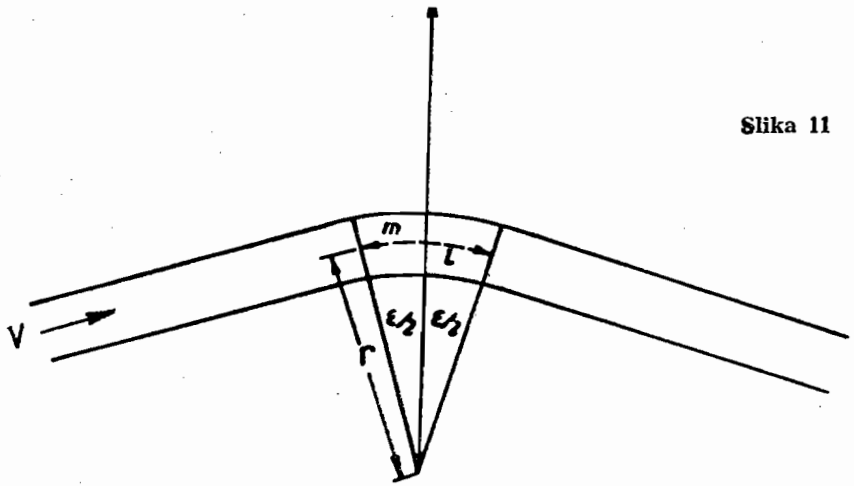
Zaključak. — *Pojava uzgona posledica je razlike između pritiska na aeroprofilu i pritiska u slobodnoj struji vazduha.*

OTPOR PROUZROKOVAN UZGONOM (INDUKOVANI OTPOR)

Videli smo da prilikom strujanja vazduha oko aeroprofila, kada se javlja uzgon zbog razlike pritisaka, dolazi do skretanja vazdušne struje. Takođe, zbog dejstva inercijalnih sila ovo skretanje ne može da se izvrši u tački, već sa određenim poluprečnikom r. Ovo je prikazano na slici 11.

Prema tome, postojaće neka masa vazduha m koja se kreće po luku L poluprečnika r. Poznato je, međutim, iz mehanike da se pri takvom kretanju javlja centrifugalna sila koju ćemo označiti sa R_1 a koja može da se izračuna iz obrasca:

$$R_1 = \frac{m v^2}{r}.$$



Slika 11

Ova centrifugalna sila je, u stvari, aerodinamička sila kojom masa vazduha koja skreće deluje na krilo koje je to skretanje i prouzrokovalo. Pošto ova sila deluje u pravcu poluprečnika a kroz središte mase koja skreće, očigledno je da će imati jednu komponentu u pravcu strujanja — otpor, pored vertikalne komponente — uzgona.

Pošto ovaj otpor nastaje pri stvaranju uzgona, zvaćemo ga otpor prouzrokovan ili „indukovan" uzgonom, ili prosto indukovani otpor.

Na osnovu svega dosad izloženog, možemo i da izračunamo indukovani otpor. Označimo površinu preseka vazdušne struje sa A, pa će masa vazduha biti:

$$m = \rho A L.$$

Poluprečnik krivine vazdušne struje je kao što znamo iz geometrije:

$$r = L/\varepsilon,$$

gde je ugao skretanja ε dat u radijanima.

Sada možemo da napišemo da je:

$$R_1 = \rho v^2 A \varepsilon.$$

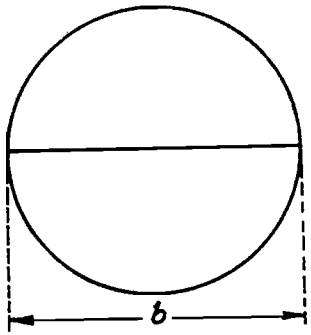
Zamislimo da je vazdušna struja koju posmatramo kružnog preseka i da je njen poluprečnik jednak razmahu krila (sl. 12).

Tada je:

$$A = \frac{\pi b^2}{4},$$

odakle sledi da je:

$$R_1 = \rho v^2 \frac{\pi b^2}{4} \varepsilon.$$



Slika 12

Videli smo da je ugao između uzgona i sile R_1 jednak $\varepsilon/2$ (sl. 11). Pošto je ovo vrlo mali ugao, možemo smatrati da je uzgon približno jednak sili R_1, pa je:

$$R_z = \rho v^2 \frac{\pi b^2}{4} \varepsilon .$$

Međutim, videli smo da uzgon može da se izrazi pomoću koeficijenta

$$R_z = c_z \frac{\rho v^2}{2} S . \qquad (11)$$

Ako uporedimo ove dve jednačine, videćemo da je ugao skretanja vazdušne struje:

$$\varepsilon = \frac{2 c_z}{\pi \lambda} . \qquad (13)$$

gde je λ vitkost krila određena izrazom (8).

Iz slike 11 možemo, takođe, zaključiti da je indukovani otpor:

$$R_{xi} = R_z \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} .$$

Pošto je $\varepsilon/2$ mali ugao, biće:

$$R_{xi} = R_z \frac{\varepsilon}{2} .$$

Ako ovu jednačinu izrazimo koeficijentima i zamenimo vrednost ugla skretanja iz (13), dobićemo:

$$c_{xi} \frac{\rho v^2}{2} S = c_z \frac{\rho v^2}{2} S \frac{c_z}{\pi \lambda} ,$$

odakle je očigledno:

$$c_{xi} = \frac{c_z^2}{\pi \lambda} . \qquad (14)$$

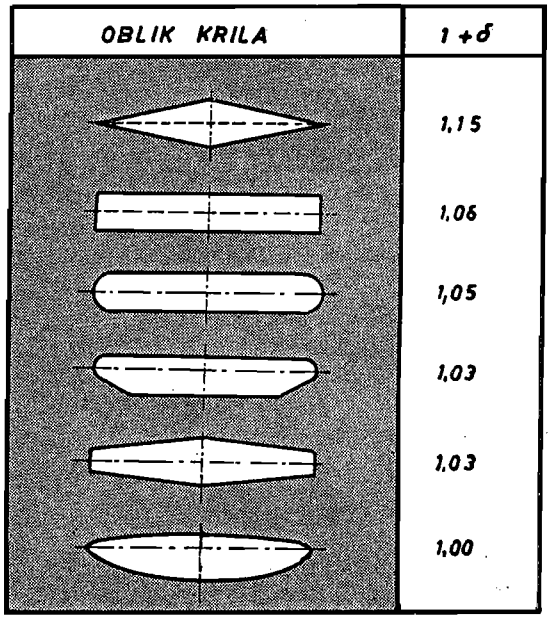
Ova jednačina izvedena je uz pretpostavku da je skretanje vazdušne struje podjednako u celoj strujnoj cevi. Dublja teorijska istraživanja i eksperimentalna ispitivanja pokazala su da je ovo tačno samo za krila eliptičnog oblika. Kod krila ostalih oblika postoje određena odstupanja, koja zavise od oblika krila, njegove vitkosti

i suženja. Pod suženjem podrazumevamo odnos tetiva na kraju krila i u ravni simetrije. Zbog toga se pri izračunavanju koeficijenta indukovanog otpora uvodi popravka i on može, uopšte uzevši, da se napiše u obliku:

$$c_{xi} = (1+\delta) \frac{c_z^2}{\pi \lambda} . \qquad (15)$$

Srednje vrednosti ove popravke za krila različitih oblika prikazane su u tabeli na slici 13.

Iz jednačine (15), takođe može da se zaključi da će koeficijent indukovanog otpora biti utoliko manji ukoliko je vitkost krila veća. Onda je razumljivo što konstruktori jedrilica teže da što je moguće više povećaju vitkost krila.



Slika 13

Zaključak. — *Pojava indukovanog otpora posledica je skretanja struje vazduha, koje nastaje prilikom pojave uzgona na krilu. Indukovani otpor upravno je srazmeran kvadratu koeficijenta uzgona, a obrnuto srazmeran vitkosti krila. Sem toga, on zavisi i od oblika krila.*

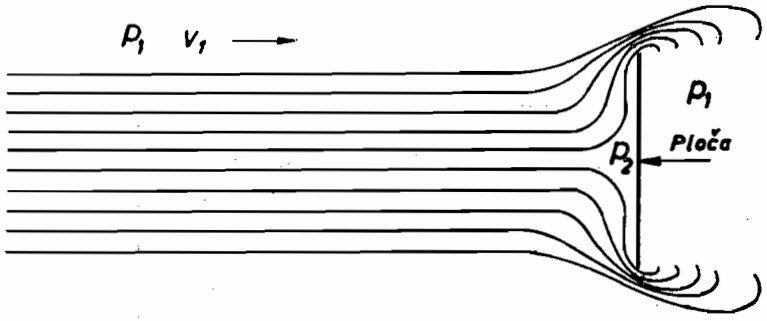
OTPOR OBLIKA

Posmatrajmo ravnu ploču postavljenu normalno na pravac vazdušne struje (sl. 14).

U slobodnoj struji vlada pritisak p_1 i brzina v_1. Kad vazdušna struja naiđe na ploču, brzina pada na nulu, dok pritisak možemo da izračunamo iz Bernulijeve jednačine:

$$p_2 = p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2}.$$

Pri malim brzinama vazduha, pritisak pozadi ploče biće približno



Slika 14

jednak pritisku u slobodnoj struji, pa na ploču deluje razlika pritisaka:

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho v_1^2}{2},$$

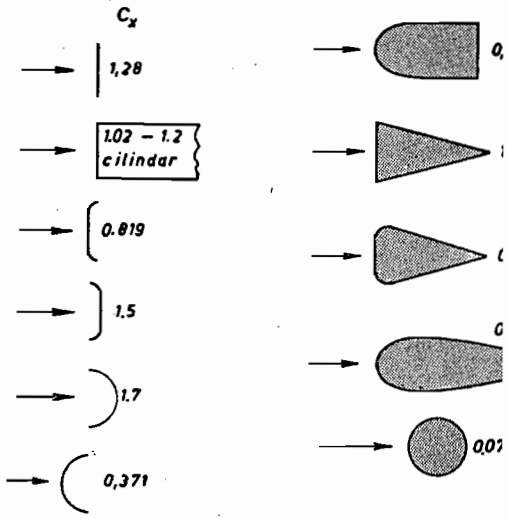
koja pomnožena sa površinom ploče daje silu otpora:

$$R_x = \frac{\rho v_1^2}{2} S. \qquad (16)$$

Videli smo, međutim, da izraz za otpor bilo kojeg tela može da se prikaže u obliku:

$$R_x = c_x \frac{\rho v^2}{2} S. \qquad (12)$$

Pošto je ovde $v = v_1$ brzina slobodne struje vazduha, upoređenjem jednačina (12) i (16) dobijamo da je koeficijent otpora ravne ploče jednak jedinici $c_x = 1$. Ispitivanja su, međutim, pokazala da je ovaj koeficijent nešto veći i da iznosi: $c_x = 1{,}28$. Ovo se objašnjava time što pritisak iza ploče nije jednak pritisku u slobodnoj struji, već je nešto niži. Međutim, ova analiza otpora ravne ploče daje nam ideju kako da smanjimo otpor nekog tela datog proseka. Očigledno je da je prednji deo tela potrebno oblikovati tako da svede na najmanju moguću meru zaustavljanje vazdušne struje, a zadnji tako da smanji pad pritiska.



Slika 15

Na slici 15 prikazani su rezultati merenja koeficijenata otpora različito oblikovanih tela.

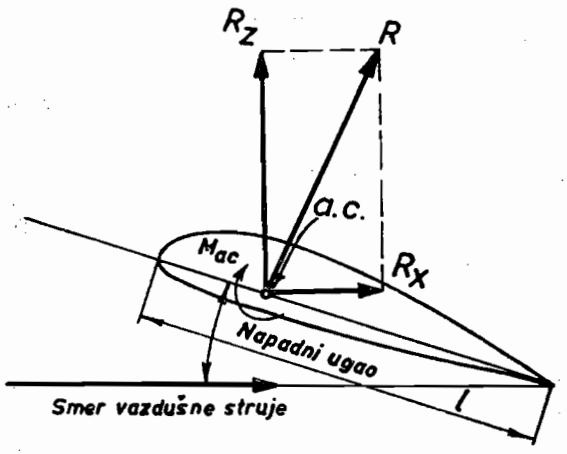
Iz slike je očigledno da telo u obliku kapi ima najmanji koeficijent i prirodno je da se taj oblik podražava pri projektovanju vazduhoplova. Oblik obrnute šuplje polukugle ima najveći koeficijent otpora i prirodno je što je našao svoje mesto u konstrukciji padobrana.

Zaključak. — *Otpor oblika nekog tela posledica je kočenja vazdušne struje koje izaziva prisustvo toga tela. Kao što mu i naziv kaže, ovaj otpor zavisi od oblika tela. Najmanji je kod koljastog tela, a najveći za kalotu (padobran).*

AERODINAMIČKI MOMENT

Teorijska i eksperimentalna istraživanja su pokazala da se prilikom primene uobičajenih aeroprofila na krilu, pored aerodinamičke sile R, pojavljuje i neki moment M_{ac}, koji je nezavisan od sile R. Ako to imamo u vidu, onda sve sile pritiska koje deluju na aeroprofil uvek možemo da zamenimo jednom aerodinamičkom silom R, koja može da se menja po veličini ali uvek prolazi kroz jednu stalnu tačku, i jednim momentom M_{ac}, koji ostaje nepromenjen pri promeni napadnog ugla aeroprofila, koja inače menja silu R. Pokazalo se da ovo važi samo za male napadne uglove. Međutim, to ne predstavlja neko naročito ograničenje jer se, kao što ćemo kasnije videti, normalno letenje i obavlja sa malim napadnim uglovima.

Stalna tačka kroz koju prolazi aerodinamička sila zove se aerodinamički centar aeroprofila, i on se nalazi na rastojanju od približno jedne četvrtine tetive iza napadne ivice aroprofila (sl. 16).



Slika 16

Stalni moment M_{ac} naziva se moment za aerodinamički centar. Ovaj naziv je dobio zato što ako tražimo moment za bilo koju drugu tačku, moramo stalnom momentu M_{ac} da dodajemo moment usled aerodinamičke sile, koji je jednak proizvodu sile R i kraka od date tačke do aerodinamičkog centra. Na primer, moment za napadnu ivicu biće približno jednak:

$$M = M_{ac} - 0{,}25\, l\, R_z . \qquad (17)$$

Kao i ostale aerodinamičke veličine, tako i moment za aerodinamički centar možemo da prikažemo pomoću odgovarajućeg koeficijenta:

$$M_{ac} = c_{mac} \frac{\rho v^2}{2} S l . \qquad (18)$$

Za uobičajene aeroprofile smer M_{ac} je suprotan onome koji je prikazan na slici 16, pa će i koeficijent c_{mac} biti negativan. Drugim rečima, M_{ac} obrće krilo u smislu obrušavanja.

Za simetrične aeroprofile je $c_{mac}=0$.

Zaključak. — *Sve sile kojima vazdušna struja deluje na krilo mogu da se svedu na aerodinamičku silu R, koja prolazi kroz aerodinamički centar aeroprofila, i na moment za aerodinamički centar M_{ac}, koji je nezavisan od aerodinamičke sile.*

PROMENA KOEFICIJENATA SA NAPADNIM UGLOM

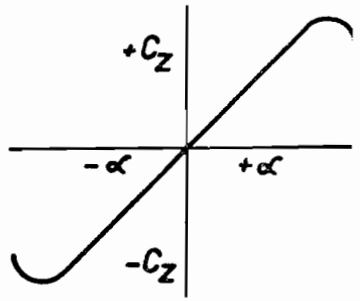
Približne vrednosti koeficijenata uzgona, otpora i momenata mogu da se odrede teorijskim putem. Međutim, ako želimo tačnije vrednosti, neophodno je da se izvrše odgovarajuća ispitivanja. Ova ispitivanja vrše se na naročitim modelima krila i drugih aerodinamičkih objekata, kao i modelima celih letelica, pa ponekad i na stvarnim konstrukcijama u tzv. aerotunelima.

U aerotunelima se uz pomoć snažnih ventilatora ostvaruje i reguliše brzina vazdušne struje potrebna za takva ispitivanja.

Ova ispitivanja vrše se pri različitim napadnim uglovima a rezultati se unose u dijagrame. Tako je npr. na slici 17 prikazana promena koeficijenta uzgona simetričnog aeroprofila (sl. 20) sa napadnim uglom.

Pošto je aeroprofil simetričan, deo krive za negativne napadne uglove ekvivalentan je delu za pozitivne.

Pošto se letenje obavlja uglavnom pri pozitivnim koeficijentima uzgona (sem u leđnom letu), to je uobičajeno da se u dijagramima daje samo taj, pozitivan, deo krive uzgona.



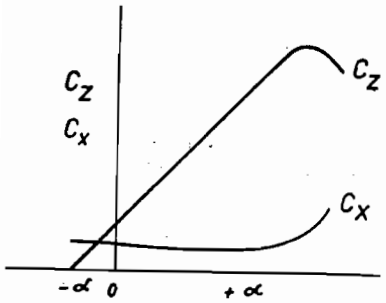
Slika 17

Na slici 18 prikazan je ovakav dijagram krive uzgona za neki nesimetričan aeroprofil, kakav je npr. aeroprofil na slici 7.

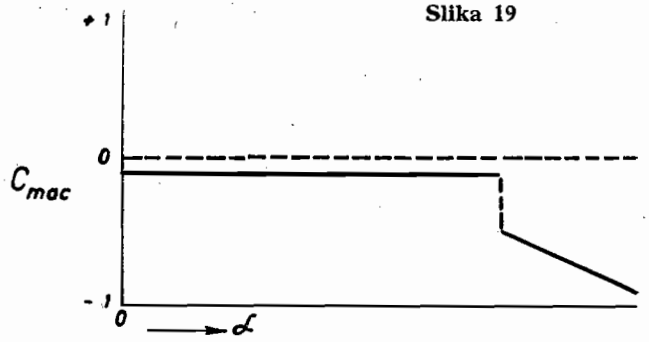
Ovde treba zapaziti da je napadni ugao kod kojeg je koeficijent uzgona jednak nuli, negativan. Očigledno je, takođe, da se koeficijent uzgona prikazuje pravom linijom što znači da raste proporcionalno napadnom uglu sve do blizu najveće vrednosti. Za aeroprofile primenjene na krilima jedrilica ova maksimalna vrednost iznosi: $C_z=1{,}3$ do $1{,}6$.

Posmatrajmo sada krivu koeficijenta otpora. Za relativno male napadne uglove, tj. u oblasti u kojoj se koeficijent uzgona menja srazmerno napadnom uglu, koeficijent otpora se malo menja, da bi naglo počeo da raste u blizini najveće vrednosti koeficijenta uzgona.

Najmanja vrednost koeficijenta otpora za simetrične aeroprofile javlja se kod koeficijenta uzgona $c_z=0$. Za nesimetrične aeroprofile, kao što se vidi na slici 18, ova vrednost javlja se pri nekom pozitivnom koeficijentu uzgona i odgovarajućem pozitivnom napadnom uglu.



Slika 18



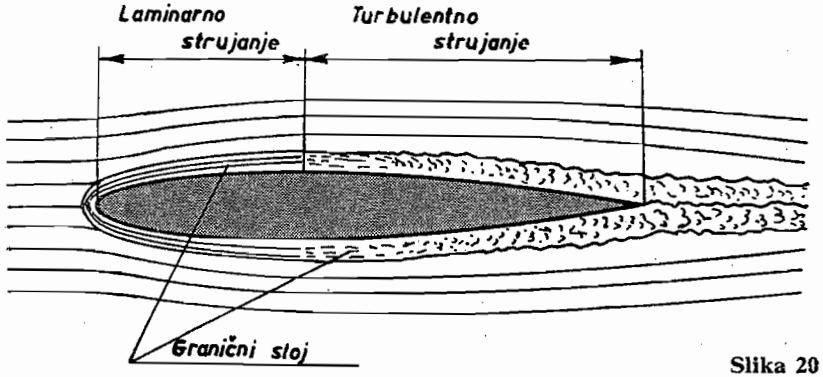
Slika 19

Što se tiče koeficijenta momenta za aerodinamički centar, on je za uobičajene aeroprofile negativan i konstantan pri napadnim uglovima manjim od napadnog ugla maksimalnog uzgona. Karakteristična kriva koeficijenta momenta prikazana je na slici 19.

Nagla promena koeficijenta momenta na slici odgovara napadnom uglu pri kome počinje opadanje uzgona.

GRANIČNI SLOJ I OTPOR TRENJA

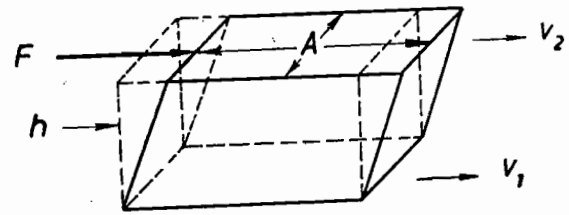
U dosadašnjem izlaganju videli smo da otpor i uzgon zavise od gustine vazduha ρ, brzine v i površine S. Međutim, postoje još neke veličine čiji se uticaj može videti samo kroz promenu aerodinamičkih koeficijenata pri različitim uslovima strujanja.



Slika 20

Na slici 20 prikazano je strujanje oko jednog aeroprofila. Veoma tanak sloj vazduha koji je u neposrednom dodiru sa aeroprofilom neće se uopšte kretati zbog trenja sa površinom aeroprofila. Sledeći sloj klizi preko njega određenom malom brzinom. Ostali slojevi kreću se brzinom srazmernom rastojanju od površine aeroprofila. Ovaj usporeni deo vazdušne struje naziva se **granični sloj.** Granični sloj na aeroprofilu možemo da podelimo u dva dela. U prvom delu tanki slojevi vazduha ravnomerno klize jedan preko drugog. To je tzv. **laminarno strujanje.** U drugom delu dolazi do međusobnog mešanja čestica vazduha iz različitih slojeva i njihovog vrtloženja. Ovaj deo strujanja naziva se **turbulentno strujanje.**

Izdvojimo sada mali elemenat jednog sloja vazduha (sl. 21). Označimo površinu njegove osnove sa A, a visinu sa h.



Slika 21

Zbog trenja između slojeva, po površini A deluje neka sila F paralelno toj površini. Sila po jedinici površine biće F/A. Pošto ova sila izaziva određenu promenu brzine vazduha po visini sloja, doći će do zakošenja delića, i to tolikog da će se u jedinici vremena gornja površina pomerati u odnosu na donju za $v_2 - v_1$. Količnik:

$$\frac{F/A}{(v_2 - v_1)/h} = \mu \qquad (19)$$

naziva se *koeficijent viskoziteta vazduha,* odnosno nekog drugog gasa ili tečnosti. Ako silu F izrazimo u kG, površinu A u m^2, brzine v_1 i v_2 u m/s a visinu h u m, viskozitet će biti izražen u:

$$\frac{kG/m^2}{\frac{m}{s}\cdot\frac{1}{m}} = \frac{kG\,s}{m^2}$$

Za vazduh na temperaturi od 15°C ovaj koeficijent iznosi $\frac{1{,}8}{10^6}\frac{kG\,s}{m^2}$. Za vodu, ulje i druge tečnosti mnogo je veći.

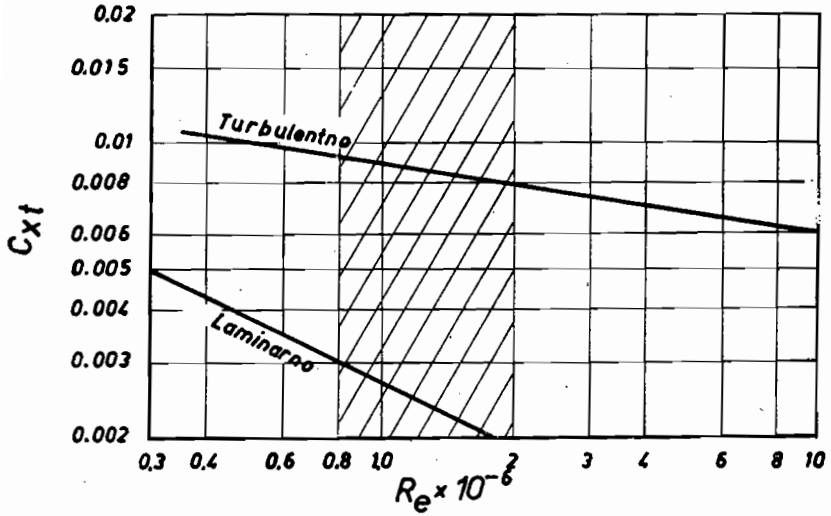
Posledica postojanja graničnog sloja na aeroprofilu, kao i na svakom telu koje se kreće kroz vazduh, jeste pojava otpora trenja. Ovo je razumljivo, jer mora da postoji neka sila koja izaziva usporavanje čestica vazduha u blizini tela. Ovu silu možemo da označimo sa R_{xt} i izrazimo pomoću koeficijenta otpora trenja c_{xt}:

$$R_{xt}=c_{xt}\frac{\rho v^2}{2}S. \qquad (20)$$

Teorijska i eksperimentalna istraživanja pokazala su da otpor trenja nekog aeroprofila zavisi od tzv. Rejnoldsovog broja. Ovaj broj određuje se izrazom:

$$R_e=\frac{\rho v l}{\mu}. \qquad (21)$$

Uobičajeno je da se za član l ovog izraza uzima najveća dimenzija nekog tela u pravcu strujanja, npr. za krila tetiva aeroprofila, za trup dužina trupa itd. Na slici 22 prikazana je promena koeficijenta otpora trenja aeroprofila sa Rejnoldsovim brojem.



Slika 22

Iz slike se može uočiti da je koeficijent otpora trenja znatno manji za laminarni granični sloj nego za turbulentni. Šrafirana oblast na slici predstavlja Rejnoldsove brojeve pri kojima „radi" krilo jedrilice u letu, dakle $Re=0{,}8\cdot10^6-2\cdot10^6$.

Pošto je granični sloj na aeroprofilu delimično laminiran a delimično turbulentan, stvarni koeficijent otpora trenja jednog dobro oblikovanog i izvedenog aeroprofila ležaće između dve linije prikazane na slici. Razumljiv je stoga trud da se zona laminarnog strujanja što više proširi na račun turbulentnog.

Ovo je moguće postići na sledeći način. Videli smo (sl. 9) da postavljanje aeroprofila u struju vazduha izaziva izvesno njeno sužavanje i, saglasno jednačini protoka, ubrzavanje.

Pri tome, ako posmatramo gornjaku aeroprofila, od napadne ivice pa približno do tačke najveće debljine, imamo ubrzavanje vazdušne struje, a zatim do izlazne ivice usporavanja na brzinu koja je nešto manja od brzine slobodne struje.

Pokazalo se da se tačka preobražaja laminarnog u turbulentan granični sloj obično nalazi u blizini tačke najveće brzine strujanja. Ova se, pak, može pomeriti ka izlaznoj ivici aeroprofila pomeranjem najveće debljine aeroprofila, takođe, prema izlaznoj ivici. Ovim postupkom postignuti su vrlo dobri rezultati, i danas se na jedrilicama primenjuju aeroprofili čija se najveća debljina nalazi na rastojanju 0,35—0,50 l od napadne ivice, gde je l tetiva aeroprofila.

Upoređenja radi, do 1950. godine pa i kasnije, na jedrilicama su upotrebljavani aeroprofili čija se najveća debljina nalazila na oko 0,30 l.

Zahvaljujući primeni aeroprofila sa relativnom debljinom pomerenom unazad, smanjen je otpor trenja 10—30% pa i više u odnosu na klasične aeroprofile.

Međutim, nije preporučljivo da se sa ovim pomeranjem debljine ide suviše daleko, jer ukoliko više pomeramo relativnu debsjinu unazad, utoliko granični sloj, a sa njim i koeficijent otpora trenja, postaje osetljiviji na promenu napadnog ugla, rapavost površine, prljavština, kapljice kiše, mušice koje se nahvataju na napadnoj ivici krila u letu itd. Kao posledica toga, u normalnoj eksploataciji gubi se svaki efekat ovako visoko laminariziranog krila.

Praksa je, međutim, pokazala da je primenom umereno laminariziranih aeroprofila, uz dobru fabrikaciju i održavanje, moguće realizovati jedrilice izvanrednih sposobnosti i stvarno iskoristiti teorijske mogućnosti pri postizanju rezultata na takmičenjima, rekorda itd.

Zaključak. — *Pored indukovanog otpora i otpora oblika, na svakom telu koje se kreće kroz vazdušnu sredinu javlja se i otpor trenja. Otpor trenja je posledica smanjivanja brzine vazduha u graničnom sloju.*

Granični sloj je sloj vazduha priljubljen uz telo u kome brzina postepeno raste od nule — na samoj površini tela, do brzine slobodne vazdušne struje — na spoljnoj površini sloja. Otpor trenja zavisi od prirode graničnog sloja, koji je delimično kaminaran a delimično turbulentan, kao i od Rejnoldsovog broja.

POLARA JEDRILICE
FINESA JEDRILICE

Ako saberemo otpore trenja, oblika i indukovane otpore svih delova jedrilice (krila, trupa, repnih površina, točkova, drljače itd.), dobićemo ukupan otpor jedrilice. U stvarnosti ovaj otpor je nešto veći, pošto na mestima spajanja elemenata, npr. trupa i krila, dolazi do međusobnog uticaja strujanja oko svakog pojedinog elementa i do remećenja pravilnog opstrujavanja, stvaranja vrtloga, usporavanja vazdušne struje, što sve izaziva neki dopunski otpor kretanju jedrilice. Ovaj se otpor naziva **interferirani otpor.** Kada i njega dodamo ranije sabranim otporima, dobićemo ukupan otpor jedrilice R_x, koji opet može da se izrazi pomoću odgovarajućeg koeficijenta otpora jedrilice c_x poznatom formulom:

$$R_x = c_x \frac{\rho v^2}{2} S, \qquad (11)$$

gde je S površina krila.

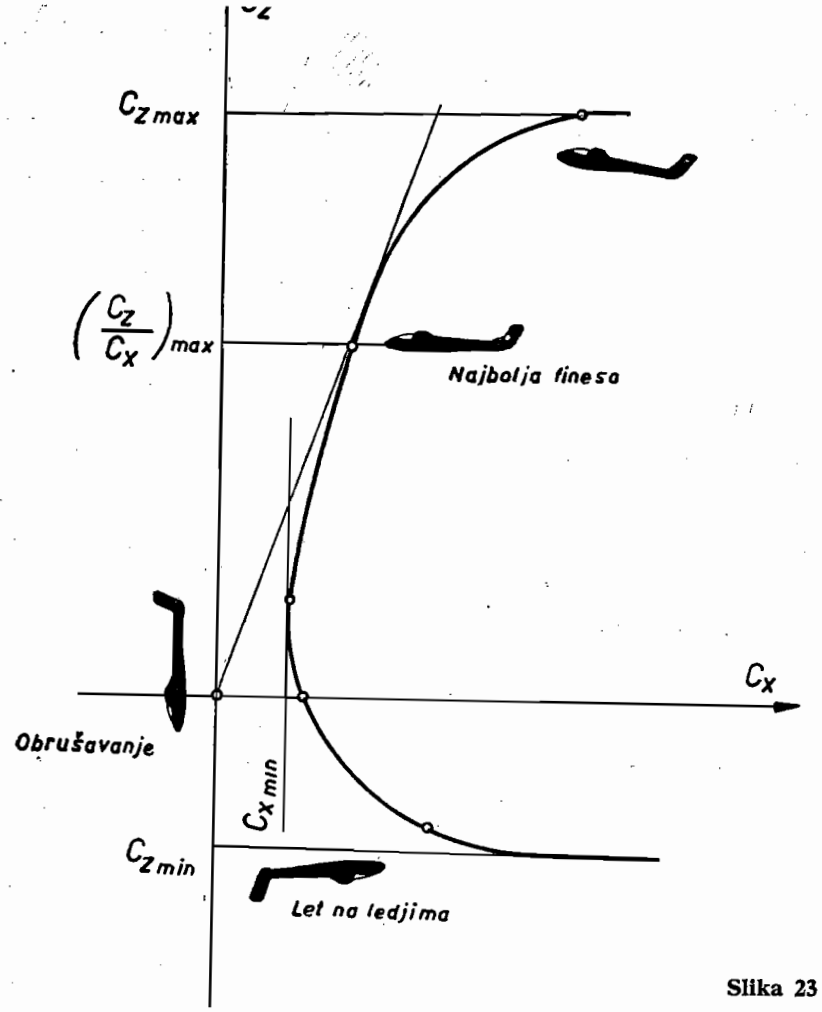
Što se tiče uzgona, smatra se da su uzgoni ostalih delova jedrilice znatno manji od uzgona krila, pa se zanemaruju i pišemo:

$$R_z = c_z \frac{\rho v^2}{2} S, \qquad (12)$$

gde je c_z koeficijent uzgona jedrilice koji je vrlo približno jednak koeficijentu uzgona krila.

Pošto smo videli da i koeficijent uzgona i koeficijent otpora zavise od napadnog ugla, možemo iz dijagrama koji pokazuje zavasnost koeficijenta otpora i koeficijenta uzgona jedrilice od napadnog ugla, sličnog dijagramu na sl. 18, da uzimamo vrednosti koeficijenta uzgona i otpora za jedan određeni napadni ugao i da ih unosimo u novi dijagram koji će direktno da pokazuje zavisnost otpora od koeficijenta uzgona (sl. 23).

Ako istovremeno posmatramo ovaj dijagram i jedrilicu u letu, koja je data na slici 24, možemo da dođemo do interesantnih zaključaka. Iz mehanike je poznato da sve sile koje deluju na neko telo, u ovom slučaju na jedrilicu u letu, moraju da budu u ravnoteži. Ako se jedrilica kreće kroz vazduh pravolinijski ustaljenom brzinom, sve sile koje na nju deluju mogu da se svedu na aerodinamičku silu R i težinu jedrilice G, koje su međusobno u ravnoteži. Poznato je da aerodinamička sila R ima jednu komponentu koja je istog pravca a suprotnog smera od brzine na putanji v. To je komponenta R_x, odnosno otpor. Ova komponenta može da se uravnoteži jedino pomoću odgovarajuće komponente sile G — težine jedrilice, u smeru leta. Iz ovog razmatranja, a i iz slike 24, oči-



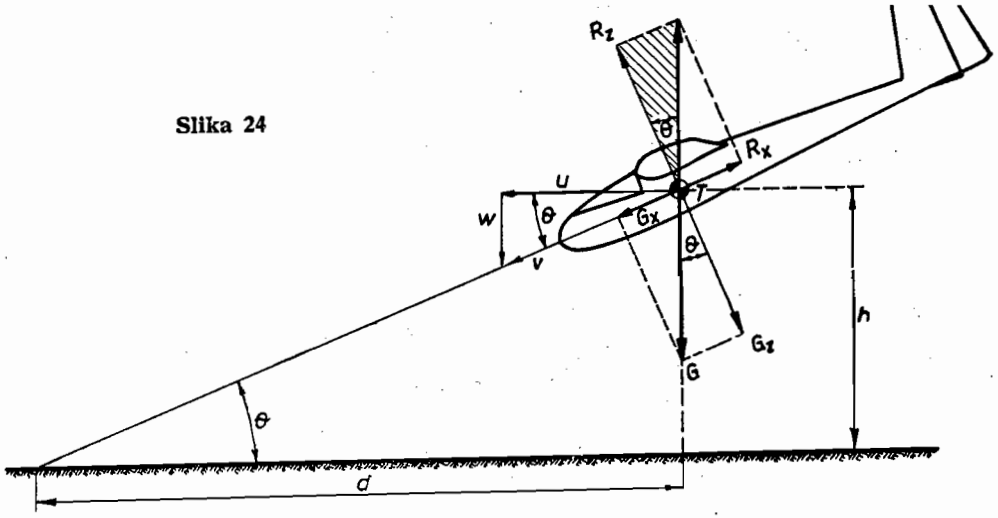
Slika 23

gledno je da jedrilica u mirnom vazduhu uvek mora da leti po putanji nagnutoj u odnosu na zemljinu površinu za neki određeni ugao θ, jer u slučaju prelaska u horizontalni let ne bi bilo sile koja bi uravnotežavala otpor.

Prema tome, jedrilica koja se kreće ustaljenom brzinom moraće neprestano da smanjuje početnu visinu h, sve dok ne dodirne zemljinu površinu na nekom rastojanju d od tačke u kojoj je imala visinu h. Rastojanje d zove se **dolet** jedrilice sa određene visine h po putanji koja je za ugao θ nagnuta prema zemljinoj površini.

Odnos d/h zove se **finesa jedrilice,** a ugao θ je ugao planiranja jedrilice. Posmatrajmo sada kakva je veza između finese jedrilice

Slika 24



i odgovarajućih koeficijenata uzgona i otpora. Uočimo na slici 24 trougao koji zaklapaju putanja, dolet i visina jedrilice i trougao koji mogu da zatvore sile R_z, R_x i R (šrafiran na sl. 24). Iz sličnosti ovih trouglova sledi da je:

$$\frac{d}{h} = \frac{R_z}{R_x}. \tag{22}$$

Zamenom izraza (11) i (12) u (22) dobija se da je:

$$\frac{d}{h} = \frac{c_z}{c_x} \tag{23}$$

što znači da je finesa jedrilice jednaka odnosu koeficijenata uzgona i otpora.

Iz polare (sl. 23), međutim, može da se zaključi da se pri promeni koeficijenta uzgona menja i koeficijent otpora, a i njihov odnos. Očigledno je da odnos c_z/c_x ima najveću moguću vrednost u tački na polari u kojoj prava povučena iz koordinatnog početka dodiruje polaru jedrilice. Finesu jedrilice koja odgovara ovoj tački zvaćemo **najbolja finesa.** Dakle, najbolja finesa jednaka je najvećoj mogućnoj vrednosti odnosa koeficijenta uzgona i koeficijenta otpora date jedrilice. Ovaj odnos se obično označava sa $(c_z/c_x)_{max}$, gde oznaka max označava najveću (maksimalnu) vrednost. Tako, na primer, ako smo povlačenjem tangente na polaru neke jedrilice, iz koordinatnog početka, ustanovili da ova dodiruje polaru u tački u kojoj je $c_z=0{,}72$ i $c_x=0{,}024$, najbolja finesa biće:

$$\left(\frac{c_z}{c_x}\right)_{max} = \frac{0{,}72}{0{,}024} = 30,$$

i kažemo da jedrilica ima najbolju finesu 30.

Zaključak. — *Polara jedrilice je kriva linija čije su tačke određene koeficijentom uzgona jedrilice koji se nanosi na vertikalnu osu i odgovarajućim koeficijentom otpora koji se nanosi na horizontalnu osu.*

Najbolja finesa jedrilice je odnos najvećeg mogućeg doleta sa neke visine i te visine. Ona je jednaka najvećoj mogućnoj vrednosti odnosa c_z/c_x koja se određuje povlačenjem tangente na polaru jedrilice.

POLARA BRZINA

Pored finese, koja se lako dobija iz polare jedrilice, postoji još niz veličina važnih za letenje. Iz slike 24 vidi se da je pri letu po pravolinijskoj putanji ustaljenom brzinom težina jedrilice G jednaka aerodinamičkoj sili:

$$G = R \tag{24}$$

Ako primenimo Pitagorinu teoremu na šrafirani trougao prikazan u slici 24, dobićemo da je:

$$R = \sqrt{R_z^2 + R_x^2}. \tag{25}$$

Ako umesto R_z i R_x zamenimo ovde njihove vrednosti iz jednačina (12) i (11), dobićemo da je:

$$R = \sqrt{c_z^2 + c_x^2}\ \frac{\rho v^2}{2} S \tag{26}$$

Zamenom R iz (26) i (24) i rešavanjem po brzini dobijamo da je brzina jedrilice na putanji:

$$v = \sqrt{\frac{2\,G/S}{\rho\sqrt{c_z^2+c_x^2}}} \tag{27}$$

Ova jednačina daje brzinu u m/s kada je težina jedrilice izražena u N a gustina u kg/m³. Ako radi jednostavnosti težinu izrazimo u kG a poslužimo se odgovarajućom vrednosti gustine, i to za standardne uslove na nivou morske površine, biće:

$$v = 4\sqrt{\frac{G/S}{\sqrt{c_z^2+c_x^2}}} \tag{28}$$

Ukoliko želimo da izračunamo stvarnu brzinu leta na nekoj visini h, poslužićemo se formulom:

$$v_h = v\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} \qquad (28')$$

Ova formula se primenjuje i za izračunavanje stvarne brzine leta v_h kada je poznata brzina leta po brzinomeru v. Na primer, na brzinomeru je očitana brzina leta v=100 km/h, na visini 3000 m. Na ovoj visini je gustina vazduha ρ=0,909 kg/m³. Odatle dobijamo da je:

$$v_h = 100\sqrt{\frac{1,225}{0,909}} = 116 \text{ km/h}.$$

U daljem tekstu sa v ćemo označavati tzv. instrumentalnu brzinu, koju pilot očitava na brzinomeru, i koja se sa stvarnom brzinom v_h poklapa na visini h=0.

Odnos G/S naziva se specifično opterećenje krila. To je odnos težine jedrilice i površine krila, a izračunava se obično u kg/m². Pošto je koeficijent otpora pri normalnom letenju znatno manji od koeficijenta uzgona, možemo da ga zanemarimo i jednačinu (28) napišemo u još jednostavnijem obliku:

$$v = 4\sqrt{\frac{G/S}{c_z}}. \qquad (29)$$

Dakle, brzina na putanji upravno je srazmerna korenu iz specifičnog opterećenja a obrnuto srazmerna korenu iz koeficijenta uzgona. Opet će zbog velike finese jedrilice i malih odgovarajućih uglova planiranja, horizontalna komponenta brzine jedrilice biti približno jednaka brzini na putanji:

$$u \approx v = 4\sqrt{\frac{G/S}{c_z}}. \qquad (30)$$

Međutim, jedna od najvažnijih osobina jedrilice je vertikalna komponenta brzine na putanji, koja se obično naziva **brzina propadanja.** Na slici 24 ova brzina označena je slovom w i možemo da je odredimo iz sličnosti trougla koji zatvaraju brzine u, v i w, i šrafiranog trougla. Očigledno je:

$$\frac{u}{w} = \frac{R_z}{R_x} = \frac{c_z}{c_x}, \qquad (31)$$

pa je i:

$$w = \frac{c_x}{c_z}u. \qquad (32)$$

Ako u (32) zamenimo vrednost u iz (30), dobićemo:

$$w = 4\sqrt{\frac{G/S}{c_z^3/c_x^2}}. \qquad (33)$$

Ovo je brzina propadanja na visini h=0. Stvarna brzina propadanja na nekoj visini h biće:

$$w_h = w\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}. \qquad (33')$$

Za razliku od brzinomera, variometar pokazuje stvarnu brzinu propadanja w_h.

Dakle, brzina propadanja takođe je upravno srazmerna korenu iz specifičnog opterećenja a obrnuto srazmerna korenu iz izraza c_z^3/c_x^2. Očigledno je da ćemo za neku određenu jedrilicu najmanju brzinu propadanja imati kada je odnos c_z^3/c_x^2 najveći. Ovo je uvek slučaj pri koeficijentu uzgona koji je nešto veći od koeficijenta uzgona pri najboljoj finesi, pa će na osnovu formule (29) i odgovarajuća brzina na putanji biti manja pri najmanjem propadanju nego što je pri najboljoj finesi. Primera radi, izračunajmo brzinu na putanji i brzinu propadanja pri najboljoj finesi za jedrilicu za koju smo u prethodnom odeljku izračunali finesu. Ovde je očigledno potrebno da se poznaje težina jedrilice u letu i površina krila.

Neka je G=300 kG i S=12 m². Sada je G/S=25 kG/m². Prema jednačini (29) brzina jedrilice na putanji biće:

$$v = 4\sqrt{\frac{25}{0,7}} = 23,9 \text{ m/s}.$$

Ako želimo ovu brzinu da izrazimo u km/h, onda brzinu u m/s treba da pomnožimo sa 3,6 (pošto u 1 km ima 1000 m a u jednom satu 3600 sekundi). Dakle:

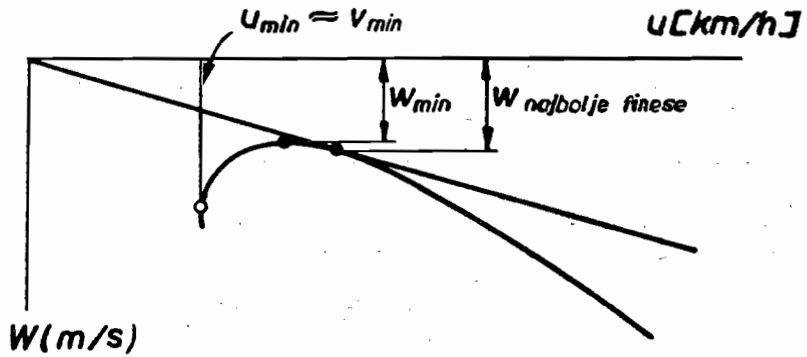
$$v = 3,6 \cdot 23,9 = 86 \text{ km/h}.$$

Brzina propadanja pri najboljoj finesi biće na osnovu formule (33) i zadatih vrednosti G/S, C_z i C_x:

$$w = 4\sqrt{\frac{25}{0,7^3/0,024^2}} = 0,765 \text{ m/s}.$$

Na isti način na koji smo izračunali brzinu na putanji (odnosno horizontalnu komponentu brzine koja je sa ovom približno jednaka) i brzinu propadanja, obe pri najboljoj finesi, možemo da izračunamo i odgovarajuće brzine pri ma kojoj drugoj finesi,

odnosno za ma koji drugi koeficijent uzgona. Iz niza ovih vrednosti može da se sastavi kriva linija u dijagramu na čijoj je horizontalnoj osi horizontalna brzina, obično u km/h, a na vertikalnoj osi usmerenoj naniže brzina propadanja, obično u m/s (sl. 25). Ova kriva zove se **polara brzina.**



Slika 25

Na polari brzina mogu da se uoče neke značajne tačke. Tako, na primer, vertikalna tangenta na polaru određuje tačku minimalne horizontalne brzine, koja je, prema (30), približno jednaka minimalnoj brzini na putanji. Za savremene jedrilice minimalna brzina kreće se, u zavisnosti od tipa, uglavnom u granicama od 50 do 70 km/h. Prema jednačini (29) minimalna brzina odgovara najvećoj vrednosti koeficijenta uzgona. Stoga ovoj tački polare brzina odgovara tačka u kojoj horizontalna tangenta dodiruje polaru jedrilice (sl. 23), dakle tačka $c_{z\,max}$. Ovo možemo da napišemo izrazom:

$$v_{min} \approx 4\sqrt{\frac{G/S}{c_{z\,max}}}. \qquad (34)$$

Neka je za jedrilicu, kojoj smo već izračunali neke osobine, $c_{z\,max} = 1{,}4$. Minimalna brzina biće približno:

$$v_{min} = 4\sqrt{\frac{25}{1{,}4}} = 16{,}9\ \text{m/s} = 61\ \text{km/h}.$$

Sledeća interesantna tačka na polari brzina je tačka u kojoj horizontalna tangenta dodiruje ovu polaru. Očigledno je da ova tačka odgovara najmanjoj brzini propadanja w_{min}. Što se tiče najbolje finese, nju određujemo na sličan način kao i iz polare jedrilice.

Na osnovu izraza (31) dobićemo:

$$\left(\frac{c_z}{c_x}\right)_{max} = \left(\frac{u}{w}\right)_{max}, \qquad (35)$$

a to je, očigledno, vrednost određena tangentom na polaru koja je povučena iz koordinatnog početka. Sada iz polare brzina mogu direktno da se očituju brzina i brzina propadanja jedrilice pri najboljoj finesi.

Videćemo kasnije, u taktici preleta, da je pri povoljnim meteorološkim uslovima poželjno povećati brzinu jedrilice pri datoj vrednosti finese, odnosno koeficijentu uzgona. Ovo može da se postigne povećanjem težine jedrilice. Ako je brzina jedrilice određena izrazom (29), brzina sa nekim dodatnim teretom G biće:

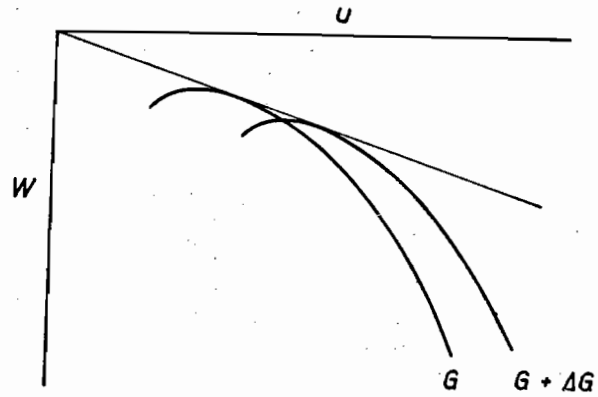
$$v_1 = 4\sqrt{\frac{(G+\Delta G)/S}{c_z}} = 4\sqrt{\frac{G/S}{c_z}}\sqrt{1+\frac{\Delta G}{G}},$$

odnosno,

$$v_1 = v\sqrt{1+\frac{\Delta G}{G}}. \qquad (36)$$

U našem primeru imali smo da je brzina jedrilica pri najboljoj finesa 86 km/h. Ako njenu težinu G=300 kG povećamo za 20%, tj. ako joj dodamo $\Delta G = 60$ kG, brzina pri najboljoj finesi biće:

$$v_1 = 86\sqrt{1+\frac{60}{300}} = 94\ \text{km/h}.$$



Slika 26

Dakle, brzina pri najboljoj finesi povećava se za blizu 10%. Za isti procenat povećava se, prema izrazu (36), i brzina za svaku drugu finesu, odakle sledi da sad jedrilica ima drugu polaru brzina koja odgovara ovako povećanoj težini (sl. 26). Ne treba, međutim, zaboraviti da se i odgovarajuća brzina propadanja, takođe, povećava množenjem sa istim faktorom, tako da je:

$$w_1 = w\sqrt{1+\frac{\Delta G}{G}}, \qquad (37)$$

iz čega sledi da je povećanje težine jedrilice celishodno samo u zaista dobrim meteo-uslovima, koji kompenziraju ovo povećanje brzine propadanja.

Pri povećanju težine, takođe, treba oprezno postupati zbog čvrstoće, jer, kao što će se kasnije videti, naprezanja elemenata jedrilice direktno zavise od njene težine.

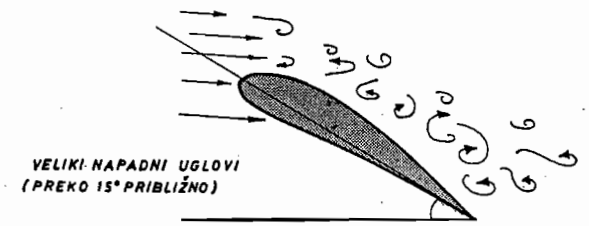
Na kraju, treba imati u vidu sledeće. U ovom izlaganju, radi jasnoće, prikazano je kako se polara brzina dobija iz polare jedrilice, i to se tako i radi pri projektovanju jedrilice. Međutim, da bi jedriličar mogao da izvuče maksimum iz svoje jedrilice, treba da poznaje polaru merenu u letu (koja se obavezno snima za svaku jedrilicu koja se ispituje u SFRJ), i da pri letenju koristi računare izrađene na osnovu takve polare.

Zaključak. — *Polara brzina pokazuje brzinu propadanja u zavisnosti od horizontalne komponente brzine jedrilice (koja je približno jednaka brzini jedrilice na putanji). Karakteristične tačke polare brzine su minimalna brzina, brzina najmanjeg propadanja i brzina najbolje finese.*

SLOM UZGONA I UREĐAJI ZA POVEĆANJE I SMANJENJE UZGONA I OTPORA

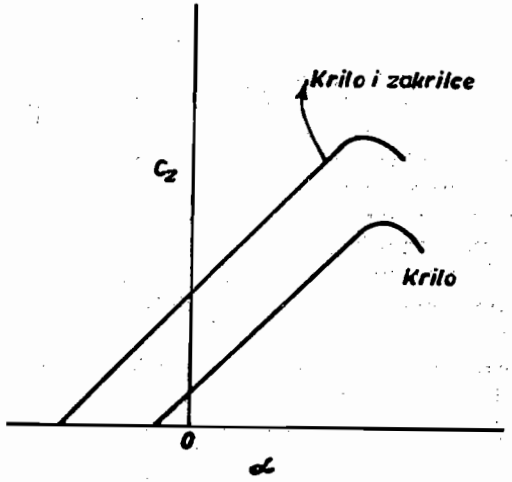
Videli smo da koeficijent uzgona ima neku određenu maksimalnu vrednost, posle koje počinje da opada (sl. 18). Postavlja se pitanje šta je uzrok ove pojave. Pri velikim napadnim uglovima struja vazduha nije više u stanju da prati konturu aeroprofila, dolazi do intenzivnog mešanja strujnica i pojave vrtloženja velikih razmera iznad i iza aeroprofila, kao što je to prikazano na slici 27. Zbog svega ovoga dolazi do smanjenja ugla skretanja vazdušne struje iza aeroprofila, a u vezi sa tim i do smanjenja koeficijenta uzgona. Sa druge strane, vrtloženje i nepravilno opstrujavanje oko aeroprofila izazivaju znatan porast koeficijenta otpora. Ova pojava može lako da se uoči u letu. Pri dovođenju jedrilice na veliki napadni ugao dolazi do podrhtavanja repnih površina što prouzrokuje jako zavrtložena vazdušna struja koja se odvaja od krila. Ako se napadni ugao i dalje povećava, dolazi do nenormalnog ponašanja jedrilice koja teži da naglo skreće ili obara nos,

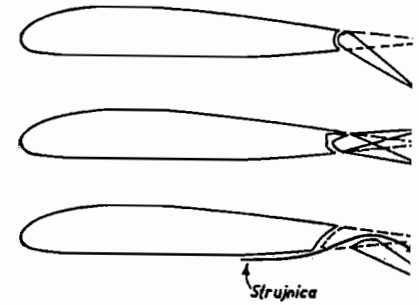
Slika 27



što je vrlo teško ispraviti komandama koje vrlo slabo ili čak nikako ne reaguju.

Iz formule (34) vidi se da maksimalni koeficijent uzgona određuje minimalnu brzinu jedrilice. Za razliku od aviona, jedrilica polovinu pa i više trajanja svakog pojedinog leta provodi u kruženju, i to brzinama koje su bliske minimalnoj brzini. Poletanje i sletanje biće utoliko kraći ukoliko se manjom brzinom vrše. Iz ovoga je jasno koliko je poželjno smanjiti minimalnu brzinu na najmanju moguću meru. Iz jednačine (34) vidi se da je pri datoj težini i površini krila minimalnu brzinu moguće smanjiti jedino povećanjem $c_{z\,max}$. Za ovo postoji mnogo načina, ali se na savremenim jedrilicama koristi samo jedan — ugradnja **zakrilaca.**





Slika 28

← Slika 29

Na slici 28 prikazani su u poprečnom preseku krila neki tipovi zakrilaca. Tip a, obično zakrilce, prilikom obaranja očigledno povećava krivinu aeroprofila. Zbog toga dolazi do povećanja ugla skretanja vazdušne struje i koeficijenta uzgona pri nepromenje-

nom napadnom uglu krila. Efekat zakrilaca na koeficijent uzgona prikazan je na slici 29.

Ne treba gubiti iz vida da je prilikom obaranja zakrilaca, sem za velike koeficijente uzgona, povećanje koeficijenta otpora relativno veće od povećanja koeficijenta uzgona. Iz ovog sledi da je zakrilca poželjno obarati samo pri letu brzinom koja je bliska minimalnoj. Praktično, na jedrilicama koje imaju zakrilca ova se koriste pri kruženju, obaranjem za najviše 10—15°, zatim pri poletanju — gde se obaraju nešto više i najzad pri sletanju — kada mogu da se obore i za 45°. To je zbog toga što je pri sletanju na kratke terene preko prepreka, što je inače čest slučaj u jedriličarstvu, poželjno da se smanje finesa i brzina sletanja, jer od njih direktno zavise dužina a sa njom i bezbednost sletanja.

Oblik zakrilaca prikazan na slici 28a gotovo se ne koristi, jer je teško izvesti zaptivanje između krila i zakrilaca. Kao posledica postojanja procepa dolazi do lokalnog izjednačavanja pritisaka na gornjaki i donjaki krila što smanjuje koeficijent uzgona. Treba, međutim, zapaziti da pogodno oblikovan procep (sl. 28c), izaziva povećanje brzine vazdušne struje na gornjaki, a time i povećanje koeficijenta uzgona.

Međutim, ni zakrilce sa procepom nije našlo širu primenu u jedriličarstvu, delimično zbog povećanog koeficijenta otpora a delimično zbog teškoća u konstruktivnom izvođenju. Najbolje rezultate u praksi pokazalo je zakrilce prikazano na slici 28b. Ono je relativno jednostavne konstrukcije. Obrtna osa mu se nalazi u gornjaki što omogućuje dobro zaptivanje bez ikakvih pomoćnih sredstava. Pored povećanja koeficijenta uzgona obaranjem pri velikim napadnim uglovima, ovaj tip zakrilaca može da se, pri letu velikim brzinama i malim napadnim uglovima, podiže za neki mali ugao (oko 5°). Ovam je smanjena krivina aeroprofila, dok se njegov minimalni koeficijent otpora pomera na manje napadne uglove, gde nam je i potreban. Sem toga, ovim se smanjuje negativni napadni ugao trupa i horizontalnog repa koji postoji pri velikim brzinama, što smanjuje i koeficijent otpora cele jedrilice:

Primena zakrilaca ovog tipa doprinela je npr. izvanrednim uspesima jedrilica „Košava" i „Meteor".

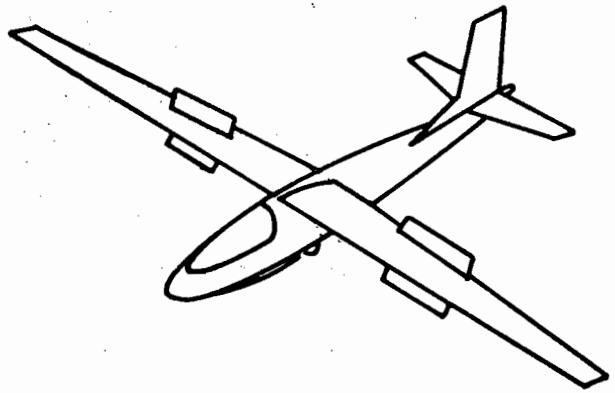
Sama zakrilca, međutim, ne rešavaju problem sletanja jedrilica. Prvo, zbog toga što finesa jedrilice i pri oborenim zakrilcima ostaje velika, a zatim, većina jedrilica i ne poseduje zakrilca. Naime, zakrilca povećavaju težinu i cenu jedrilice i ne isplati se ugrađivati ih na jedrilice skromnijih sposobnosti.

Problem sletanja rešava se jednim jednostavnim i efikasnim uređajem — vazdušnim kočnicama.

Vazdušne kočnice su, u stvari, ploče koje se izvlače iz krila upravno na pravac vazdušne struje. Zahvaljujući svojoj relativno

velikoj površini i velikom koeficijentu otpora, one znatno povećavaju koeficijent otpora jedrilice. Osim toga, vazdušne kočnice remete strujanje vazduha na većem delu površine krila i tako smanjuju koeficijent uzgona. Ovo dvojako dejstvo rezultuje u znatnom smanjenju finese i omogućava strmi prilaz pri sletanju, koji znatno olakšava „proračun" pilota pri sletanju i omogućava sletanje i na kratke terene preko prepreka. Smanjenje koeficijenta uzgona sa izvučenim kočnicama je neznatno pri visokim koeficijentima uzgona, koji se, pak, ostvaruju neposredno pre dodira sa zemljiom i rezultuje u povećanju minimalne brzine za manje od 5%. Eventualno povećanje dužine poslednje faze sletanja usled ovoga, potpuno se kompenzuje dejstvom otpora na vazdušnim kočnicama, koji je znatan i posle dodira zemlje.

Na slici 30 prikazana je jedrilica u letu sa izvučenim vazdušnim kočnicama.



Slika 30

Kočnice imaju još jednu važnu funkciju. Posmatrajmo jedrilicu u vertikalnom obrušavanju kad je koeficijent uzgona $c_z=0$ (sl. 23). Iz jednačine (28) za $c_z=0$ dobijamo da je brzina jedrilice:

$$v=4\sqrt{\frac{G/S}{c_x}}. \qquad (38)$$

Za prosečnu savremenu jedrilicu, sa $G/S=25$ i koeficijentom otpora $c_x=0{,}014$ pri $c_z=0$, brzina u vertikalnom obrušavanju biće:

$$v=4\sqrt{\frac{25}{0{,}014}}=169\ \text{m/s},$$

ili 608 kilometara na čas, što nije dozvoljeno zbog čvrstoće. Ako se primene vazdušne kočnice, prirast koeficijenta otpora je toliki

da brzinu jedrilice smanjuje na oko 200 km/h, što je sa gledišta čvrstoće dozvoljena vrednost. Zato se vazdušne kočnice primenjuju kada jedriličar iz bilo kog razloga želi što pre da smanji visinu ili, pak, radi bezbednosti pri gubitku kontrole nad jedrilicom prilikom letenja u oblacima.

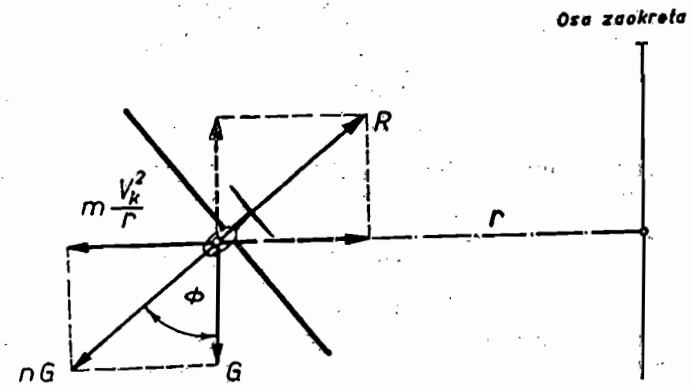
Za iste svrhe za koje i kočnice, ponekad se koristi i kočni padobran površine oko 1 m², koji se vezuje za zadnji deo trupa. Međutim, ovakav je uređaj daleko nesigurniji u radu od kočnica, a sem toga nema jednu bitnu osobinu — ne smanjuje koeficijent uzgona krila.

Zaključak. — *Zakrilca se koriste uglavnom u cilju povećanja koeficijenta uzgona. Sem toga, treba imati u vidu da pri velikim otklonima zakrilca nadole (sletanje), dolazi i do povećanja koeficijenata otpora. Pri velikim koeficijentima uzgona i malim uglovima otklona nadole (jedrenje), zakrilca smanjuju koeficijent otpora. Pri velikim brzinama i malim koeficijentima uzgona („preskakanje" između dva jedrenja u termičkom stubu), malo podizanje zakrilaca smanjuje koeficijent otpora jedrilice i povećava finesu.*

Vazdušne kočnice znatno povećavaju koeficijent otpora i smanjuju koeficijent uzgona jedrilice, a imaju dve glavne namene. Prvo, omogućuju strmo sletanje i, drugo, ograničavaju brzinu jedrilice u obrušavanju.

ZAOKRET

Pored pravolinijskog planiranja, u toku leta jedrilice neophodno je vršiti zaokrete i duža kruženja. Razume se, i u ovom slučaju sve sile koje deluju na jedrilicu su u ravnoteži. U zaokretu ustaljenom brzinom i poluprečnikom, pored aerodinamičke sile R



Slika 31

i težine jedrilice G, na ovu deluje centrifugalna sila $\frac{m v_k^2}{r}$, gde je m masa jedrilice, r poluprečnik zaokreta a v_k brzina kruženja. Na slici 31 prikazana je šema sila koje deluju na jedrilicu u pravilnom zaokretu.

Očigledno je da aerodinamička sila mora da bude jednaka rezultanti centrifugalne sile i težine jedrilice. Ovo se može izraziti jednačinom:

$$R = n\,G.$$

Broj n zove se koeficijent opterećenja i pokazuje koliko je puta sila koja deluje na svaki element jedrilice u zaokretu veća od njegove težine.

Iz slike 31 očigledno je da koeficijent opterećenja zavisi od nagiba u zaokretu, jer je:

$$\cos\Phi = \frac{G}{n\,G} = \frac{1}{n}. \qquad (39)$$

Ako znamo da je za savremene standardne jedrilice najveći dozvoljeni koeficijent opterećenja n=5,3 (koeficijent opterećenja ograničava se uzimajući u obzir izdržljivost pilota i namenu jedrilice i na osnovu njega vrši se proračun čvrstoće jedrilice), lako možemo da izračunamo najveći dozvoljeni nagib jedrilice u ustaljenom zaokretu, jer je sada:

$$\cos\Phi = \frac{1}{5{,}3}.$$

Najveći dozvoljeni nagib biće:

$$\Phi = 79^0.$$

Razume se, zaokret sa ovako velikim nagibom nema nikakve svrhe, jer, pored toga što opterećuje jedrilicu i zamara pilota, izaziva i znatno povećanje brzine propadanja jedrilice.

Zaokreti pri normalnom jedrenju vrše se, uglavnom, uz nagib od 20° do 45°. Tako, na primer, pri nagibu od 45° koeficijent opterećenja biće prema jednačini (39):

$$n = \frac{1}{\cos 45^0} = 1{,}41,$$

što je podnošljiva vrednost i pri dužem jedrenju.

Posmatrajmo sada vezu koja postoji između brzine leta, nagiba u zaokretu i poluprečnika zaokreta. Na osnovu slike 31 možemo zaključiti da je:

$$\frac{m v_k^2}{r} = G\,\mathrm{tg}\,\Phi. \qquad (40)$$

Pošto je masa jedrilice, kao i svakog tela, jednaka količniku težine i ubrzanja zemljine teže, onda je:

$$m = \frac{G}{g}.$$

Iz jednačine (40) dobija se:

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{v_k^2}{g\,r}.$$

Iz ovog izraza sledi da je:

$$r = \frac{v_k^2}{g \operatorname{tg} \Phi}. \qquad (41)$$

Dakle, poluprečnik zaokreta upravno je srazmeran kvadratu brzine a obrnuto srazmeran tangensu ugla nagiba.

Poželjno je da se pri kruženju leti brzinom najmanjeg propadanja. Međutim, iz slike 31 vidi se da je u kruženju:

$$R \cos \Phi = G,$$

ili, ako se pri izračunavanju aerodinamičke sile zanemari vrednost koeficijenta otpora kao mala u odnosu na koeficijent uzgona, onda je:

$$c_z \frac{v_k^2}{16} S \cos \Phi = G,$$

pa je:

$$v_k = 4 \sqrt{\frac{G/S}{c_z \cos \Phi}} = v \sqrt{\frac{1}{\cos \Phi}}, \qquad (42)$$

gde je v brzina planiranja u pravolinijskom letu. Za određivanje finese u kruženju merodavna je samo vertikalna komponenta uzgona, pa je:

$$\frac{v_k}{w_k} = \frac{c_z \cos \Phi}{c_x} = \frac{v}{w} \cos \Phi.$$

Na osnovu jednačine (42):

$$w_k = w \sqrt{\frac{1}{\cos^3 \Phi}}. \qquad (43)$$

Iz jednačine (42) je očigledno da, ako želimo kruženje npr. brzinom najmanjeg propadanja, svakom uglu nagiba odgovara tačno

određena brzina kruženja. Tako, na primer, ako je brzina jedrilice pri najmanjem propadanju u pravolinijskom letu v=70 km/h, a pri tome w=0,6 m/s, u kruženju sa nagibom od 45° biće:

$$v_k = 70 \sqrt{\frac{1}{\cos 45^\circ}} = 83 \text{ km/h},$$

$$w_k = 0{,}6 \sqrt{\frac{1}{\cos^3 45^\circ}} = 1{,}01 \text{ m/s}.$$

Dakle, minimalna brzina propadanja dosta brzo raste sa nagibom u zaokretu.

Prema jednačini (41) poluprečnik zaokreta je:

$$r = \frac{\left(\frac{83}{3{,}6}\right)^2}{9{,}81 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ} = 54 \text{ m}.$$

Brzina kruženja, data u km/h, podeljena je sa 3,6 jer je u obrazac (41) treba uneti u m/s. Ako se i kruži pri najvećem dozvoljenom nagibu, onda je:

$$v_k = 70 \sqrt{\frac{1}{\cos 79^\circ}} = 160 \text{ km/h},$$

$$w_k = 0{,}6 \sqrt{\frac{1}{\cos^3 79^\circ}} = 7{,}2 \text{ m/s},$$

$$r = \frac{\left(\frac{160}{3{,}6}\right)^2}{9{,}81 \cdot \operatorname{tg} 79^\circ} = 39 \text{ m}.$$

Očigledno je nesrazmerno veliko povećanje brzine propadanja uz relativno malo smanjenje poluprečnika zaokreta, iz čega proizilazi necelishodnost jedrenja sa prevelikim nagibom.

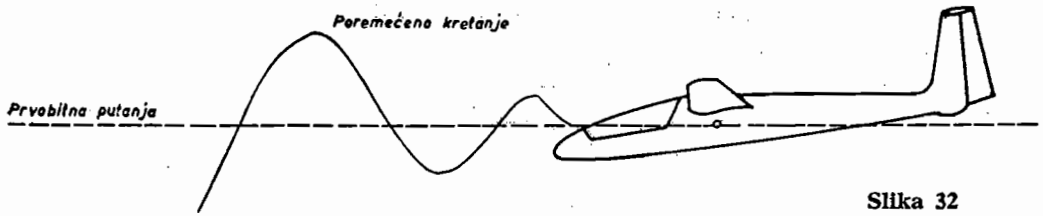
Zaključak. — *Pored aerodinamičkih sila i težine, na jedrilicu u zaokretu deluje i centrifugalna sila. Ove sile nalaze se u ravnoteži. Opterećenje jedrilice u zaokretu raste sa uglom nagiba. Poluprečnik zaokreta upravno je srazmeran kvadratu brzine a obrnuto srazmeran uglu nagiba. Brzina pri minimalnom propadanju, a naročito minimalno propadanje, raste sa povećanjem ugla nagiba.*

STABILNOST JEDRILICE

Posmatrajmo jedrilicu u ustaljenom planiranju. Neka je iz nekih razloga, npr. zbog udara vazdušne struje manje jačine ili zbog slučajnog pokreta komandi, došlo do poremećaja putanje leta. Jedrilica je stabilna ako po prestanku dejstva uzroka poremećaja postepeno sama (bez uticaja pilota) prelazi u ustaljeno kretanje po putanji koja je bliska prvobitnoj. U suprotnom slučaju, ako se sve više i više udaljava od prvobitne putanje, jedrilica je nestabilna.

Ako je jedrilica stabilna, razumljivo je da sigurno postoje neke sile koje neutrališu poremećaj i vraćaju je ka prvobitnoj putanji. Ako na bilo koji način utvrdimo da takve sile postoje, kažemo da je jedrilica **statički stabilna.**

Međutim, može da se desi da prilikom vraćanja jedrilice na prvobitnu putanju zbog dejstva stabilizujuće sile dođe do poremećaja u suprotnu stranu, pod uticajem inercijalnih sila. Ako se desi da je ovaj poremećaj veći od prvobitnog, izazvaće i veću stabilizujuću silu, koja će, potpomognuta inercijalnom silom, prebaciti jedrilicu ponovo u smeru prvobitnog poremećaja. Ovaj proces se nastavlja i u krajnjem rezultatu dovodi do nepovratnog udaljavanja od prvobitne putanje (sl. 32).



Slika 32

Za jedrilicu koja se ovako kreće očigledno je da je statički stabilna ali uopšte nestabilna.

Ako ne postoje sile koje bi jedrilicu iz poremećenog kretanja vraćale ka prvobitnoj putanji, već samo sile suprotnog smera koje povećavaju poremećaj, kazaćemo da je jedrilica statički nestabilna. Statički nestabilna jedrilica je sigurno nestabilna uopšte, pošto sile koje se javljaju izazivaju dalje remećenje kretanja.

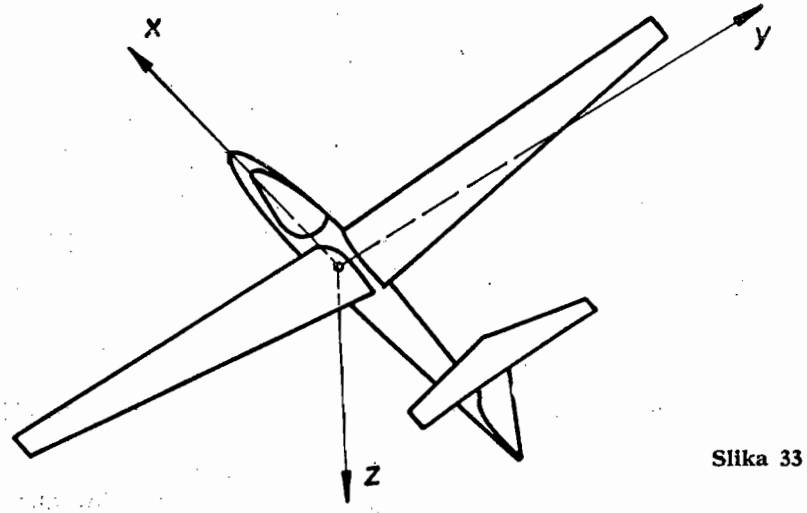
Stabilnost jedrilice koju smo definisali na početku ovog odeljka, a koje je povezano sa kretanjem jedrilice, obično se naziva **dinamička stabilnost,** za razliku od statičke stabilnosti povezane sa silama koje se pri tom kretanju javljaju.

Iz svega ovoga što smo dosad izložili možemo zaključiti da je statički nestabilna jedrilica sigurno i dinamički nestabilna. Međutim, ako je jedrilica statički stabilna, ostaje pitanje da li je stabilna i dinamički.

Proračun dinamičke stabilnosti veoma je složen i zato se dinamička stabilnost jedrilice obično određuje samo inspitivanjem. No, baš ova ispitivanja ukazuju da savremene jedrilice uobičajenih proporcija kada su statički stabilne, gotovo redovno poseduju i dinamičku stabilnost.

Prema tome, statička stabilnost je presudan faktor za stabilnost jedrilice uopšte. Statičku stabilnost obično delimo na uzdužnu stabilnost, putnu stabilnost i poprečnu stabilnost.

Kada posmatramo jedrilicu u letu, kroz njeno težište možemo da provučemo tri koordinatne ose: x, y i z.



Slika 33

Kao što se vidi iz slike 33, uzdužna osa x predstavlja osu trupa, poprečna osa y upravna je na ravan simetrije jedrilice, dok je vertikalna osa z upravna na ravan kroz ose x i y.

Uzdužna statička stabilnost proučava sile i momente koji teže da obrću jedrilicu oko poprečne ose y.

Putna statička stabilnost proučava sile i momente koji teže da obrću jedrilicu oko ose z.

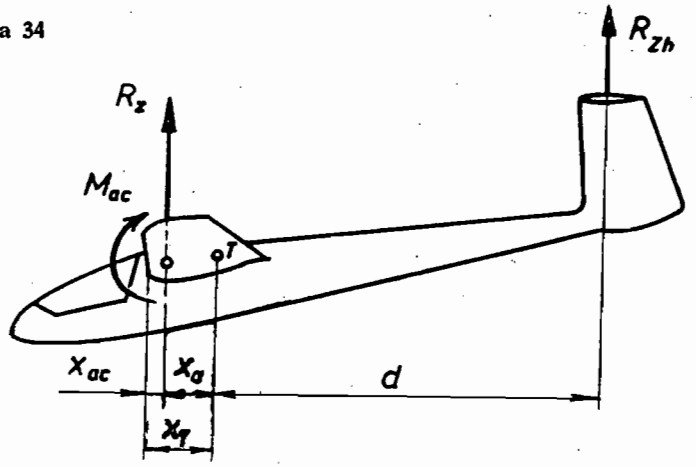
Poprečna statička stabilnost proučava sile i momente koji teže da obrću jedrilicu oko ose x.

Pošto je obrtanje jedrilice oko osa x i z redovno povezano, to putnu i poprečnu stabilnost obično zovemo jednim imenom poprečno-smerna stabilnost.

Posmatrajmo sada detaljnije uzdužnu stabilnost, koja je najvažnija za normalno i bezbedno letenje jedrilice. Da bi let jedrilice bio ustaljen, momenat svih aerodinamičkih sila za težište jedrilice mora da bude jednak nuli.

Ako ostale aerodinamičke sile i momente koji deluju na jedrilicu zanemarimo kao male, možemo da posmatramo samo vertikalnu aerodinamičku silu na krilu, koja je približno jednaka uzgonu R_z, momenat oko aerodinamičkog centra krila M_{ac} i vertikalnu silu na horizontalnom repu, koja je približno jednaka uzgonu horizontalnog repa R_{zh}.

Slika 34



Na osnovu slike 34 momenat za težište u ustaljenom letu biće:

$$M_T = M_{ac} + R_z\, x_a - R_{zh}\, d = 0. \qquad (44)$$

Ono što nas u ispitivanju stabilnosti interesuje jeste kako će ovaj momenat da se menja u zavisnosti od napadnog ugla. Drugim rečima, ako se, na primer, napadni ugao poveća, treba videti da li će se pojaviti neki momenat koji teži da ga smanji, i na osnovu toga zaključiti da li je jedrilica uzdužno statički stabilna ili nije.

Ako jednačinu (44) podelimo sa dinamičkim pritiskom i površinom krila, dobićemo je izraženu pomoću koeficijenata:

$$c_{mT}\, l = c_{mac}\, l + c_z\, x_a - c_{zh}\, d\, \frac{S_h}{S} = 0.$$

Ako je sada podelimo sa srednjom tetivom krila, dobićemo izraz za koeficijent momenta oko težišta:

$$c_{mT} = c_{mac} + c_z \frac{x_a}{l} - c_{zh} \frac{d}{l} \frac{S_h}{S} = 0 \qquad (45)$$

Povećajmo sada napadni ugao jedrilice za neku malu vrednost $\Delta\alpha$. Pri tome koeficijent momenta c_{mac} ostaje nepromenjen, dok se koeficijenti uzgona krila i horizontalnog repa promene za neke male vrednosti Δc_z i Δc_{zh}. Promena koeficijenta momenta biće:

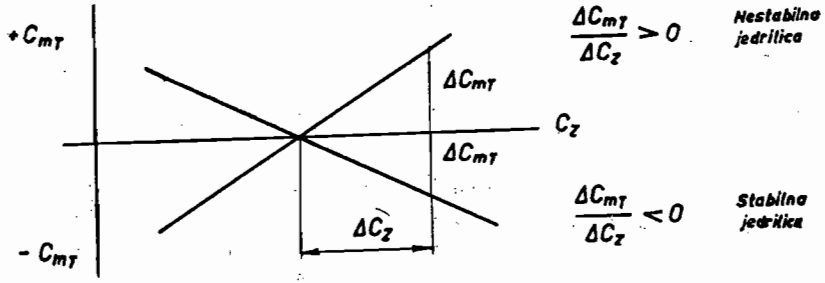
$$\Delta c_{mT} = \Delta C_z \frac{x_a}{l} - \Delta C_{zh} \frac{d}{l} \frac{S_h}{S}. \qquad (46)$$

Ako ovu jednačinu podelimo sa Δc_z, dobićemo odnos priraštaja koeficijenta momenta za težište i koeficijenta uzgona:

$$\frac{\Delta c_{mT}}{\Delta c_z} = \frac{x_a}{l} - \frac{c_{zh}}{c_z} \frac{d}{l} \frac{S_h}{S}. \qquad (47)$$

Ako je ovaj odnos negativan, znači da se prilikom povećanja koeficijenta uzgona pojavljuje negativni koeficijent momenta za težište, iz čega sledi da se pojavljuje momenat koji teži da obori nos jedrilice, smanji napadni ugao, a samim tim i koeficijent uzgona.

Ukratko, u ovom slučaju na jedrilici čije je kretanje poremećeno pojavljuje se momenat koji je vraća u smeru prvobitnog napadnog ugla, odakle sledi da je jedrilica statički stabilna. Ovo možemo da prikažemo sledećim dijagramom (sl. 35).



Slika 35

U suprotnom slučaju, kada je odnos $\Delta c_{mT}/\Delta c_z$ pozitivan, jedrilica je nestabilna.

Da vidimo sada od čega zavisi ovako definisana uzdužna stabilnost jedrilice. U izrazu (47) S_h je površina horizontalnog repa, S je površina krila, l srednja tetiva krila, $\Delta c_{zh}/\Delta c_z$ promena koeficijenta uzgona horizontalnog repa pri promeni koeficijenta uzgona krila. Pošto su i Δc_{zh} i Δc_z upravno srazmerni promeni napadnog ugla je-

drilice, njihov odnos je stalan za jednu određenu jedrilicu. Rastojanje d se relativno malo menja sa položajem težišta, pa možemo u prvoj približnosti smatrati da je drugi član desne strane jednačine (47) stalan za svaku pojedinu jedrilicu. Osim toga, ovaj član je po predznaku negativan, pa je očigledno da ukoliko je on veći, utoliko je i jedrilica stabilnija. Što se tiče člana x_a/l očigledno je da on zavisi od rastojanja težišta od aerodinamičkog centra. Pošto je ovaj član pozitivan za situaciju na slici 34, očigledno je da će jedrilica biti utoliko stabilnija, ukoliko isti bude manji, a što prema slici znači — ukoliko rastojanje težišta i aerodinamičkog centra bude manje.

Položaj težišta pri kome jedrilica prestaje da bude stabilna zove se neutralna tačka. Prema tome, kada je težište u neutralnoj tački, biće:

$$\frac{\Delta c_{mT}}{\Delta c_z} = 0,$$

pa je i desna strana jednačine (47) jednaka nuli, odakle sledi da je u ovom slučaju:

$$\frac{x_a}{l} = \frac{\Delta c_{zh}}{\Delta c_z} \frac{d}{l} \frac{S_h}{S}.$$

Pošto je na osnovu slike 34 $x_a = x_T - x_{ac}$, možemo da odredimo rastojanje neutralne tačke od napadne ivice izraženo u delovima srednje tetive:

$$\left(\frac{x_T}{l}\right)_N = \frac{x_{ac}}{l} + \frac{\Delta c_{zh}}{\Delta c_z} \frac{d}{l} \frac{S_h}{S}. \qquad (48)$$

Na primer, neka je

$$\frac{x_{ac}}{l} = 0{,}25, \quad \frac{\Delta c_{zh}}{\Delta c_z} = 0{,}5, \quad d = 4 \text{ m}, \quad l = 0{,}8 \text{ m},$$

$$S_h = 1{,}25 \text{ m}^2, \quad S = 12{,}5 \text{ m}^2.$$

Sada prema jednačini (48):

$$\left(\frac{x_T}{l}\right)_N = 0{,}25 + 0{,}5 \frac{4}{0{,}8} \frac{1{,}25}{12{,}5} = 0{,}50.$$

Dakle, neutralna tačka za ovaj primer nalazi se na polovini srednje tetive krila.

Položaj neutralne tačke za izvedene jedrilice određuje se ispitivanjem u letu. Da bi se u eksploataciji jedrilice uvek obezbedila dovoljna stabilnost, propisuje se određena rezerva stabilnosti. Na primer, ako je utvrđeno da se neutralna tačka jedrilice nalazi na 45% srednje tetive od napadne ivice a usvojena rezerva stabilnosti

iznosi 5%, znači da je krajnji dozvoljeni položaj težišta na 40% srednje tetive, odnosno da je $x_T/l = 0{,}40$.

U praksi, na pomeranje težišta utiče razlika u težini pilota. Ukoliko je pilot teži, težište će biti pomereno više unapred i jedrilica će biti stabilnija, i obrnuto. Stoga se na zemlji izvrši provera položaja težišta jedrilice sa pilotom, i ako se, na primer, utvrdi da je pri težini pilota od 60 kg težište jedrilice na 40% srednje tetive, propisuje se da tom jedrilicom ne sme da leti pilot manje težine ukoliko se u prednji deo trupa ne doda odgovarajući teret.

Ispitivanje poprečne i putne statičke stabilnosti može da se izvede na sličan način kao za uzdužnu stabilnost. Međutim, s obzirom na već pomenutu povezanost ovih pojava, takva je analiza od manje vrednosti nego za uzdužnu stabilnost. Može se samo napomenuti da povećanje površine vertikalnog repa povoljno utiče na putnu stabilnost, a V — oblik krila poboljšava poprečnu stabilnost.

Uopšte uzevši, savremene jedrilice imaju zadovoljavajuću putnu stabilnost, dok su poprečno blago nestabilne. Ovo ne otežava letenje pošto se poremećaji putanje zbog ove nestabilnosti dešavaju tako sporo da ih pilot refleksno koriguje, održavajući potrebne elemente leta (brzina, pravac, nagib).

Zaključak. — *Jedrilica je stabilna ako posle poremećaja sama postepeno prelazi u ustaljeno kretanje po putanji koja je bliska prvobitnoj. Ovo je definicija stabilnosti uopšte ili, kako se često naziva, dinamičke stabilnosti.*

Statička stabilnost ispituje da li postoje sile koje jedrilicu iz poremećenog položaja vraćaju ka prvobitnoj putanji.

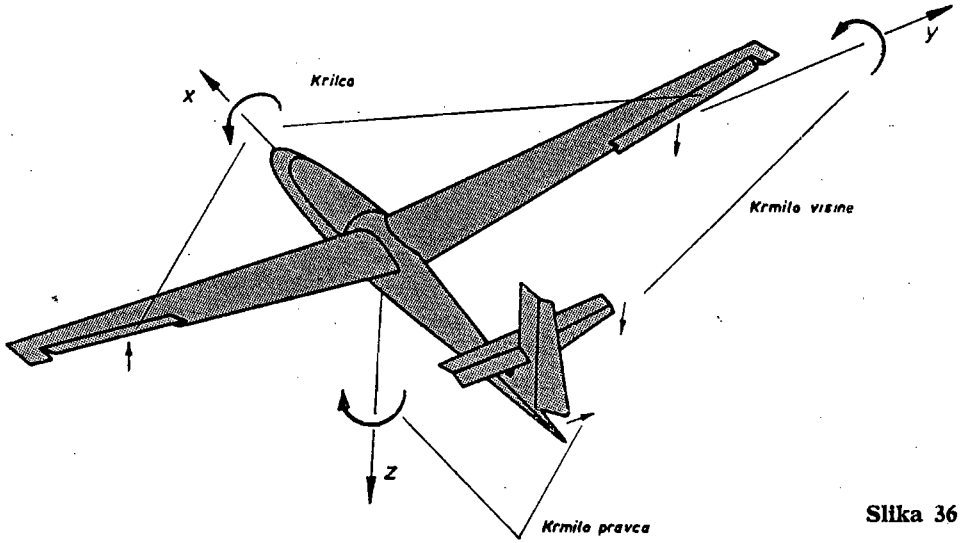
Neutralna tačka je položaj težišta u kome jedrilica prestaje da bude uzdužno statički stabilna.

Krajnji dozvoljeni zadnji položaj težišta nalazi se ispred neutralne tačke za 2—5% srednje tetive krila.

Od prekoračenja ovog položaja i nestabilnosti jedrilice obezbeđujemo se propisivanjem minimalne dozvoljene težine pilota.

UPRAVLJIVOST JEDRILICE

Da bi jedrilica mogla da posluži svojoj nameni, neophodno je da pilot može njome efikasno da upravlja. Tako, na primer, ako želi da poveća brzinu, treba da smanji koeficijent uzgona krila, što će postići promenom napadnog ugla. Ova promena napadnog



Slika 36

ugla realizuje se dejstvom pilota preko odgovarajućeg sistema komandi leta na pokretni deo horizontalnog repa, koji se naziva krmilo visine.

Kada se krmilo visine pomeri nadole, kao što je to prikazano na slici 36, dolazi do povećanja uzgona na repu i podizanja repa nagore, što izaziva smanjenje napadnog ugla cele jedrilice i povećanje brzine. Ovo smanjenje napadnog ugla smanjuje napadni ugao horizontalnog repa, pa tako i njegov uzgon. Konačni rezultat biće da se jedrilica ponovo uravnoteži pri nekom manjem napadnom uglu i povećanoj brzini.

Uzdužna upravljenost jedrilice meri se odnosom:

$$\frac{\textit{promena napadnog ugla}}{\textit{promena ugla otklona krila visine}}.$$

Ukoliko je ovaj odnos veći, utoliko je jedrilica upravljivija ili, kako se to često govori, pokretljivija.

Kada je jedrilica stabilnija, na njoj se prilikom promene napadnog ugla javljaju veće sile suprotnog smera, pa je za određenu promenu napadnog ugla neophodno izvršiti veće pomeranje krmila visine.

Iz ovoga proizilazi da sa povećanjem stabilnosti jedrilica postaje manje upravljiva, i obrnuto. Izlaz iz ove suprotnosti je u sledećem. Videli smo da stabilnost jedne određene jedrilice zavisi od položaja težišta, odnosno od težine pilota. Da bi jedrilica uvek letela sa određenom merom stabilnosti (rastojanjem od neutralne tačke), propisuje se najmanja dozvoljena težina pilota. U suprotnom slučaju, sa povećanjem težine pilota, stabilnost se povećava a smanjuje upravljivost. Da bi se u okviru konstruktivno predviđenih otklona komandi leta mogli pravilno izvesti svi manevri

predviđeni za odgovarajući tip jedrilice, propisuje se krajnji dozvoljeni prednji položaj težišta, odnosno odgovarajuća najveća težina pilota.

Dakle, zadnji položaj težišta diktiran je zahtevima stabilnosti a prednji zahtevima upravljivosti jedrilice. Treba napomenuti da se kod savremenih jedrilica dozvoljeni položaj težišta kreće u širokim granicama, tako da se npr. za neke jedrilice dozvoljava težina pilota sa padobranom između 55 i 110 kg, što približno odgovara promeni položaja težišta između 20 i 40% srednje tetive.

Slično kao i uzdužna upravljivost, definiše se i upravljivost po pravcu. Ona se meri odnosom:

$$\frac{\textit{ugao skretanja jedrilice}}{\textit{ugao otklona krmila pravca}},$$

gde ugao skretanja predstavlja ugao obrtanja oko ose z, dok je otklon krmila pravca prikazan, takođe, na slici 36.

Za razliku od otklona krmila visine i pravca koji uravnotežuju jedrilicu na nekom određenom napadnom uglu ili uglu skretanja, otklon krilaca izaziva ravnomerno obrtanje jedrilice oko ose x (sl. 36). Ovo obrtanje okarakterisano je odnosnom ugla obrtanja oko x-ose i vremena za koje se obrtanje izvrši, dakle ugaonom brzinom.

Prema tome, upravljivost jedrilice oko uzdužne ose meri se odnosom:

$$\frac{\textit{ugaona brzina oko x-ose}}{\textit{ugao otklona krilaca}}.$$

Treba napomenuti da se ovaj odnos ili, kako piloti često kažu, „efikasnost krilaca", menja sa brzinom leta.

Tako su: pri malim brzinama krilca neefikasna, pri srednjim brzinama (oko 100 km/h za jedrilice) efikasnost je najveća, dok pri velikim brzinama (oko 200 km/h) može opet da opadne, što je posledica tzv. reversa krilaca, koji je povezan sa elastičnošću krila, ali o čemu nećemo ovde govoriti.

Pošto je otklon krilaca vezan sa ravnomernim obrtanjem jedrilice oko x-ose, jedrilica se može uravnotežiti pri određenom uglu nagiba (zaokretu) samo kad se krilca vrate u neutralni položaj i čak nešto u suprotnu stranu kako bi se povećao koeficijent uzgona na spuštenom, unutrašnjem, krilu jedrilice, koje se u zaokretu kreće manjom brzinom.

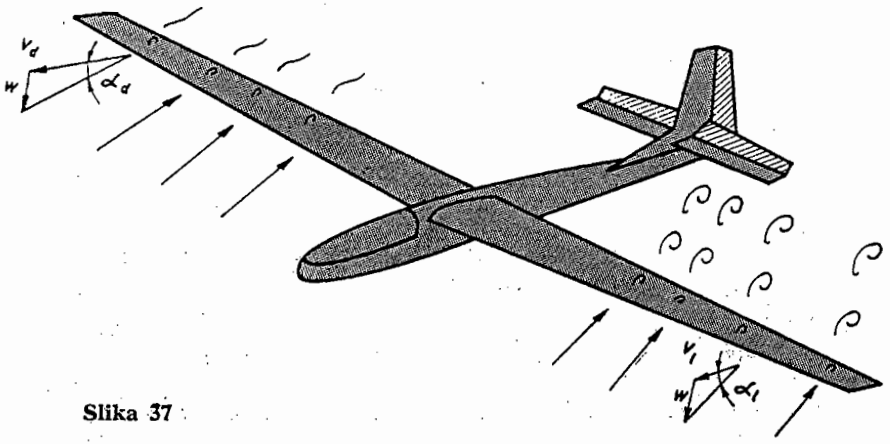
Zaključak. — *Jedrilica je upravljiva ako u okviru konstruktivno predviđenih otklona krmila može pravilno da izvede sve potrebne manevre. Zbog uzdužne upravljivosti propisuje se krajnji prednji položaj težišta, odnosno najveća dozvoljena težina pilota.*

PREVUČENI LET I KOVIT

Let sa velikim napadnim uglovima, bliskim slomu uzgona, česta je pojava i pri najsolidnijem pilotiranju jedrilicom. Na primer, prilikom kruženja u termičkom stubu leti se brzinom najmanjeg propadanja, koja je prilično bliska minimalnoj brzini. Da bi se smanjio poluprečnik zaokreta, kada je u pitanju jak a uzak stub, jedriličar često leti brzinom koja jedva da je veća od minimalne pri dodatom nagibu. Slična situacija velikog napadnog ugla moguća je, razume se, i u planiranju, figurnom letenju itd.

Ako se pri letu sa velikim napadnim uglom ovaj, bilo slučajno bilo namerno, još više poveća, dolazi do delimičnog otcepljenja strujnica na krilu i znatnog povećanja koeficijenta otpora. Ova situacija naziva se prevučeni let i ogleda se u podrhtavanju repnih površina, koje izaziva uzburkana struja vazduha sa krila, kao i u povećanoj brzini propadanja jedrilice. Pri još većem povećanju napadnog ugla, dolazi do sloma uzgona i obaranja nosa jedrilice. Ako se ovo proprati odgovarajućim vraćanjem krmila visine u normalan položaj i čak nešto ispod njega, jedrilica ponovo prelazi u let sa normalnim napadnim uglovima, uz mali gubitak visine. Ovo se javlja kada je krmilo pravca u neutralnom položaju. Pored toga, potrebno je da krilo bude konstruktivno tako izvedeno da do sloma uzgona prvo dolazi u blizini trupa. Ovo se postiže smanjivanjem napadnog ugla prema kraju krila, tzv. vitoperenjem krila, što je povezano sa povećanjem indukovanog otpora, pa se na savremenim jedrilicama retko primenjuje.

Drugi način je izbor umerenog suženja krila, i to takvog da odnos tetiva na kraju krila i ravni simetrije ne ide mnogo ispod 0,4.



Slika 37

Ovo se kombinuje sa izborom pogodnih aeroprofila u kojih koeficijent uzgona iza maksimalnog opada što je moguće postepenije. Srećna je okolnost što savremeni aeroprofil niskog otpora (laminarni), koji se primenjuje na jedrilicama, mahom poseduju i ovu dragocenu osobinu. Razume se, velika odgovornost leži i na proizvođaču jedrilica, pošto greške u fabrikaciji mogu da dovedu do razlike u napadnim uglovima levog i desnog krila, a to, pak, dovodi do nesimetričnog sloma uzgona.

Ako u toku prevučenog leta pilot dovede krmila u položaj prikazan na slici 37, doći će do sledeće situacije.

Krmilo visine, kad se otkloni do kraja nagore, dovodi jedrilicu na kritični napadni ugao, koji odgovara slomu uzgona. Otklon krmila pravca do kraja, npr. u levu stranu, izaziva smanjenje brzine u pravcu tetive levog krila a povećava odgovarajuću brzinu desnog krila.

Pošto komponenta brzine normalna na tetivu, koja približno odgovara brzini propadanja jedrilice, ostaje pri tome ista na oba krila, dolazi do povećanja napadnog ugla na levom a smanjenja na desnom krilu.

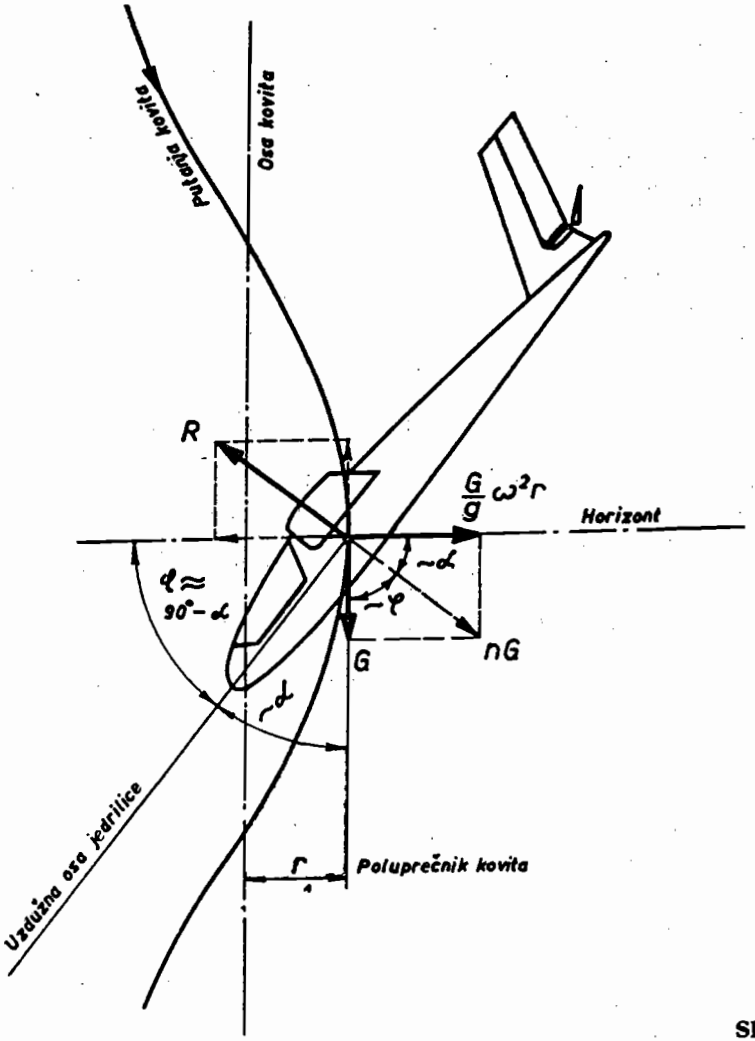
Prema tome, do sloma uzgona doći će prvo na jednom, u ovom slučaju levom krilu. Do ovoga može da dođe, kao što smo videli, i zbog fabrikacione ili neke druge nesimetrije u napadnom uglu povezane npr. sa uzburkanom atmosferom ili, pak, otklonom krilaca, što je naročito slučaj kada izbor aeroprofila i konstruktivnih karakteristika krila nije izvršen saglasno prethodnom razmatranju.

Zbog ovako nesimetričnog sloma uzgona dolazi do svaljivanja jedrilice na krilo. U krajnjem rezultatu ovo dovodi do obrtanja jedrilice oko jedne vertikalne ose, pri čemu je uzdužna osa jedrilice oborena pod određenim uglom u odnosu na horizont. Ovakav manevar zove se kovit i prikazan je na slici 38.

Posle nekoliko okreta kovit postaje manje-više ustaljen. Sile koje pri tome deluju na jedrilicu mogu da se svedu na aerodinamičku silu, težinu i centrifugalnu silu. Pošto se kretanje vrši po zavojnoj liniji oko ose kovita, centrifugalna sila zavisi od ugaone brzine obrtanja oko ove ose, koju ćemo označiti sa ω, i poluprečnika kovita r.

U uslovima otcepljene struje, koji vladaju u kovitu, ukupna aerodinamička sila približno je normalna na površinu krila. Zato je i ugao između aerodinamičke sile i njene komponente, koja je normalna na putanju, uzgona, približno jednak napadnom ugla α.

Sa svoje strane, osa trupa savremenih jedrilica praktično je paralelna tetivi, pa je ugao kovita φ, kao što se vidi iz slike 38, dopuna napadnog ugla jedrilice u kovitu do 90°.



Slika 38

Na osnovu ovog razmatranja i ravnoteže sila prikazanih na slici 38, možemo da uspostavimo veze između pojedinih veličina koje karakterišu kovit. Tako, na primer, iz trougla koji obrazuju težina jedrilice G i rezultanta težine i centrifugalne sile nG, možemo da uspostavimo približnu vezu između koeficijenta opterećenja n i napadnog ugla α, kao i ugla kovita φ:

$$\frac{1}{n} \approx \sin\alpha \approx \cos\varphi.$$

Iz jednakosti ukupne aerodinamičke sile R i rezultante nG može da se uspostavi veza između brzine propadanja, koja je u

kovitu praktično jednaka brzini na putanji, i koeficijenta ukupne aerodinamičke sile c_r. Ispitivanja su pokazala da je ovaj koeficijent za kovit približno jednak maksimalnom koeficijentu uzgona. Ovo je i logično, jer posle tzv. kritičnog napadnog ugla opadanje koeficijenta uzgona praćeno je naglim porastom koeficijenta otpora i može se očekivati da rezultujući koeficijent ostane praktično nepromenjen, dakle:

$$R = n\,G,$$

gde je:

$$R = c_r \frac{\rho\, w^2}{2} S,$$

odnosno za standardne uslove na nivou mora:

$$R = c_r \frac{w^2}{16} S, \tag{49}$$

pa je brzina propadanja:

$$w = 4\sqrt{\frac{n\,G/S}{c_r}}.$$

Odredimo sada poluprečnik kovita. Iz slike 38 vidi se da je:

$$\frac{G}{g}\omega^2 r = G\,\mathrm{tg}\,\varphi,$$

odakle direktno sledi:

$$r = \frac{g\,\mathrm{tg}\,\varphi}{\omega^2}. \tag{50}$$

Upoznajmo se sada na jednom primeru sa brojnim vrednostima ovih veličina kod jedrilica. Ispitivanjem je utvrđeno da u toku jednog okreta u kovitu, koji traje 4 sekunde, jedna jedrilica izgubi 110 m visine. Pri tome je izmereni koeficijent opterećenja iznosio n=2,5.

Približnu vrednost ugla kovita dobićemo iz izraza:

$$\cos\varphi \approx \frac{1}{n} = \frac{1}{2{,}5},$$

pa je:

$$\varphi = 66{,}4^0.$$

Napadni ugao je pri tome $\alpha = 90^0 - 66{,}4^0 = 23{,}6^0$. Ovakav kovit, karakterisan velikim uglovima kovita $\varphi = 50^0$ do 70^0 i napadnim

uglovima 20° do 40°, ne mnogo većim od kritičnog, naziva se strmi kovit.

U suprotnom slučaju, kada su uglovi kovita mali, $\varphi = 20°$ do 30°, a napadni uglovi veliki, $\alpha = 60°$ do 70°, imamo pljoštimični kovit iz kojeg je vrlo teško izvaditi jedrilicu. Srećna je okolnost što se ova vrsta kovita kod jedrilica savremene konfiguracije uopšte ne pojavljuje.

Brzina propadanja jedrilice u navedenom primeru iznosi:

$$w = \frac{110\ \text{m}}{4\ \text{sec}} = 27{,}5\ \text{m/s}.$$

Odavde je lako izračunati koeficijent aerodinamičke sile, jer je na osnovu izraza (49):

$$c_r = \frac{16\, n\, G}{w^2\, S} = \frac{16 \cdot 2{,}5 \cdot 300}{27{,}5^2 \cdot 12} = 1{,}4,$$

ako je težina jedrilice 300 kg a površina krila 12 m². Izračunata vrednost c_r očigledno je reda veličine $c_{z\,max}$ za savremene jedrilice.

Ugaonu brzinu obrtanja jedrilice oko ose kovita lako je izračunati iz podataka da jedan okret traje 4 sekunde. Pošto pun krug ima 2π radijana, ugaona brzina biće:

$$\omega = \frac{2\pi}{4}\ \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

pa je:

$$r = \frac{9{,}81\ \text{tg}\ 66{,}4°}{(\pi/2)^2} = 9{,}1\ \text{m}.$$

Najneprijatnija osobina kovita je velika brzina propadanja, koja u slučaju pada u kovit na maloj visini može da dovede do udesa. Zato treba izbegavati prevučen let i nepravilne pokrete komandi, naročito na malim visinama.

Međutim, ako je već došlo do pada u kovit, to samo po sebi za iole obučenog pilota ne predstavlja opasnost ni na jednoj od jedrilica koje se danas koriste.

Da bi se izišlo iz kovita, dovoljno je otkloniti krmilo visine nadole, što se postiže potiskivanjem pilotske palice unapred a jedrilicu dovodi na normalne napadne uglove, uz jednovremeni pokret krmila pravca u stranu suprotnu od kovita, što zaustavlja obrtanje.

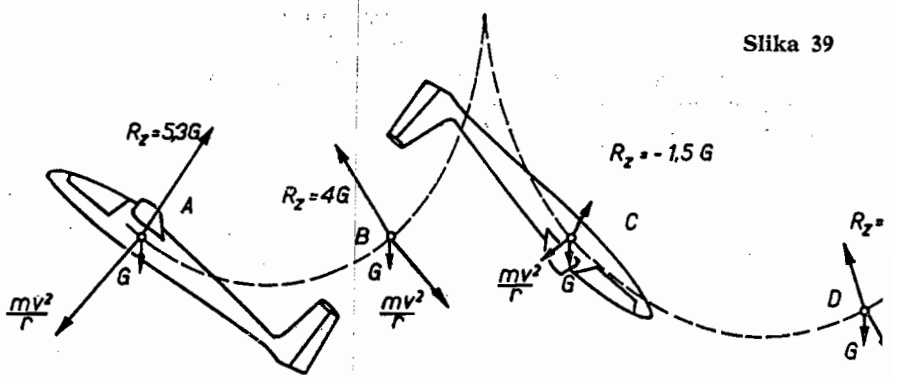
Zaključak. — *Prevučeni let je let sa najvećim koeficijentom uzgona. Kovit je manevar u toku kojeg se jedrilica kreće niz strmu zavojnu putanju čija je osa vertikalna. Kovit je moguća posledica prevučenog leta.*

OPTEREĆENJA JEDRILICE U LETU

Videli smo da je jedna od karakterističnih veličina koja se javlja u različitim manevrima jedrilice koeficijent opterećenja n. U pravolinijskom planiranju ustaljenom brzinom koeficijent opterećenja je n=1, pošto na svaki elemenat jedrilice deluje samo njegova težina.

Posmatrajmo sada jedrilicu u letu po nekoj krivolinijskoj putanji u vertikalnoj ravni.

Slika 39



Prilikom kretanja po ovakvoj putanji, na jedrilici se javlja centrifugalna sila mv^2/r.

Prema tome ukupna sila koja deluje na jedrilicu jednaka je rezultanti težine i centrifugalne sile i označavaćemo je sa n G, gde je n koeficijent opterećenja jedrilice, koji pokazuje koliko je puta inercijalna sila, koja deluje na jedrilicu, veća od njene težine.

Pošto sve sile koje deluju na jedrilicu moraju da budu u ravnoteži, to je sila n G jednaka aerodinamičkoj sili R, odnosno približno jednaka uzgonu jedrilice:

$$c_z \frac{\rho\, v^2}{2} S = n\, G.$$

Sada koeficijent opterećenja možemo da izrazimo pomoću brzine i koeficijenta uzgona:

$$n = c_z \frac{\rho\, v^2}{2} \frac{S}{G}.$$

Očigledno je da će za jednu datu brzinu koeficijent opterećenja biti najveći ako jedrilica leti pri maksimalnom koeficijentu uzgona, pri čemu je:

$$n = c_{z\,max} \frac{\rho v^2}{2} \frac{S}{G}. \qquad (51)$$

Upravo je ovaj koeficijent opterećenja i merodavan za proračun čvrstoće jedrilice. Međutim, odmah se vidi da on raste sa kvadratom brzine, što znači da bi pri većim brzinama mogao da dostigne izvanredno velike vrednosti.

Proračunavati čvrstoću jedrilice na preterano velike koeficijente opterećenja nema nikakvog smisla, pošto, na primer, već iznad n=4 kod pilota slabije fizičke kondicije može da dođe do poremećaja vida, a iznad n=6 i do gubitka svesti.

Zbog toga se, npr. prema propisima Međunarodne naučne i tehničke organizacije za jedriličarstvo (OSTIV) dozvoljeni koeficijent opterećenja ograničava za jedrilice standardne klase na $n_1 = 5{,}3$.

Iz ovog ograničenja može da se izračuna kolika je brzina jedrilice do koje je dozvoljeno ovu dovoditi na maksimalne koeficijenta uzgona. Iz formule (51) sledi da je:

$$v_M = \sqrt{\frac{2\,G/S}{\rho\, c_{z\,max}}} \sqrt{n_1} = v_{min} \sqrt{n_1}.$$

Brzina v_M naziva se proračunska brzina manevra ili kraće **brzina manevra.** Ako je npr. minimalna brzina jedrilice $v_{min}=61$ km/h, brzina manevra biće:

$$v_M = 61 \sqrt{5{,}3} = 140 \text{ km/h}.$$

Pri brzinama većim od brzine manevra treba koristiti umerene otklone komandi leta. Tako je, na primer, pri maksimalnoj brzini jedrilice poželjno da pokreti komandi ne prelaze jednu trećinu najveće vrednosti.

Po propisima OSTIV maksimalna dozvoljena brzina jedrilice ne treba da bude manja od:

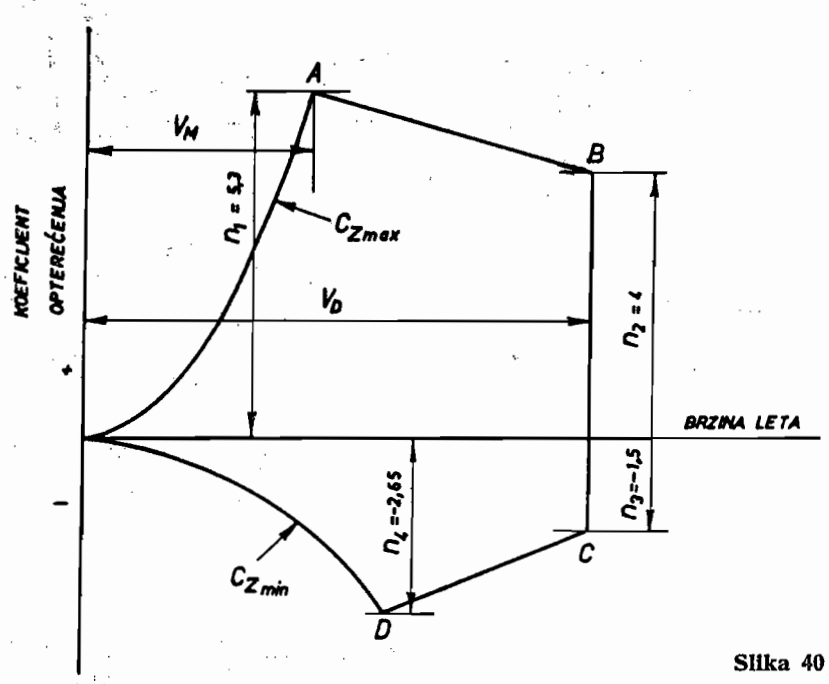
$$V_D = \left(3{,}25 \frac{G}{S} + 150\right) \text{km/h}.$$

Na primer, ako je G/S=25, onda je:

$$V_D = 3{,}25 \cdot 25 + 150 = 231 \text{ km/h}.$$

Pri ovoj brzini dozvoljeni koeficijent opterećenja ograničava se na $n_2=4{,}0$.

Sva ova opterećenja prikazuju se dijagramom koji je dat na slici 40.



Slika 40

Deo dijagrama koji odgovara negativnim koeficijentima opterećenja odnosi se na leđni let. Pošto je u ovom slučaju izdržljivost pilota manja, to su i propisani koeficijenti opterećenja manji.

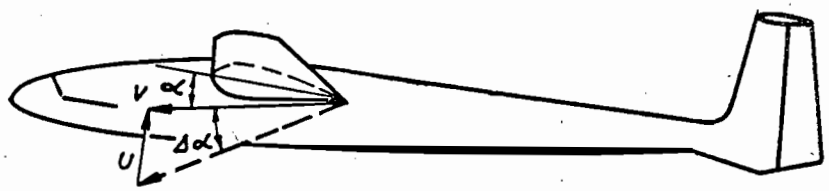
Ako se u toku leta brzina i koeficijent opterećenja jedrilice održavaju u granicama iz ovog dijagrama, letenje je bezbedno.

Karakteristične tačke ovog dijagrama, koji se obično naziva **obvojnica leta,** predstavljaju karakteristične slučajeve leta za koje se proračun vrši. Tako, npr. tačka A, predstavlja slučaj leta A pri kome je brzina jednaka brzini manevra, dok je koeficijent opterećenja maksimalno dozvoljeni. Ovo važi za vađene jedrilice iz obrušavanja.

Položaji jedrilice na putanji, koji odgovaraju karakterističnim slučajevima leta, prikazani su na slici 39.

Osim opisanih opterećenja koja se javljaju prilikom manevra, jedrilica je često izložena vertikalnim udarima vazdušnih struja-

nja. Ovakva opterećenja zovu se opterećenja u buri, gde se reč bura odnosi na uzburkanost vazdušnog strujanja. Pojava ovog opterećenja prikazana je na slici 41.



Slika 41

Pretpostavimo da se jedrilica nalazi u ustaljenom planiranju brzinom v. Napadni ugao krila jedrilice α je, prema definiciji, ugao između tetive krila i pravca vazdušne struje, odnosno brzine na putanji v. Pri tom je koeficijent opterećenja n=1, jer su elementi jedrilice opterećeni samo svojom težinom. Ako sada na jedrilicu deluje neka uspona vazdušna struja čija je brzina U, ona će izazvati promenu pravca vazdušne struje na krilu za neki ugao $\triangle\alpha$. Ovom uglu $\triangle\alpha$ odgovara određeni priraštaj koeficijenta uzgona $\triangle c_z$.

Prema tome, i ukupan uzgon jedrilice će da poraste za neku vrednost:

$$\Delta R_z = \Delta c_z \frac{\rho v^2}{2} S.$$

Ovoj će se sili suprotstaviti odgovarajuća sila inercije $\triangle n G$, pa možemo da napišemo da je priraštaj koeficijenta opterećenja:

$$\Delta n = \Delta c_z \frac{\rho v^2}{2} \frac{S}{G},$$

a ukupna koeficijent opterećenja:

$$n = 1 + \Delta n = 1 + \Delta c_z \frac{\rho v^2}{2} \frac{S}{G}. \qquad (52)$$

Priraštaj koeficijenta uzgona može da se izračuna na osnovu poznatog priraštaja napadnog ugla:

$$\Delta c_z = \frac{\Delta c_z}{\Delta \alpha} \Delta \alpha.$$

Promena koeficijenta uzgona pri promeni napadnog ugla je stalna veličina za određenu jedrilicu, i za savremene jedrilice iznosi:

$$\frac{\Delta c_z}{\Delta \alpha} \approx 0{,}1.$$

Što se, pak, ugla $\triangle\alpha$ tiče, on se pri datim uslovima ne izračunava čisto geometrijski iz slike 41, već se, s obzirom na složenost pojave, uzimaju u obzir i drugi faktori. U prvoj približnosti je za srednje brzine leta:

$$\Delta \alpha^0 \approx 16 \frac{U}{v}.$$

Sada se koeficijent opterećenja može prikazati jednostavnom formulom, koja za standardne uslove na površini mora glasi:

$$n = 1 + \frac{U v}{10} \frac{S}{G}. \qquad (53)$$

Na primer, propisano je da standardna jedrilica pri brzini koja je 2,3 puta veća od minimalne mora da izvrši udarac usponog vazdušnog strujanja brzine U=30 m/s. Ako je minimalna brzina jedrilice v_{min}=61 km/h=17 m/s, površina krila S=12 m² a težina jedrilice G=300 kg, koeficijent opterećenja će biti:

$$n = 1 + \frac{30 \cdot 2{,}3 \cdot 17}{10} \frac{12}{300} = 5{,}7.$$

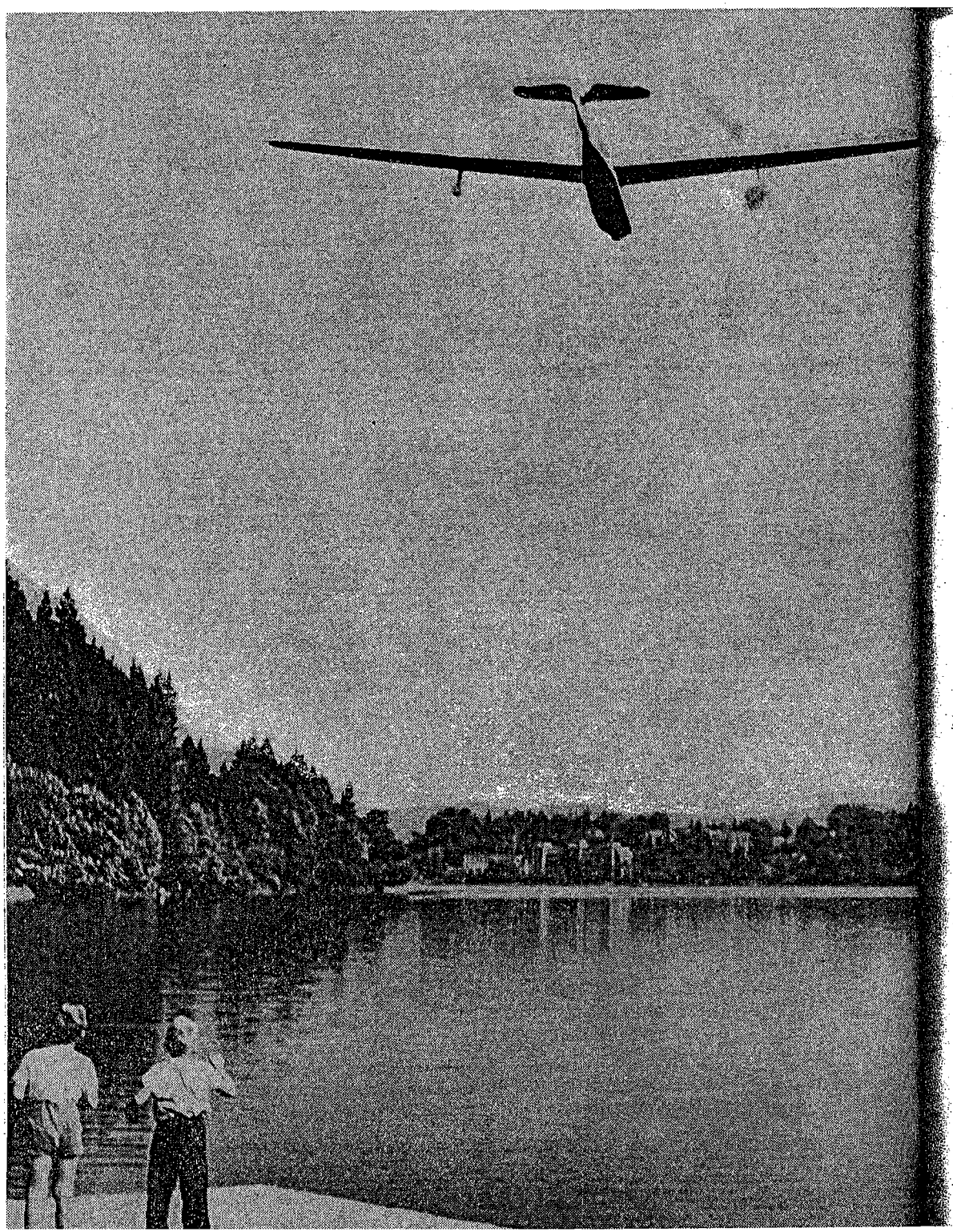
Prema tome, u slučaju bure opterećenja mogu biti veća od opterećenja u manevru. Stoga je preporučljivo izbegavati let velikom brzinom u uzburkanoj atmosferi, a naročito u olujnim oblacima gde stvarne brzine usponih i nisponih strujanja dostižu proračunske vrednosti od ±30 m/s.

Let jedrilice maksimalnom brzinom dozvoljen je samo u mirnoj atmosferi. Pod mirnom atmosferom podrazumeva se vazdušna masa u kojoj udari usponih i nisponih vazdušnih strujanja ne prevazilaze brzine od ±4 m/s.

U praksi se ne preporučuje let velikim brzinama ni pri ovakvim relativno malim vrednostima usponih strujanja, jer je teorijski moguće, a i dešavali su se slučajevi da usled elastičnosti krila dođe do dopunskog povećanja napadnog ugla, pri čemu opterećenja mogu da prevaziđu proračunska i da dovedu do loma krila.

Slično spomenutim opterećenjima, manevarskim i u buri, koja se javljaju u slobodnom letu, postoje određena opterećenja pri letu u aero zaprezi i na autovitlu.

Izvodi iz propisa o dozvoljenim opterećenjima za svaku pojedinu jedrilicu unose se u knjižicu jedrilice i uputstvo o eksploataciji, i radi bezbednosti letenja treba ih se strogo pridržavati.

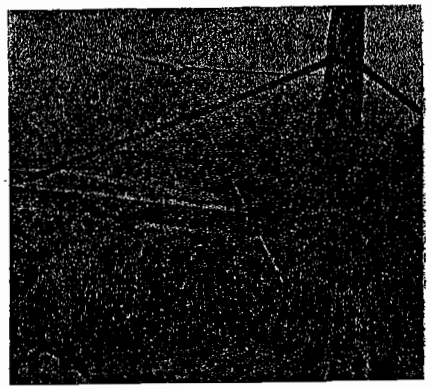


III

OPŠTA JEDRILIČARSKA METEOROLOGIJA

Vazduh je gasovita smeša sastavljena iz stalnih i promenljivih čestica gasa, hemijskih jedinjenja i raznih čvrstih organskih i neorganskih dodataka, koji sačinjavaju gasoviti omotač oko Zemlje. Razliku između stalnih i promenljivih sastojaka gasa u smeši vazduha, kao i dodataka je u tome što su stalni gasovi postojani u svojim međusobnim razmerama, dok su nepostojani gasovi i dodaci promenljivi u prostoru i s vremenom.

FIZIČKE OSOBINE ATMOSFERE



Poznavanje jedriličarske meteorologije je preduslov za svaki siguran i uspešan let

Ako iz stalnih sastavnih čestica vazduha apstrahujemo čestice vodene pare, tada se takav vazduh u meteorologiji naziva homogenom smešom, tj. „suvim vazduhom", tačnije — čistim suvim vazduhom. Suv vazduh je sastavljen od azota (78,08%), kiseonika (20,95%), argona (0,93%), ugljendioksida (0,03%), kao i neona, helijuma, kriptona, ksenona, ozona, radona, joda i metana. Gasovi za koje nije dat podatak zapreminskog procenta, zastupljeni su vrlo malim količinama, a neki od njih javljaju se samo kao tragovi (vidi tablicu 1).

Sastav vazduha se vrlo malo menja do visine 100 km, a po novijim podacima merenja pretpostavlja se da ta visina iznosi 200, odnosno 300 km.

U vazduhu se uvek nalazi određena količina vodene pare, ali kako je ona vrlo promenljiva sa vremenom i prostorom, to je u meteorologiji usvojeno da se vodena para ne smatra sastavnim delom vazduha, već njegovim dodatkom. U normalnim uslovima vodene pare može da bude najviše 4% od ukupne zapremine vazduha. Ako gasnoj smeši suvog vazduha dodamo vodenu paru, tada se takav vazduh naziva „vlažnim vazduhom", tačnije — čistim vlažnim vazduhom.

Za život na Zemlji vazduh je neophodan, jer njegovi stalni sastavni gasovi različito deluju na organski i neorganski svet.

U razmeni materija u biosferi (biosfera — žive i organske materije na kopnu i u moru) kiseonik učestvuje znatno aktivnije od azota. Potrošnja kiseonika u prirodi je vrlo velika. Tako, na primer kada se odmara, čovek troši 0,21 litar na minut, a kada se aktivno kreće ili obavlja teži rad, troši 2,9 litara na minut. Iako se kiseonik neprekidno troši, on se u isto vreme nadoknađuje putem asimilacije zelenih delova biljaka.

Alotropskom modifikacijom kiseonika nastaje ozon. U nižim slojevima atmosfere nalazi se u manjim količinama, ali pri grm-

Hemijski sastav vazduha u blizini zemljine površine[1])

Tablica 1.

Naziv sastojka atmosferskog vazduha	Hemijska formula	Zapreminski udeo u %
Važnije i stalno prisutne čestice		
NEPROMENLJIVE U PROSTRU I VREMENU:		
azot	N_2	78,08
kiseonik	O_2	20,95
argon	Ar	0,93
ugljendioksid	CO_2	0,03
neon	Ne	$18{,}2 \cdot 10^{-4}$
helijum	He	$5{,}2 \cdot 10^{-4}$
kripton	Kr	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
ksenon	Xe	$0{,}1 \cdot 10^{-4}$
PROMENLJIVE U PROSTORU I VREMENU:		
ozon	O_3	$0-0{,}07-10^{-4}$
radon	Rn	0—tragovi
jod	J_2	0—tragovi
metan	CH_4	$0-2 \cdot 10^{-4}$
vodena para	H_2O	tragovi—4
VAŽNIJE ALI NE STALNO PRISUTNE ČESTICE (DODATE)[3])		
dioksid[2]) i trioksid sumpora	SO_2, SO_3	$0-1 \cdot 10^{-4}$, $0-0{,}1 \cdot 10^{-4}$
monoksid i dioksid azota[2])	NO, NO_2	$0-0{,}02 \cdot 10^{-4}$
amonijak[2])	HN_3	0—tragovi
ugljenmonoksid[2])	CO	0—tragovi
Ostale neorganske i organske česticee ispoljavaju se u blizini njihovih izvora (vulkani, industrijski i saobraćajni centri, centri epidemije, morske površine, pustinje i drugo)[3])		

[1]) Po najnovijim podacima sastav vazduha se malo menja do visine 100 km.

[2]) Prema W. Beru, nalaze se u neposrednoj blizini izvora.

[3]) Kada se poveća koncentracija navedenih čestica u vazduhu, takav vazduh se naziva zagađenim u slučaju epidemije — kužnim vazduhom.

ljavini njegova se količina naglo povećava i tada deluje kao dezinfekciono sredstvo.

Argon se neposredno stvara raspadanjem radioaktivnog kalijuma 40, koji ima istu atomsku težinu kao i argon. Na sličan način nastaje i helijum iz urana i njegovih proizvoda raspadanja.

Ugljendioksid, koga u vazduhu ima u vrlo maloj količini, veoma je značajan kako za biljni tako i za ostali živi svet. Pored toga što je značajan za procese u živim materijama, on apsorbuje veliki deo dugotalasnog (toplotnog) zračenja zemlje. Ako bi njegova zapremina u vazduhu iznosila dvostruku vrednost od stvarne, tada bi se srednja godišnja temperatura prizemnog vazduha povećala za 2—3°.

Količina vodene pare u vazduhu vezana je za neprekidno kruženje vode između hidrolitosfere i atmosfere. Od stalnih dodataka vazduha ona je najvažnija, i to ne samo zbog toga što neprekidno sudeluje u vremenskim zbivanjima, već i zbog toga što znatno slabi Sunčevo i Zemljino zračenje. Velika promena sadržine vodene pare u vazduhu uslovljena je toplotnim prilikama u atmosferi, koje omogućavaju da se voda javlja u sva tri agregatna stanja, što nije slučaj sa ostalim gasovitim sastojcima. Zbog toga vodena para u atmosferi neprekidno menja svoj oblik: od gasovitog stanja do tečnog (vodene kapi) ili do čvrstog (kristali ili sneg). Zbog svojih osobina ona ima neocenjivu vrednost za sve što je živo na Zemlji.

Prisustvo ostalih plemenitih i drugih gasova u atmosferi utvrđeno je dosta kasno, i to zbog toga što se oni ne vezuju sa ostalim materijama. Oni su ustanovljeni, uglavnom, pomoću spektralne analize. Svi oni zajedno, izuzimajući argon, ne zauzimaju više od 10^{-4} dela vazduha.

U vazduhu ima stalno, i to u promenljivim količinama, lebdećih čvrstih čestica organske i neorganske materije. One potiču od vulkanske prašine, sa površina mora i pustinja, iz industrijskih centara itd. Veći deo tih čestica, kada se pojavi u većoj koncentraciji, izaziva zagađenost vazduha.

VERTIKALNA PODELA ATMOSFERE

Kada bi atmosferu posmatrali iz međuplanetarnog prostora, uz pretpostavku da nije prozračna, tada bi njen oblik bio približno sličan obliku Zemlje, tj. na polovima bi bila spljoštena, a na ekvatoru ispupčena. Ali, kako atmosfera ima izraženu samo donju

granicu, površinu Zemlje, a njena gornja granica ne egzistira u prirodi, jer relativno sve veći broj čestica atmosferskog vazduha iz viših slojeva atmosfere prelazi u međuplanetarni prostor, i obrnuto — iz međuplanetarnog prostora ulazi u atmosferu, to nije moguće odrediti stvarnu visinu atmosfere, kao ni, analogno opisu donje granice, dati — opisati izgled gornje granice atmosfere. Zbog toga nije redak slučaj da se u literaturi susrećemo sa različitim vrednostima visine atmosfere. Svi ti podaci uglavnom su dobijeni na osnovu teoretskih izračunavanja, dok se manji broj zasniva na oskudnim podacima merenja uzoraka vazduha pomoću meteoroloških satelita. I u ovom slučaju date visine se znatno razlikuju. Ipak se, iz praktičnih potreba, prećutno uzima da se visina gornje granice „ostataka" atmosfere nalazi na visini oko 2—3000 km.

U odnosu na ponašanje pojedinih meteoroloških elemenata i pojava na raznim visinama atmosfera ima slojevitu strukturu. Sa porastom visine najizraženije ponašanje ima temperatura. Baš po ovom elementu usvojena je šema vertikalne podele atmosfere na Zasedanju Međunarodne geodezijske i geofizičke unije 1951. godine. Prema toj šemi atmosfera se deli na pet osnovnih sfera — slojeva, i to: troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu. Na slici 1 prikazana je shema vertikalne podele atmosfere do visine 1000 km.

Troposfera je najniži i najtanji sloj atmosfere. Prostire se od Zemljine površine do 8—10 km, odnosno 10—12 i 16—18 km iznad polarnih, odnosno umerenih i tropskih širina. U ovom sloju, iako je najtanji, nalazi se oko 3/4 mase atmosfere (ukupna masa atmosfere ceni se na 5,600.000 mil. T). U njemu se nalazi skoro celokupna količina vodene pare, stvaraju se oblaci i magle, dolazi do pojave padavina u tečnom i čvrstom obliku, razvijaju se grmljavinske nepogode, javljaju se horizontalna i vertikalna kretanja vazduha, turbulencija, mlazna struja i druge meteorološke pojave.

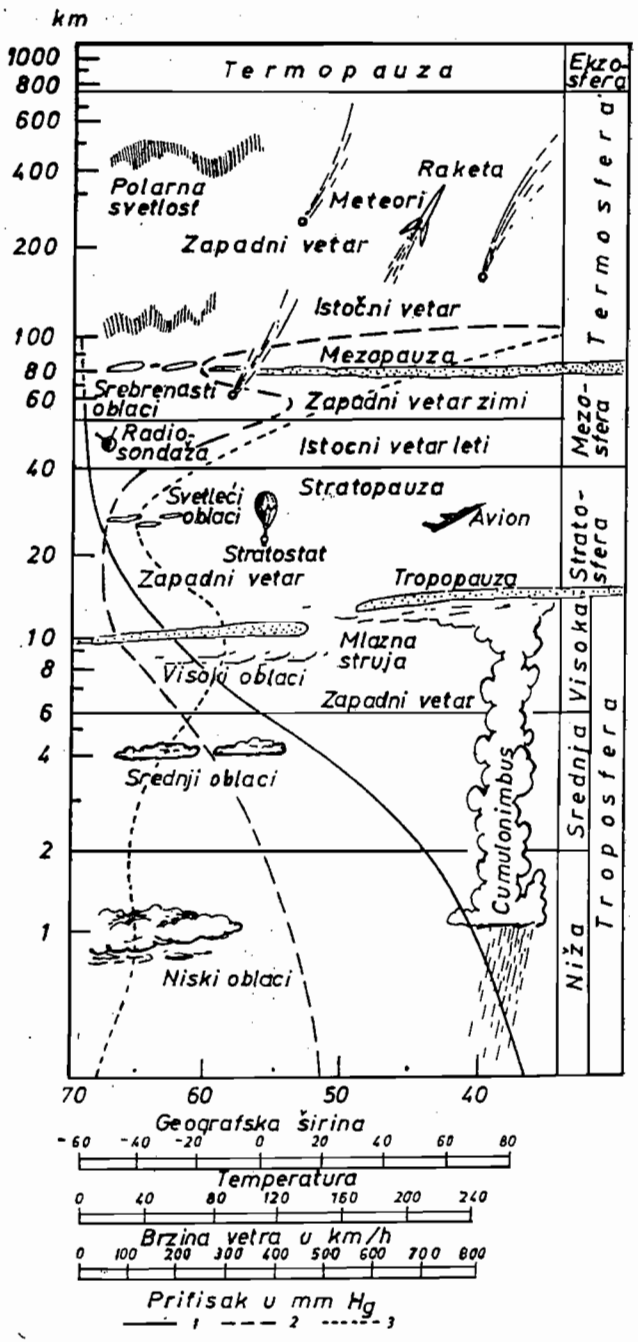
Najbitnija osobina troposfere je opadanje temperature sa porastom visine, koje u proseku iznosi 6,5° na jedan kilometar. Isto tako, troposfera se karakteriše konvektivnim — vertikalnim kretanjima vazduha. Zbog toga se često naziva i konvektivnim slojem.

Troposfera je vrlo značajna za vazduhoplovstvo, jer se uglavnom u njoj stvaraju i razvijaju atmosferski poremećaji koji uslovljavaju vremenske prilike na zemlji.

Najveći broj aeroloških merenja izvršen je u troposferi. Zbog svega toga, troposfera je do danas najviše proučeni sloj atmosfere. Detaljna proučavanja su pokazala da troposfera može da se podeli u tri sloja:

— *prizemni* — neposredni sloj nad površinom Zemlje visok do 100 m; u njemu se najjače ispoljava neposredni toplotni uticaj zemljine površine (zagrevanje odnosno hlađenje vazduha);

Slika 1. — Vertikalna podela atmosfere



1 — pritisak;
2 — temperatura;
3 — brzina vetra.

— *pogranični sloj* — sloj trenja ili poremećaja, prostire se od 100 do 1500 m, a odlikuje se mehaničkim mešanjem vazduha; u ovom sloju stvaraju se niski oblaci, naročito u hladnoj polovini godine; leti, u umerenim geografskim širinama, temperatura vazduha je pozitivna, a zimi najčešće negativna; najveći broj letova, kao i časova letenja jedrilicom obavi se u ovom sloju;

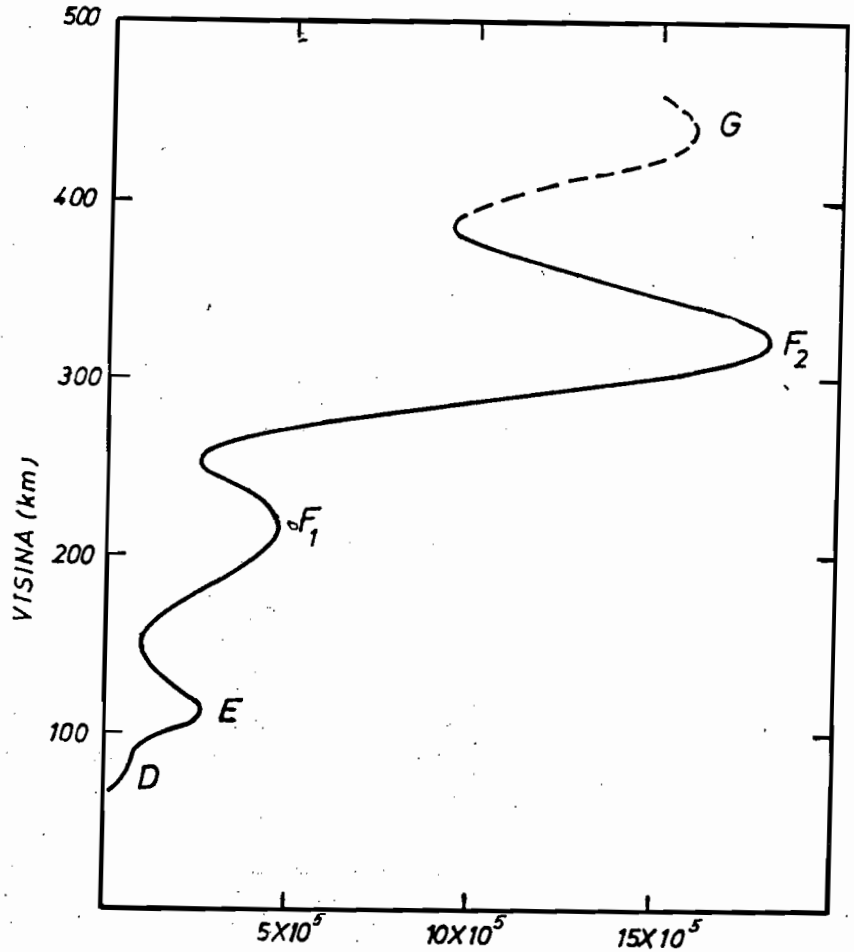
— *sloj slobodne atmosfere* — prostire se od pograničnog sloja (1500 m) do stratosfere, preciznije rečeno — do donje granice tropopauze; neposredan uticaj spoljašnjeg trenja o neravnine na zemljinoj površini u ovom sloju, načelno, ne postoji; osvajanje jedriličarskih značaka, kao i rekordi u postizanju visine obavljaju se u ovom sloju.

Po nekim autorima troposfera se, takođe, deli u tri sloja, samo što se njihove granice ne podudaraju sa prethodno datim granicama (prvi: 1—2, drugi 2—6 i treći od 6 km do tropopauze).

Između troposfere i stratosfere nalazi se prelazni sloj koji se naziva *tropopauza.* On je relativno vrlo tanak i prosečno iznosi 1—2 km. U njemu temperatura obično raste sa porastom visine (inverzija, a u manjem broju slučajeva je konstantna (izotermija) ili, pak, sporo opada. Za vertikalna kretanja ona predstavlja snažan zadržavajući — kočeći sloj. U neposrednoj blizini donje granice tropopauze često se nalazi mlazna struja. Teoretski, a i empirijski, dokazano je da je visina javljanja mlazne struje u neposrednoj vezi sa visinom javljanja tropopauze. Tropopauza obično ne obavija celu Zemljinu kuglu, stoga su u izuzetno retkim prilikama mogući letovi jedrilicama iz troposfere u nižu stratosferu.

Stratosfera se rasprostire od gornje granice tropopauze do visine od 35 do 40 km. U njoj se temperatura sa porastom visine ne menja (izotermička stratifikacija) ili, pak, slabo raste (inverziona stratifikacija). Raspodela temperature u stratosferi zavisi od sunčeve toplote. U njoj se, za razliku od troposfere, ne javljaju vertikalna kretanja ili su, pak, vrlo slabo izražena. Pored toga, nalazi se neznatna količina vodene pare. Na visini između 22—27 km ponekad mogu da se vide sedefasti oblaci, koji su verovatno sastavljeni od vrlo sitnih kapljica prehlađene vode. Postanak ovih oblaka tumači se dovođenjem određene količine vodene pare pri povoljnim uslovima (prekid tropopauze) iz troposfere u stratosferu.

Mezosfera obuhvata sloj atmosfere od stratosfere pa do visine od oko 80 km. Pogranični sloj između stratosfere i mezosfere naziva se *stratopauza.* Načelno, mezosfera se odlikuje sa dva sloja, i to prvim — toplim, i drugim — hladnim. Topli sloj se rasprostire od stratopauze pa do visine 50—55 km. U njemu temperatura brzo raste sa porastom visine, tako da na visini 40—50 km iznosi prosečno 0°, a u pojedinim slučajevima može da bude i preko +40°. Porast temperature uslovljen je apsorpcijom kratkotalasne Sunčeve radijacije od strane ozona, kao i toplotnim zračenjem Zemlje. U ovom sloju se ne pojavljuju vertikalna kretanja. Iznad visine 50—55 km temperatura naglo opada i u blizini gornje granice mezosfere dostiže vrednost od —70° do —90°C. Hladni sloj, za razliku od toplog, karakteriše se turbulencijom i većim brzinama vetra.



Slika 2. — Vertikalna raspodela koncentracije jona u jonosferi danju

Na samoj gornjoj granici mezosfere (80—82 km) ponekad mogu da se primete tanki svetleći oblaci, koji se u meteorologiji nazivaju *srebrnastim* oblacima. Oni se obično pojavljuju u letnjim mesecima noću, i to na severnom delu horizonta, a premeštaju se uglavnom od istoka ka zapadu prosečnom brzinom od 40 do 80 km/h (u pojedinim slučajevima brzina vetra na tim visinama može da iznosi i preko 300 km/h).

Termosfera je sloj atmosfere koji se nalazi iznad mezosfere. U njoj temperatura neprekidno raste sa porastom visine i pretpostavlja se da na visini 200 km dostiže vrednost od 200° do 250°C. Prelazni sloj između mezosfere i termosfere naziva se *mezopauza*. Gornja granica termosfere nalazi se na visini od 800 do 1000 km. U termosferi gustina vazduha je vrlo mala. Tako na visini 500 km ona u proseku iznosi $2{,}28 \cdot 10^{-15}$ gr/cm³, a na visini od 800 km — $6{,}63 \cdot 10^{-17}$ gr/cm³. Donja polovina termosfere u osnovi se sastoji od ogromnog broja jona, pa se zbog toga i naziva *jonosferom*. Ovaj se sloj karakteriše vrlo velikom električnom provodljivošću. U poređenju sa vazduhom pri neposrednoj površini Zemlje, električna provodljivost na visini od 100 km je za nekoliko milijardi puta veća. Ipak, u jonosferi se izdvaja nekoliko slojeva, koji, u odnosu na okolnu sredinu, poseduju znatno veću koncentraciju jona, a time i veću sposobnost da odbijaju, apsorbuju i prelamaju, u većem ili manjem stepenu, radio-talase. Na broj jona u pojedinim jonosferskim slojevima utiče i Sunčevo ultraljubičasto i X-zračenje. Tako se danju povećava stepen jonizacije nižih slojeva jonosfere, a radio-emisije su prostranije na talasnim dužinama od 10 do 50 m (na slici 2 prikazana je raspodela koncentracije jona za vidni deo dana).

Egzosfera je najviši sloj atmosfere, a rasprostire se od termosfere ka međuplanetarnom prostoru. Između termosfere i egzosfere nalazi se prelazan granični sloj *termopauza*. Rastojanje između čestica gasa u egzosferi toliko je veliko da pojedine čestice (uglavnom helijuma i vodonika), savlađujući silu Zemljine teže, odlaze u međuplanetarni prostor, i obrnuto — iz međuplanetarnog prostora ulaze u egzosferu.

Osnovni slojevi i prelazni — međugranični slojevi atmosfere imaju jasno izraženu donju i gornju granicu, izuzimajući gornju granicu egzosfere. Njihova se visina koleba u vrlo velikim granicama, kako po vremenu tako i sa promenom geografske širine.

Smatra se da je hemijski sastav vazduha praktično stalan do visine 100 km[1].

Sloj atmosfere iznad 100 km često se naziva *heterosfera*.[1])

[1]) Vidi — **Fizičke osobine atmosfere.**

STANDARDNA ATMOSFERA

Osnovne fizičke karakteristike stanja atmosfere (temperatura, pritisak i gustina) u znatnoj meri utiču na aerodinamičke i letne sposobnosti letelica, na rad vazduhoplovnih radio-uređaja, kao i na pokazivanje podataka pojedinih aeronavigacijskih instrumenata. Na primer, pokazivanje visine barometarskog visinomera zavisi od vertikalne raspodele pritiska.

Na osnovu analize prostorne raspodele meteoroloških elemenata i njihovih promena sa vremenom, utvrđeno je da se letno-tehnički podaci letelica mogu znatno menjati. U vezi s tim, pri konstrukciji letelica i pri sravnjivanju rezultata opitnih letova, da bi se uporedili sa osobinama drugih letelica, polazi se od zadatih stalnih (standardnih) fizičkih karakteristika atmosfere po visini. Drugim rečima, polazni podaci pri konstrukciji i podaci dobijeni ispitivanjem ne zavise od časa i doba godine, kao ni od mesta ispitivanja. Atmosfera čije je stanje unapred zadato naziva se *standardnom atmosferom* (SA).

Fizičke karakteristike SA predstavljene su srednjim vrednostima meteoroloških elemenata, koji su dobiveni dugogodišnjim merenjima. One se odnose na suv vazduh. Prema uzetim parametrima stanja atmosfere postoji više SA. U 1920. godini postavljena je međunarodna standardna atmosfera (MSA), koja se obično naziva standardna atmosfera. U SSSR, kao i u SAD do danas je promenjeno nekoliko SA, i to zbog novijih podataka merenja na većim visinama. Za potrebe Međunarodne organizacije civilne avijacije postavljena je SA IKAO (ICAO — Internacional Civil Aviation Organization — Međunarodna organizacija civilne avijacije).

Fizičke karakteristike MSA na nivou mora (H=O metara) definisane su — temperaturom — t=15°C=288°K; pritiskom — p=760 mm Hg=1013,2 mb; gustinom vazduha — $\rho=0{,}125$ kg s² m⁻⁴; specifičnom težinom — a=1,225 kg m⁻³; visinom — H=0 m i vremenom bez vetra; u troposferi (neposredno od nivoa mora pa do tropopauze), vertikalnim temperaturnim gradijentom — $\gamma=065^{0}$ na 100 m i gornjom visinom troposfere — $H_t=11.000$ m; u stratosferi, od 11.000 do 25.000 m, konstantnom temperaturom — t=−56,5°C=216,5°K.

Veličine pojedinih fizičkih karakteristika MSA sa porastom visine od po 500 m do 15.000 m date su u tablici 2.

Vertikalna raspodela nekih fizičkih karakteristika MSA od tla do 15.000 m po visinama od po 500 m

Tablica 2.

Visina u metrima	p (mm Hg)	t (°C)	a (kg m^{-3})	ρ (kg s^2 m^{-4})	$\frac{\rho_H}{\rho_H}$
0	760,0	+15,00	1,2250	0,1250	1,0000
500	715,9	+11,75	1,1660	0,1191	0,9526
1000	674,1	+ 8.50	1,1110	0,1134	0,9073
1500	633,0	+ 5,25	1,0580	0,1079	0,8636
2000	596,1	+ 2,00	1,0060	0,1027	0,8215
2500	560,0	− 1,25	0,9567	0,0976	0,7810
3000	522,7	− 4,50	0,9089	0,0927	0,7420
3500	493,1	− 7,75	0,8630	0,0881	0,7045
4000	462,2	−11,00	0,8189	0,0836	0,6685
4500	432,8	−14,25	0,7766	0,0792	0,6339
5000	405,0	−17,50	0,7359	0,0751	0,6007
5500	378,6	−20,75	0,6953	0,0711	0,5688
6000	353,7	−24,00	0,6595	0,0673	0,5383
6500	330,2	−27,25	0,6236	0,0636	0,5090
7000	307,8	−30,50	0,5889	0,0601	0,4810
7500	286,7	−33,75	0,5563	0,0568	0,4511
8000	266,8	−37,00	0,5249	0,0536	0,4284
8500	248,1	−40,25	0,4948	0,0505	0,4039
9000	230,4	−43,50	0,4660	0,0476	0,3804
9500	213,7	−46,75	0,4386	0,0448	0,3580
10000	198,1	−50,00	0,4124	0,0421	0,3366
10500	183,4	−53,25	0,3874	0,0395	0,3162
11000	169,6	−56,50	0,3636	0,0371	0,2968
11500	156,7	−56,50	0,3360	0,0343	0,2743
12000	144,8	−56,50	0,3106	0,0317	0,2535
12500	133,8	−56,50	0,2870	0,0293	0,2343
13000	123,7	−56,50	0,2652	0,0271	0,2165
13500	114,8	−56,50	0,2451	0,0250	0,2001
14000	105,6	−56,50	0,2265	0,0231	0,1849
14500	97,88	−56,50	0,2098	0,0214	0,1713
15000	90,25	−56,50	0,1935	0,0197	0,1579

METODI PROUČAVANJA I PROGNOZIRANJA VREMENA

Vazduhoplovna meteorologija proučava uticaj vremenskih prilika (vremena) i njihovih prostorno-vremenskih promena na rad vazduhoplovstva.

Za svoje potrebe vazduhoplovna meteorologija koristi rezultate rada pojedinih grana meteorologije, i to, u prvom, redu sinoptike i aerologije, zatim opšte meteorologije, medicinske i tehničke meteorologije i dr., kao i rezultate drugih nauka (fizike, matematike, astronomije, geografije, medicine i dr.).

Različiti zahtevi, i potrebe pojedinih vrsta avijacije, jedriličarstva, padobranstva, kao i drugih naučnih i tehničkih grana u vazduhoplovstva, za meteorološke informacije, uslovili su da se vazduhoplovna meteorologija razvije u zasebnu meteorološku disciplinu. Tako se danas kao samostalne oblasti, odnosno grane u vazduhoplovnoj meteorologiji, javljaju *vazduhoplovna (avijaciona), jedriličarska i kosmička meteorologija, vazduhoplovna klimatologija, vazduhoplovnomedicinska i vazduhoplovnotehnička meteorologija.*

Jedriličarska meteorologija, kao samostalna oblast vazduhoplovne meteorologije, proučava vreme i njegove prostorno-vremenske promene putem termodinamičkih zakona, a sa ciljem da utvrdi prostornu strukturu i intenzitet vertikalnih kretanja i vazdušnih strujanja (vetra u slobodnoj atmosferi), strukturne veličine i evoluciju oblaka vertikalnog razvoja i talasnih oblaka, uticaj podloge kao izvora toplote za niže slojeve atmosfere, kao i druge meteorološke veličine koje su važne za rad jedriličarstva pri određenim atmosferskim poremećajima. Zbog toga se proučavanje vremena i njegovih promena u okviru jedriličarske meteorologije u suštini svodi na sinoptički metod, s tom razlikom što jedriličarska meteorologija na sinoptičkim, već poznatim presecima, vrši kvantitativnu mikro i mezo analizu pomenutih veličina. Slikovito rečeno, to je isto kao kad lekar internista utvrdi da bolesnik boluje od tuberkuloze pluća (sinoptika), a rendgenolog na osnovu date mu dijagnoze putem rendgenskih snimaka dâ dijagnozu dela pluća (jedriličarska meteorologija).

Sinoptički metod proučavanja vremena u suštini se svodi na sledeće. Na geografsku kartu (bez geografskih naziva), koja ima utisnute male kružiće, koji predstavljaju lokacije meteoroloških stanica, ucrtaju se ciframa i uslovljenim znacima značenja meteoroloških elemenata i pojave osmotrene u istom fizičkom vremenu sa svih stranica. Od razmere karte, odnosno od potreba, zavisi da

li će na istoj karti biti prikazano vreme na celoj hemisferi ili na pojedinim njenim delovima, ili samo nad jednom državom, odnosno oblašću.

Takve se karte izrađuju na osnovu meteoroloških osmatranja u određenim terminima i na osnovu njih mogu da se utvrde vremenske promene koje su se odigrale između uzastopnih termina osmatranja. Ako se poznaju opšti zakoni razvoja atmosferskih procesa i njihov uticaj na vreme i ako se raspolaže vremenskim kartama, onda za kraći vremenski period može da se predvidi vreme u nekoj zadatoj tački, rejonu ili na određenoj marš-ruti leta.

Ucrtarne karte, karte vremena, nazivamo **sinoptičkim kartama** (po grčkoj reči *„sinoptikos"*, što znači istovremeno gledati, osmatrati. Sinoptičke karte se izrađuju na osnovu prizemnih i aerooloških osmatranja. Prve nazivamo **prizemnim** ili **vremenskim kartama**, a druge **visinskim** ili **aerološkim kartama.**

Povod za stvaranje sinoptičkog metoda bilo je nevreme 14. novembra 1854. godine u Crnom moru za vreme krimskog rata. Tada je za nekoliko minuta uništena engleska i francuska flota. Reanalizom vremena u Francuskoj akademiji nauka pokazalo se da se nevreme moglo izbeći da je postojala organizovana meteorološka služba, koja bi putem telegrafa obavestila posadu brodova o nailasku oluje. Ovaj slučaj bio je podstrek mnogim zemljama Evrope, kao i Americi, da organizuju vremensku službu (meteorološka služba). Naglim povećanjem broja meteoroloških stanica, kao i osnivanjem Međunarodne meteorološke organizacije (1878. godine) afirmacija sinoptičkog metoda proučavanja i praćenja vremena sve više je rasla.

Tridesetih godina XX veka postignut je značajan uspeh u razvoju sinoptičkog metoda, a time i sinoptike, čemu je doprinela savremenija analiza sinoptičkih karata, koja se zasnivala na analizi vazdušnih masa i troposferskih frontova. To je omogućilo preciznije predviđanje vremena u pogledu oblačnosti, padavina, magle i drugih pojava.

Na kvalitativan skok u razvoju sinoptike, a ujedno i na začetak vazduhoplovne meteorologije, uticao je nagli razvoj avijacije. Za njene potrebe naglo se povećao broj aeroloških osmatranja, a time su dobivena i nova saznanja i predstave o prostornoj razvijenosti atmosferskih procesa. Sa porastom plafona leta letelica povećali su se kako broj tako i visina aeroloških osmatranja. Zbog toga je, pored već postojeće aerološke instrumentacije i opreme (pilot-balon, zmaj, meteorograf), konstruisana radio-sonda kako bi se ekspeditivnije dobijali meteorološki podaci iz viših slojeva troposfere.

Posle drugog svetskog rata sistem radio-lokacije nalazi vrlo široku primenu u osmatranju padavina i olujnih nepogoda. Ovo

je ujedno bio i povod za izučavanje stratifikacije atmosfere radio-metodama.

Napredak u raketnoj tehnici omogućio je da se vrše direktna merenja u višim slojevima atmosfere (u egzosferi). Odmah po završetku drugog svetskog rata u SAD su vršena meteorološka probna ispitivanja pomoću nemačkih raketa V-2, a prvo lansiranje je izvršeno 16. aprila 1946. godine. Kasnije je izvršeno još 66 lansiranja tih raketa u toku 6 godina. U isto vreme, za meteorološke potrebe modificirano je i konstruisano više novih tipova raketa (Viking, Aerobi, VaK, Karporal i druge). Pomoću ovih raketa dobivena je stvarna slika raspodele temperature i gustine vazduha do oko 225 km, a vazdušnog pritiska do oko 400 km visine.

Raketna meteorološka merenja vršena su i u drugim zemljama (SSSR, Japan, Francuska, Engleska, itd.). Njihovi podaci bili su ograničeni samo do visine 60—100 km. U 1958. godini u SSSR-u je konstruisana geofizička raketa, koja je 21. februara 1958. godine postigla, za ono vreme, svojevrstan rekord u visini (473 km).

Da bi se dobio što veći broj meteoroloških podataka, naročito nad predelima sa malim brojem meteoroloških stanica, kao i detaljnija predstava o pojedinim meteorološkim pojavama i fenomenima, 1. aprila 1960. godine lansiran je prvi meteorološki satelit „Tiros-I". U istoj godini lansiran je i „Tiros-II", dok je nešto kasnije — po stečenim iskustvima — lansiran „Tiros-III". Zamišljeni poduhvat da se poveća broj meteoroloških podataka putem meteoroloških satelita u potpunosti je uspeo, a pored toga dao i nova saznanja i predstave o prostornoj strukturi oblačnosti u ciklonima i frontovima. Time je sinoptika, a naročito sinoptički metod proučavanja vremena, znatno napredovao.

SINOPTIČKA MREŽA STANICA I TERMINI OSMATRANJA

Meteorološka stanica je ustanova meteorološke službe, a služi za meteorološka osmatranja vremena. Smatra se da u svetu postoji na stotine hiljada meteoroloških stanica.

Meteorološke stanice koje rade za potrebe sinoptičke službe nazivamo *sinoptičkim stanicama.* One su u celom svetu raspoređene po određenom uslovu. Stanice u nekoj državi, odnosno na kontinentu, ili u celom svetu, grade sinoptičku mrežu stanica. Na sinoptičkim stanicama rade najkvalifikovaniji osmatrači i one su opremljene najsavremenijim instrumentima i opremom. Na osnovu njihovih osmatranja izrađuju se karte vremena.

Sve sinoptičke stanice vrše meteorološka osmatranja u istom fizičkom vremenu. Neke od njih, koje npr. rade za meteorološke

potrebe vazduhoplovstva, vrše osmatranja svakog časa (u punom času). Meteorološka osmatranja na osnovu kojih se izrađuju vremenske karte vrše se svaka 3 časa, i to u 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 i 21 čas po griničkom vremenu (za odgovarajuće termine vreme u Jugoslaviji je pomereno za 1 čas unapred).

Redovna aerološka osmatranja vrše se 4 puta dnevno, i to u terminu 00, 06, 12 i 18 časova po griničkom vremenu.

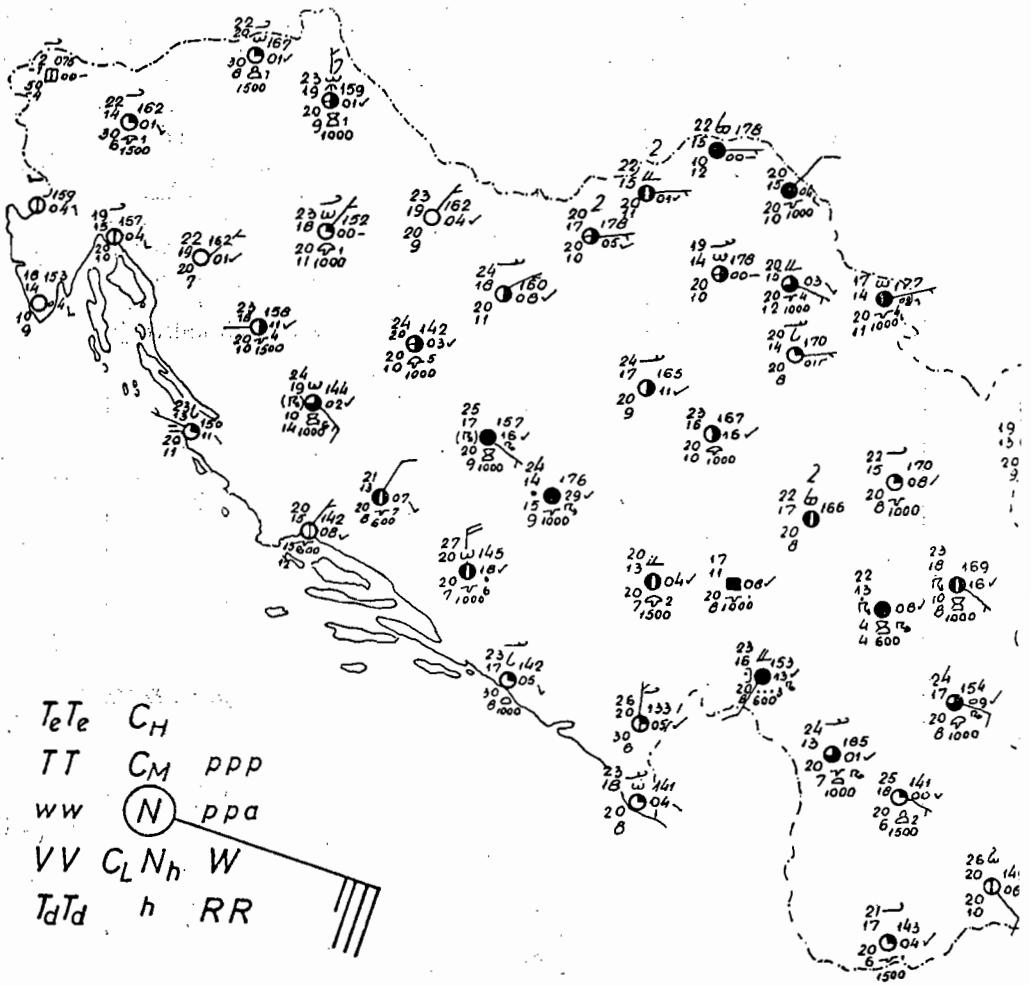
IZRADA SINOPTIČKIH KARATA

Sve meteorološke i aerološke stanice koje su uključene u sinoptičku mrežu stanica u određenom vremenskom roku posle meteorološkog, odnosno aerološkog osmatranja, predaju svoje izveštaje najbližem sabirnom centru. Odavde se ti izveštaji radio-putem predaju glavnom nacionalnom sabirno-emisionom centru, a ovaj ih dostavlja regionalnom centru za potrebe međunarodne razmene podataka.

Meteorološki izveštaji za potrebe sinoptike sastavljaju se po međunarodnom KODU, pomoću cifara i određenih simbola (velikih i malih slova latinice) i emituju se u etar u vidu telegrama radio-putem. Za svaku vrstu izveštaja postoje posebni kodovi i uvodne grupe po kojima ih raspoznajemo. Tako se, na primer, prizemni izveštaji označavaju sa SINOP, visinski, aerološki sa TEMP (radio-sondažni), PILOT (za visinski vetar) i NEPH (za smer i brzinu premeštanja oblaka), vazduhoplovni — AERO i vazduhoplovni-prognostički sa TAF, za nagli nailazak pogoršanja vremena — MMMMM a za poboljšanje vremena BBBBB, satelitski izveštaji o oblačnosti — TB KWBC N, izveštaji o atmosferskom elektricitetu (grmljavini) — SFERIC, itd.

U sinoptičkom centru radio-putem se primaju meteorološki izveštaji i na osnovu njih se crtaju vremenske karte. Podaci prizemnih meteoroloških osmatranja (SINOP izveštaj) ucrtavaju se po određenoj shemi cifara i ustaljenim znacima za meteorološke elemente i pojave, kao što je prikazano na slici 3.

Vazdušni pritisak (PPP), veličina barometarske tendencije (pp), temperatura vazduha (TT), maksimalna, odnosno minimalna temperatura (T_eT_e; ucrtava se jedanput dnevno: minimalna u 06, a maksimalna u 18 GMT), tačka rose (T_dT_d), horizontalna vidljivost (VV), količina niskih oblaka (N_h) i njihova visina baze (h) i količina padavina (RR; ucrtava se samo u 06 GMT), ucrtava se ciframa, dok se znacima ucrtavaju: ukupna količina oblačnosti (N), rodovi visoke, srednje i niske oblačnosti (C_H, C_M, C_L), vreme u času osmatranja ili za poslednji čas (ww), vreme između ter-



Slika 3. — Shema rasporeda meteoroloških elemenata oko kruga meteorološke stanice; primer ucrtanih podataka na karti Jugoslavije od 19 h 12. IV 1967. godine

mina osmatranja (W) i karakteristika barometarske tendencije (a). Pravac i smer vetra (dd) predstavlja se crticom (smer vetra, tj. odakle vetar duva, usmeren je u centar kružića stanice). Brzina vetra (ff) ucrtava se kraćim ili dužim crticama normalnim na pravac vetra (jednoj dužoj crtici-peru odgovara brzina od 10 čvorova ili približno 5 m/s, a crtici upola manje dužine — 5 čvorova ili oko 2,5 m/s; pri brzini vetra od 50 čvorova (25 m/s), umesto crtica crta se trougao sa osnovicom na pravcu vetra.

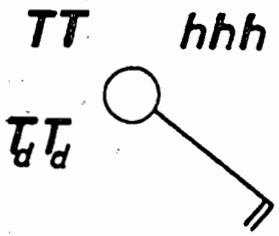
Meteorološke izveštaje-telegrame koje je na vremensku kartu ucrtao meteorološki tehničar, meteorolog-sinoptičar obrađuje i koristi za analizu stvarnog stanja vremena i atmosferskih procesa, kao i za prognozu vremena.

Poznavanje meteoroloških simbola neophodan je uslov za rad sinoptičara, ali i letači, da bi bili u stanju na sebi predstave vreme sa sinoptičke karte, moraju da poznaju osnovne simbole kao što su simboli za maglu, sumaglicu, grmljavinu, pljusak, sneg i ostale meteoroloćke pojave i elemente koji se češće javljaju (na slici 4 prikazani su simboli za meteorološke pojave koji se često pojavljuju na vremenskim kartama). Tako, na primer, ako poznajemo osnovne meteorološke simbole i znakove, možemo videti sa slike 3 kakvo je

•	Kiša	≤	Sevanje
✳	Sneg	⊹	Vejavica
✳	Susnežica	⊰	Prašinska oluja
,	Izmaglica	~	Poledica
▽	Pljusak	≡	Magla
⌇	Grmljavina	=	Sumaglica

Slika 4. — Simboli za ucrtavanje meteoroloških pojava koje se češće javljaju na prizemnoj vremenskoj karti

vreme bilo u Sarajevu 12. aprila 1967. godine u 19 časova (po našem vremenu). Vreme je bilo potpuno oblačno (8/8), padala je slaba kiša iz niskih oblaka — stratokumulusa; između termina osmatranja bio je cumulonimbus iz koga je grmelo; vetar nije duvao, a horizontalna vidljivost je iznosila 15 km, temperatura — 14, tačka rose — 9⁰, atmosferski pritisak — 1017,6 mb, visina baze niske oblačnosti — 1000 m, a barometarska tendencija pokazuje da je pritisak za poslednja 3 časa prvo opadao, a potom naglo rastao i da je u odnosu na prethodni termin osmatranja porastao za 2,9 mb. Kako je prikazano vreme u 19 časova, a tada se očitava i maksimalni termometar, to sa slike vidimo da je maksimalna temperatura istog dana iznosila 24⁰.



Slika 5. — Shema ucrtavanja visinskih podataka na aerološkim kartama

Na visinskim kartama, koje predstavljaju određene izobarske površine, ucrtavaju se podaci visine dotične izobarske površine

(hhh), temperatura vazduha (TT), tačka rose (T_dT_d) i vetar (smer i pravac — dd, i jačina — ff). Ucrtavanje podataka vrši se po shemi koja je data na slici 5.

Za potrebe sinoptike u vezi sa prognozom vremena i meteorološkim obezbeđenjem vazduhoplovstva, izrađuje se i niz drugih sinoptičkih karata, kao što su karte maksimalnog vetra, turbulencije, vremenske vazduhoplovno-operativne karte, karte vlažnosti, nestabilnosti i dr. Ove karte su *izvodne* jer se izrađuju na osnovu određenih metoda koji za svoje izračunavanje koriste visinske podatke.

METEOROLOŠKI ELEMENTI I POJAVE

U ovoj glavi obrađene su osnovne karakteristike pojedinih meteoroloških elemenata i pojava, koji su značajni za atmosferske procese, za karakter vremena i za rad jedriličarstva.

U *meteorološke elemente* spadaju one veličine koje mogu da se iskažu jednim mernim brojem (skalari), kao što su: temperatura vazduha, atmosferski pritisak, vlažnost itd.

Meteorološke pojave su određene manifestacije u atmosferi, koje se pojavljuju pri određenim atmosferskim procesima, a iskazuju se većim brojem pokazatelja (vremenom trajanja, intenzitetom, strukturnim veličinama, neke i smerom, itd.).

TEMPERATURA VAZDUHA

Toplotno stanje Zemlje i njene atmosfere uglavnom je uslovljeno energijom zračenja Sunca, Sunčevom radijacijom, koja se u meteorologiji naziva *insolacija.*

Sunčevi zraci, prolazeći kroz veći deo atmosfere, jednim delom slabe i putem transformacije pretvaraju se u toplotnu energiju čestica vazduha. Ostali zraci koji dopru na površinu Zemlje, takođe putem transformacije, pretvaraju se u toplotnu energiju njene površine, koja zatim putem toplotne konvekcije (isparavanjem i posredstvom kondenzacije), zračenjem (Zemljina radijacija) i toplotnom provodljivošću zagreva donje slojeve vazduha.

Temperatura nekog tela je stepen zagrejanosti toga tela, i ona je jedna od bitnih karakteristika fizičkog stanja vazduha. Njena vrednost u prizemnom sloju vazduha zavisi od količine toplote koju površina Zemlje dobije od Srnca na određenoj geografskoj širini, od karaktera podloge i od vremenskih uslova.

Temperatura vazduha na meteorološkim stanicama meri se *termometrom* (neprekidne registracije — *termografom*) koji je postavljen u meteorološkom zaklonu radi zaštite od direktnog zračenja Sunca, na 2 m od površine tla.

Za određivanje vrednosti temperature u većem broju zemalja upotrebljava se međunarodna *stostepenska skala* (Celzijusova skala — °C), kod koje je za 0° uzeta temperatura topljenja leda, a za +100° temperatura ključanja vode pri normalnom pritisku. U SAD, Engleskoj, Kanadi i nekim azijskim i afričkim zemljama upotrebljava se *Farenhajtova skala* (°F). Na njoj je temperaturni interval između tačke topljenja leda i tačke ključanja vode pri normalnom pritisku podeljen na 180 jednakih delova (tački topljenja leda odgovara +32, a tački ključanja vode +212°F). Prelaz od jedne skale na drugu vrši se pomoću formula:

$$t^{\circ}C = \frac{5}{9}(t^{\circ}F - 32), \qquad t^{\circ}F = \frac{9}{5}t^{\circ}C + 32.$$

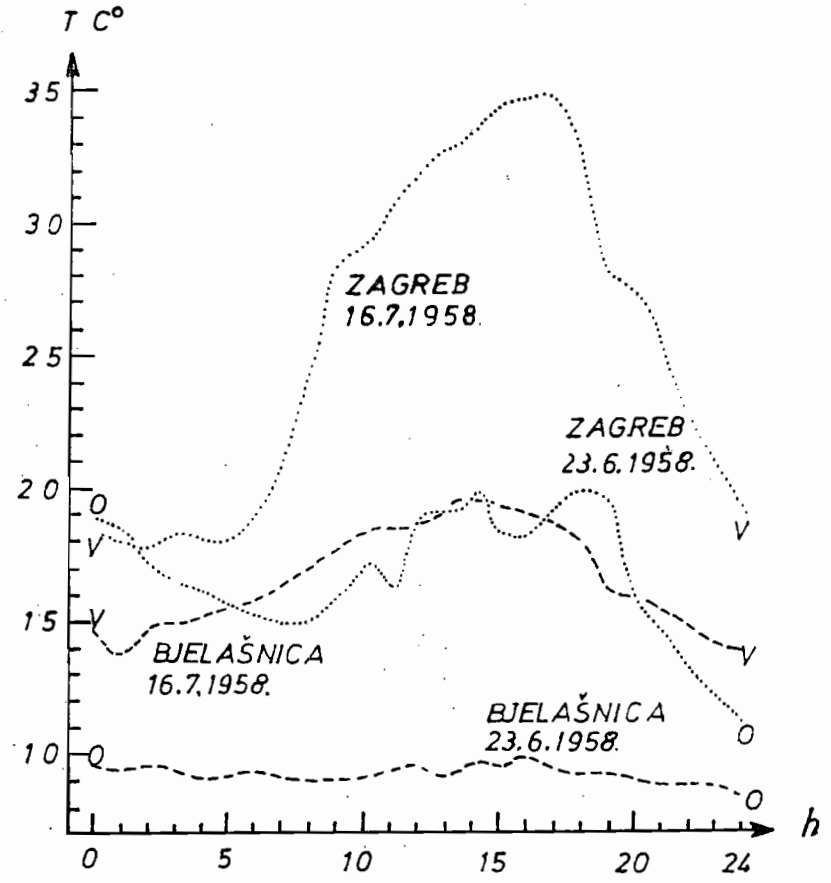
U teorijskoj meteorologiji upotrebljava se *apsolutna temperaturna skala* (°K; — po Lord Kelvinu). Po toj skali, tački topljenja leda (0°C) odgovara 273°K, a tački ključanja vode (100°C) odgovara 373°K. Temperatura po ovoj skali označava se velikim latinskim slovom K.

DNEVNI I GODIŠNJI HOD TEMPERATURE VAZDUHA

Na dnevni tok temperature prizemnih slojeva vazduha, u prvom redu, utiče Sunčeva insolacija i Zemljina radijacija. Od izlaska Sunca temperatura vazduha raste i u određenom trenutku dostigne svoju dnevnu maksimalnu vrednost (13—15 h). U ovom momentu insolacija je jednaka radijaciji, a to se dešava 2—3 h po zenitalnom (maksimalnom) položaju Sunca. Od ovog momenta temperatura vazduha opada i njeno opadanje se nastavlja i preko noći, sve do izlaska sunca. Minimum temperature vazduha nastupa u isto vreme kad i minimum temperature zemljinog tla, tj. pred sam izlazak sunca (03—06 h).

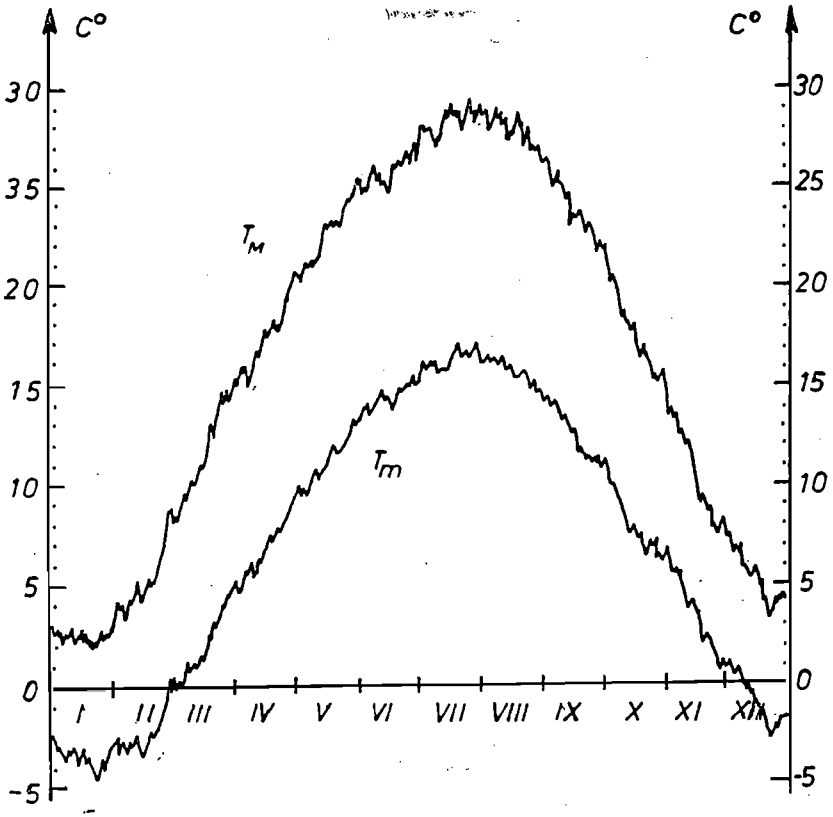
Razliku između maksimalne i minimalne temperature vazduha u toku dana nazivamo *dnevnom amplitudom temperature vazduha* (dnevno kolebanje). Njena veličina zavisi od geografske širine, godišnjeg doba, karaktera podloge i vremenskih prilika. Nad kopnom zavisi od reljefa zemljišta, geološkog sastava tla i biljnog pokrivača, a nad vodenim površinama — od veličine vodene površine, dubine i hemijskog sastava vode.

Najveća dnevna kolebanja temperature javljaju se u nižim geografskim širinama, a najmanja u polarnim oblastima i višim planinskim predelima. U polarnim predelima zimi ne postoji „normalan" dnevni hod temperature vazduha. Iznad golog — kršćevitog i peščanog zemljišta, koje se za vreme sijanja sunca jako



Slika 6. — Dnevni hod temperature vazduha pri vedrom i znatno oblačnom danu u Zagrebu (Lučko 106 m) **i na Bjelašnici** (2067 m) za 23. VI i 16. VII 1958. godine: V — vetar; O — oblačni dan.

zagreje, a tokom noći brzo hladi, kolebanje temperature vazduha znatno je veće nego zemljišta koje je pokriveno biljnim pokrivačem. Isto tako, velike razlike uočavaju se i između severnih i južnih padina planinskih sistema: na južnim stranama temperatura je veća no što je na severnim. Vrlo velike razlike uočavaju se i između pojedinih vrsta biljnog pokrivača. Tako je iznad niskog i retkog rastinja amplituda temperature veća nego iznad gustih šuma, zatim iznad polja zrelih žita, pokošenih livada i pašnjaka veća je nego iznad bilja koje se nalazi u vegetacionom periodu. Vrlo malo kolebanje temperature susrećemo iznad mora i okeana. U toku vedrog ili malo oblačnog dana amplituda temperature vazduha veća je nego pri oblačnom i kišovitom vremenu. Isto tako, ako je ista količina oblačnosti, amplituda temperature vazduha veća je pri visokoj nego pri niskoj oblačnosti.



Slika 7. — Godišnji hod srednje dnevne maksimalne (T_M) i minimalne (T_m) temperature vazduha u Beogradu za period 1886—1961. godine

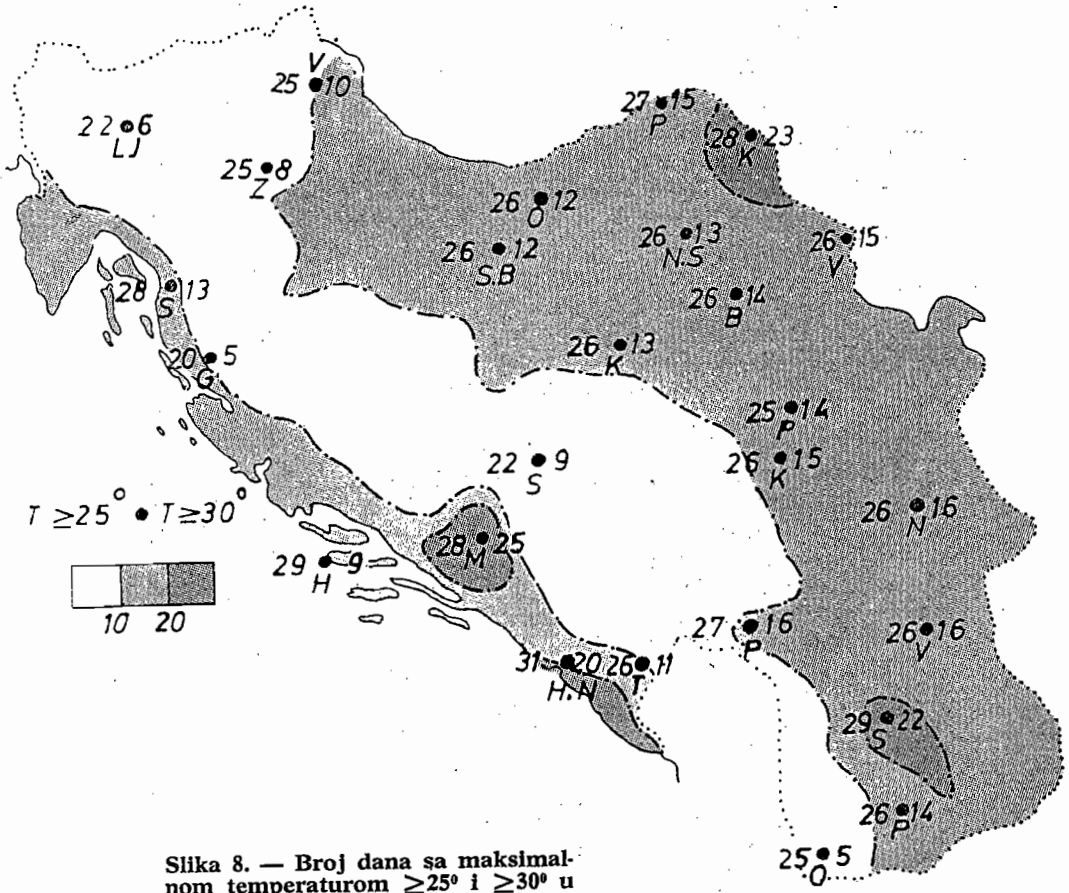
Godišnji hod temperature vazduha može znatno da se razlikuje između pojedinih tačaka-mesta na približno istoj geografskoj širini. Tako, na primer, između Jakucka u unutrašnjosti kontinenta (Sibir) i Torshavena (na Farskom otočju), koji se nalaze na istoj geografskoj širini (oko 62°) razlika u godišnjoj temperaturi vazduha iznosi 54°. Najtopliji, odnosno najhladniji mesec u Jakucku je juli (+19°), odnosno januar (−43°), a u Torshavenu juni (+11°); mart (+3°). Pri ovakvom odnosu godišnja amplituda u Jakucku iznosi 62°, a u Torshavenu 8°.

U našoj zemlji najtopliji mesec je juli,a najhladniji januar. Izuzetak čine pojedina mesta u Vojvodini i Srbiji (u kojima je najtopliji avgust), kao i neka mesta u planinskim kotlinama (februar). Godišnja amplituda temperature vazduha na obalskom području kreće se od 14° do 18°, a u unutrašnjosti od 15° do 23°. Temperaturni kontrasti u našoj zemlji mogu bolje da se sagledaju ako se uporedi apsolutni minimum i maksimum. Tako, na osnovu dugogodišnjeg niza osmatranja (1901—1966. god.) vidi se da apsolutni minimum temperature vazduha na kontinentu iznosi od −19° do −35°, a u pojedinim planinskim delovima — dolinama, i preko −40° (Bjelašnica), dok na obalskom području retko kada prelazi ispod −10°. Apsolutni maksimum kreće se od 25° do 45°; temperatura iznad 40° registrovana je u Vojvodini, Srbiji, Makedoniji i Hercegovini.

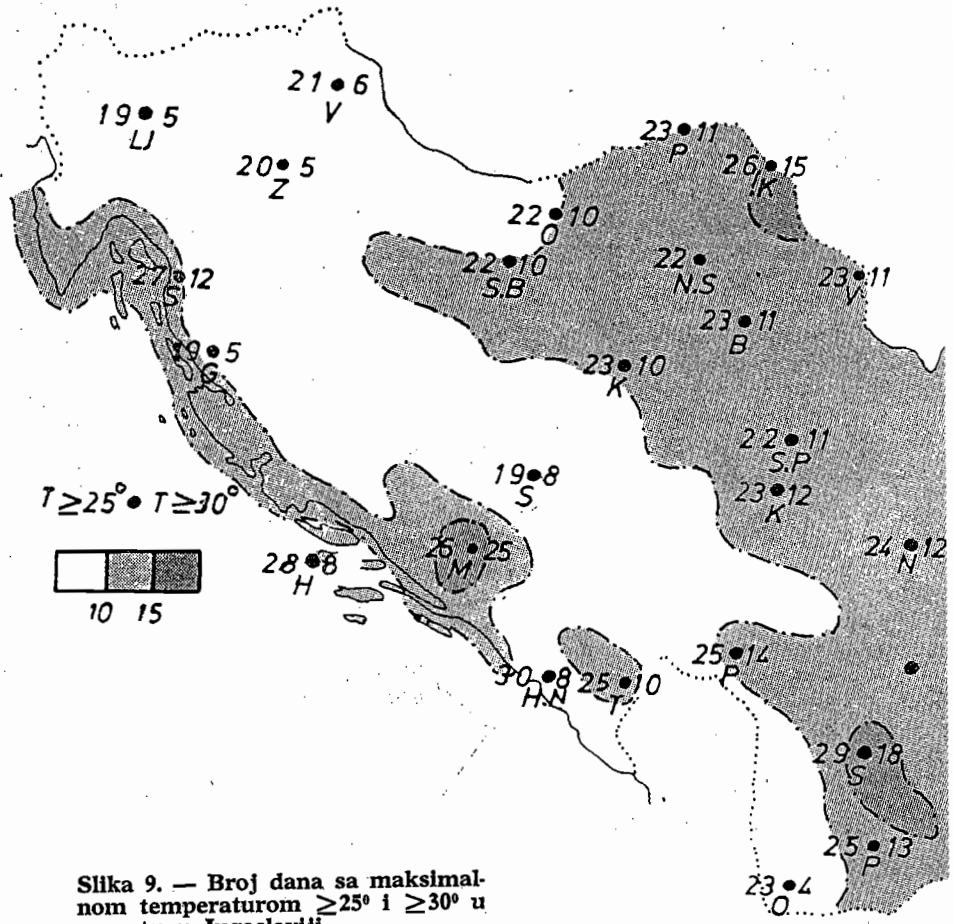
Dnevni i godišnji hod temperature vazduha može da bude poremećen u pojedinim danima, odnosno godinama. U tom slučaju takve promene nazivamo *neperiodičnim promenama,* za razliku od periodičnih promena. Neperiodične promene temperature vazduha u toku dana uslovljene su prodorima hladnih i toplih vazdušnih masa, odnosno u toku godine izuzetno toplim ili hladnim zimama i hladnim ili vrlo toplim letima.

Za klimatološku procenu termičke nestabilnosti u toploj polovini godine za prizemni sloj atmosfere (od tla do oko 1—1,5 km) podesno je uzeti u razmatranje godišnji hod srednje dnevne amplitude dobiven na osnovu srednjih dnevnih maksimuma i minimuma temperature. Kada amplituda temperature iznosi preko 11°, tada se prizemni sloj vazduha može uzeti kao termički nestabilan, odnosno ukoliko je razlika veća od 11°, utoliko će i gornja granica termički nestabilnog vazduha biti na većoj visini. Na slici 7 prikazan je godišnji hod srednje dnevne maksimalne i minimalne temperature vazduha u Beogradu. Na osnovu krivih temperature možemo zaključiti da se prvi dan (srednji) sa termičkim nestabilnim vazduhom u prizemnom sloju atmosfere nad Beogradom javlja sredinom aprila, a zadnji početkom treće dekade septembra, zatim da termička nestabilnost traje oko 5,5 meseci i da se znatniji prekidi od 1 do 2 dana javljaju početkom maja, u prvoj dekadi juna i jula i sredinom avgusta.

Informaciju o broju dana sa termičkim nestabilnim vazduhom u sloju od tla do 1,0—1,5 km, odnosno do oko 2 km po pojedinim mesecima, možemo tačnije da dobijemo ako uz podatak o srednjoj dnevnoj amplitudi temperature razmotrimo i vrednost dnevnog apsolutnog maksimuma temperature vazduha. Radi ilustracije, na slikama 8 i 9 prikazan je broj dana sa apsolutnim maksimumom temperature jednakim i većim od 25°, odnosno 30° za juli i avgust. Sa slika se vidi da se u Jugoslaviji sa termičkim povoljnim uslovima javljaju dve oblasti, i to: uži obalski pojas i ravničarski predeli duž Drave, Save, Dunava, Morave i Vardara. U ovim oblastima javljaju se manji izolovani centri sa izuzetno povoljnim termičkim prilikama, i to oko Kikinde, Skopja, Titograda i Mostara. Isto



Slika 8. — Broj dana sa maksimalnom temperaturom ≥25° i ≥30° u julu u Jugoslaviji



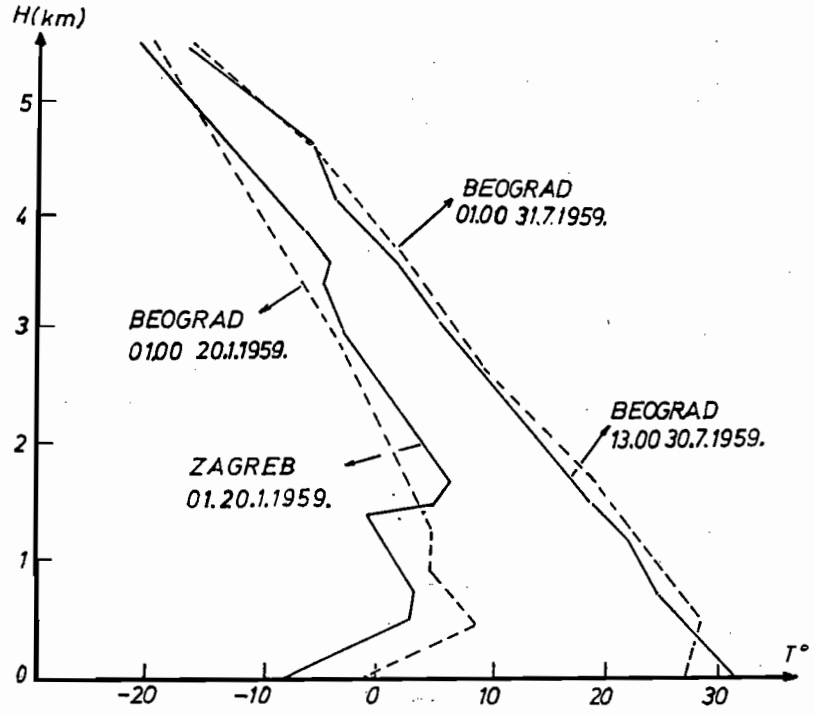
Slika 9. — Broj dana sa maksimalnom temperaturom ≥25° i ≥30° u avgustu u Jugoslaviji

tako, vidi se da je juli u celoj Jugoslaviji termički pogodniji od avgusta. Broj dana sa izuzetno dobrim termičkim prilikama veći je u julu nego u avgustu: u Vojvodini za 3 do 8, Srbiji — 4, Makedoniji — 1 do 4 i u ostalim predelima za 0 do 3 dana. Planinski predeli, koji su zastupljeni manjim brojem dana, termički su nepovoljniji od ostalih predela Jugoslavije. U tom smislu naročito se ističe okolina Sarajeva i Ljubljane u mesecu avgustu. Na nepovoljan termički režim planinskih predela utiče i stvaranje jezera hladnog vazduha u toku noći. Jezerom hladnog vazduha uslovljena je inverzija temperature na visini (na gornjoj granici jezera), što ima za posledicu skraćenje efektivne dužine termičkog dana.

PROMENA TEMPERATURE SA VISINOM

Na slici 10 prikazana je vertikalna raspodela temperature u 01 h 20. januara 1959. godine u Zagrebu i u 13 h 30. i 01 h 31. jula 1959. godine u Beogradu. Sa slike se vidi da temperatura vazduha u Zagrebu u pojedinim slojevima troposfere raste sa visinom — *inverzija* (od tla do 550 m; od 1450 do 1750 m), odnosno ne menja se — *izotermija* (od 550 do 750 m) ili opada, dok u slučaju od 30. jula u Beogradu neprekidno opada, a 31. jula prvo raste, a zatim opada. Iz ovoga vidimo da krive temperature vazduha mogu da imaju vrlo različite oblike, zatim da se znatno razlikuju kako između pojedinih tačaka (mesta) tako i sa promenom vremena iznad iste tačke.

Da bi moglo da se vrši kvantitativno poređenje krivih temperature u pojedinim slojevima atmosfere, kao i da se na osnovu njih izvode određene analize i procene (na primer stabilnost atmo-



Slika 10. — Vertikalna raspodla temperature vazduha nad Beogradom u 13 h 30. VII i od 01 h 31. VII 1959. godine, i nad Zagrebom od 01 h 20. I 1959. godine

sfere), u meteorologiji — aerologiji, uvedena je veličina koja nam pokazuje promene temperature sa visinom. Ta veličina koja nam daje promenu temperature sa visinom na jedinici rastojanja po vertikali (100 m) naziva se *vertikalnim gradijentom temperature* (γ).

U uvodu (tač. 3) data je vrednost srednjeg gradijenta temperature za troposferu (0,65° na 100 m), no u prirodi stvarni gradijent temperature može znatno da odstupa od srednje vrednosti. Tako, za vreme tople polovine godine u vedrim danima gradijent temperature vazduha u sloju troposfere od tla do 2 km može da iznosi i preko 1°/100 m, odnosno za vreme zime pri hladnom i tihom vremenu da bude negativan za nekoliko stepeni na 100 m (u sloju od tla do 1 km). Isto tako, vrlo veliki, odnosno mali, pozitivni ili negativni gradijenti temperature vazduha, mogu da se jave bilo u kom sloju troposfere.

U Jugoslaviji vertikalni gradijent temperature vazduha veći od 1°/100 obično se pojavljuje u prizemnom sloju vazduha (od tla do 1,5—2,0 km) za vreme vedrih i toplih dana kada je maksimalna temperatura vazduha veća od 28°.

Veličina koja karakteriše promenu temperature u horizontalnom pravcu zove se *horizontalni gradijent temperature.* On se izražava u stepenima po jedinici rastojanja (1° meridijana ili 1° geografske širine na ekvatoru, 111 km). Najveći gradijenti temperature primećeni su na frontalnim granicama između različitih vazdušnih masa, kao i u predelima mlazne struje. Gradijenti temperature unutar jedne iste vazdušne mase su mali i u proseku iznose od 05° do 07° na 111 km.

ATMOSFERSKI PRITISAK I GUSTINA VAZDUHA

Težina vazdušnog stuba koji se rasprostire od neke tačke na površini zemlje ili u atmosferi, pa do gornje granice atmosfere, naziva se atmosferskim pritiskom. Atmosferski pritisak na nivou mora u proseku je ravan pritisku živinog stuba visine 76 cm. Zbog toga što je specifična težina žive pri 0° 13,596 gr/cm³, atmosferski pritisak je brojno jednak sili koja masom $76 \times 13{,}596 = 1033{,}3$ gr deluje (pritiska) na površinu od 1 cm².

U apsolutnom sistemu mera atmosferski pritisak jednak je sili od $1033{,}3 \times 980{,}6 = 1.013.250$ din na 1 cm² (980,6 cm/s² — ubrzanje sile teže na nivou mora na geografskoj širini 45°).

Na meteorološkim stanicama atmosferski pritisak se izražava u milimetrima (mm) i milibarima (mb), (1.000 din/1 cm², naziva

se „milibarom"; 1 mm=1,333 mb ili 1 mb=0,75 mm), a meri se pomoću *staničnog živinog barometra* ili *aneroida* (vrednost pritiska) i *barografa* (oblik krive registracije pritiska, u sinoptici za 3 h).

Specifična težina vazduha (a) definisana je količinom između težine vazduha i jedinične zapremine u kojoj se nalazi posmatrana količina vazduha.

Pri kretanju vazduha i čvrstih tela u atmosferu javlja se kao fizička veličina *specifična masa* ili *gustina vazduha* (ρ). Pod ovom veličinom podrazumeva se gustina mase vazduha u jedinici zapremine.

Specifična težina i gustina vazduha, kao i prelazak iz jedne veličine u drugu, dat je sledećim jednačinama:

$$a = \frac{mg}{V},$$

gde je: m — masa vazduha, g — ubrzanje sile teže, V — zapremina.

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Iz datih jednačina proizilazi da je:

$$a = \rho g; \quad \rho = \frac{a}{g}.$$

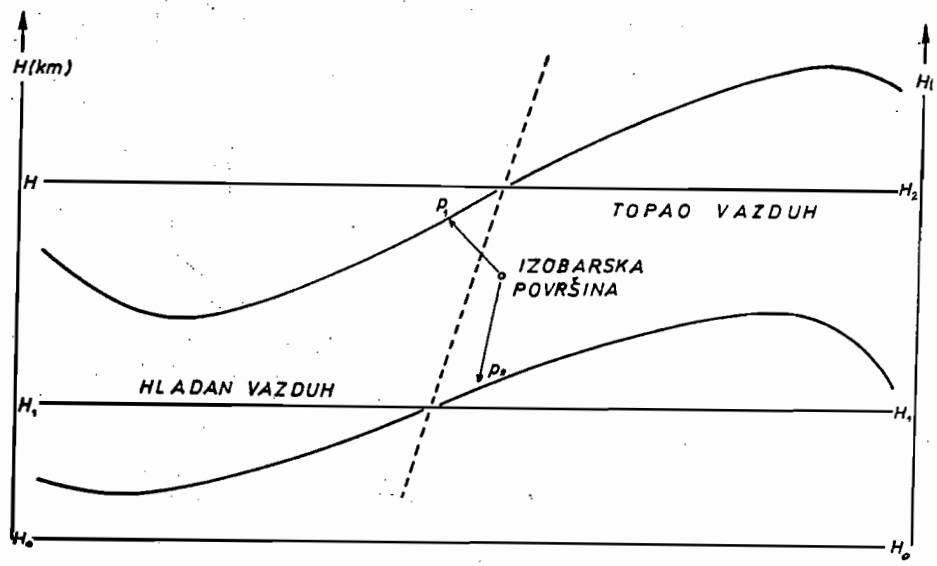
$$[a] = [\text{gr m}^{-3} \quad \text{ili} \quad \text{kg m}^{-3}]; \quad [\rho] = [\text{gr s}^2 \text{m}^{-4} \quad \text{ili} \quad \text{kg s}^2 \text{m}^{-4}].$$

Na nivou mora u standardnoj atmosferi specifična težina vazduha iznosi 1225 gr m^{-3}=1,225 kg m^{-3}, a gustina 125 gr s^2 m^{-4}= =0,125 kg s^2 m^{-4}.

PROSTORNA PROMENA PRITISKA I GUSTINE VAZDUHA

Zbog stišljivosti vazduha atmosferski pritisak i gustina vazduha opadaju sa porastom visine: u nižim slojevima brže, a u višim sporije. Na visini oko 5500 m njihova vrednost je skoro upola manja nego što je na nivou mora (p_0=1013, odnosno na visini h=5500 m p_h=500 mb; a_0=1,225, a_h=0,695 kg m^{-3}; ρ_0=0,125, ρ_h=0,071 kg s^2 m^{-4}).

Sa porastom visine atmosferski pritisak brže opada u hladnom nego u toplom vazduhu. Zbog toga su visine *izobarskih površina* (površine istog pritiska) u toplom vazduhu na većim visinama nego u hladnom vazduhu (vidi sl. 11).

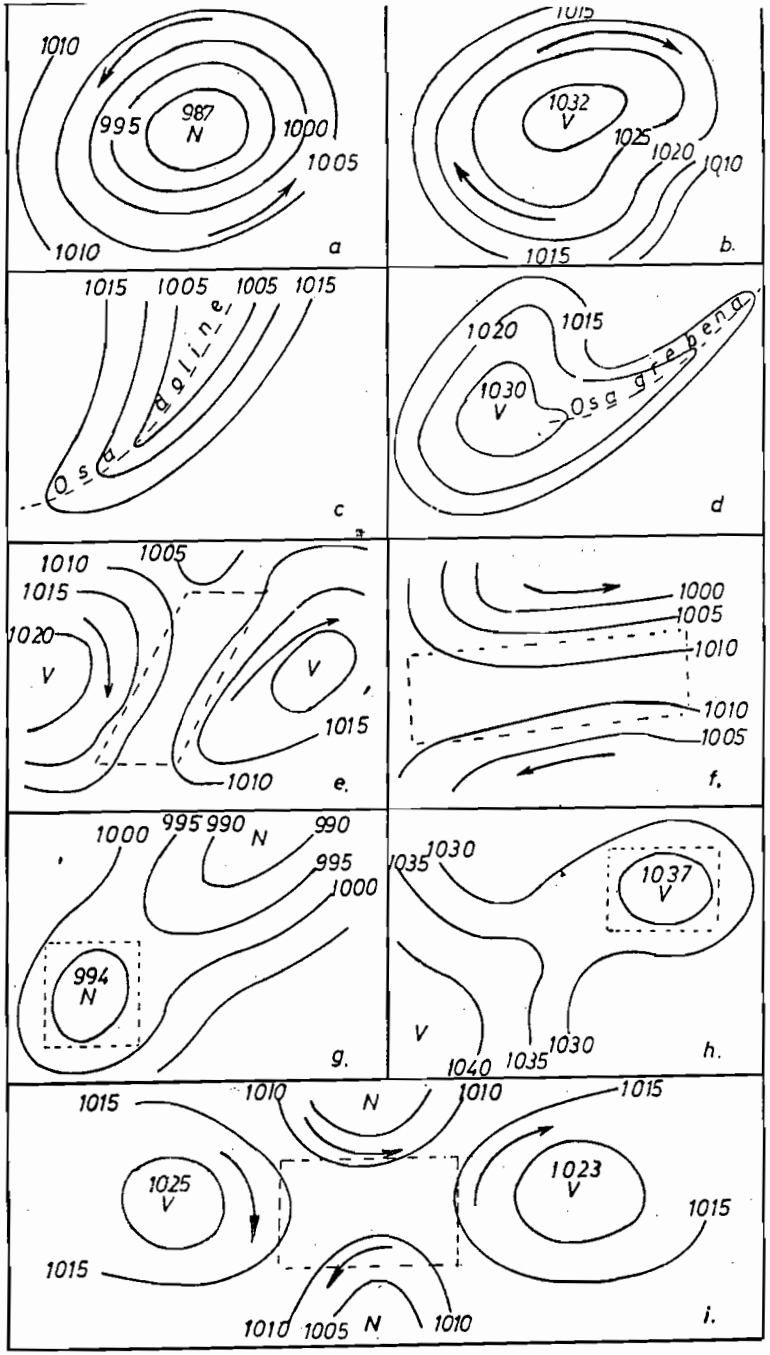


Slika 11. — Vertikalni presek izobarskih površina u toplom i hladnom vazduhu

Drugim rečima, nad toplim oblastima izobarske površine su ispupčene, a nad hladnim udubljene.

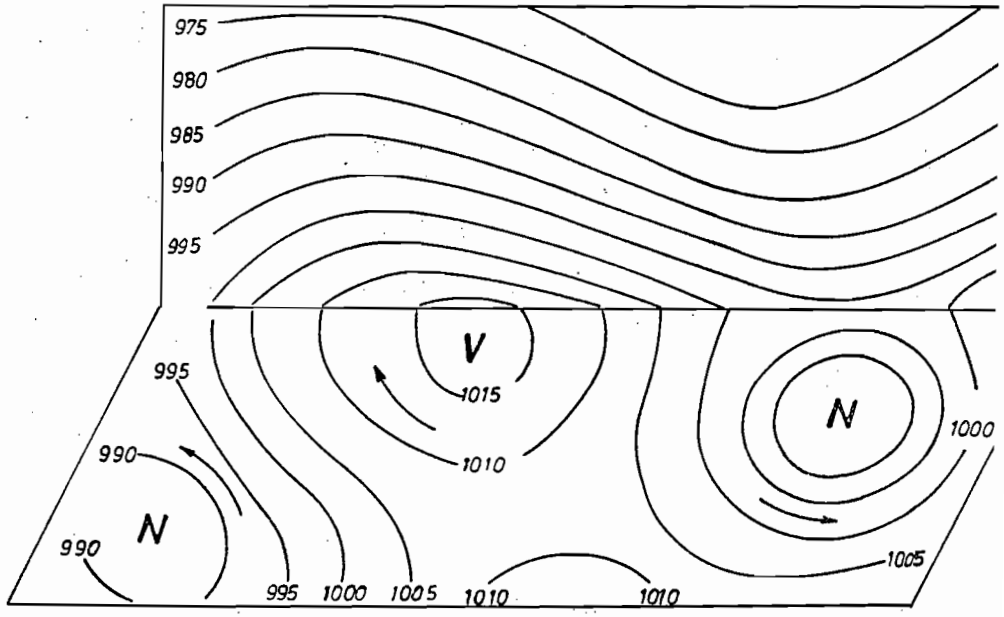
Za karakteristiku promene pritiska sa visinom u meteorologiji se uzima *barski stupanj*, tj. visina u metrima, koja nam pokazuje za koliko metara treba da se podignemo ili spustimo da bi se pritisak smanjio ili porastao za 1 mb ili 1 mm. Tako, na manjim visinama u blizini površine zemlje treba se podići na 11 m da bi se pritisak promenio za 1 mm, na visini oko 5000 m za oko 20 m, a na visini oko 18 km za 90 m.

U horizontalnoj ravni polje pritiska predstavljamo izobarama. Izobarsko polje na nivou mora u sinoptici se predstavlja — crta na prizemnim vremenskim kartama, a na visini — *izohipsama* (linijama iste visine na kojim je pritisak konstantan — *izobarske površine*). U zavisnosti od raspodele pritiska na nivou mora, izobare mogu da imaju vrlo različit oblik. Oblik izobara u odnosu na barske sisteme prikazan je na slici 12. Sa slike se vidi da izobare u ciklonu, odnosno anticiklonu, na osi doline i grebena, kao i u sekundarnom ciklonu i ogranku anticiklona, imaju više zakrivljen ili čak kružan oblik, a u polju sniženog i povišenog pritiska oblik — prave. Vertikalni i horizontalni presek polja pritiska prikazan je na slici 13. Sa nje se vidi da su izobare u odnosu na površinu zemlje, nagnute za određeni ugao, dok je neke od njih presecaju.



Slika 12. — Osnovni barski sistemi:
a — ciklon; b — anticiklon; c — dolina; d — greben; e — oblast sniženog pritiska; f — oblast povišenog pritiska; g — sekundarni ciklon; h — jezgro, ogranak anticiklona; i — sedlovina.

U horizontalnoj ravni intenzitet polja pritiska u nekoj tački predstavlja se *horizontalnim gradijentom pritiska.* Horizontalni gradijent pritiska je vektorska veličina čiji je pravac normalan na izobare. Smer mu je usmeren u pravcu najbržeg pada pritiska, dok mu se intenzitet meri u milibarima (mb) na rastojanju od 1° merilijana ili na 111 km.



Slika 13. — Vertikalni i horizonatalni presek polja pritiska

Atmosferski pritisak se neprekidno menja sa vremenom. Te promene mogu da budu veće ili manje, što zavisi od atmosferskih poremećaja. Veličina koja karakteriše promenu pritiska u jedinici vremena naziva se *barometarska tendencija;* u sinoptici se za jedinicu vremena uzima 3 ili 24 h.

VETAR NA POVRŠINI ZEMLJE I U SLOBODNOJ ATMOSFERI

Vetar je horizontalno ili približno horizontalno relativno kretanje vazduha u odnosu na površinu zemlje. Nastaje uglavnom zbog nejednakog zagrevanja atmosfere.

Vetar je vektorska veličina koja se određuje *pravcem, smerom* i *intenzitetom.* Pravac vetra je prava duž koje duva vetar, a određuje se prema stranama sveta ili azimutom ugla u stepenima; u meteorologiji smer vetra se uzima prema strani sveta iz koje vazduh dolazi, za razliku od vazduhoplovstva — u koju se kreće — duva. *Intenzitet-brzina* je pređeni put vazdušne čestice u jedinici vremena, a izražava se u m/s ili km/h. Na meteorološkim stanicama vetar se određuje-meri *anemometrom, anemografom* ili *vetrokazom,* a na aerološkim stanicama *ravi-sondažnim* ili *raketnim merenjima.* Za označavanje smera vetra koriste se četiri slova, i to: N (Nord — Sever, 360°), E (Est — Istok, 90°), S (Sud — Sid — Jug 180°) i W (West — Zapad, 270°). Kombinacijom ovih slova smer vetra može da se predstavi iz 360, odnosno iz 36 smerova, koji čine takozvanu *ružu vetra.* U sinoptici se upotrebljava ruža vetra od 36 smerova.

UTICAJ SILE TRENJA, GRADIJENTNE, DEVIJACIONE I CENTRIFUGALNE SILE NA BRZINU I SMER VETRA

Vetar (pravac, smer, brzina i jačina) u nekoj tački neposredno zavisi od vrednosti atmosferskog pritiska u istoj tački, kao i od vrednosti pritiska u njenoj okolini. Ova zavisnost izražava se *silom barskog gradijenta* ili *gradijentnom silom* (G). Gradijentana sila proporcionalna je veličini gradijenta pritiska, a obrnuto proporcionalna gustini vazduha $\left(G = -\frac{1}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta n}\right)$. Zbog toga će brzina vetra u posmatranoj tački biti veća ukoliko je gradijent pritiska veći, i obrnuto — ukoliko je manji, duvaće slabiji vetar. Isto tako, na osnovu gradijentne sile možemo da konstatujemo da pri istom gradijentu pritiska vetar duva većom brzinom u toplom nego u hladnom vazduhu. Pored gradijentne sile, na česticu vazduha u kretanju deluju i druge sile, kao što su: *sila devijacije* ili *Koriolisova sila, sila trenja* i *centrifugalna sila.*

Sila devijacije (A) uslovljena je obrtanjem Zemlje oko njene ose, a na čestice vazduha ispoljava se u inerciji periferne brzine

Zemlje, koju iste dobijaju na određenim geografskim širinama. Pri kretanju ka višim, odnosno manjim geografskim širinama (meridijalno kretanje) čestice vazduha imaju manju, odnosno veću perifernu brzinu od tačaka na Zemljinoj površini, pa zbog toga na severnoj hemisferi skreću od početnog pravca kretanja udesno, a na južnoj ulevo.

Veličina intenziteta sile devijacije, odnosno njene horizontalne komponente, izražava se jednačinom:

$$A = 2\omega v \sin\varphi,$$

gde je:

ω — uglovna brzina Zemljine rotacije ($7{,}29 \cdot 10^{-5}\ s^{-1}$),
φ — geografska širina,
v — brzina vetra.

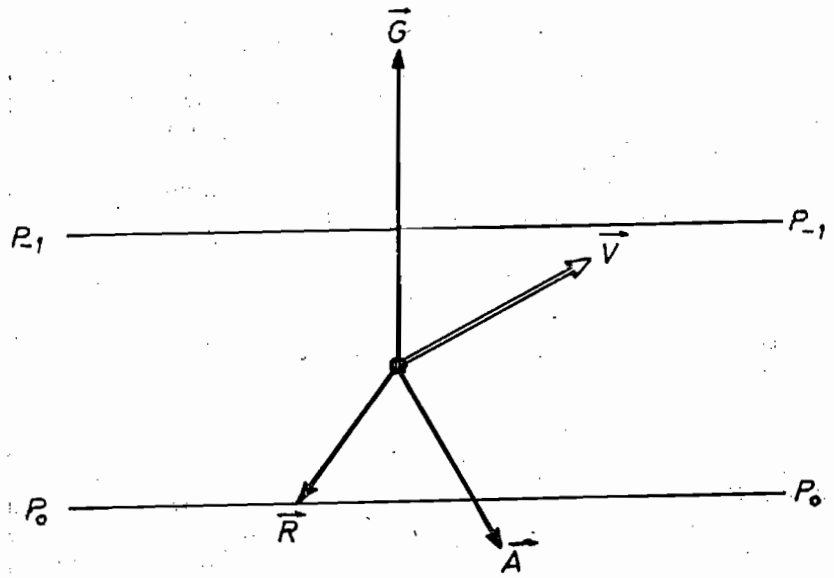
Pod uticajem sile devijacije kinetička energija, a time i brzina čestice vazduha, ne menja se, jer sila devijacije ne vrši nikakav rad pošto deluje normalno na pravac kretanja. Iz ovoga proizilazi da devijaciona sila, u stvari, nije sila, jer niti može da izvrši kakav rad, niti da proizvede kretanje vazduha. Njen izvanredan značaj ogleda se u tome što ona kao spoljna sila utiče na izgled atmosferske cirkulacije u smislu promene pravca vazdušnih kretanja. Pri istoj brzini vetra, sila devijacije raste od ekvatora (na ekvatoru je ravna nuli) ka polu, kao i sa povećanjem brzine vetra.

Sila trenja (R) sastoji se od sile spoljašnjeg i unutrašnjeg trenja. Spoljašnje trenje javlja se u sloju vazduha od tla do 500—1500 m, i to kao posledica trenja vazduha o površinu zemlje. Unutrašnje trenje prouzrokovano je međusobnim sudarima, trenjem vazdušnih čestica.

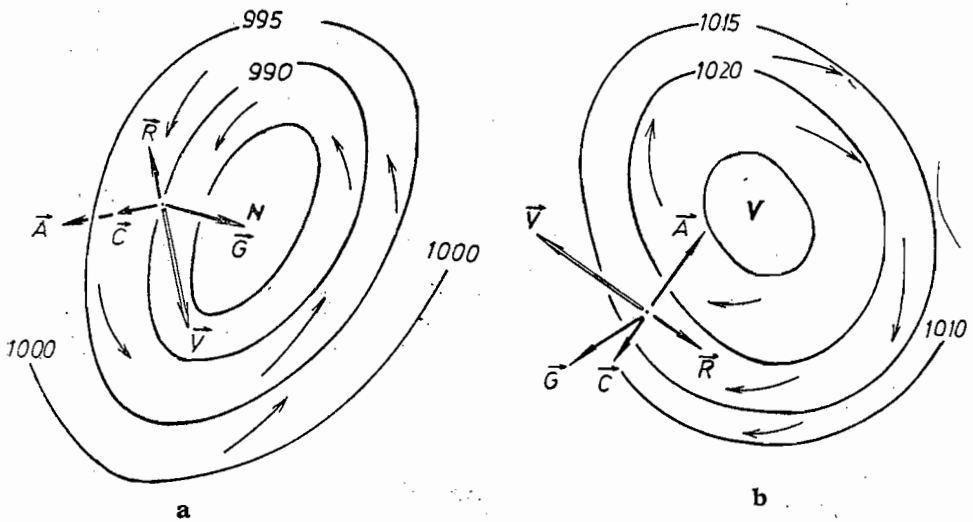
Sila spoljašnjeg trenja (R_s) proporcionalna je brzini vetra (v) i koeficijentu trenja (k) (koeficijenat trenja zavisi od površine tla, odnosno od konfiguracije: nad morem je manji, a nad kopnom veći). Smer sile trenja suprotan je smeru brzine vetra ($R_s = -kv$). Sila trenja veća je nad kopnom nego nad morem, isto tako, veća je u planinskim predelima nego u ravnici. Sa porastom visine njen intenzitet opada i na visini oko 500 m nad morem, odnosno oko 1000 m nad kopnom-ravnicom, praktično se ne oseća.

Kada izobare imaju pravolinijski izgled, raspored sila koje deluju na česticu vazduha u pokretu prikazan je na slici 14.

Centifugalna sila (C). — Ako su izobare krivolinijski izvijene, pored tri napred navedne sile, na pokretnu česticu vazduha dejstvuje i centrifugalna sila. Pri ciklonu, u osi doline i pri sniženom polju pritiska sa krivolinijskim izobarama, ona ima isti pravac i smer kao i devijaciona sila, dok pri anticiklonu, jezgru anticiklona, na osi grebena i u povišenom polju pritiska ima suprotan, tj.



Slika 14. — Raspored sila koje deluju na kretanje pokretne vazdušne čestice pri pravolinijskim izobarama, odnosno izohipsama



Slika 15. Raspored sila koje deluju na kretanje pokretne vazdušne čestice pri krivolinijskim izobarama, odnosno izohipsama:
a — ciklon; b — anticiklon.

poklapa se sa pravcem i smerom gradijentne sile. Centrifugalna sila svih barskih sistema sa krivolinijskim izobarama deluje od sistema u polje. Intenzitet centrifugalne sile jednak je:

$$C = \frac{v^2}{r},$$

gde je:

v — brzina vetra.
r — poluprečnik krivine izobare ili izohipse.

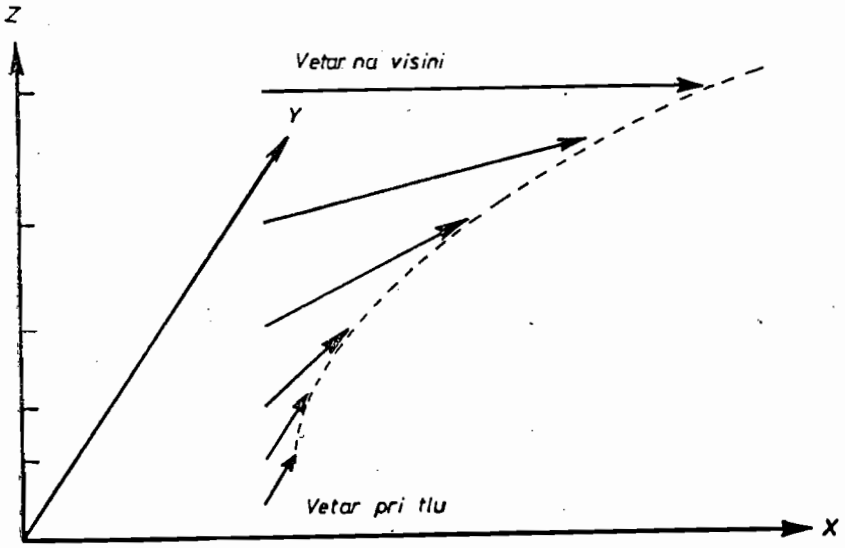
U suštini, centrifugalna sila predstavlja normalnu komponentu ubrzanja pri krivolinijskom kretanju. Ova postoji i pri ravnomernom krivolinijskom kretanju, a ubrzanje koje dobija čestica vazduha troši se na promenu pravca kretanja.
Slika 15

Kad izobare imaju krivolinijski oblik, raspored sila koje deluju na čestice vazduha u poketu prikazan je na slici 15.

PROSTORNO-VREMENSKE PROMENE VETRA

Prostorno-vremenske promene vetra, u prvom redu, uslovljene su opštom cirkulacijom vazduha, tj. atmosferskim poremećajima i njihovim vremenskim promenama, kao i izgledom podloge iznad koje duvaju. Zbog toga smer i brzina vetra mogu znatno da se razlikuju između pojedinih tačaka u atmosferi, bilo da se vetar posmatra nad neposrednom površinom tla, ili ma na kojoj površini u atmosferi ili po vertikali iznad fiksne tačke. Isto tako, smer i brzina vetra znatno se menjaju sa vremenom iznad jedne tačke. Velike promene vetra mogu da se osmotre i na relativno manjim rastojanjima, odnosno u kraćim vremenskim intervalima. Tako, na primer, dok u Lici duvaju slabi vetrovi, nad severnim Jadranom može da duva jaka bura; u Negotinu može da bude vrlo slab vetar, a u Vršču jaka košava. Leti iznenada može da se pojavi jak vetar, da bi potom brzo opao ili se stišao, itd.

Pored vrlo velike prostorno-vremenske promenljivosti vetra, on ipak pokazuje određene karakteristike za svako mesto. Tako, na primer, u troposferi srednja brzina vetra raste od tla do donje granice tropopauze. Porast brzine vetra sa visinom u sloju od tla do 500—1500 m (sloj trenja) skoro je svakodnevna pojava. U ovom sloju menja se i smer vetra. Sa porastom visine smer vetra skreće udesno, a iznad sloja trenja duva paralelno izobarama, izohipsama (sl. 16). U pojedinim predelima maksimalna srednja brzina vetra javlja se u jednom od godišnjih doba. U našim predelima to je najčešće zima i proleće. Isto tako, smer vetra u većini slučajeva pokazuje jedan od dva preovlađujuća smera. Tako, kod nas tokom



Slika 16. — Promena smera i brzine vetra u sloju trenja (od tla do 500—1000 m)

cele godine u obalskom pojasu preovlađuje vetar sa severnom (bura i burin) i južnom (jugo-maestral i zamorac) komponentom strujanja; u Vojvodini i Pomoravlju košava (u hladnoj polovini godine ima istočnu komponentu strujanja) i zapadni vetrovi (leti); u južnoj Srbiji i Makedoniji severni vetrovi, a u Sloveniji, Hrvatskoj i Bosni vetrovi sa severnom komponentom strujanja.

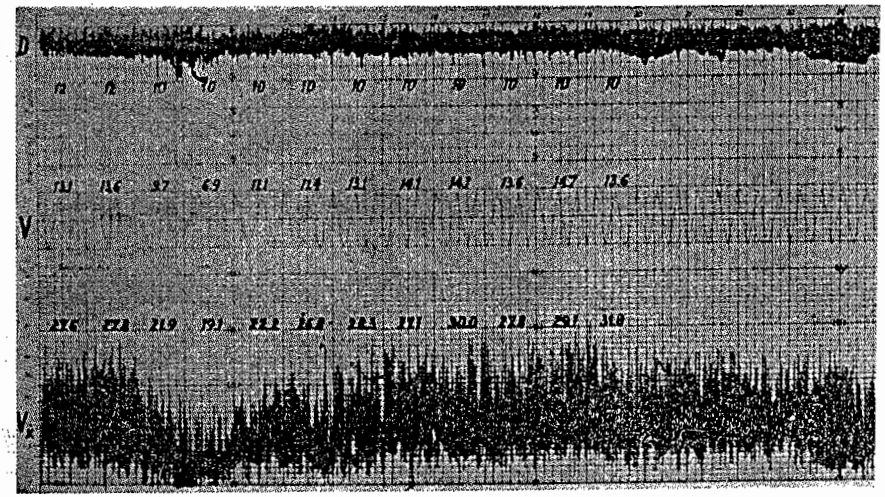
Osmatranja vetra u troposferi pokazala su da vetar može da ima izuzetnu brzinu. Tako, na južnoj hemisferi između 40° i 50° južne širine na visini oko 5500 m u toku jula (zimi) srednja brzina vetra u pojedinim predelima iznosi i preko 120 km/h, a to znači da momentalna brzina vetra može da iznosi i preko 200 m/s. Vrlo velike brzine vetra u slobodnoj atmosferi javljaju se iznad Pacifika, a u višim slojevima troposfere dostižu i do 320 m/s. Isto tako, vrlo velike brzine vetra javljaju se i u višim planinskim predelima (preko 100 m/s), kao i pri oluji (pri tlu dostižu i do 30—70 m/s i više). Iznad Jugoslavije vrlo velike brzine vetra javljaju se u *mlaznoj struji*[1]) na visini oko 7600—13.000 m; u proleće u proseku iznosi 42, leti 40, a u jesen 41 i zimi 45 m/s. Nad istočnim predelima Jugoslavije maksimalna brzina vetra u mlaznoj struji registrovana je na visini od 8.000—12.000 m i iznosi 118 m/s. Pri južnom i severnom tipu vremena iznad planinskih predela Jugoslavije (od 2000—6000 m) brzina vetra može da bude izuzetno velika (preko 100 m/s). U toplom periodu godine nad većim delom Jugoslavije može da se uspostavi uniformno severno strujanje po prodoru hladnog vazduha sa severa, ili severozapada, a karakteriše se naglim porastom brzine vetra sa visinom.

[1]) **Mlazna struja** je vazdušni potok sa brzinom vetra jdnakom i većom od 30 m/s i sa vertikalnim gradijentom brzine vetra jednakim i većim od 10 m sc-1/1 km.

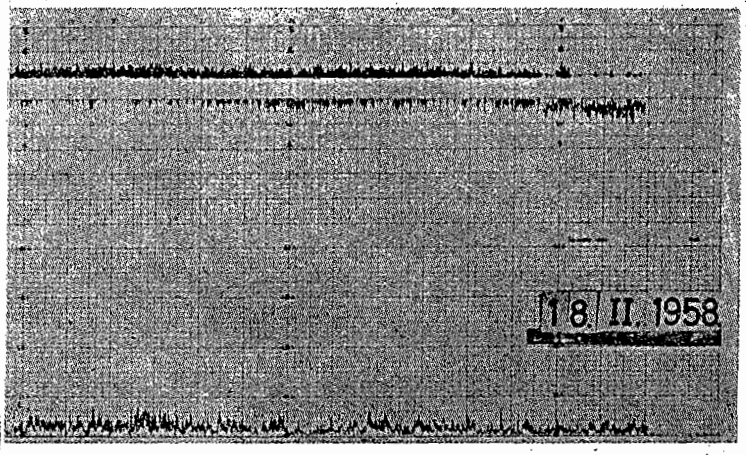
STRUKTURA I KARAKTER VETRA

Ni po brzini, ni po smeru vetar ne može da se smatra kao kretanje vazduha iz stalnog pravca sa postojanom jačinom, što bi odgovaralo srednjem smeru, odnosno srednjoj brzini vetra za određeni interval vremena. Isto tako, vetrovi se međusobno razlikuju po varijaciji brzine u odnosu na srednju brzinu ili po većem ili manjem odstupanju smera vetra od srednjeg smera. Tako je, na primer, na slikama 17 i 18 prikazana struktura jugoistočnog i severnog vetra u Beogradu. Jugoistočni vetar u Beogradu poznat je pod imenom košava, a odlikuje se, kao što se sa slike vidi, kratkim, oštrim, čas vrlo velikim, čas znatno slabijim udarima. Severni vetar u Beogradu ima druge osobine, on nema jakih i kratkih udara kao košava. Po brzini je sličan obliku stupnja. Njegovi stupnjevi se, kao po nekom zakonu, periodično pojavljuju i u kraćim intervalima vremena (oko 2—4 h) imaju približno isto vreme trajanja. Na početku stupnja pulzacije brzine su najveće, zatim se kolebaju pa i srednja brzina postepeno smanjuje, dok ne dođe do novog obrazovanja stupnja. Na slici 18 jasno se vidi da severni vetar zadržava približno istu brzinu 2—5 minuta, da mu se brzina sporo povećava ili smanjuje i da su mu udari znatno slabiji i ređi nego kod košave.

Za razliku od prethodnih slučajeva, vetar može iznenada da se pojavi sa izuzetno velikom jačinom, a potom da se naglo stiša.

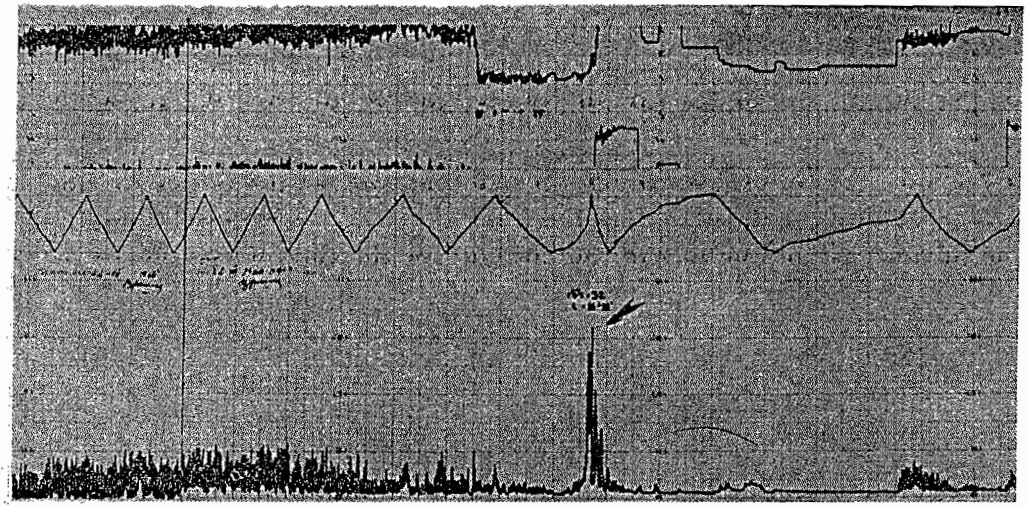


Slika 17. — Registrovanje smera (D); pređenog puta — srednje brzine, (V) i momentalne briznee vetra (Vx) košave 25. III 1957. godine u Beogradu



Slika 18. — Registrovanje smera, pređenog puta (srednje brzine) i momentalne brzine vetra — severnog 18. II 1958. god. u Beogradu

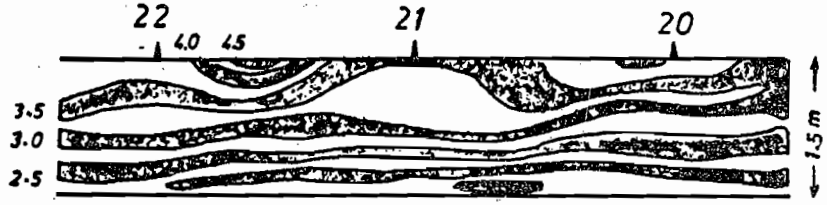
Slika 19. — Registrovanje smera, pređenog puta (srednje brzine i momentalne brzine vetra u Vršcu 22. VII 1964. godine



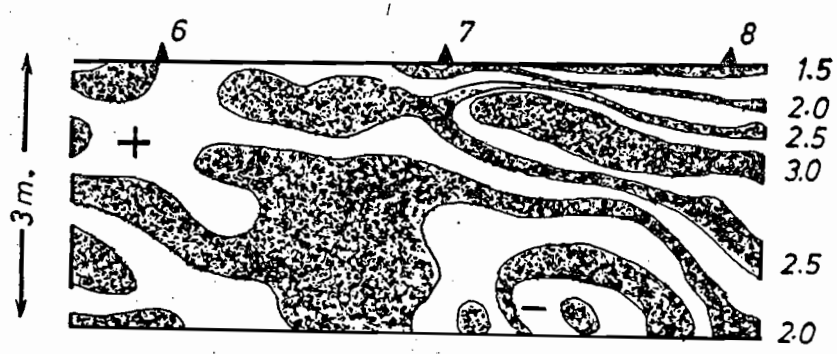
Takav slučaj je prikazan na slici 19 za 22. VII 1964. godine u Vršcu. Oko 16,10 časova udari vetra iznosili su najviše do 2 m/s, a u 16,30 časova do 5 m/s, da bi zatim u 16,42 časa dostigli udar od 32 m/s. U ovom slučaju naglo se menjao i smer vetra: od severnog ka za padnom, odnosno severozapadnom. Ovakva struktura vetra karakteristična je pri prolasku grmljavinske nepogode.

Brzina vetra karakteriše se znatnim prostorno-vremenskim promenama i na relativno kraćem rastojanju, odnosno u manjim vremenskim intervalima. Ta karakteristika vetra prikazana je na

slikama 20 i 21. Na slici 20 prikazana je vertikalna vremenska raspodela brzine vetra. Na njoj, apscisna osa predstavlja vreme (u sekundama), a ordinata — visinu (u metrima; rastojanje po visini iznosi 1,5 m. Brzina vetra prikazana je crnim i belim površinama, koje se međusobno razlikuju za 0,25 m/s. Sa slike se vidi da se u 20. sekundi brzina vetra na rastojanju od 1,5 m po vertikali promenila od 1,75 na 3,5 m/s. U momentu koji odgovara 21,5. sekundi promena brzine vetra sa visinom je još izraženija i iznosi od 1,75 do 4,5 m/s.



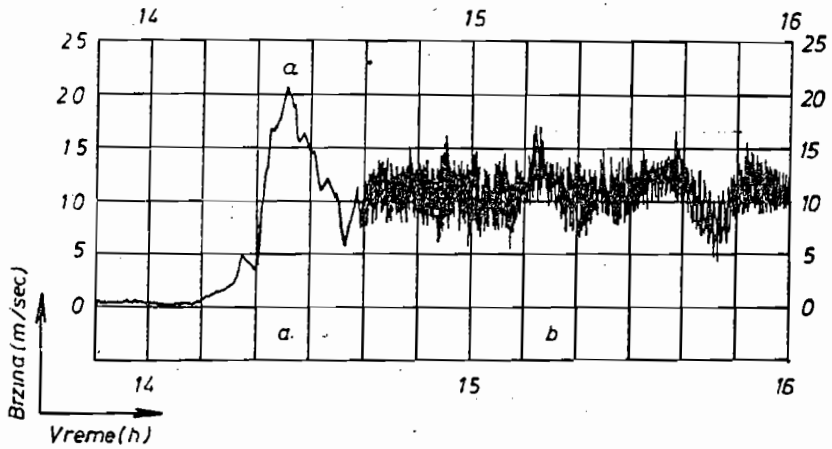
Slika 20. — Vertikalno-vremenska raspodela vetra (po podacima snimanja V. Schmita)



Slika 21. — Horizontalno-vremenska raspodela vetra (po podacima snimanja V. Schmita)

Na slici 21 prikazana je horizontalno-vremenska raspodela vetra (širina trake predstavlja rastojanje od 3 m u prirodi). Vidimo da brzina vetra u 7,5-oj sekundi (idući po širini trake) raste do sredine gornje granice slike (od 1,0 do 3,0 m/s), a zatim opada (od 3,0 do 1,5 m/s), dok je u 6,5-oj sekundi skoro konstantna (od 2,0 do 2,5 m/s).

Iz prikazanih slučajeva proizilazi da vetar po svojoj fizičkoj prirodi ima utoliko veće-jače relativne pulzacije ili treptaje, uko-



Slika 22. — Registrovanje brzine vetra: a — olujan, b — rafalan vetar

liko mu je srednja brzina veća, tj. da se vazduh pri jakom vetru kreće kao vrtložna masa. Zbog toga stepen pulzacije vetra karakteriše *unutrašnju strukturu vetra* ili kraće *strukturu vetra.* Stepen pulzacije vetra definiše se veličinom razlike i učestanosti između najveće i najmanje brzine vetra u jedinici vremena. Vetar čije pozitivne i negativne pulzacije, u odnosu na srednju brzinu, ne prelaze ±5 m/s naziva se *miran,* a sa većim razlikama *pulzivan.* Kod pulzivnog vetra razlikujemo dva slučaja, i to: *olujan* i *rafalan* ili *udaran, mahovit* (sl. 22).

U zavisnosti od stepena turbulencije vazduha menja se smer vetra, dok se po njegovom kolebanju određuje *karakter vetra.* Po karakteru razlikujemo *promenljiv* i *stalan vetar.*

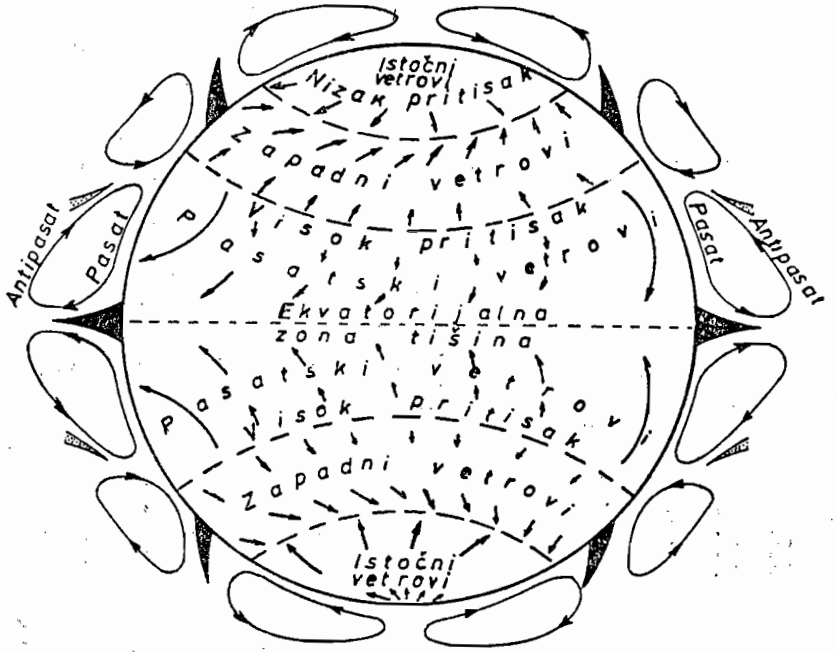
KLASIFIKACIJA VETROVA

U odnosu na veličinu teritorije iznad koje duvaju, vetrovi se dele na: *lokalne* ili *mesne, regionalne* i *vetrove opšte cirkulacije,* a u odnosu na njihovo vreme trajanja na: *periodične, preovlađujuće* i *„stalne".*

Lokalni vetrovi duvaju iznad uže oblasti, a za datu oblast karakteristični su po tome što se redovno pojavljuju pri određenim atmosferskim procesima. Kod nas su poznati: *košava* — u Vojvodini i severnoj Srbiji, najčešće duva u rano proleće i poznu jesen; *bura* — u užem obalskom pojasu, pretežno duva zimi; *jugo* ili

široko — na Jadranskom moru i na obali, duva zimi i u jesen; *vardarac* — u Makedoniji (u dolini Vardara), duva zimi. Među lokalne vetrove ubrajaju se i *maestral* i *burin,* tj. vetar koji danju duva s mora na kopno, odnosno burin — noću sa kopna na more; kao i u planinskim predelima *dolinski* i *gorski* ili *planinski vetar.*

U Sloveniji se kao lokalni vetar javlja *fen.* On se javlja pri zapadnom strujanju vazduha nad širom oblašću Slovenije. Fen je opšti naziv za vetar koji se odlikuje velikom brzinom duvanja sa planinskog grebena u dolinu, pri čemu uslovljava osetan porast temperature i veliki pad relativne vlažnosti vazduha. Tako se, na primer, jugo, koji prenosi vlažan morski vazduh na južne padine planinskih masiva uz širu oblast obale, kad pređe planinske grebene, ponaša kao fen. Karakterističan primer u tom pogledu daje planina Plješevica: za vreme juga, odnosno fena, temperatura vazduha u podnožju Plješevice (u Bihaću) za 1 čas može da poraste preko 10°. Iz časovnih vrednosti temperature, prikazanih u tablici 3, vidi se da se fen u Bihaću pojavio u vremenu od 18 do 19 h 4. II 1958. godine. Za jedan sat temperatura je porasla za +10,6°, i to u noćnim časovima, a zatim je u toku noći slabije rasla ili opadala.



Slika 23. — Uprošćena shema opšte cirkulacije atmosfere

Pojava fena u Bihaću pri jugozapadnom strujanju nad Jugoslavijom 4—5. II 1958. godine

Tablica 3.

	časovi												
Mesto	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01
Bihać	−2.3	−1.4	0.7	0.2	−2.2	−3.2	7.4	8.0	6.0	8.0	7.9	7.9	7.8

Regionalni vetrovi su oni vetrovi koji duvaju nad širim područjem, reda veličine kontinenata ili okeana. U Evropi i na Antarktiku, kao i na većem delu umerenih širina, to su *zapadni vetrovi*, u Aziji — *monsun*, u polarnim predelima — *polarni vetrovi*, a u suptropskim predelima — *pasati*, odnosno na visini — *antipasati*.

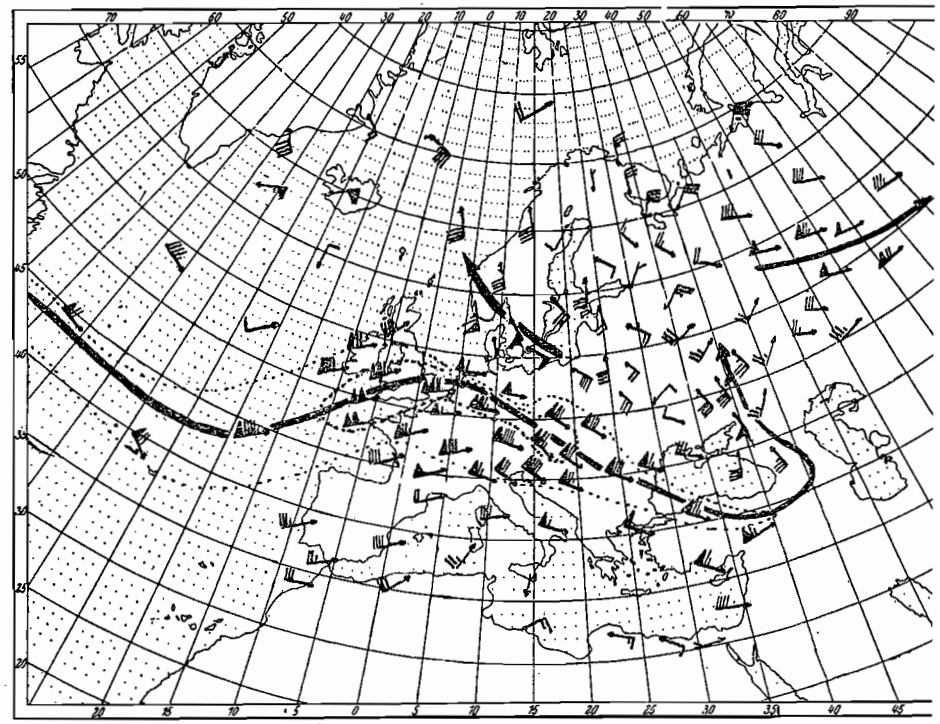
Vetrovi koji čine opštu cirkulaciju atmosfere nad hemisferom, odnosno nad celom zemljom, za razliku od lokalnih, a donekle i u odnosu na regionalne vetrove, nazivaju se *vazdušna strujanja* ili *vazdušne struje*. Da bi se dobila gruba predstava o opštoj cirkulaciji, potrebno je znati slike regionalnih cirkulacija, jer one sve zajedno sačinjavaju opštu cirkulaciju atmosfere. Na slici 23 prikazana je uprošćena shema opšte cirkulacije atmosfere u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Izgled i intenzitet opšte, kao i regionalne cirkulacije vazduha, u znatnoj meri zavisi i od položaja i intenziteta mlazne struje, odnosno od izraženosti planetarnih frontalnih zona.

MLAZNA STRUJA

Mlaznom strujom nazivamo relativno usku zonu sa veoma jakim vetrovima u gornjoj troposferi i donjoj stratosferi, obično na visinama u blizini tropopauze. Njena dužina iznosi nekoliko hiljada kilometara, a u pojedinim slučajevima opasuje celu hemisferu; širina joj se kreće od 400 do 1000 km, a visina-debljina od 3 do 5 km (ponekad 8—10 km).

Po Hercu, širina mlazne struje uslovljena je maksimalnim brzinama vetra u centru mlazne struje. Tako, na primer, u mlaznoj struji koja ima maksimalnu brzinu vetra duž uzdužne ose 85 m/s, širina pojasa sa brzinama većim od 65 m/s iznosi 240 km, dok sa najvećom brzinom (85 m/s) iznosi 37 km.

Po autoru, debljina mlazne struje je funkcija maksimalne brzine vetra i njegove visine javljanja, tj. sa porastom maksimalne brzine vetra raste i debljina mlazne struje; isto tako, pri istim vrednostima maksimalne brzine vetra a pri porastu njihove visine javljanja, debljina mlazne struje opada.



Slika 24. — Položaj mlazne struje na 300 mb površini u 0.0. GMT 27. V 1967. godine

Polje brzine vetra niz tok mlazne struje nije jednorodno već se karakteriše ćelijskom strukturom, naime sastavljeno je iz pojedinih ćelija jakih vetrova koje su međusobno odvojene zonama sa relativno slabijim vetrovima. Brzina premeštanja pojedinih ćelija jakih vetrova u pojedinim slučajevima u umerenim širinama može da iznosi od 800 do 1000 km/h.

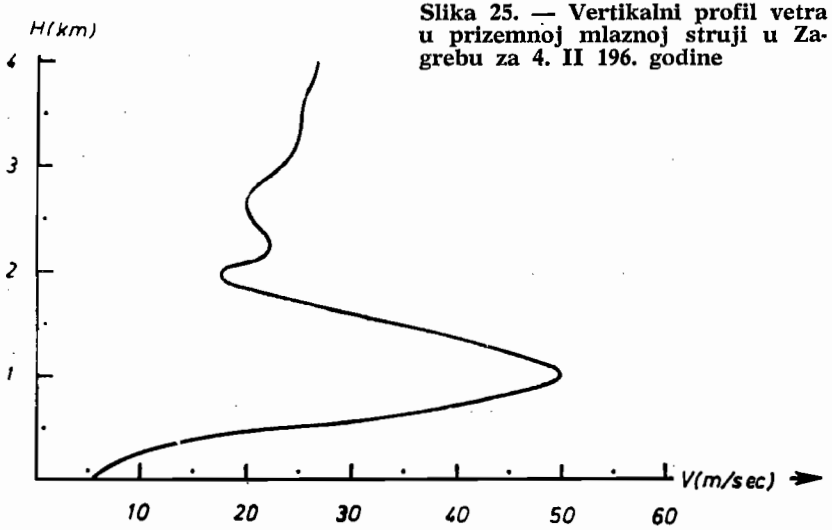
Linija koja povezuje tačke sa maksimalnom brzinom vetra duž mlazne struje naziva se *osom mlazne struje*. U njenoj neposrednoj okolini javlja se jaka turbulencija, a vazduh koji se nalazi ispod nje ima izraženu vertikalnu komponentu kretanja.

Maksimalna brzina vetra u osi mlazne struje je različita u odnosu na pojedine predele na zemlji. Tako, iznad teritorije Sovjetskog Saveza kreće se od 100 do 200 km/h, ponekad i 350 km/h; iznad Atlantika i Zapadne Evrope 300—400 km/h, iznad Japana 550; iznad SAD 450 km/h. Najveće brzine vetra u mlaznoj struji iznad Jugoslavije kreću se od 110 do 180, a izuzetno i preko 420

Maksimalni vetar i njegova visina javljanja pri postojanju mlazne struje nad Splitom za 16, 17. i 18. II 1959. godine, po terminu osmatranja od 0.0 GMT

Tablica 4

16. II		17. II		18. II	
visina u m	brzina u m/s	visina u m	brzina u m/s	visina u m	brzina u m/s
7420	12	3930	20	3220	25
8070	33	6290	59	6840	38
9650	35	6680	53	7080	37
10460	35	8410	51	8750	71
10600	34	9950	35	9740	37
11320	34	10400	50	10190	48
11820	24	10860	40	10600	48
		12930	21	11230	46
				11760	46
				12300	21



Slika 25. — Vertikalni profil vetra u prizemnoj mlaznoj struji u Zagrebu za 4. II 196. godine

km/h. Isto tako, maksimalna brzina vetra, kao i visina njegovog javljanja, menja se sa vremenom, što se vidi iz tablice 4. Prvog dana kad se mlazna struja pojavila nad Splitom imala je maksimalnu brzinu 35 m/s na visini od 9650 do 10.460 m, drugog dana — 59 m/s na visini 6290 m, a trećeg dana — 71 m/s na visini od 8750 m.

Međunarodni kriterijum za utvrđivanje prisustva mlazne struje u atmosferi uslovljen je brzinom vetra; jednakom ili većom od 30 m/s, i vertikalnim gradijentom brzine vetra, jednakim ili većim od 10 $m/s^{-1}/km$.

Pre petnaest godina utvrđeno je prisustvo mlazne struje i u prvom kilometarskom sloju atmosfere. Zbog toga su iste, za razliku od mlaznih struja u višim slojevima troposfere, nazvane *prizemnim mlaznim strujama.* Prostorne dimenzije prizemnih mlaznih struja su za 10—100 puta manje od prostornih dimenzija mlaznih struja u višim slojevima troposfere.

Prizemne mlazne struje u Jugoslaviji obično se javljaju posle brzih prodora hladnog vazduha sa severa ili severozapada ili pod uticajem orografije (kanalisanjem), naročito pri jugu, buri, košavi i vardarcu.

Vertikalni profil vetra u prizemnoj mlaznoj struji u Zagrebu za 4. II 1961. godinu prikazan je na slici 25.

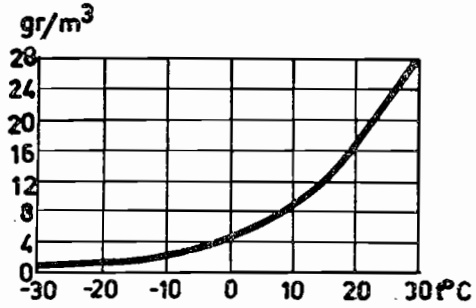
VLAŽNOST VAZDUHA

Vodena para je jedan od izuzetno važnih promenljivih sastojaka vazduha, i to zbog toga što uz ostale stalne sastojke vazduha omogućuje život na zemlji. Njeno prisustvo u atmosferi usko je povezano sa stvaranjem oblaka, magle i sumaglice, kao i sa ostalim meteorološkim pojavama koje su uslovljene jednom od faza vode.

U atmosferu vodena para se prenosi isparavanjem vode sa površina okeana, mora, jezera, reka, kao i sa biljnog pokrivača. Količina isparene vode u vazduhu utoliko je veća ukoliko je veća temperatura sredine u kojoj se vrši isparavanje, odnosno ukoliko je suvlji vazduh i jači vetar nad isparavajućom površinom. Putem vetra i uzlaznih strujanja vodena para se prenosi na vrlo velika udaljenja od svoga izvora.

Određena količina vazduha nad nekom površinom na kojoj se vrši isparavanje može da primi samo strogo određenu količinu vodene pare. Ta količina vodene pare zavisi od temperature. Ukoliko je temperatura vazduha veća, utoliko će vazduh moći da pri-

mi više, odnosno ukoliko je manja — manje vodene pare. Za vazduh koji sadrži najveću moguću količinu vodene pare, kažemo da je *zasićen vodenom parom.* To znači da isparavanje vode sa neke vodene ili vlažne površine može da postoji jedino ako vazduh nije zasićen vodenom parom.



Slika 26. — Dijagram zavisnosti zasićenja vazduha vodenom parom od temperature

Na slici 26 prikazana je zavisnost između isparene količine vodene pare (za zasićen vazduh) i temperature. Iz dijagrama vidimo da jedan kubni metar vazduha pri temperaturi od -25^0 može da sadrži najviše gram vodene pare; pri 0^0 oko 5 gr; pri $+25^0$ oko 22 gr. Prema tome, dijagram nam može poslužiti za utvrđivanje stanja vlažnosti vazduha, naime ako pri određenoj stalnoj količini vodene pare u vazduhu temperatura vazduha raste, vazduh će biti suvlji, sadržaće manju količinu vodene pare. Ako, pak, vazduh nije zasićen, a temperatura mu opada, onda se on približava stanju zasićenosti. Temperatura pri kojoj vazduh postaje zasićen vodenom parom i pri kojoj vodena para prelazi ponovo u tečno stanje, naziva se *temperatura tačke rose,* a obeležavamo je sa t_d ili grčkim slovom τ (tau).

NEKE VELIČINE STANJA VLAŽNOG VAZDUHA

Količina vodene pare u vazduhu može da se izrazi pomoću različitih veličina, koje na indirektan način karakterišu termodinamičko stanje vlažnog vazduha.

Odnose smeše (r) — odnos mase vodene pare sadržane u određenoj zapremini vlažnog vazduha prema masi suvog vazduha koju sadrži ta zapremina. Izražava se u gramu po kilogramu (gr/kg).

Specifična vlažnost (q) — odnos mase vodene pare koju sadrži određena zapremina vlažnog vazduha prema masi te zapremine vlažnog vazduha. Izražava se u gr/kg.

Apsolutna vlažnost (A) — masa vodene pare izražena u gramima koja se nalazi u 1 m^3 vazduha (gr/m^3).

Napon ili pritisak vodene pare (e, E) — pritisak vodene pare koji ona izaziva kao gas, odnosno parcijalni pritisak koji u ukupnom pritisku vazduha pripada vodenoj pari. Izražava se u milimetrima ili milibarima živinog stuba (mm Hg). Kada je vazduh zasićen vodenom parom, napon vodene pare (e) nazivamo *maksimalnim naponom vodene pare* (E).

Relativna vlažnost (U) — količnik između odnosa smeše i odnosa zasićene smeše, odnosno napona i maksimalnog napona vodene pare, ili, približno, u prvoj aproksimaciji specifične vlažnosti i maksimalne specifične vlažnosti, pomnožen sa sto. Izražava se u procentima (%).

Deficit zasićenost (D) — razlika između temperature vazduha i tačke rose ($D=t-\tau$), odnosno između maksimalnog napona vodene pare (E) i napona vodene pare (e), ($D=E-e$).

Za date veličine stanja vlažnog vazduha, a za svakodnevne meteorološke potrebe, konstruisane su *meteorološke* ili *psihometarske tablice,* koje sadrže podatke svake od nabrojanih veličina u zavisnosti od jedne ili dve poznate veličine stanja vlažnog vazduha.

Za merenje vlažnosti vazduha na meteorološkim stanicama upotrebljava se: *psihrometar,* instrument sastavljen od dva termometra (jednog, koji pokazuje temperaturu vazduha i drugog, čiji je rezervoar skvašen, koji pokazuje temperaturu mokrog rezervoara) i *higrometar* (radi na principu promene dužine ženske vlasi sa promenom vlažnosti vazduha, a ukoliko higrometar neprekidno registruje podatke, tada se naziva *higrograf.*)

KONDENZACIJA I SUBLIMACIJA VODENE PARE U ATMOSFERI

Proces pri kome se vodena para u atmosferi pretvara ponovo u tečno ili čvrsto stanje vode naziva se *kondenzacijom* (pri pozitivnim i negativnim temperaturama), odnosno *sublimacijom* (pri negativnim temperaturama). Proces kondenzacije, odnosno sublimacije uslovljen je prezasićenim stanjem vazduha vodenom parom, a javlja se kada se vazduh zasićen vodenom parom hladi pri stalnom pritisku, ili kada se pri stalnoj temperaturi zasićenom vazduhu povećava pritisak, ili kada se pritisak i temperatura ne menjaju, dok se vodena para u vazduhu povećava.

Kada bi vazduh bio idealno čist, bez ikakvih dodataka, kondenzacija — sublimacija bi bila moguća samo onda ako bi vazduh

sadržao 3—4 puta više vodene pare no što je sadrži pri zasićenom stanju. U prirodi ovo se ne dešava, jer u vazduhu uvek ima, u većoj ili manjoj meri, higroskopnih, električnih i dr. čestica, koje služe kao *kondenzaciona jezgra.*

Kondenzaciona jezgra imaju osobinu da pri sudaru vezuju za sebe molekule vodene pare. Ako je kondenzaciono jezgro dovoljno veliko, onda će se oko njega nahvatati molekuli vodene pare i obrazovati kapljice vode.

U okolini velikih industrijskih centara, kao i nad okeanima i morima, broj kondenzacionih jezgara je znatno veći no što je iznad planinskih i šumovitih predela. Zbog toga nad predelima sa velikom koncentracijom čestica sumportrioksida (SO_3), sumpordioksida (SO_2), amonijaka (NH_3), čestica soli i dr., kondenzacija može da nastupi i pri relativnoj vlažnosti vazduha nešto manjoj od 100%.

U višim slojevima atmosfere, gde je broj kondenzacionih jezgara manji, vazduh je u većem stepenu prezasićen vodenom parom. Usled toga relativna vlažnost vazduha može da iznosi i preko 120%, što znači da se u vazduhu nalazi više od 20% vodene pare, a to je maksimalan napon vodene pare.

Vodene kapi u atmosferi mogu da se nalaze i pri negativnim temperaturama (i do -40^0). U tom slučaju njih nazivamo *prehlađenim kapljicama vode* ili *prehlađene kapi.* Kristali leda obrazuju se, uglavnom, pri smrzavanju prehlađenih kapi. Pri temperaturi od 0^0 do -8^0 brzina zamrzavanja je vrlo mala; sa daljim snižavanjem temperature ona naglo raste i dostiže maksimum pri temperaturi od -10^0 do -16^0, a naročito pri -10^0 do -12^0. Daljim snižavanjem temperature brzina smrzavanja prehlađenih kapi ponovo se smanjuje.

Za razliku od nekadašnjeg shvatanja, danas se pretpostavlja da vodena para može direktno da pređe, putem sublimacije, u kristale leda samo pri temperaturi nižoj od -40^0.

Hlađenje vazduha do temperature tačke rose i kondenzacija vodene pare u atmosferi nastaje u sledećim slučajevima:

— pri dodiru vazduha sa hladnim telima, najčešće hladnom površinom tla i predmetima na njemu, a u slobodnoj atmosferi pri letu letelicom iz hladnije u topliju vazdušnu masu;

— pri gubitku toplote usled radijacije, naročito za vreme vedrih noći;

— pri adijabatskom širenju i hlađenju ispod temperature tačke rose;

— pri mešanju hladnih i toplih vazdušnih masa.

U slobodnoj atmosferi u procesu kondenzacije najveću ulogu ima adijabatsko hlađenje vazduha.

VERTIKALNA KRETANJA VAZDUHA

Za razliku od horizontalnih kretanja, premeštanja vazdušnih čestica, koje nazivamo vetrom, premeštanje čestica vazduha u vertikalnom pravcu nazivamo *vertikalnim kretanjem* ili *vertikalnim strujanjem vazduha.*

VRSTE VERTIKALNIH KRETANJA

Vertikalna kretanja vazduha mogu da se jave kao posledica različitih termodinamičkih stanja atmosfere, ili posredstvom podloge, — orografije. U tom smislu razlikujemo *vertikalna uređena kretanja, termičku* i *dinamičku konvekciju* i *talasna kretanja.*

Uređena vertikalna kretanja uslovljena su odstupanjem stvarnog vetra od geostrofskog[1]) zbog promene polja pritiska. Javljaju se na velikom prostranstvu, kako u horizontalnom tako i u vertikalnom pravcu, a brzina im iznosi od 1 do 10 cm/s. U slučaju uzlaznih strujanja nad područjem gde se ista javlja, dolazi do pada pritiska na nivou mora (tendencije pritiska su negativne), a u slučaju nisponih — do rasta pritiska (tendencije pritiska su pozitivne).

Termička konvekcija uslovljena je nejednakim zagrevanjem vazduha od površine tla. Određena količina vazduha koja se zagrejala od podloge i postala toplija od okolnog vazduha zbog toga što je lakša pokrenuće se i podići na visinu, dok će se okolni hladniji vazduh kretati u suprotnom smeru. Strujanje toplijeg vazduha od nižih ka višim visinama naziva se *vertikalno uzlazno kretanje* ili *ascedentno strujanje,* a strujanje hladnijeg vazduha od viših ka nižim visinama — *vertikalno silazno kretanje* ili *descedentno strujanje.*

Brzina vertikalnih uzlaznih strujanja prosečno je za oko 2 do 4 pa i više puta veća u vlažno-zasićenom vazduhu, nego što je u vlažnom vazduhu (premda je netačno, za vlažno-zasićen vazduh udomaćio se termin — suvi vazduh i, analogno tome — suva termika). Brzina vertikalnih uzlaznih struja u manje vlažnom vazduhu (suvoj termici) u proseku se kreće od 2 do 4 m/s, a u znatnije vlažnom vazduhu od 5 do 10 m/s. U pojedinim slučajevima, pri intenzivnoj konvekciji ili vlažno-zasićenom vazduhu, brzina vertikalnih uzlaznih struja može da iznosi i od 20 do 40 m/s, pa i više.

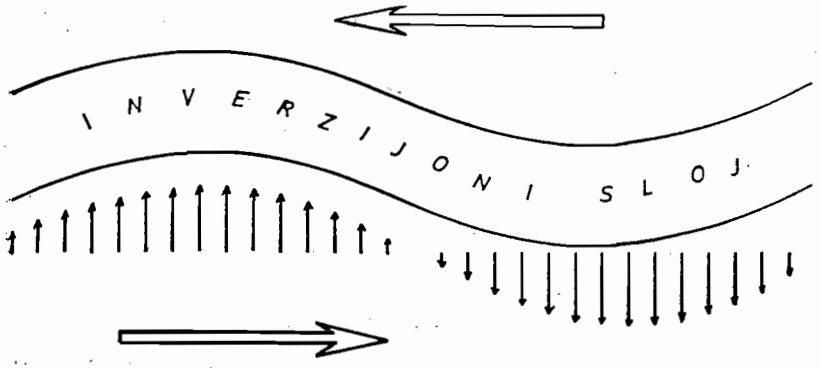
[1]) Geostrofski vetar — pri ravnoteži gradijentne sile i sile devijacije, a u odsutnosti sile trenja, uspostavlja se pravolinijsko neubrzano strujanje vazduha koji se naziva geostrofskim vetrom. Pravac geostrofskog vetra poklapa se sa pravcem izobara izohipsa. (Vidi — gradijentni vetar).

Kada je termičkom konvekcijom obuhvaćena relativno manja količina vazduha i kada se u neposrednoj blizini nalazi uzlazno i silazno strujanje — termički stub, ili kada se oni međusobno graniče, tada se termička konvekcija ponaša kao *neuređeno olujno kretanje.* Takvo kretanje vazduha često se naziva *termičkom turbulencijom.*

Dinamička konvekcija, ili *dinamička turbulencija,* uslovljena je mehaničkim dejstvom podloge na vazduh u pokretu ili velikim promenama vetra sa visinom. Brzina vertikalnih strujanja iznosi od nekoliko desetina centimetara pa čak do nekoliko metara u sekundi. U suštini, dinamička konvekcija predstavlja neuređeno olujno kretanje.

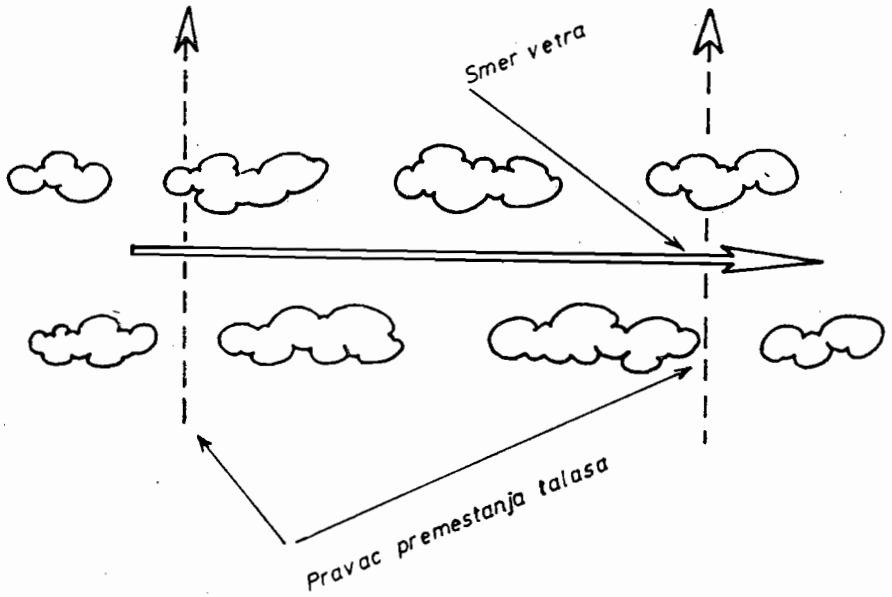
Termička i dinamička konvekcija u atmosferi mogu da se jave u vidu samostalnih procesa, ali to je ređi slučaj. Obično se javljaju jednovremeno i tako određuju termodinamičko stanje atmosfere.

Talasno kretanje u atmosferi uglavnom se javlja na granici inverzivnog sloja, i to zbog skoka u gustini i nejednakog kretanja vazduha. Niži, više hladan i sa većom gustinom vazduh kreće se u jednom smeru, a viši, topliji i sa manjom gustinom — u drugom smeru. Zbog toga se, slično kao i na površini mora, javlja granična površina između dve sredine. Na moru — voda i vazduh pod uticajem vetra stvaraju talase koji su posledica zemljine teže; tako i inverzioni sloj predstavlja graničnu površinu između dve sredine na kojoj se stvaraju talasi. Pri tome greben talasa potiskuje vazduh naviše (javljaju se ulazna strujanja), a dolina — naniže (javljaju se silazna strujanja) (sl. 27). Inverzioni talasi imaju svoju brzinu premeštanja, a pravac njihovog protezanja normalan je na pravac vetra (sl. 28). Njihova talasna dužina zavisi od veličine skoka u gustini, od temperature i od brzine vetra u sloju inverzije.



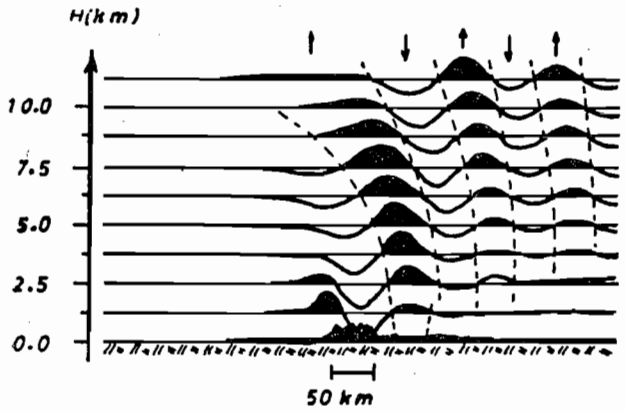
Slika 27. — Obrazovanje talasa duž inverzionog sloja

Talasno kretanje u slobodnoj atmosferi može da bude uslovljeno i velikim vertikalnim gradijentom brzine vetra. Njihov pravac protezanja paralelan je pravcu vetra, dok im je brzina premeštanja veća od brzine premeštanja inverzionih talasa.



Slika 28. — Odnos između pravca protezanja inverzionih talasa i pravca vetra

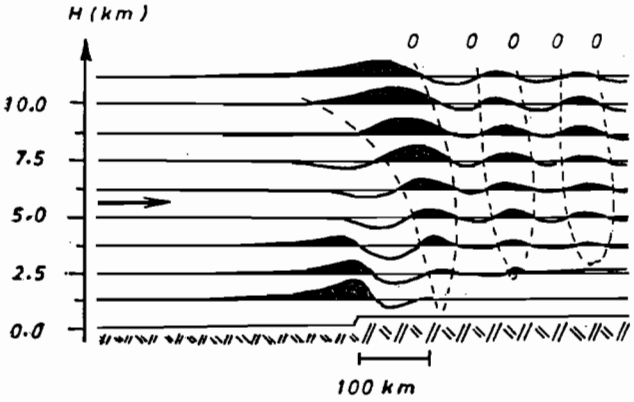
Za razliku od prethodnih talasa, koji se često nazivaju *slobodni* ili *gravitacioni talasi,* u atmosferi se javljaju i stacionarni talasi. Suprotno slobodnim talasima, koji se šire na nivou diskontinuiteta, stacionarni talasi se pod određenim, obično orografsko-atmosferskim uslovima, stvaraju na jednom istom mestu, zbog čega se i zovu *stacionarnim* ili *orografskim talasima.* Njihov izgled, kao i jačina uzlaznih i silaznih strujanja u području grebena, odnosno doline talasa, kao i širenje talasa niz tok vazdušne struje, vetra, zavise od veličine orografske prepreke (visine, širine, dužine i strmine padina), brzine vetra, veličine ugla između pravca vetra i linije protezanja planinskog grebena, kao i od termičkog stanja i veličine vazdušne mase koja se prebacuje preko orografske prepreke. Pri nailasku relativno veće i termički stabilne vazdušne mase, orografska prepreka u istoj masi izaziva stvaranje *osnovnog talasa,* tj. talasa koji se stvara bez spoljne energije, odnosno zbog prisilne po-



Slika 29. — Raspodela vertikalnih strujanja pri postojanju stacionarnih talasa nad orografskom preprekom (po G. Liru)

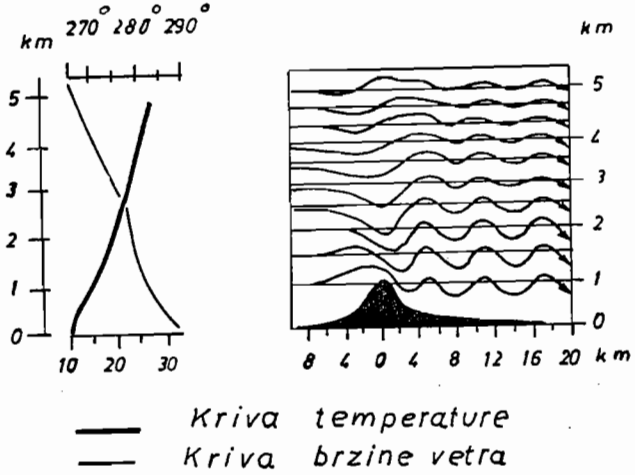
jave uzlaznih i silaznih strujanja uslovljenih preprekom. Stvaranje novih talasa niz tok vazdušne struje zavisiće od veličine impulsa oscilacija koje izaziva osnovni talas. Njihova brzina širenja zavisi od talasne dužine i vertikalne raspodele temperature i brzine vetra. Kada se brzina vazdušne struje približava brzini širenja talasa niz struju, amplituda talasa raste, a talasno kretanje nad preprekom neprekidno se održava; kad je brzina vazdušne struje manja od brzine širenja talasa, tada se nad preprekom javlja uspono (greben talasa), odnosno u obrnutom slučaju nispono (dolina talasa) strujanje vazduha.

Postojanje stacionarnih talasa u prirodi bio je predmet mnogih teorijskih i empirijskih istraživanja. Postanak njihovog mehanizma zainteresovao je mnoge naučnike, naročito posle prvog jedrenja na fenskom talasu (1933. godine u Divovskim planinama u Šleziji).



Slika 30. — Raspodela vertikalnih strujanja pri postojanju stacionarnih talasa nad planinskim platoom talalastog oblika (po G. Liru)

U tom smislu zanimljiv je rad G. Lira, kao i R. S. Skorera. Za rešenje ovog problema Lira je u svojim teorijskim razmatranjima posmatrao homogenu sredinu-fluid (pretpostavio je da je atmosfera homogena). Pomoću osnovnih jednačina hidrodinamike i termodinamike izveo je talasnu jednačinu, koja mu je omogućila da predstavi uspona polja vertikalnih strujanja, koja su na slici 29 prikazana crno obojenim površinama. Sa slike se, takođe, vidi da iznad same prepreke postoje uspona strujanja, koja se na visini u zoni ugnuća strujnih linija — doline talasa, smenjuju sa nisponim strujanjima. Prvi talas na zavetrenoj strani prepreke naglo se razvija od 2000 m pa naviše sa maksimalnim uzlaznim strujanjima na visini

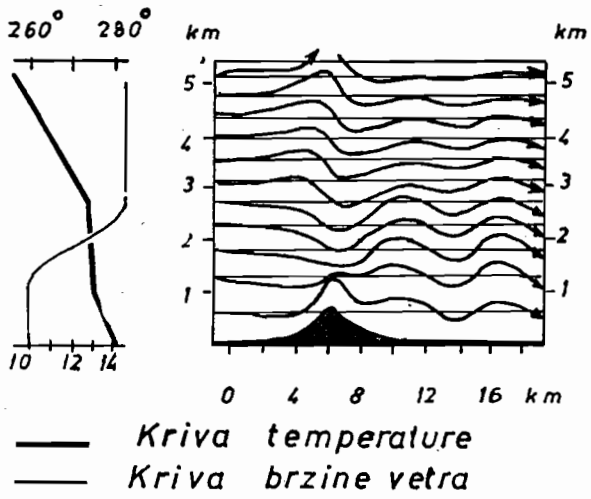


Slika 31. — Izgled stacionarnog talasa pri datoj vertikalnoj raspodeli temperature i brzine vetra (iz knjige Flugmeteorologie od W. Georgia)

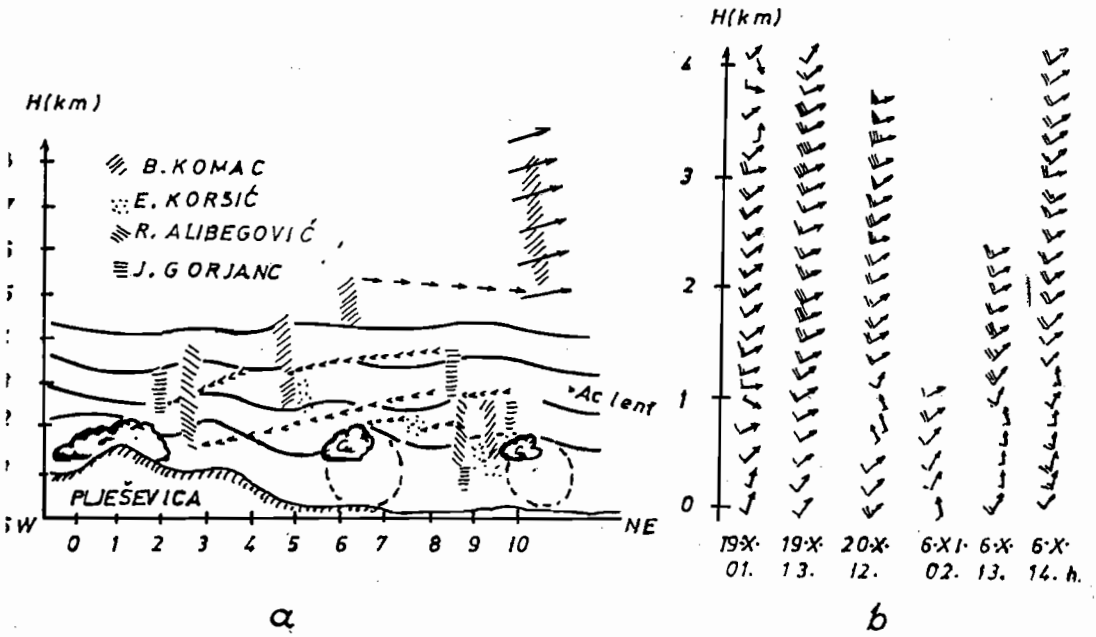
od oko 5000 do 7000 m. Drugi talas primećuje se samo na višim visinama, dok je na visinama manjim od 5000 m skoro prigušen. Treći talas se međutim, jedva nazire. Na slici 30 prikazan je izgled i raspored usponih strujanja pri postojanju stacionarnog talasa nad planinskim platoom sa talasastom površinom.

Prethodno je bilo rečeno da na izgled i izraženost stacionarnih talasa, pored ostalih faktora, utiče i vertikalna raspodela temperature i brzina vetra. Da bi se dobila tačnija predstava njihovog uticija, na slikama 31 i 32 prikazana su dva karakteristična slučaja. U prvom slučaju (sl. 31) brzina vetra približno linearno raste sa porastom visine, dok je u drugom (sl. 32) stalna u sloju od tla do oko 1200 m i od oko 2700 do 5000 m. Isto tako, upadljiva razlika se uočava i u vertikalnoj raspodeli temperature.

Iznad Jugoslavije, nad severnom stranom Dinarida, stacionarni talasi su česta pojava pri južnom stanju vremena. U tom smislu naročito se ističu: u Lici — Plješevica; u Bosni i Hercegovini — Staretina, Treskavica, Velež i Lelija; u Srbiji — Kopaonik; u Ma-



Slika 32. — Izgled stacionarnog talasa pri datoj vertikalnoj raspodeli temperature i brzine vetra (iz knjige Flugmeteorologie od W. Georgia)



Slika 33. Prikaz strujnog polja u oblasti Plješevice 6. II 1957. g. kada je pilot-jedriličar B. Komac postigao jugoslovenski rekord u visini jedrenja (8000 m); b — Vertikalna raspodela vetra u Bihaću pri pojavi stacionarnih talasa. (Po M. Čadežu)

kedoniji — Šar Planina; u Crnoj Gori — Sinjajevina i Durmitor. Izgled vertikalnog preseka strujnog polja pri postojanju stacionarnog talasa u južnom tipu vremena prikazan je na slici 31 za planinu Plješevicu.

Stacionarni talasi nad Jugoslavijom javljaju se i pri ostalim vremenskim strujanjima: pri zapadnom visinskom strujanju u Sloveniji najčešće se javljaju zimi i u proleće, a u istočnoj Srbiji pri istočnom strujanju u jesen i proleće.

STATIČKA STABILNOST ATMOSFERE

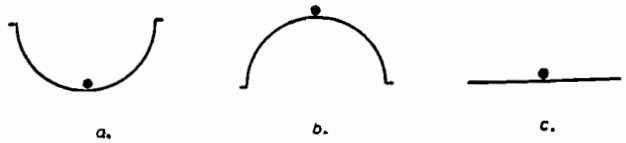
U ovoj tački biće, uglavnom, obrađena termička stabilnost vazduha—atmosfere, i to zbog toga što se troposfera u odnosu na ostale slojeve atmosfere u jednom slučaju karakteriše intenzivnim vertikalnim strujinjima i snažnim razvojem vertikalne oblačnosti, a u drugom slučaju slojastom ili slojasto-gomilastom oblačnošću i slabim ili neznatnim vertikalnim strujanjima.

DEFINICIJA TERMIČKE STABILNOSTI VAZDUHA

Čestica vazduha, slično kao i u mehanici, u odnosu na svoje ravnotežno stanje može da bude u *stabilnom, nestabilnom* ili *labilnom* i *indiferentnom stanju.*

Pri **stabilnoj ravnoteži** telo (težište tela) zauzima *najniži* položaj koji mu druge okolnosti dozvoljavaju, naime ako se telo izvede iz ravnotežnog položaja, ono teži da se u isto stanje ponovo vrati (sl. 34a).

Pri **labilnoj ravnoteži** telo (težište tela) zauzima *najviši* položaj koji je moguć, tj, ako je telo izvedeno iz svog ravnotežnog položaja, ono će težiti da se od njega udalji (sl. 34b).



Slika 34. — Ravnotežna stanja čvrstog tela pod dejstvom zemljine teže: a — stabilno; b — nestabilno ili labilno; c — indiferentno

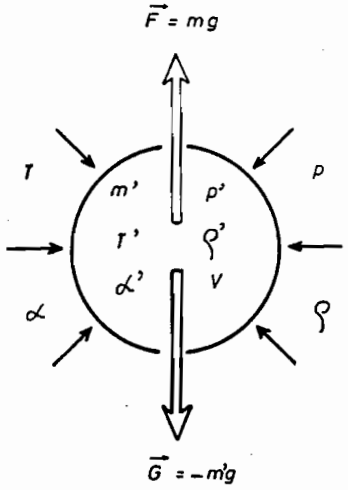
Indiferentna ravnoteža čini prelaz između stabilne i labilne ravnoteže. Ona je ostvarena u onom slučaju kada se pri pomeranju tela ne menja visina njegovog težišta (sl. 34c). Definicija indiferentnog stanja čvrstog tela nije adekvatna po pravcu pomeranja indiferentnom stanju čestice vazduha.

Primena datih definicija na termičku stabilnost čestice vazduha može da se objasni silama koje na nju deluju u atmosferi u vertikalnom pravcu.

Na česticu vazduha u vertikalnom pravcu nadole deluje sila zemljine teže G, a u vertikalnom pravcu nagore komponenta gradijenta sile ili sila potiska F (sl. 35).

Veličina rezultante pod čijim se dejstvom nalazi čestica vazduha je:

$$\dot{v}_z = -m'g + mg =$$
$$= (m - m')\,g = (v'\rho - v'\rho')\,g \qquad (6.1.)$$



Slika 35. — Uticaj sila na česticu vazduha:
G — sila zemljine teže;
F — sila potiska.

gde je :

$\dot{v}_z$ — *slobodna sila pritiska* (rezultanta između sile zemljine teže i sile potiska);

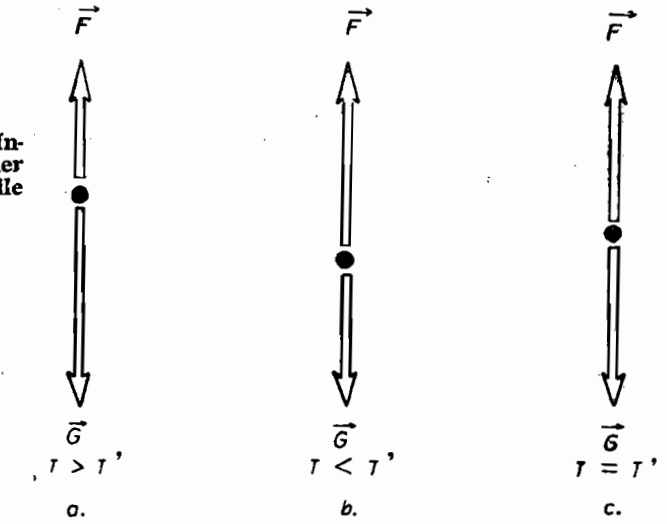
m — masa istisnutog vazduha;
m′ — masa čestice vazduha;
g — ubrzanje zemljine teže;
v′ — zapremina čestice vazduha;
ρ — gustina istisnutog vazduha;
φ′ — gustina čestice vazduha.

Diskusijom jednačine 6.1. konstatujemo:

— kada je masa istisnutog vazduha manja od mase čestice vazduha (m<m′), tada je slobodna sila potiska usmerena vertikalno naniže i zbog toga se čestica vazduha kreće vertikalno naniže; u ovom se slučaju čestica vazduha nalazi u stabilnoj ravnoteži-položaju;

— kada je masa istisnutog vazduha veća od mase čestice vazduha (m > m′), slobodna sila potiska usmerena je vertikalno naviše i zbog toga se čestica vazduha vertikalno uzdiže; čestica vazduha se nalazi u labilnoj ravnoteži — položaju;

— kada je masa istisnutog vazduha jednaka masi čestice vazduha (m=m′), slobodna sila potiska ravna je nuli i zbog toga čestica vazduha ne menja svoj položaj u vertikalnom pravcu; ako je pomeramo po vertikali, ostaje u onoj tački



Slika 36. — Intenzitet i smer slobodne sile potiska

u koju smo je premestili; čestica vazduha se nalazi u indiferentnoj ravnoteži — položaju.

Pošto je zapremina čestice vazduha v′ mase m′, jednaka proizvodu iz specifične zapremine α′ i mase m′ (v′=α′m′), a specifična zapremina α′ obrnuto proporcionalna gustini φ′ (α′=1/φ′), jednačina 6.1. može da se napiše u obliku:

$$\dot{v}_z = \frac{\rho}{\rho'} m'g - m'g = \frac{\rho - \rho'}{\rho'} m'g \qquad (6.2.)$$

izraz ρm′g/φ′, kao što smo prethodno videli, predstavlja silu potiska, odnosno prema svom pronalazaču Arhimedu zove se Arhimedov zakon.

Ako uzmemo u obzir da je gustina vazduha pri konstantnom pritisku obrnuto proporcionalna virtuelnoj temperaturi[1]), tada zamenom T_v, odnosno T_v' (virtuelna temperatura čestice vazduha) u jednačinu 6.2. dobijamo:

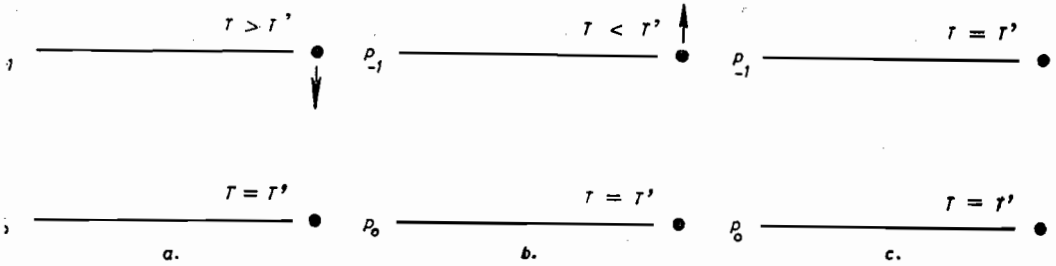
$$\dot{v}_z = \frac{T_v' - T_v}{T_v} m'g \qquad (6.3.)$$

Kada je relativna vlaga vazduha mala, tada je u prvoj aproksimaciji virtuelna temperatura približno jednaka temperaturi vazduha, i u jednačini 6.3. umesto T_v, odnosno T_v', figuriše T i T′.

U odnosu na temperaturnu razliku između čestice i okolnog vazduha iz jednačine 6.3. proizilaze tri moguća slučaja, i to:

— ako je temperatura T okolnog vazduha veća od temperature T′ čestice, Arhimedova sila je manja od sile zemljine

[1]) Virtuelna temperatura je ona temperatura suvog vazduha kada bi pri istom pritisku gustina suvog vazduha bila jednaka gustini vlažnog vazduha.



Slika 37. — Termičko stanje ravnoteže čestice vazduha: a — stabilno; b — labilno; c — indiferentno.

teže, pa, prema tome, i slobodna sila potiska potiskuje česticu nadole (termički stabilna ravnoteža; vidi sliku 36a);
— ako je temperatura T okolnog vazduha manja od temperature T′ čestice, Arhimedova sila je veća od sile zemljine teže, pa, prema tome, i slobodna sila potiska potiskuje česticu nagore (termički labilna ravnoteža; slika 36b);
— ako je temperatura T okolnog vazduha jednaka temperaturi T′ čestice, sile koje dejstvuju u vertikalnom pravcu su jednake, poništavaju se, a čestica zbog toga ostaje nepokretna (termički indiferentna ravnoteža; slika 36c).

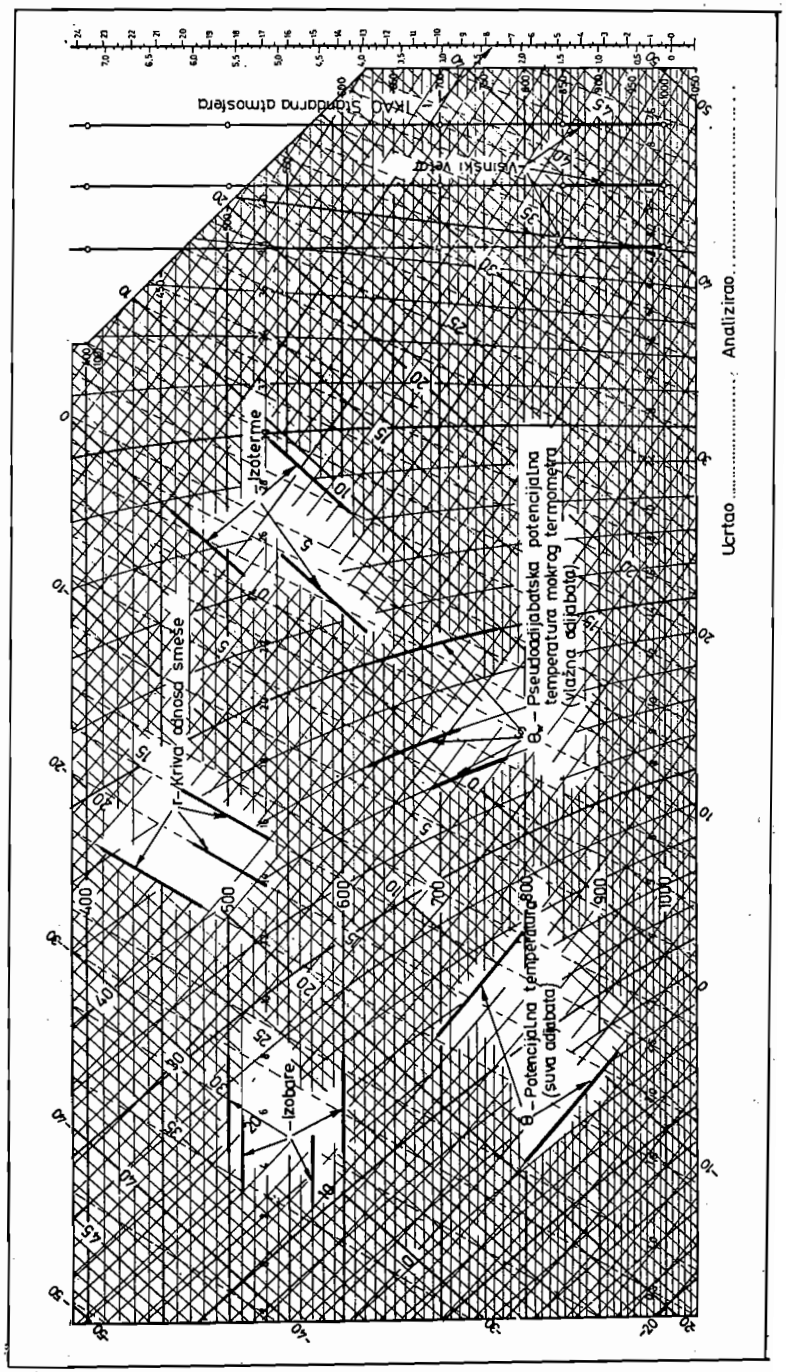
Posmatrajmo sada česticu vazduha pod uslovom da se na nivou pritiska P_0 nalazi u termičko-stabilnoj ravnoteži. Ako česticu vazduha pomerimo naviše na nivo pritiska p_1, mogu da se dogode tri slučaja: temperatura okolnog vazduha može da bude manja, veća i jednaka temperaturi čestice (sl. 37). U prvom slučaju čestica vazduha teži da se vrati na početni nivo ravnoteže. Ovakvo stanje naziva se *položajem stabilne ravnoteže* ili *stabilnim stanjem;* u drugom slučaju da se još više udalji od prvobitnog nivoa ravnoteže — ovo stanje se naziva *položajem nestabilne ravnoteže* ili *nestabilno stanje*; u trećem slučaju čestica vazduha ostaje na nivou p_1. Za ovo stanje kažemo da je prvobitni položaj — *položaj indiferentne ravnoteže* ili *indiferentno stanje.*

PROCENA TERMIČKE STABILNOSTI VAZDUHA

Za kvalitativnu i kvantitativnu procenu termičke stabilnosti u sinoptici se koriste *adijabatski* ili *aerološki dijagrami.* Najčešće se koristi *emagram* sa kosouglim koordinatnim sistemom: na apscisnoj osi naneta je skala temperature, a na ordinati umesto visine

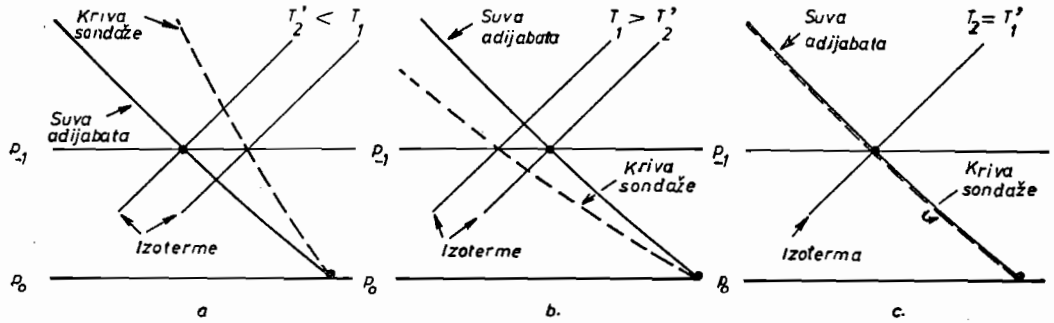
Slika 38

EMAGRAM



logaritam pritiska. Krive suve i vlažne adijabate, tj. krive *potencijalne*[1]) i *pseudoadijabatske potencijalne temperature mokrog termometra*[2]) na emagrama su odštampane smeđom, odnosno plavom bojom. Pored pomenutih krivih, emagram sadrži i druge karakteristične fizičke veličine pomoću kojih se utvrđuje fizičko stanje vazduha. Deo emagrama na kojem su označene sve karakteristične krive prikazan je na slici 38.

Pri proceni termičke stabilnosti vazduha nad nekim mestom, na emagramu se ucrta *kriva stanja atmosfere* ili *kriva stratifikacije atmosfere* i *kriva tačke rose*, tj. kriva koja daje temperaturu i temperaturu tačke rose vazduha kao funkciju pritiska prema stvarnim merenjima u atmosferi, na primer pomoću radio-sondažnih ili meteorografskih merenja.



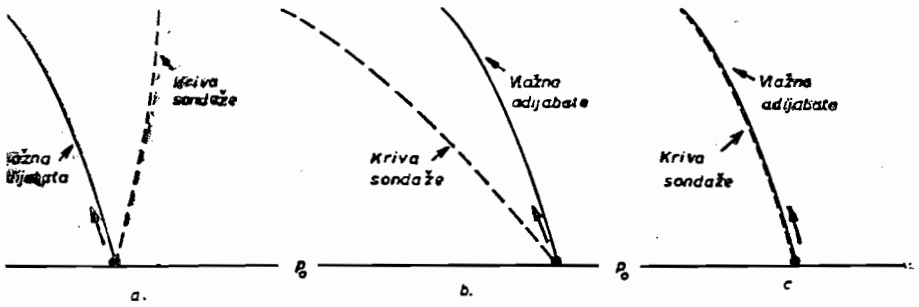
Slika 39. — Procena termičke stabilnosti čestice suvog ili vlažno-nezasićenog vazduha: a — stabilno, b — sabilno, c — indiferentno stanje.

Uzmimo u razmatranje česticu suvog vazduha ili česticu vlažno-nezasićenog vazduha na nivou p_0 i pretpostavimo da se ova na istom nivou nalazi u stabilnoj ravnoteži (sl. 39). Ako ovu česticu adijabatskim putem podignemo naviše do nivoa p_1, ona će se kretati po suvoj adijabati, tj. temperatura će joj opadati za 1°/100 m. U ovom slučaju krive suve adijabate, u odnosu na krivu stanja atmosfere, mogu da imaju tri različita položaja, i to:

— kriva stanja atmosfere koja prolazi kroz početni ravnotež-

[1]) **Potencijalna temperatura** (Θ) — temperatura koju dobije čestica suvog vazduha kada se adijabatskim procesom — procesom bez dobitka i gubitka toplote, dovede na pritisak 1000 mb.

[2]) **Pseudoadijabatska potencijalna temperatura mokrog termometra** (Θ'_w) — temperatura koju dobije čestica vlažnog vazduha posle sledećih pretrpljenih promena: vlažna čestica se podigne do nivoa gde postane zasićena, zatim se dovede na nivo 1000 mb nadoknađujući joj u svakom momentu vremena količinu vode neophodnu da bi pri isparavanju, u svakom trenutku vremena, ostala zasićena.



Slika 40. — Procena termičke stabilnosti čestice vlažno-zasićenog vazduha: a — stabilno, b — nestabilno, c — indiferentno stanje.

ni položaj čestice nalazi se, u odnosu na suvu adijabatu, koja takođe prolazi kroz početni položaj, udesno; u ovom slučaju vazduh na nivou p_0 nalazi se u stabilnom stanju (sl. 39a);

— kriva stanja atmosfere koja prolazi kroz početni ravnotežni položaj čestice, nalazi se, u odnosu na suvu adijabatu, koja takođe prolazi kroz početni položaj, ulevo; u ovom slučaju vazduh na nivou p_0 nalazi se u nestabilnom stanju (sl. 39b);

— kriva stanja atmosfere poklapa se sa suvom adijabatom, a vazduh na nivou p_0 nalazi se u indiferentnom stanju (sl. 39c).

Pri proceni termičke stabilnosti čestice vlažno-zasićenog vazduha, postupak je isti kao i u slučaju suvog vazduha, s tom razlikom što se kriva stanja atmosfere upoređuje sa vlažnom adijabatom. Moguća stanja ravnoteže prikazana su na slici 40.

Intenzitet termičke stabilnosti vazduha na emagramu određuje se pomoću površine koja je određena krivom stanja atmosfere suvom odnosno vlažnom adijabatom i izobarskom površinom p_0 i p_1. Ukoliko je površina veća, utoliko je i stabilnost, odnosno nestabilnost vazduha veća. Pri stabilnom stanju atmosfere tu površinu na emagramu označavamo sa „minus" i nazivamo je negativnom,a pri nestabilnom sa „plus" i nazivamo je pozitivnom površinom.

Pri nestabilnoj atmosferi, vertikalna strujanja vazduha izračunavaju se iz pozitivne površine.

U prirodi se najčešće istovremeno odigravaju oba slučaja, tj. zagrejani vazduh iz prizemnog sloja atmosfere u početku se kreće kao suv ili vlažno-nezasićen do određenog nivoa, gde postoje vlažno-zasićen (nivo kondenzacije — baza oblaka), a zatim se od tog nivoa kreće kao vlažno-zasićen.

OBLACI

Oblak je vidljiv skup sićušnih čestica tečne vode ili kristala leda, ili oboje istovremeno, koji lebde u atmosferi, a formiraju se procesom kondenzacije ili sublimacije. Oblak može, takođe, da sadrži i čestice tečne vode ili leda većih razmera, kao i čestice koje dolaze, na primer, od industrijskih isparavanja, vulkanskih erupcija, atomskih eksplozija, dima i prašine.

Prosečan prečnik vodenih kapi u oblacima iznosi oko 0,004 do 0,014 milimetara, a u ređim slučajevima može da iznosi i od 0,14 do 0,2 milimetra. U olujnim i pljuskovitim oblacima mogu da se stvore znatno veće kapi — sa prečnikom od nekoliko milimetara.

S obzirom na veličinu vodenih kapi, može se zaključiti da vazduh u oblaku sadrži znatno manje tečne vode od vodene pare. Tako prema merenjima u planinskim predelima dobijamo da pri vidljivosti od 18 m jedan kubni metar oblačnog vazduha sadrži 5 grama vode; pri vidljivosti od 30 m sadrži 3,3 grama, a pri vidljivosti od 80 m oko 0,4 grama vode.

Brzina padanja vodenih kapi (kišnih kapljica) zavisi od njihove težine, gustine vazduha i vertikalnih kretanja vazduha. Male kaljice ne padaju većom brzinom od 50 m/h, dok brzina padanja velikih kišnih kapi može da iznosi i preko 6 m/s.

Oblaci sa tečnom fazom vode česta su pojava u atmosferi i pri negativnim temperaturama — sve do minus 30°—40°. Pri nižim temperaturama retko se zapažaju oblaci sa prehlađenim kapima, ali i ti slučajevi su dovoljno značajni da ukažu na prisustvo prehlađenih kapi i pri temperaturama od minus 50°—60°.

Zbog prelamanja svetlosnih zraka sunca i meseca kroz različita fazna stanja vode u oblaku, nastaju pojedine svetlosne pojave kao što su duga, halo, venac i druge.

KLASIFIKACIJA OBLAKA

Neposrednim posmatranjem može se videti da oblaci imaju različite oblike, pa ipak ih je moguće svrstati u određene grupe, koje se mogu naći iznad cele Zemljine površine. Po savremenoj međunarodnoj klasifikaciji oblaci se dele:

— po spoljašnjem obliku (morfološka klasifikacija);
— po visini — katovima, na kojoj se nalaze, i
— po načinu postanka.

Po spoljašnjem izgledu oblaci se dele na 10 osnovnih oblika, tj. *rodova* (tablica 5); rodovi se dele na *vrste*, a vrste na *podvrste*.

Međunarodna klasifikacija oblaka po rodovima

Tablica 5

Oznaka:		Skraćenice	Simboli
Međunarodna	Naša		
Cirrus	Perjasto-pramenasti	**Ci**	
Cirrocumulus	Perjasto-gomilasti	**Cc**	
Cirrostratus	Perjasto-slojasti	**Cs**	
Altocumulus	Visokogomilasti	**Ac**	
Altostratus	Visokoslojasti	**As**	
Nimbostratus	Slojevito-kišni	**Ns**	
Stratocumulus	Slojevito-gomilasti	**Sc**	
Stratus	Slojeviti	**St**	
Cumulus	Gomilasti	**Cu**	
Cumulonimbus	Gomilasto-kišni (olujni)	**Cb**	

Po visinima, katovima, na kojima se nalaze, oblaci se dele na **visoke** ili **gornje, srednje** i **niske** ili **donje** (tablica 6).

Međunarodna klasifikacija oblaka po visinama-katovima

Tablica 6

Visina ili kat	Predeli		
	polarni	umereni	tropski
Visoki ili gornji	3—8 km	5—13 km	6—18 km
Srednji	2—4 km	2— 7 km	2— 8 km
Niski ili donji	od površine zemlje do 2 km		

(visina odgovara približnoj nadmorskoj visini)

U visoke oblake ubrajaju se: Cirus *(Cirrus)*, Cirokumulus *(Cirrocumulus)* i Cirostratus *(Cirrostratus)*; u srednje Altokumulus *(Altocumulus)*, i niske: Stratokumulus *(Stratocumulus)* i Stratus *(Stratus)*.

Altostratus nije obuhvaćen ovom podelom, jer se obično javlja na srednjim visinama, ali često prodire i na visine visokih oblaka; nimbostratus se gotovo redovno javlja na visinama srednjih oblaka, ali prelazi i u visine ostalih oblaka; kumulus i kumulonimbus imaju

obično baze na visinama niskih, a vrhove na visinama srednjih, pa čak i visokih oblaka.

Po načinu postanka oblaci se dele na *stabilne* i *nestabilne oblake*, prema tome da li se stvaraju u stabilnoj ili nestabilnoj vazdušnoj masi.

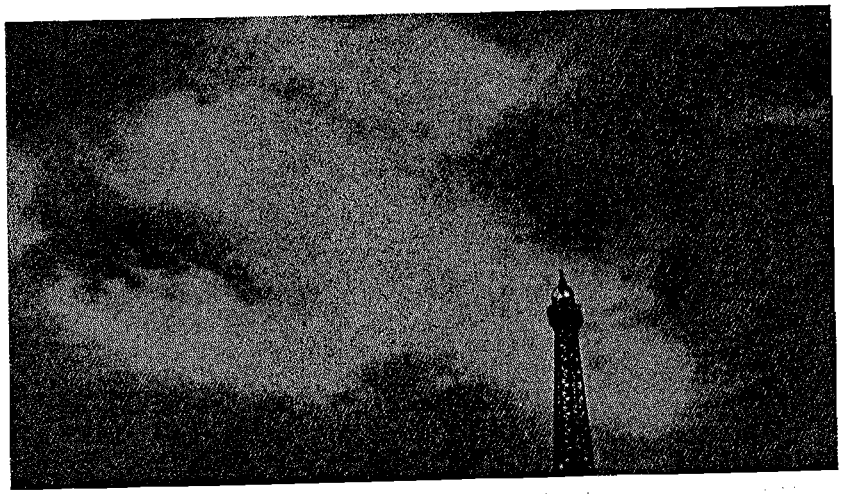
Slojasti oblaci su obično stabilni ili slabolabilni; pretežno se obrazuju na donjoj granici inverzionog sloja ili usled hlađenja radijacijom vazdušne mase u slobodnoj atmosferi. U stabilne, odnosno slabolabilne oblake ubrajaju se i svi oni oblaci koji imaju slojevit i talasast oblik, tj. oblaci koji se obrazuju na granici dve vazdušne mase (usled dodira, talasnog kretanja i radijacije).

U stabilne i slabolabilne oblake spadaju: *stratus, stratokumulus, altostratus* (neki), *cirostratus* i *cirokumulus*.

Oblaci koji se pretežno stvaraju pri adijabatskom širenju i hlađenju vazdušnih masa obično su nestabilni. U ove oblake spadaju: *kumulusi, kumulonimbusi* i *altokumulusi* (neki).

VISOKI OBLACI ILI OBLACI GORNJEG KATA

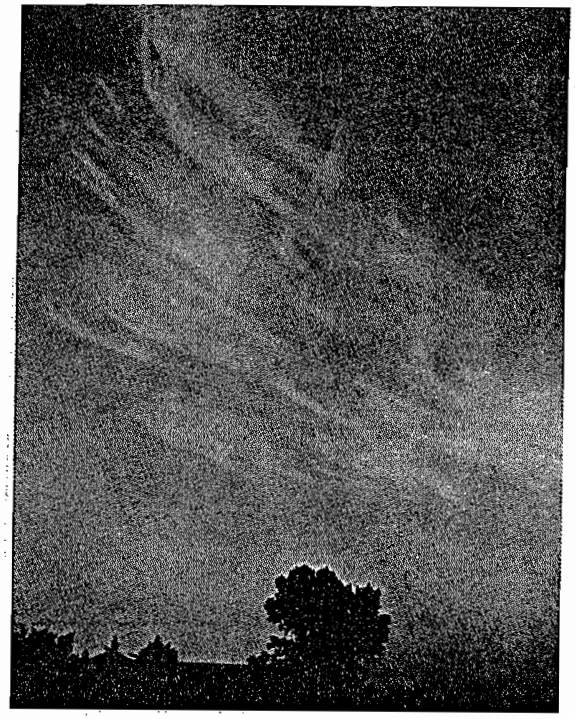
Cirus. — Razdvojeni oblaci u obliku belih i nežnih pramenova, ili banaka, ili uskih pruga, belih ili većim delom belih. Imaju vlaknast izgled (kao kosa) ili svilast sjaj, ili oboje. U umerenim širinama javljaju se na visini od 8 do 10 km, a debljina im iznosi od 100 do 500 m.



Slika 41. — Gusti cirus u bancima (M. Mézin, Pariz 19. april 1948. godine, 07 h 45 po WSW).



Slika 42. — Cirokumulus (D. S. Hankok, Bognor Regis 9. jun 1935. godine, 13 h 58 po S).



Slika 43. — Cirus u obliku kukica i vlakana (A. J. Aalders, Bussum, 25. septembar 1948. god. 07 h 20 po SSW).

Cirokumulus. — Banak, navlaka ili tanak sloj belih oblaka koji nemaju senke. Sastoje se od vrlo malih elemenata u obliku zrnaca, bora itd. slepljenih ili ne i više-manje pravilno raspoređenih. U umerenim širinama rasprostire se na visini od 6 do 8 km, debljina mu ne prelazi više od 200 do 400 m.

Cirostratus. — Prozračan i beličast oblačni veo vlaknastog izgleda (kao kosa) ili gladak, ponekad potpuno ili delimično pokriva nebo; u njemu obično nastaje halo. U umerenim širinama rasprostire se na visini od 6 do 7 km, a gornja granica mu ponekad (leti) dopire i do 10—12 km.

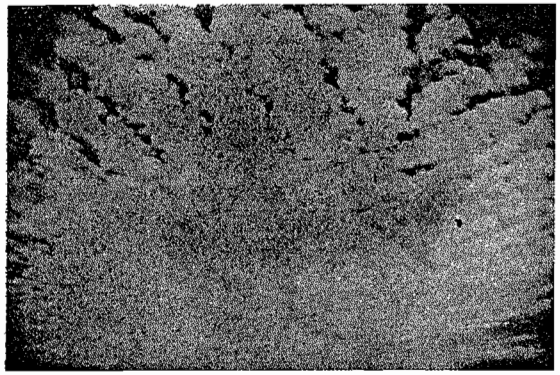
SREDNJI OBLACI ILI OBLACI SREDNJEG KATA

Altokumulus. — Banak, navlaka ili sloj belih ili sivih oblaka, ili oboje istovremeno, koji su obično osenčeni, sastavljeni od ljuspica, oblutaka, valjaka itd., katkad delimično končastog ili rasplinutog izgleda, slepljenog ili ne; većina elemenata, pravilno raspoređenih. U umerenim širinama najčešće se nalazi na visini od 3 do 5 km, a debljina mu iznosi nekoliko stotina metara. Kada prozračni altokumulus prekrije sunce ili mesec, tada se na njegovoj pozadini javlja venac (oreol).

Altostratus. — Sivkasta ili beličasta navlaka, ili izbrazdan oblačni sloj vlaknastog ili ujednačenog izgleda, koji potpuno ili



Slika 44. — Altokumulus u obliku badema; stvara se pri talasnom kretanju vazduha (G. A. Clark, Aberdeen 29. oktobra 1927. godine, 15 h 10).

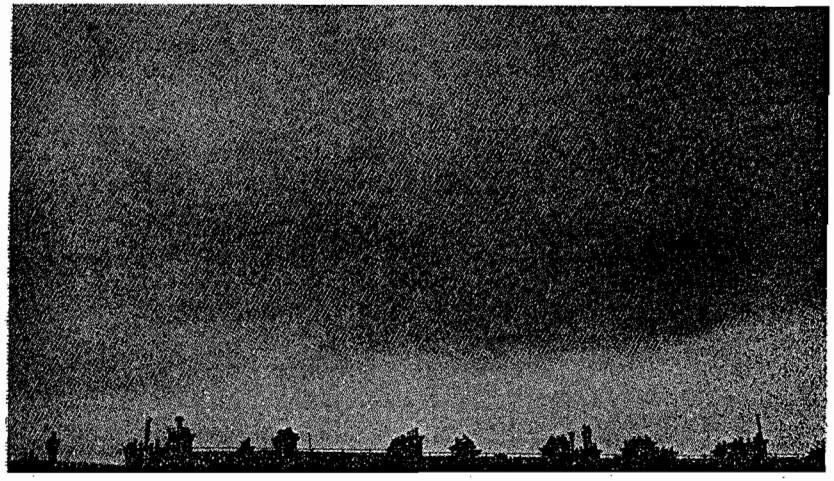


Slika 45. — Altokumulus čiji je veći deo prozračan

delimično pokriva nebo, ali u kojem se nalaze dovoljno tanki delovi kroz koje se sunce bar nejasno providi, kao kroz matirano staklo. U altostratusima halo se ne javlja.

Prozirni altostratusi pretežno se rasprostiru na visini od 4 do 5 km, a neprozirni na visini od 2 do 4 km. Njihova gornja granica ponekad može da dostigne visinu tropopauze.

Nimbrostratus. Siv oblačni sloj, često taman, čiji je izgled nejasan zbog više ili manje neprekidne kiše ili snega, koji u najviše slučajeva dopiru do zemlje. Debljina ovog sloja je svuda dovoljna da potpuno zakloni sunce. Ispod nimbostratusa često postoje ni-



Slika 46. — Nimbostratus (Nacionalna meteorologija, Pariz, 11. avgusta 1949. godine, 08 h 20 S).

ski, iskidani oblaci, koji su sa njim slepljeni ili ne. Visina donje granice oblaka može da koleba od 50 do 2000 m, a gornje od 2 do 7—9 km.

NISKI OBLACI ILI OBLACI DONJEG KATA

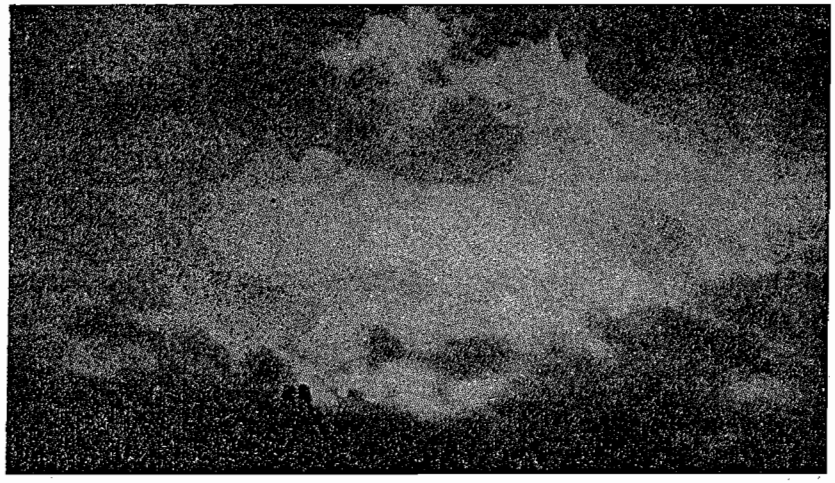
Stratokumulus. — Banak, navlaka ili sloj sivih ili beličastih oblaka, ili oboje istovremeno, u kome gotovo uvek ima tamnih delova. Sastavljeni su od pločica, oblutaka, valjaka itd., slepljenih ili ne, ali čiji izgled nije končast (izuzev virga). U umerenim širinama rasprostire se obično na visinama manjim od 2 km.



Slika 47. — Probijanje vrhova kumulusa kroz stratokumulusnu oblačnost

Slika 48. — Stratokumulus koji ne nastaje razvlačenjem kumulusa (A. J. Aalders, Naarden 24. maja 1952. godine, 08 h 43 po ENE).





Slika 49. — Stratus u iskidanim krpama (A. J. Aalders, Bussum, 1. oktobra 1935. godine, 06 h 57 po SE).

Stratus. — Oblačni sloj obično sive boje, dosta ujednačene baze, iz kojega mogu da padaju: sipeća kiša, ledene prizmice ili zrnast sneg. Kada se kroz sloj providi sunce, njegov obod je jasno ocrtan. U stratusu se ne javlja halo, izuzev eventualno pri vrlo niskim temperaturama. Katkada se stratus javlja u obliku iskidanih banaka.

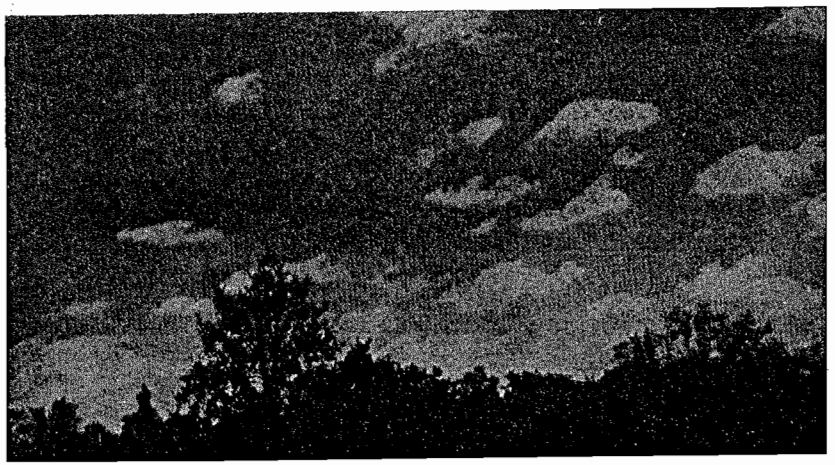
OBLACI VERTIKALNOG RAZVOJA

Kumulus. — Razdvojeni oblaci uglavnom gusti i jasno ocrtanih oboda, koji se razvijaju vertikalno u obliku zaobljenih vrškova, kupola ili tornjeva, čiji gornji delovi pupe i često liče na karfiol. Njihovi delovi koji su osvetljeni suncem najčešće su blješteće beli, dok im je baza relativno tamna, gotovo horizontalna. Katkada su kumulusi iskidani.

Kumulonimbus. — Gust i moćan oblak, sa znatnim vertikalnim prostiranjem u obliku planine ili ogromnih tornjeva. Bar jedan deo njegovog gornjeg predela obično je gladak, končast ili izbrazdan i gotovo uvek spljošten. Ovaj se deo često razvlači u obliku nakovnja ili prostrane perjanice. Ispod, većinom vrlo tamne baze ovoga oblaka nalaze se često niski i isprekidani oblaci, slepljeni ili ne sa njom, a ponekad i padavine u obliku virge — iskidane zavese.



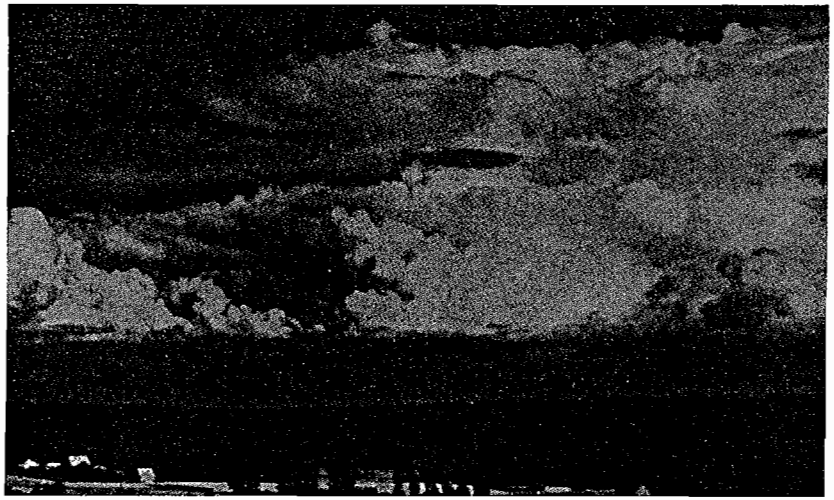
Slika 50. — Kumulus sa jakim vertikalnim prostiranjem (I. Mondain, Tananarive 26. decembra 1935. godine, 14 h 30 po WSW).



Slika 51. — Iskidani kumulus (A. J. Aalders, Bussun, 16. maja 1943. godine, 12 h 05 po SE).

Slika 52. — Kumulonimbus kapilatus snimljen sa profila-boka (Foto M. Koldovski).





Slika 53. — Kumulonimbus kapilatus inkus (Foto M. Koldovski).

OROGRAFSKI OBLACI

Nad planinskim predelima, pored prikazanih oblaka, često se pojavljuju i oblaci prouzrokovani planinskim preprekama, koje nazivamo *orografskim oblacima.* Oni mogu da se formiraju u vazdušnoj struji koja prolazi preko brda ili planine, izolovane planine ili planinskog venca. U odnosu na vrhove, orografske prepreke mogu da leže ispod, na i iznad tih vrhova. Izgled orografskih oblaka može znatno da se razlikuje od izgleda prethodno opisanih oblaka, no i pored toga oni se prema svojoj visini rasprostiranja i približnom izgledu svrstavaju po istim. Najčešće orografski oblaci pripadaju rodovima altokumulusa, stratokumulusa i kumulusa.

Orografski oblaci uzeti kao celina obično su stacionarni ili se sporo kreću i pored toga što vetar na njihovom nivou može da bude vrlo jak. U izvesnim slučajevima brzina vetra može da se uoči po kretanju izdvojenih elemenata-krpa oblaka, koje se premeštaju iz jednog do drugog ruba oblaka. Kod ovih oblaka evolucija unutrašnje strukture često je vrlo vidljiva.

Na izolovanoj planini, orografski oblaci često poprimaju oblik ogrlice koja okružuje planinu ili kapuljače koja pokriva njen vrh. U oba slučaja oblačni sistem je simetričan i obično ne daje padavine.

Izdužene orografske prepreke pri određenim sinoptičkim situacijama karakterišu se kišnim oblacima sistema velikog horizontalnog rasprostiranja na privetrenoj strani padine. Kada se ovaj oblačni sistem posmatra sa privetrene strane, tada često ima izgled velikog zida tzv. *fenski zid.*

Pri jakom vetru orografski oblaci mogu da se stvaraju u blizini grebena ili vrhova i tada na zavetrenoj strani dobijaju izgled zastave koja se lepršа na vetru (planina izgleda kao da se puši).

Planinski venci, ili čak i relativno niži grebeni iznad predela sa slabo izraženim reljefom, mogu da izazovu stvaranje stacionarnih talasa u vazdušnoj struji koja ih prelazi. Kad je vazduh dovoljno vlažan, onda na grebenu stacionarnog talasa mogu da se pojave orografski oblaci, koje nazivamo *talasnim oblacima.* U ovom slučaju istovremeno mogu da se vide jedan oblak iznad planinskog vrha, ili pomeren malo pred njim, a jedan ili više oblaka iznad vrha. U poslednjem slučaju oblaci se javljaju u pravilnim intervalima od nekoliko kilometara. Isto tako, talasni oblaci mogu da se pojave istovremeno i na više nivoa — visina.

Na zavetrenoj strani padine u pojedinim slučajevima talasna struja praćena je stacionarnim vrtlozima sa horizontalnom osom velikih razmera, u čijim gornjim delovima mogu da se pojave oblaci u obliku valjka. Ove oblake nazivamo *zavetrenim vrtložnim oblacima* ili *rotornim oblacima* (jedriličari ih nazivaju rotorima).

EVOLUCIJA OBLAKA VERTIKALNOG RAZVOJA I NEKI PODACI O NJIMA

Stvaranje začetka oblaka vertikalnog razvoja nad kontinentom u toploj polovini godine uglavnom je uslovljeno termičkom nestabilnošću, tj. termičkom konvekcijom u prvom kilometarskom sloju atmosfere. U ovom slučaju, termička konvekcija predstavlja pregrejan vazduh u sloju trenja, ili *izvorišnom sloju poremećaja,* u kojem zbog jačanja slobodne sile potiska u pozitivnom smislu, dolazi do narušavanja statičke ravnoteže, odnosno do poremećaja u vertikalnom pravcu. Pri ovom poremećaju, topao prizemni vazduh se diže na visinu i pri tom se adijabatski hladi, što uslovljava sve veće povećanje relativne vlažnosti. Kada relativna vlaga dostigne vrednost oko 100%, obrazuju se mali, relativno tanki oblaci sa približno ravnom bazom i blago zaokruženim vrhovima. Ove oblake nazivamo *toplotnim, termičkim* ili *konvektivnim kumulusima,* a po međunarodnoj klasifikaciji *cumulus humilisima* (Cu hum).

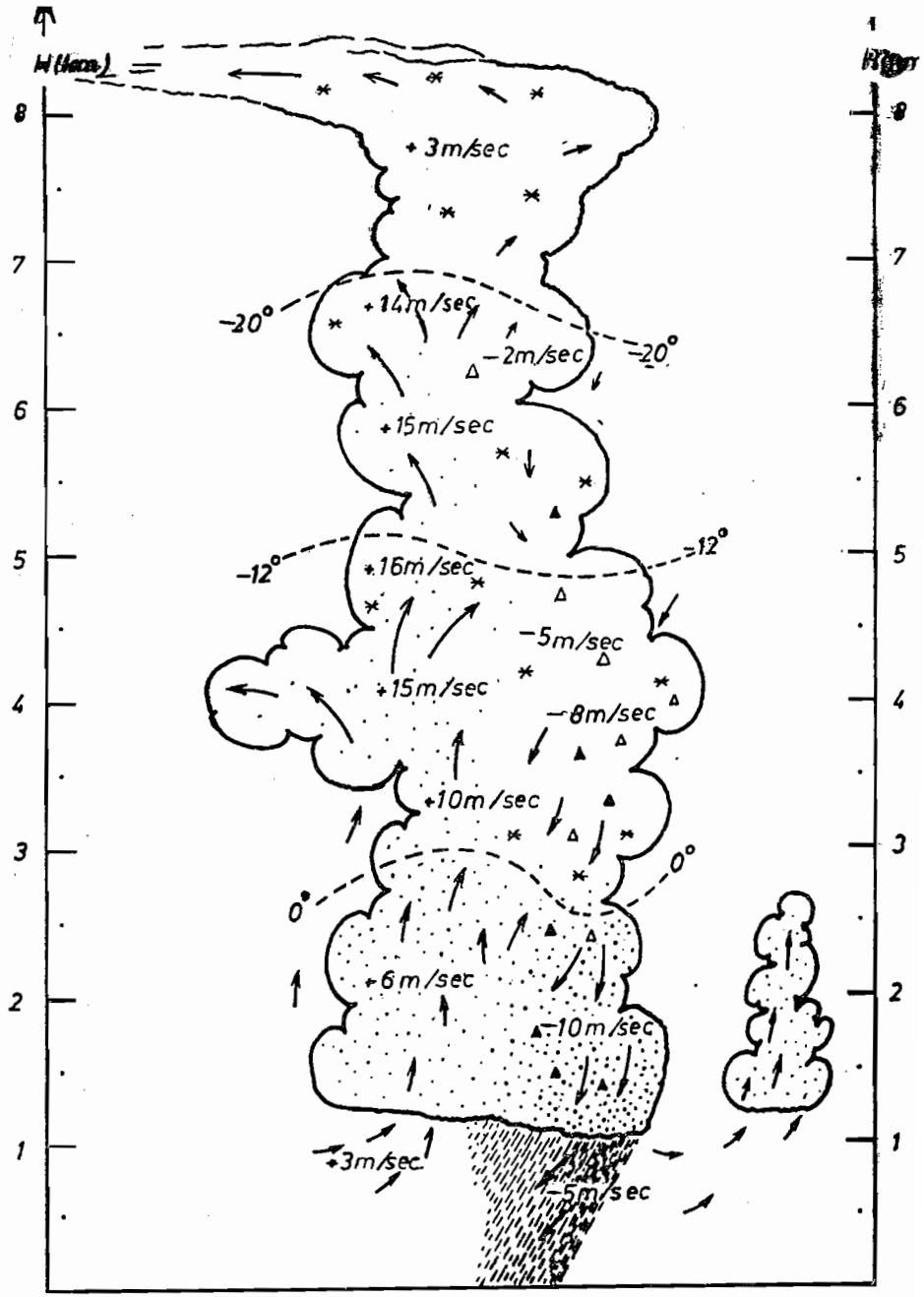
Kako obrazovanje kumulusa i njihova dalja evolucija u toku dana, u prvom redu, zavise od zagrejanosti vazduha u sloju poremećaja, zbog toga i njihova količina, kao i maksimalan razvoj (visina, baze, vertikalno rasprostiranje, vertikalne brzine i dr.), imaju znatno izražen dnevni hod.

U većini slučajeva, u našim geografskim širinama prvi kumulusi se obrazuju između 9 i 10 h, maksimalni razvoj dostižu oko 15—16 h, a nestaju — rasplinjavaju se između 18 i 19 h. Pri maksimalnom razvoju u toku leta vrh oblaka nikada ne dostiže nivo nulte izoterme. Vremnsko trajanje prvih ćelija, tj. od obrazovanja prvih za oko vidljivih krpica pa do jasno ocrtane baze i zaobljenih vrhova, iznosi oko 3 do 5 minuta, a retko prelazi više od 10 minuta. Vertikalno rasprostiranje (debljina) oblaka, kao i površina njegove baze u početku je vrlo mala i iznosi najviše do 100 m, odnosno oko 900 m², dok pri maksimalnom razvoju može da dostigne i do 3 km, odnosno oko 40.000 m² (u zadnjem slučaju to je moćan kumulus koji se približava kumulus kongestusu, tj. drugoj fazi razvoja). U kumulusima se javljaju samo uzlazna vertikalna kretanja, čiji intenzitet prosečno iznosi od 1 do 2 m/s, dok pri maksimalnom razvoju dostižu i do 5 m/s u centralnom delu oblaka. Horizontalno rasprostiranje između oblaka može da se menja od nekoliko stotina metara do 2—3 km. Kumulusi koji imaju umereno vertikalno rasprostiranje raspoređeni su katkada u redove, približno paralelne pravcu vetra (obično ih nazivamo kumulus-stradama — ulicama oblaka).

Dalji razvoj oblaka u vertikalnom pravcu naviše, u prvom redu, zavisi od stratifikacije temperature u slojevima atmosfere iznad vrhova kumulusa, od vlažnosti uzlaznog vazduha i od intenziteta vertikalne (uzlazne) i horizontalne (vetra) komponente strujanja. Kad su intenzitet i vlažnost uzlazne struje veliki, i kad je vertikalni gradijent temperature vazduha iznad vrhova oblaka veliki, tada se kumulus razvija dalje po vertikali i prelazi u kumulus kongestus (Cu con).

U umerenim širinama vrtikalna razvijenost kumulusa kongestusa iznosi od 5 do 7 km. Njegovi gornji delovi se rasprostiru iznad nivoa nulte izoterme, a sastoje se od malih kapljica vode, prehlađenih kapljica i kristala leda, koji su nastali smrzavanjem prehlađenih kapljica vode. Taloženjem novostvorenih vodenih kapi na kristale leda obrazuju se snežne pahuljice, grad i krupa. I u ovom oblaku, kao i kod kumulusa, javljaju se samo uzlazna vertikalna kretanja. U donjoj polovini oblaka ona u proseku iznose 4—8 m/s, a u gornjoj polovini bliže vrhu od 10 do 15 m/s.

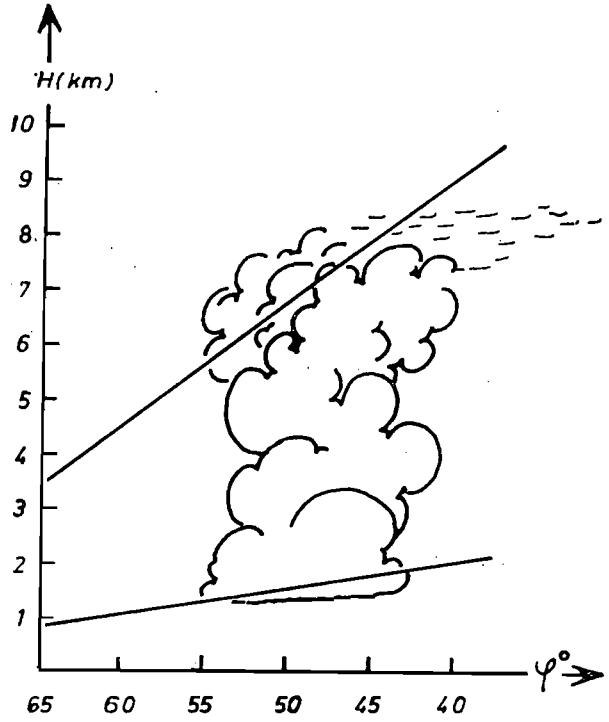
Ako u atmosferi postoje uslovi za dalji razvoj Cu con (važe isti uslovi kao i u slučaju prelaska Cu u Cu con), on se razvija po vertikali i u momentu kada njegovi vrhovi poprime taman izgled, ili se prekriju svilastim pokrivačem ili „kapom", on prelazi u ku-



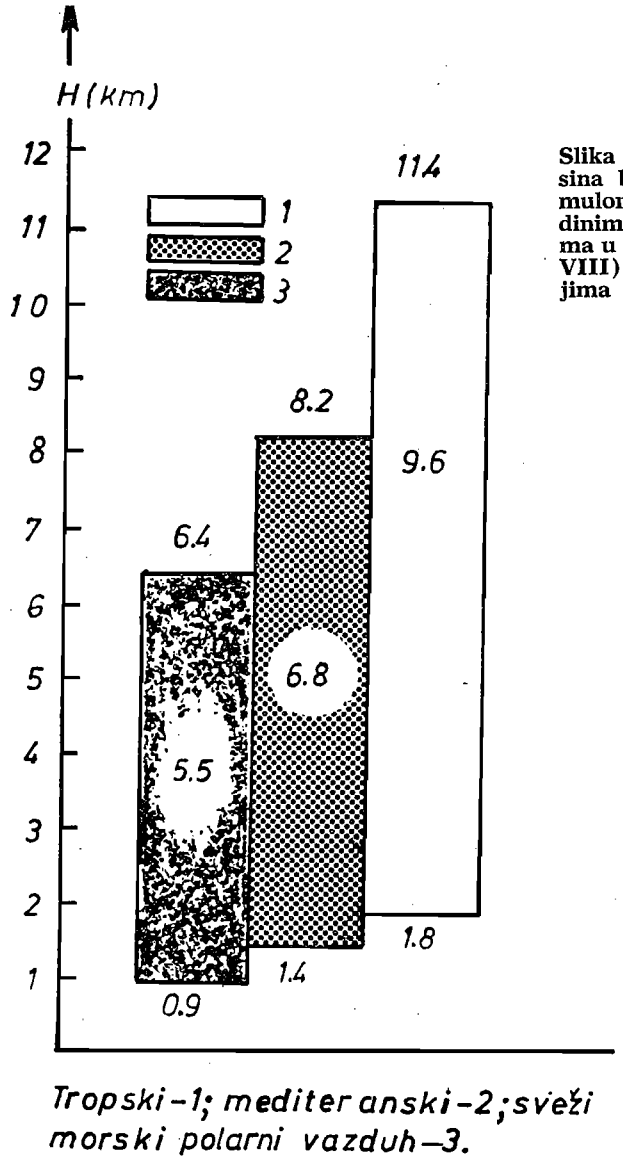
Slika 54. — Raspodela vertikalnih strujanja vazduha pri stadijumu maksimalnog razvoja kumulonimbusa

mulonimbus (Cb). Dalji razvoj Cb po vertikali može da uspori ili zaustavi — ukoči, inverzioni sloj u višim slojevima atmosfere, tropopauze, ili veoma jak vetar (iznad vrhova Cb). Pri izuzetno nestabilnoj atmosferi Cb može da se razvije za 30 do 60 minuta do nivoa tropopauze, a u pojedinim slučajevima njegovi vrhovi mogu da probiju i tropopauzu i uđu u niže slojeve stratosfere. U odnosu na vrednosti temperature i fizičkog stanja vode, kumulonimbus može da se podeli na tri dela: prvi, od baze do nivoa izoterme 0°, u kojem se nalaze kapljice vode različitih veličina; drugi, od nivoa izoterme 0° do nivoa izoterme —20°, sa kristalima leda, snežnim pahuljicama i prehlađenim kapima vode, i treći, od nivoa izoterme —20° do vrhova, odnosno do nakovnja ili perjanice Cb, sa kristalima leda i snežnim pahuljicama. U letnjim mesecima temperatura u donjem delu oblaka može da varira od 15° do —20°, a u gornjem delu od —40° do —50°.

U kumulonimbusu, za razliku od prethodnih oblaka (Cu, Cu con), pored uzlaznih javljaju se i silazna strujanja. Silazna strujanja se javljaju kao posledica padanja ledenih kristala koje uzlazna struja ne može da održi u stanju lebdenja zbog njihove te-



Slika 55. — Zavisnost vertikalne razvijenosti kumulonimbusa od geografske širine u toploj polovini godine na severnoj hemisferi



Slika 56. — Prosečna visina baza i vrhova kumulonimbusa pri pojedinim vazdušnim masama u toku leta (VI, VII, VIII) nad širim područjima Vojvodine

Tropski-1; mediteranski-2; sveži morski polarni vazduh-3.

žine. Zbog toga ledeni kristali počnu da padaju i kad se nađu u predelima pozitivnih temperatura, tope se i padaju iz oblaka u vidu kiše, a ako se ne istope, u vidu grada ili krupe. Usled toga u donjem, toplijem delu oblaka, kroz koji prolaze padavine, temperatura opada i on se postepeno hladi i postaje teži od okolnog vazduha. Sa povećanjem padavina povećava se zona obuhvaćena silaznim strujanjima, kao i njihov intenzitet. Kad silazna strujanja preovladaju u donjem delu oblaka, tada Cb počne da se raspada, tj. nastupa odumiranje Cb.

Proces obrazovanja Cb sastoji se iz tri dela, i to: prvi, *prvi stadijum* ili *stadijum kumulusa;* drugi, *drugi stadijum* ili *stadijum cumulus kongestusa;* i treći, *treći stadijum* ili *stadijum kumulonimbusa.* Takođe se i evolucija Cb deli na tri dela, i to: prvi, *obrazovanje — rađanje;* drugi, *stadijum maksimalnog razvoja;* i treći, *stadijum odumiranja — rasplinjavanja.*

Intenzitet vertikalnih strujanja u Cb zavisi, pre svega, od stadijuma u kojem se Cb nalazi, kao i od konkretnih uslova. Tako u drugom stadijumu, stadijumu maksimalnog razvoja, maksimalna uzlazna strujanja u gornjoj polovini oblaka mogu da dostignu 30—40 m/s pa i više, a silazna u donjem delu 10—15 m/s i više (sl. 54). I prostorne dimenzije Cb, takođe, zavise od njegovog stadijuma razvoja i konkretnih uslova. Kad se Cb obrazuje u toploj vazdušnoj masi ispred hladnog fronta, njegovo horizontalno rasprostiranje iznosi prosečno 15—20 km, a vertikalna razvijenost od oko 8 do 9 km. Zavisnost vertikalne razvijenosti Cb od geografske širine, tj. od zagrejanosti vazduha u nižim slojevima atmosfere u toku tople polovine godine za severnu hemisferu prikazana je na slici 55.

Vertikalna razvijenost Cb, tj. srednja visina baza i vrhova pri pojedinim vazdušnim masama u toku leta (juni, juli i avgust) nad širim područjem Vojvodine prikazana je na slici 56. Sa slike se vidi da je vertikalna razvijenost Cb najveća u tropskom (oko 9,6 km), a najmanja u „svežem" morskom polarnom vazduhu (5,5 km).

PADAVINE

Vodene kapi i kristali leda koji iz oblaka padaju na površinu zemlje nazivamo *atmosferskim padavinama.* Prema vremenu trajanja, njihovom intenzitetu i izgledu, dele se na tri vrste: *dugotrajne umerene* — obično padaju iz As i Ns; *pljuskovite* — padaju iz Cb, a ponekad i iz Cu con; *sipeće* — padaju iz St, Sc i magli.

Padavine koje su uslovljene atmosferskim frontovima nazivamo *frontalnim,* a one koje se javljaju u jednorodnim vazdušnim masama nazivamo *unutarmasovnim padavinama.*

U umerenim geografskim širinama količina padavina koju daju frontalni oblaci veća je nego količina padavina koju daju unutarmasovni oblaci.

Prema fizičkom stanju vode padavine se dele na *tečne, čvrste* i *mešovite.* U našim predelima javljaju se sve vrste padavina, a najčešće su zastupljene tečne.

RAZLIČITI OBLICI PADAVINA

Kiša (●) — vodene kapi sa prečnikom koji varira u širokim granicama, i to od 200 μ do 7,0 mm. Brzina padanja kapi iznosi od 4 do 8 m/s. Kiša pada iz slojasto-kišnih i gomilasto-kišnih oblaka, a u izuzetnim slučajevima i iz visokoslojastih oblaka. Kiša koja prolazi kroz prizemne slojeve vazduha sa negativnim temperaturama, naziva se *prehlađenom kišom.* Ona na površini zemlje i predmetima na njoj izaziva pojavu *poledice* (tanak proziran sloj leda).

Izmaglica — sipljenje (❟), male vodene kapljice prečnika od 50 do 500 μ. Zimi pri negativnim temperaturama može da se javi u obliku snežnih zrna, ledenih iglica i sitnog snega.

Sneg (✻) — padavine u obliku snežnih zvezdica. Pri temperaturi od oko 0° pahuljice snega se obično lepe jedna za drugu i tada padaju kao krupne pahuljice.

Mokri sneg (✼) — sneg koji se topi ili smeša snega sa kišom. Javlja se obično kada je temperatura prizemnog sloja vazduha nešto viša od 0° ili oko nje.

Sugradica (△) — poluprovidna zrna sleđene vode okruglog ili ređe kupastog oblika, prečnika oko 2 do 5 mm.

Grad (▲) — ledene kuglice ili grumeni, čiji prečnik varira u širokim granicama, od 2—3 mm do 7—8 cm, a nekada i više. Ponekad težina grada može da bude vrlo velika (3—4 kg; registrovano u Indiji). Brzina padanja zavisi od težine: pri prečniku 12 mm, brzina padanja iznosi oko 10 m/s; pri prečniku od 5 cm, oko 25 m/s; pri prečniku od 10 cm, oko 45 m/s. Vreme padanja grada obično iznosi nekoliko minuta (po pravilu, ne više od 20 minuta).

U padavine se ubrajaju i one količine taloga koje daju rosa, inje i slana. Ove padavine nazivamo *padavinama pri površini tla.*

Rosa (⏠) — vodene kapljice koje se talože na horizontalnim površinama pri vedrom vremenu, neposrednom kondenzacijom vodene pare iz okolnog vazduha koji se ohladio izračivanjem u toku noći.

Slana (⊔) —tanki ledeni kristali u obliku ljuštica, iglica ili perja, nataloženi sublimacijom na isti način kao i rosa.

Inje (V, ⩛ — tvrdo inje) — beli slojevi ledenih kristala sličnih slani, nataloženi pretežno na vertikalnim površinama, osobito na ivicama predmeta, obično nastaju pri prehlađenoj magli ili sumaglici. Tvrdo inje, neprovidan, zrnast sneg ili ledu slična masa, koja se taloži pri sumaglici i temperaturi ispod 0° na isti način kao i inje.

VIDLJIVOST

Pod pojmom *vidljivost* ili, tačnije, *daljinom vidljivosti*, u meteorologiji se podrazumeva ono najveće odstojanje na kome se, pri određenim vremenskim uslovima, normalnim vidom mogu razlikovati pojedini predmeti. Dužinska razlika između daljine najudaljenijeg jasno vidljivog objekta i daljih zamućenih objekata, zove se *zonom nesigurne vidljivosti.*

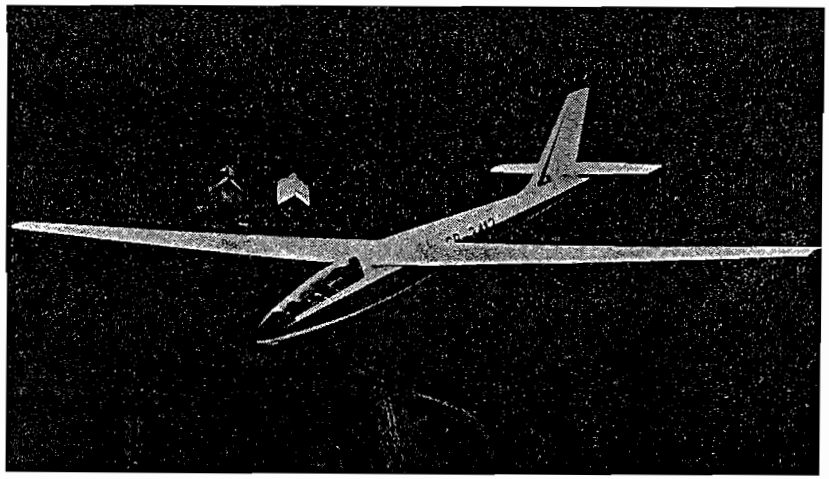


Foto: S.A. Aldott

Dobra vidljivost je neophodan uslov za siguran i uspešan let

S obzirom na položaj posmatrača, u vazduhoplovstvu, razlikujemo *vidljivost sa zemlje* i *vidljivost u letu.* A u odnosu na ugao posmatranja (ugao nagiba) vidljivost delimo na *horizontalnu* i *kosu.* Vidljivost izražavamo metrima za one objekte koji su jasno uočljivi na rastojanju manjem od 1 km, a u kilometrima, za one objekte koji su jasno uočljivi na rastojanju jednakom ili većem od 1 km. U meteorološkim stanicama vidljivost se procenjuje vizuelnim posmatranjem ili merenjem (instrumentima).

ZNAČAJ POJEDINIH METEOROLOŠKIH ELEMENATA I POJAVA ZA JEDRILIČARSTVO

UTICAJ METEOROLOŠKIH ELEMENATA NA JEDRENJE

Temperatura, pritisak i gustina su od vrlo velikog značaja za jedriličarstvo, jer oni predstavljaju osnovne fizičke veličine koje karakterišu termodinamičko stanje vazduha kao sredine u kojoj se leti. Isto tako, oni ispoljavaju svoj uticaj na rad jedriličarskih ekipa na zemlji, kao i na letačku opremu i instrumentaciju.

Pored osnovnih fizičkih veličina na rad jedriličastva utiču i ostale izvodne veličine, kao i meteorološke pojave. U zavisnosti od njihovog međusobnog stanja, iste u jednom slučaju omogućavaju, u većoj ili manjoj meri, eksploataciju vazdušnog prostora, dok u drugom slučaju onemogućavaju jedrenje. Zbog toga pilot — jedriličar, pored poznavanja aerodinamike, tehnike jedrenja i navigacije mora pre svega da bude dobro obučen iz meteorologije.

Uticaj temperature na jedrenje. — Od temperaturne stratifikacije vazduha (raspodele temperature po visini) i zagrevanja tla od Sunca zavisi pojava vertikalnih kretanja vazduha. Ova se kretanja nazivaju *vertikalna konvektna kretanja.*

Slobodna sila potiska ili slobodna sila uspona za jedinicu mase vazduha izražava se jednačinom 1:

$$\dot{V}_z = g\frac{T'-T}{T} \qquad (2.1.)$$

gde je:

$\dot{V}_z$ — ubrzanje;
g — ubrzanje zemljine teže,
T' — temperatura vazduha (čestice vazduha) koji se podiže ili spušta,
T — temperatura okolnog vazduha.

Iz jednačine 2.1 proizilazi da je ubrzanje ($\dot{V}$) ravno nuli kada je temperatura čestice jednaka temperaturi okružujućeg vazduha

($T'=T$). U tom slučaju vertikalna konvektivna kretanja odražavaju se u srazmerno malom intervalu vremena na račun inercije, potom menjaju smer kretanja i brzo se gase.

Pri temperaturnoj razlici $T'-T=1^0$ i temperaturi okolnog vazduha $T=273^0K$, ubrzanje $\dot{V}_z=3{,}6$ cm/s², a ono za minut može da uslovi vertikalnu brzinu od 2,2 m/s (dobijena brzina vertikalnih kretanja je uprošćena — idealizovana, jer pri njenom izračunavanju nije uzeta sila trenja). U ovom slučaju dobijena vrednost brzine vertikalnih kretanja pokazuje da i mala razlika između temperature čestica i okolnog vazduha može znatno da utiče na pojavu vertikalnih kretanja. To nam, sa druge strane, pokazuje da se jedrilica u takvim slučajevima može održati na postignutoj visini ili, pak, postepeno nabirati još veću visinu. I obrnuto, ako su vertikalna kretanja nispona, ona pojačava propadanje jedrilice.

Vrednost T' i T možemo da napišemo u obliku:

$$T' = T_0' - \gamma_a h$$

$$T = T_0 - \gamma h$$

gde je:

T_0' — tmperatura čestice vazduha pri površini tla;
T_0 — temperatura okolnog vazduha pri površini tla;
γ — stvarni vertikalni gradijent temperature;
γ_a — adijabatski gradijent temperature; i
h — visina na kojoj je temperatura čestice i okolnog vazduha T' i T, odnosno visina na koju se uzdigla čestica vazduha.

Ako date vrednosti T' i T zamenimo u jednačini 2.1, dobijamo:

$$\dot{V}_z = g\frac{T_0'-T_0}{T} + gh\frac{\gamma-\gamma_a}{T} \qquad (2.2.)$$

Iz jednačine 2.2. vidi se da ubrzanje konvektivnih kretanja zavisi od razlike temperature pri površini tla i da je isto utoliko veće, ukoliko je razlika između temperature vazduha koji se podiže, odnosno spušta i okolnog vazduha veća. U tom slučaju baze uzlaznih stubova su na manjoj visini, što omogućava brži priključak jedrilice u termički stub. Drugi član jednačine 2.2 daje zavisnost ubrzanja konvektivnih kretanja od temperaturne stratifikacije vazduha. Drugim rečima, on pokazuje stepen stabilnosti atmosfere.

Ako uzmemo u razmatranje vedar dan u toploj polovini godine, u vremenu kad Sunčeva radijacija raste, tada je prvi član jednačine 2.2 pozitivan. U tom slučaju vazduh koji se rasprostire neposredno uz površinu zemlje predstavlja *sloj poremećaja* ili

izvorišni sloj termičke konvekcije. On je za jedrenje veoma važan, jer se pri većim razlikama temperature rasprostire i do visine 1500 m. Ako pretpostavimo da je i drugi član jednačine 2.2 pozitivan ($\gamma-\gamma_a>0$), tada je atmosfera nestabilna. Ovakvo stanje obično susrećemo u nižim slojevima atmosfere. Visina do koje se rasprostire nestabilan vazduh ujedno pokazuje i maksimalan plafon uzdizanja jedrilice.

Kada su prvi i drugi član jednačine 2.2 negativni, tada je atmosfera stabilna, a termičko jedrenje nemoguće.

Temperatura prizemnog vazduha utiče i na rad jedriličarskih ekipa koje su angažovane radom na terenu — aerodromu. Njen uticaj odražava se na efekat rada. Od vrednosti temperature prizemnog vazduha, takođe, zavisi i dužina poletanja — vuče, odnosno sletanja — klizanja, kao i uzimanja temperaturne popravke na visinu pokazivanja barometarskog visinomera.

Temperatura vazduha i vertikalni temperaturni gradijent znatno utiču i na jedrenje na talasima. Ako pretpostavimo da je brzina vazdušne struje — vetra stalna, tada talasna dužina talasa zavisi samo od temperature i vertikalnog temperaturnog gradijenta. Većim talasnim dužinama odgovara veća vrednost temperature i stabilna atmosfera ($\gamma_a>\gamma$). Za jedriličara to znači da se područje usponih strujanja izazvanih talasnom prirodom vazdušne struje rasprostire na većem prostoru. Ova informacija pilotu — jedriličaru daje mogućnost da pre poletanja, još na meteorološkoj konsultaciji, bude upoznat sa geometrijskom slikom talasa, a, u vezi s tim, i da donese odluku o stvarnim mogućnostima dostizanja maksimalne visine jedrenja, korišćenja područja sa maksimalnim dizanjima, kao i mogućnost prebacivanja sa jednog grebena talasa na drugi.

U slučaju dužih preleta, postizanja znatnijih visina i dužeg jedrenja na velikim visinama, vrlo visoke, odnosno negativne vrednosti temperature, negativno se ispoljavaju na rad posada jedrilice. Pri visokim temperaturama ($T>20^0$) i maloj vlažnosti vazduha, pilot je izložen većim fizičkim naprezanjima. Kada pri istim vrednostima leti u kursu sunca, pilot može da dobije krvarenje ili izgubi svest. U drugom slučaju, kada se javljaju negativne vrednosti temperature, otežano je rukovanje komandama, pilot se fizički više napreže, a u izvesnim slučajevima mogu da se jave promrzline pojedinih perifernih delova tela.

Uticaj atmosferskog pritiska na jedrenje. — Atmosferski pritisak utiče na rad jedriličarstva na posredan i neposredan način. Njegov posredan način ogleda se u karakteru vremena. Naime, kako karakter vremena zavisi od polja pritiska, to vrednost atmosferskog pritiska nad određenim područjem predstavlja posredan parametar za procenu mogućnosti jedrenja. Pri velikim vredno-

stima atmosferskog pritiska ($p_0 > 1020$ mb), u atmosferi se najčešće uspostavlja anticiklonska cirkulacija. Nju karakteriše stabilna atmosfera, a ona pruža slabe ili nikakve mogućnosti za termičko jedrenje. Kada vrednost atmosferskog pritiska na nivou mora iznosi 1005—1015 mb (nad širim područjem Jugoslavije), izobare pretežno imaju ciklonalnu izvijenost, a ako je vreme vedro ili malo do umereno oblačno, tada postoje dobri uslovi za termičko jedrenje.

Direktan uticaj atmosferskog pritiska na jedrenje ispoljava se u postizanju maksimalne visine jedrenja. To je zbog toga što pritisak sa visinom opada brže u hladnom, a sporije u toplom vazduhu. Isto tako, atmosferski pritisak direktno utiče na očitavanje visine leta na barometarskom visinomeru, zatim u manjoj meri od uticaja temperature, na dužinu sletanja — klizanja, odnosno poletanja — vuče jedrilice po tlu.

Uticaj gustine vazduha na jedrenje. — Između temperature vazduha, atmosferskog pritiska i gustine vazduha postoji funkcionalna zavisnost. Ta zavisnost za praktične potrebe izražava se, sa dovoljnom tačnošću, jednačinom stanja suvog, odnosno vlažnog vazduha:

$$\rho_s = \frac{p_s}{R_s T} \quad \text{(suv vazduh)} \qquad \text{i} \qquad \| \rho \quad \frac{p}{R_s T_v} \quad \text{(vlažan vazduh)} \tag{2.3.}$$

U jednačini 2.3. sa R_s je označena gasna konstanta suvog vazduha ($R_s = 287{,}04$ m² s⁻² grad⁻¹); ρ_s, odnosno ρ — gustina suvog, odnosno vlažnog vazduha, sa T_v — virtuelna temperatura[1]) i sa P_s — pritisak suvog vazduha.

Kvalitativna procena uticaja gustine vazduha na rad jedriličarstva dobija se iz jednačine 3, ako se pri izvođenju diskusije uzme u obzir ono što je napred rečeno o uticaju temperature vazduha i atmosferskog pritiska na rad jedriličarstva.

Podaci gustine vazduha su vrlo značajni i za inženjere — konstruktore pri projektovanju jedrilica, kao i za praktična i naučna ispitivanja pojedinih profila jedrilice. Tako, na primer, pri određivanju ukupne aerodinamičke sile, pored poznavanja podatka o vazdušnoj brzini jedrilice, potreban je i podatak o gustini vazduha (specifična gustina).

Uticaj ostalih meteoroloških elemenata na jedrenje. — Od ostalih meteoroloških elemenata na rad jedriličarstva znatniji uticaj ispoljavaju vetar, oblačnost, vidljivost i stanje terena.

[1]) **Virtuelna temperatura** je ona temperatura suvog vazduha kada bi pri istom pritisku gustina suvog vazduha bila jednaka gustini vlažnog vazduha. Izračunava se: $T_v = T(1+0.378\ e/p)$, gde je T stvarna temperatura, e — pritisak vodene pare i p — atmosferfski pritisak.

Vetar — svojim smerom i brzinom utiče na poletanje — vuču, odnosno sletanje — klizanje jedrilice. Ukoliko se poleće, odnosno sleće u pravcu vetra, vetar skraćuje dužinu vuče jedrilice po zemlji, odnosno dužinu klizanja. U suprotnom slučaju, ako se pomenute faze poletanja, odnosno sletanja, vrše niz vetar, tada se njihova dužina povećava. Negativan uticaj vetar ispoljava, u većem ili manjem stepenu, i kad pravac vetra preseca liniju poletanja, odnosno sletanja (bočni vetar).

Duvanje vetra na visini u pravcu leta povećava brzinu, odnosno u suprotnom pravcu smanjuje brzinu jedrilice, dok pri jedrenju u stubu otežava pronalaženje i održavanje jedrilice u zoni maksimalnih vertikalnih brzina.

Vidljivost — kosa i vertikalna vidljivost iz vazduha neposredno utiču na vizuelno letenje, a, s tim u vezi, i na vođenje navigacije. Slaba kosa i vertikalna vidljivost otežavaju orijentaciju, a u pojedinim slučajevima pilot gubi orijentaciju.

Stepen prozračnosti atmosfere u horizontalnom pravcu, odnosno horizontalna vidljivost na visini leta omogućava pilotu da proceni donju visinu visinske inverzije, i na taj način mogućnost da postigne maksimalnu visinu jedrenja.

Oblačnost — kao meteorološki elemenat izražava se količinom i visinom, donjom i gornjom granicom oblaka. Uopšte, znatna količina oblačnosti negativno utiče na sve delatnosti jedriličarstva, a letenje u znatnoj meri otežava ili ga sasvim onemogućava. U istom smislu deluje i mala visina donje baze oblačnosti.

Stanje tla — pod stanjem tla u meteorologiji podrazumevamo da li je tlo suvo, vlažno, pokriveno snežnim pokrivačem, ledom ili padavinama čvrstog oblika (grad, krupa, sugradica, itd.).

Stanje tla ispoljava svoj uticaj na silu trenja — otpora prilikom poletanja, odnosno sletanja. Sila trenja se, u zavisnosti od stanja tla, ispoljava na dužinu poletanja — vuče, odnosno na dužinu sletanja — klizanja. Ako je tlo vlažno — mokro, pokriveno travom, dužina vuče, odnosno klizanja se povećava, a kad je tlo suvo — pokriveno retkom travom ili ako je golo — dužina se skraćuje. U izuzetnim slučajevima, kada je zemljište jako raskvašeno — blatnjavo, poletanje je nemoguće, a pri sletanju može da dođe do delimičnih lomova ili potpunog uništenja jedrilice.

Dužina vuče, odnosno klizanja, na zemljištu koje je pokriveno snegom zavisi od visine i fizičkog stanja snega. Uopšte, pri postojanju neprekidnog snežnog pokrivača dužina vuče se povećava. Dužina vuče raste sa povećanjem visine i vlažnosti snega. Pri sletanju dužina klizanja se povećava na uvaljanom snegu, kao i na zamrzlom zemljištu pokrivenom snegom, čija visina ne prelazi više od 10 cm. Dužina klizanja se smanjuje na nezamrznutom zem-

ljištu koje je pokriveno vlažnim snegom, kao i kad je visina snega iznad 15 cm. Sletanje na terene čije je zemljište pokriveno dubokim snegom (iznad 40 cm) ne preporučuje se radi bezbednosti pilota i jedrilice.

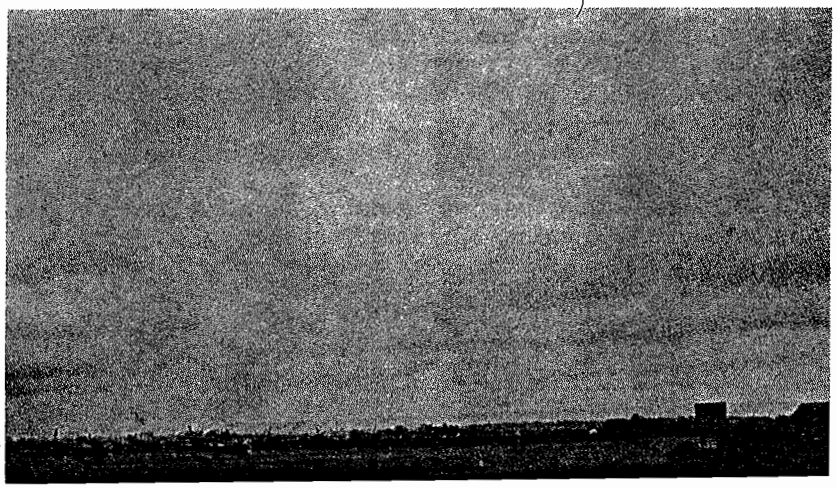
UTICAJ METEOROLOŠKIH POJAVA NA JEDRENJE

Mogućnost jedrenja mnogo zavisi od meteoroloških pojava, jer ga neke od njih potpomažu, a neke ometaju ili potpuno onemogućavaju.

Od meteoroloških pojava na rad jedriličarstva znatniji uticaj ispoljavaju oblaci, pojava jakog vetra, magla, sumaglica i čađaniva, grmljavina, kiša, pljusak, turbulencija i pojava stvaranja leda na jedrilici (u daljem tekstu zaleđivanje jedrilice).

Oblaci. — Oblaci se u meteorologiji ubrajaju u meteorološke pojave.

Slojasti oblaci negativno utiču na jedrenje, a kad oni pripadaju niskim i srednjim oblacima, znatno ga ometaju ili potpuno onemogućavaju.



Slika 57. — Stratus fractus ružnog vremena udružen sa cumulus fractusom ružnog vremena

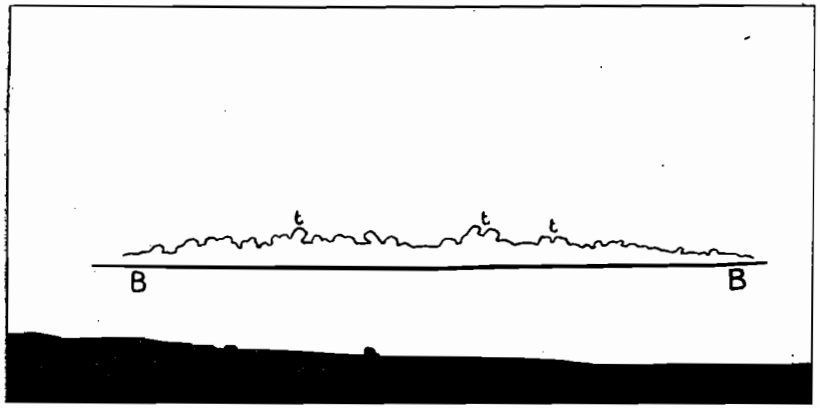


Slika 58. — Neprozirni altostratus (najviši oblačni sloj); u pozadini se vidi kumulus — i kumulusi



Slika 59. — Altokumulus kastelatus

Slika 60. — Šematski prikaz altokumulusa kastelatusa sa slike 59.



Visoki i srednji gomilasti oblaci obično imaju prognostički značaj, jer su u toploj polovini godine vesnici nestabilnog vremena (sl. 59 i 60). Kada se srednji oblaci pojave u ranim jutarnjim časovima (u količini 1—2/8, po vrsti Ac cast), tada se na osnovu njih može pretpostaviti da će dan biti izrazito nestabilan i na osnovu toga treba planirati letenje za postizanje visine. U slučaju pojave visokih oblaka (količina: tragovi — 2/8, po vrsti: Ci unc), koji se javljaju povremeno preko celog dana, može se pretpostaviti da će naredni dan biti izuzetno dobar za jedrenje.

Oblaci vertikalnog razvoja pozitivno deluju na jedrenje. Oni pilotu omogućavaju lako pronalaženje suvih termičkih stubova, a pri jače razvijenim oblacima (Cu con, i Cb) postizanje većih visina. Na osnovu razmeštaja oblaka na nebu pilot može da zaključi gde se nalaze uzlazna, a gde silazna strujanja vazduha. Prateći razvoj oblaka na zemlji, od njegovog stvaranja (maglina) pa do odumiranja (cepanje oblaka u krpe, koje se rasplinjavaju), pilot može da utvrdi vremensko trajanje konvektivne ćelije, a sa tim u vezi i da proceni nestabilnost na visini i da donese odluku za poletanje. Po izgledu oblaka, i to njegove gornje polovine, pilot može približno da utvrdi smer, a donekle i jačinu visinskog vetra, a s tim u vezi i da predstavi sebi zakošenje vertikalne ose oblaka. Kad pilot ne raspolaže meteorološkim podacima, tada na osnovu visine donje baze vertikalnih oblaka i vremena njihove pojave može da pretpostavi da:

— ako se donja baza oblaka nalazi na visini od 2000 metara (dopuštena greška u vizuelnoj proceni je ±300 m), tada će dnevna maksimalna temperatura vazduha u meteorološkom zaklonu, u većini slučajeva, iznositi preko 30, odnosno ni jednom neće biti manja od 28°; u tom slučaju srednja relativna vlaga u prvom kilometarskom sloju biće manja od 46%, dok će temperatura vazduha u podnevnim i poslepodnevnim časovima na visini od 1000 metara iznositi od 19—22°;[1])

— ako se donja baza oblaka nalazi na visini od 1000 metara (dopuštena greška u vizuelnoj proceni je ±150 m) i ako ista sporo raste a količina oblačnosti se brzo povećava, tada će se u narednim časovima stratifikacija temperature promeniti, a vertikalni oblaci transformisati u stratokumuluse;[1])

Kumuluskongestus koji naglo prelazi u kumulonimbus negativno utiče na jedrenje. U tom slučaju jedrilica može da bude zahvaćena usponim vertikalnim strujanjima velikog intenziteta (w>30 m/s) i koja će je podići naviše za 3500 do 5500 m u vremenu od 2 do 3 minuta. Pri ovako velikim brzinama jedrilica je izložena vrlo velikim opterećenjima, naprezanjima konstrukcije, pa zbog toga može da dođe i do loma (havarija može da se dogodi i onda kada se jedrilica nađe na granici između usponih i nisponih vertikalnih kretanja). U ovom slučaju, zbog velike promene u visini jedrenja, redovno se javlja zaleđivanje jedrilice, a ono negativno utiče na aerodinamičke osobine jedrilice (promenom profila i povećanjem težine jedrilice), otežava rukovanje komandama i slabi ili onemogućava osmatranje pilotu po izlasku iz oblaka. Isto tako, u ovom slučaju može da dođe i do pojave grada i električnog pražnjenja. Padanje grada u kumulonimbusu može da izazove veća oštećenja jedrilice u vidu probijanja napadnih i horizontalnih delova oplate, kao i stakla kabine jedrilice. U ovom slučaju veličina oštećenja jedrilice zavisi on veličine zrna grada i razlike između brzine padanja grada i brzine jedrilice. Električno pražnjenje u kumulonimbusu praćeno je, prvo, sevanjem, što negativno utiče na momentalni vid pilota, i gromom koji u izuzetnim slučajevima može da ošteti ili onesposobi radio-uređaje, kao i da izazove topljenje, odnosno deformiše pojedine metalne delove jedrilice.

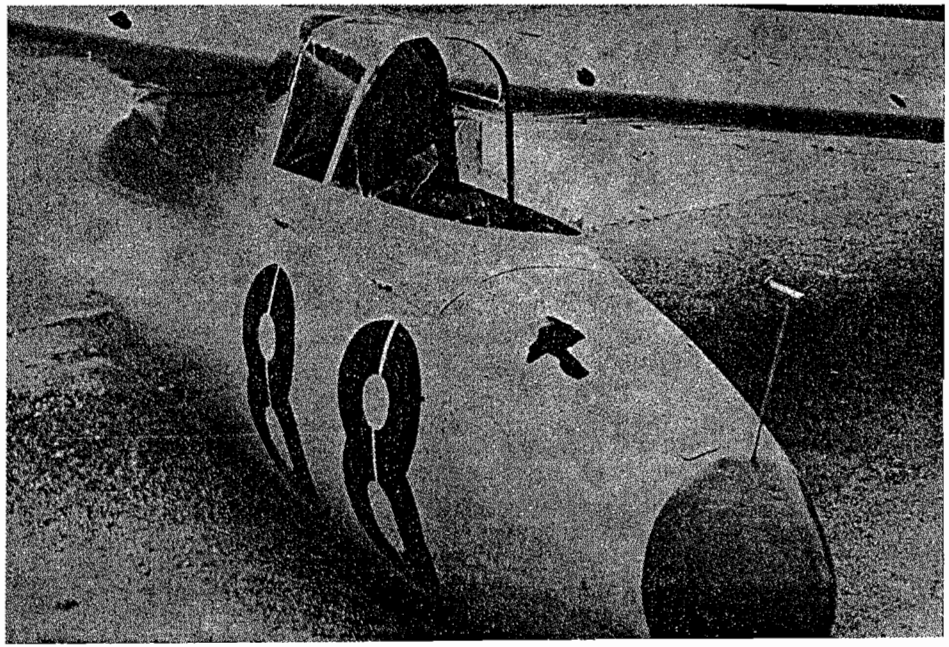
Kako izgleda letenje u slučaju naglog razvoja kumulonimbusa i kako se pri tom pilot oseća, ilustrovaćemo iskazom pilota-jedriličara inž. Srećka Pukla.

„Čim sam ušao u oblak (1000 m), dizanje je iznosilo oko 5 m/s, ali se za nekoliko sekundi naglo povećalo na 15 m/s i više (imao



Slika 61. — Izgled jedrilice oštećene gradom

[1]) Dati podaci se odnose na šire područje Vojvodine, i to za toplu polovinu godine.



Slika 62. — Izgled kabine oštećene gradom

sam osećaj kao da se dizanje nije postepeno povećavalo, nego da sam uleteo u neku već postojeću struju... Vreme nisam mogao da kontrolišem, jer mi ni nakraj pameti nije došlo da pogledam na sat, a kasnije sam primetio (na zemlji) da mi je izbačeno pleksi-staklo i velika kazaljka... Turbulencije, na moju sreću, nije bilo, bilo je samo jako vertikalno dizanje, koje me je pritiskivalo u sedištu, opet malo popuštalo i opet pritiskivalo... Na visini oko 2500 metara počelo je nešto da udara. Svakog momenta udaranje se povećavalo, dok nije nastala takva buka da sam imao osećaj da će se jedrilica rasprsnuti... Veličina grada koji mi je razbio staklo kabine bila je nešto veća od oraha, slična zrna grada video sam posle na zemlji, takvih zrna bilo je puno. Kad mi se razbila kabina, nekoliko sekundi bio sam malo ošamućen. Kad sam došao k sebi, čuo sam takvu buku (iako je i pre zviždalo i bubnjalo) da sam se skoro ponovo onesvestio... Bio sam ubeđen da se lomi jedrilica i tek posle nekoliko sekundi došao sam toliko k sebi da sam mogao ponovo da upravljam kočnicama, ali još uvek sam čekao da se jedrilica raspadne... Po licu i po rukama tukao me je grad tako dugo dok se nisam setio da se uvučem što dublje u kabinu. Kad je grad prestao bilo je još teže, činilo mi se da imam prerezano grlo. Vrlo teško sam disao. Svaki put kad sam povukao vazduh osećao sam da krčim. Zima je bila sve veća dok na visini oko 8000 m nije popustilo (bar meni se tako činilo, jer bolovi su popustili)... Kako to izgleda teško je opisati, u oblaku jako bubnja, čuju se neprijatni nesvakidašnji šumovi koji te plaše i oduzimaju prisebnost. Koliko je strašno toliko je i interesantno, ali želja je najveća da se što pre izađe iz oblaka."[1])



Slika 63. — Pilot-jedriličar inž. S. Pukl dan kasnije po pretrpljenom udesu

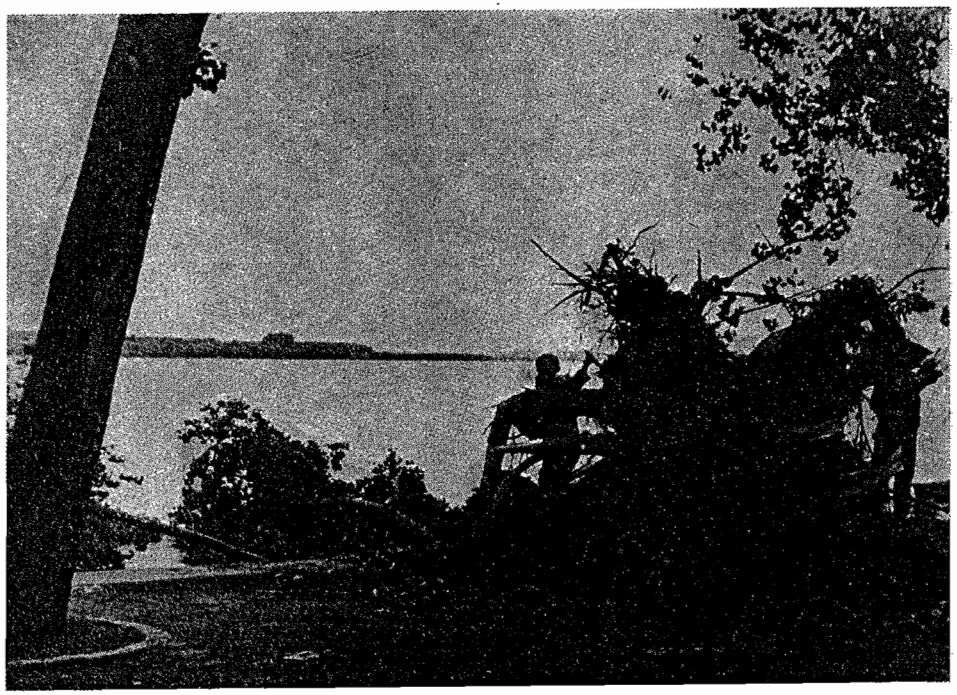
Vetar. — U meteorologiji vetar se smatra meteorološkom pojavom kad je intenzitet — brzina vetra jednaka ili veća od 6 bofora.

Vetar kao pojava ima izraženiji uticaj na rad jedriličarstva od vetra kao meteorološkog elementa. Na rad jedriličarskih ekipa čija je delatnost vezana za radove na tlu — aerodromu, vetar deluje u istom smislu kao i vetar — meteorološki elemenat, s tom razlikom što se njegovo korisno, odnosno štetno dejstvo više ispoljava. U izuzetnim slučajevima, kada mu je brzina vrlo velika ($V \geqq 20$ m/s), vetar može da izazove pomeranje, prevrtanje, razbijanje jedrilica na zemlji, kao i oštećenje pojedinih objekata na aerodromu i pored preduzetog obezbeđenja. U takvim slučajevima vetar može da ima vrlo veliku rušilačku snagu. Na slici 64 prikazana je topola koju je vetar sa korenom iščupao na zemunskom keju.

Kada je brzina vetra po unutrašnjoj strukturi rafalna, vetar može da onemogući poletanje, odnosno u slučaju sletanja da izazove udes jedrilice.

Kad postoje mala odstupanja smera i veliki porast brzine vetra sa porastom visine, u atmosferi se javljaju vertikalna kretanja. Takva se atmosfera naziva *dinamički nestabilna* i u njoj može da se jedri. Iznad istočnih predela Jugoslavije dinamički nestabilna atmosfera obično se javlja po severnom ili severozapadnom prodoru hladnog vazduha, i to u onom slučaju kada brzi-

[1]) Udes se desio 22. V 1964. godine na XII državnom prvenstvu u vazduhoplovnom jedriličarstvu.
U ovom radu prikazani su izvodi iz neobjavljenog pisma pilota autoru.



Slika 64. — Topola koju je vetar iščupao na zemunskom keju

na premeštanja fronta iznosi preko 55 km/h. Ove situacije omogućuju duže prelete (preko 500 km), i to od severnih granica naše države u pravcu juga — Grčke.

Isto tako, visinski vetar koji duva iznad planiskog zemljišta uslovljava, u odnosu na planinske prepreke, pojavu orografskih talasa, koji se, u zavisnosti od njihovog rasprostiranja po visini, koriste za visinske letove, odnosno u našim geografskim širinama za postavljanje nacionalnih i svetskih rekorda za visinu.

Turbulencija. — Bez obzira o kakvoj se prirodi turbulencije radilo, ona u većini slučajeva pozitivno deluje na jedrenje (svakako pri ovome treba imati na umu da sve vrste jedrilica ne mogu da izdrže ista ubrzanja koja se javljaju u turbulentnom vazduhu). Izuzetak čini jaka turbulencija kada se na nju naiđe u slučaju „horizontalnog leta" — planiranja, i u slučaju kada se jedrilice nalaze na zemlji pri jakoj oluji. U suštini, turbulencija predstavlja motornu — pokretačku snagu za jedriličarstvo, a u izuzetnim, retkim slučajevima kada se ne poštuju pravila, propisi i znanje — mač sa drugom oštricom.

Turbulentan vazduh uslovljava dizanje jedrilice, odnosno povećava ili slabi njeno propadanje. U horizontalnom letu — planiranju uslovljava *bacanje.* Pri bacanju nastaje preopterećenje jedrilice (n), a ono se izražava delovima ubrzanja sile teže (g=9,8 m/s²). Zavisnost intenziteta bacanja od preopterećenja izražava se na sledeći način:

Slabo bacanje od ±0,05 do ±0,2 g;
Umereno bacanje od ±0,2 do ±0,5 g;
Jako bacanje veće od ±05,

Magla. — Magla negativno utiče na jedrenje. Pre svega, ona onemogućava pojavu vertikalnih termičkih kretanja vazduha u nižim slojevima atmosfere. Kad je zadatkom postavljen prelet većeg rastojanja (početna visina leta dobija se jedrenjem na orografskom talasu), tada pojava magle na pojedinim melovima maršrute onemogućava osmatranje pilota.

Ako se magla pojavi u jutarnjim časovima u toploj polovini godine, tada ona u odnosu na vrstu kojoj pripada, može da koristi za prognozu vremena. Načelno, radijacione magle su predznak termički nestabilnog vremena, a adekvatne magle — termički stabilnog vremena sa padavinama.

Sumaglica. — Na rad jedriličarstva sumaglica deluje u istom smislu kao i magla, samo što je njen negativni uticaj manji.

Sumaglica se redovno pojavljuje u ranim jutarnjim časovima, kada je vazduh termički nestabilan u sloju od tla do 1—2 km.

Prema dizanju donje granice sumaglice (sa porastom visine sunca) moguće je odrediti visinu do koje je prodro termički nestabilan vazduh.

Ako za vreme toplog i vedrog dana u toploj polovini godine dođe do pojave sumaglice u podnevnim ili ranim poslepodnevnim časovima, tada vazduh od tla do gornje granice sumaglice postaje termički stabilan.

Čađavina. — Čađavina se češće pojavljuje oko industrijskih rejona. Njena prisutnost u atmosferi za vreme podnevnih i poslepodnevnih časova pokazuje pilotu-jedriličaru u vazduhu do koje se visine rasprostire termički nestabilan vazduh.

Prekidi u pojasu — liniji čađavine pokazuju iznad kojih predela se probio u visinu termički nestabilan vazduh. Na osnovu toga pilot-jedriličar može da pretpostavi da će nad tim predelima biti najduži efektivni termički dan.

Za maglu, sumaglicu i čađavinu vezana je pojava slabe vidljivosti, kako horizontalne tako i kose i vertikalne vidljivosti iz vazduha. Sa te strane, one negativno utiču na osmatranje pilota, a time i na vođenje navigacije.

Padavine. — Sve vrste padavina, dok traju, negativno utiču na rad jedriličarstva. Na zemlji vlaže nepokrivene jedrilice. U is-

tom smislu negativno utiču i na jedriličarsku opremu, kao i na teren aerodroma. One, takođe, ispoljavaju negativan uticaj i na one jedrilice koje su pokrivene ili se nalaze u hangaru. To se odražava na taj način što je vazduh pri pojavi padavina zasićen vodenom parom (100%), a takav vazduh korodirno deluje na metalne delove jedrilica, na čvrstoću nekih lepila, boja i lakova.

Padavine u vazduhu negativno utiču na letenje, s tim što kvase spoljne delove jedrilice i time joj smanjuju aerodinamičke osobine.

Pri letenju kroz padavine većeg intenziteta, jedrilica propada znatno više no što je to slučaj u mirnom vazduhu bez padavina. Isto tako, ograničena je mogućnost osmatranja pilota zbog smanjenja vidljivosti.

Padavine koje se javljaju u čvrstom obliku (grad) mogu da izazovu i znatnija oštećenja jedrilice.

Pljuskovite padavine koje padnu u prepodnevnim ili kasnim noćnim časovima, posle izuzetno toplih dana u toploj polovini godine, mogu da posluže kao predznak da će se nestabilan karakter vremena produžiti na naredni dan.

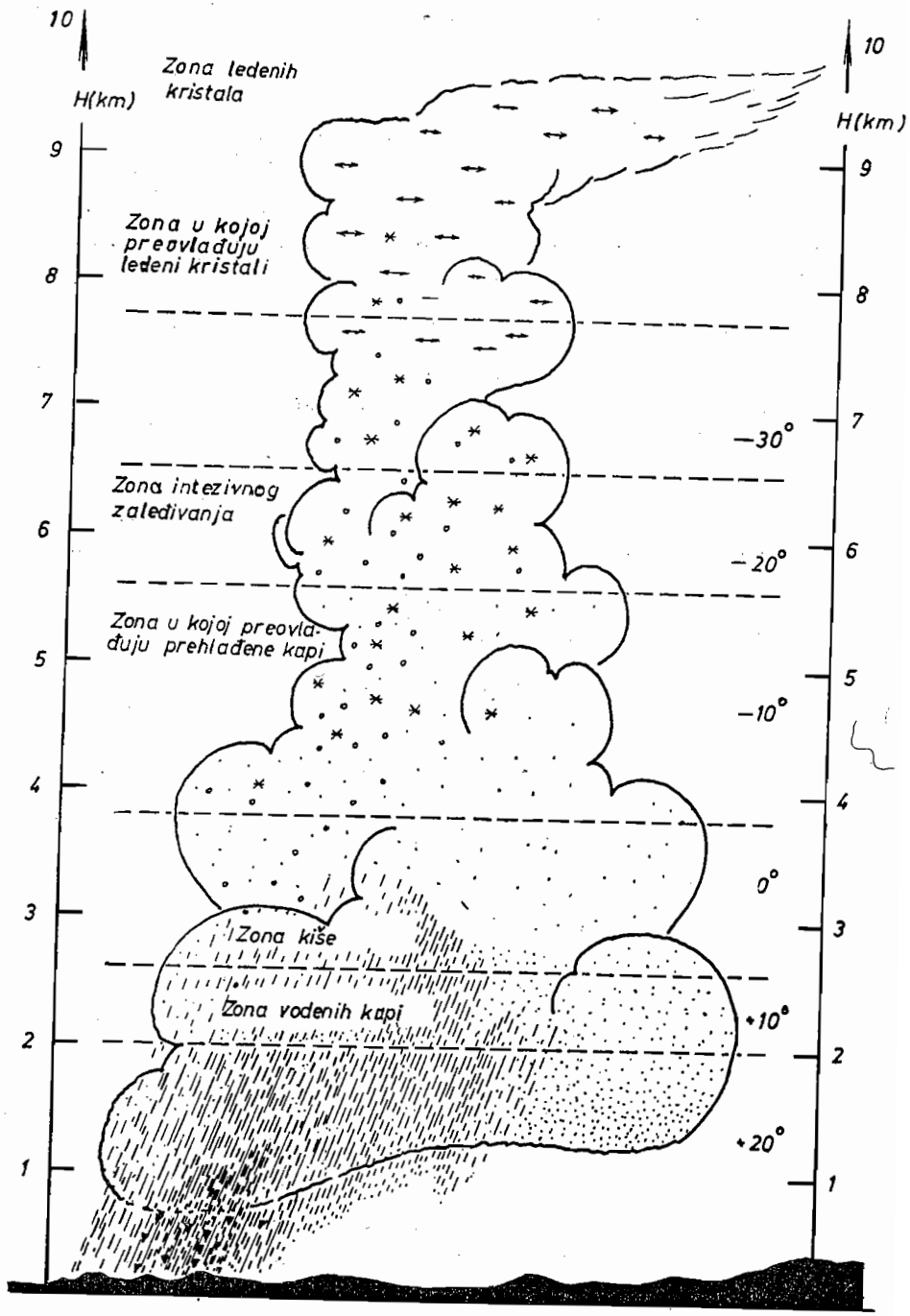
Neprekidne padavine ujednačenog intenziteta onemogućavaju jedrenje. U toku leta u Sloveniji mogu da traju neprekidno i do 2 dana, u centralnoj Bosni 1 dan, a u ostalim predelima manje od 1 dan.

Zaleđivanje. — Stvaranje leda na jedrilici obično se dešava onda kada se leti u vazduhu čija temperatura iznosi od 0° do −10°, a relativna vlažnost više od 95%. Pri jedrenju iznad 4000 m, odnosno 5000 m, zaleđivanje može da se pojavi i na temperaturi od −20° do −25°, a neki put i na nižoj. Najčešći slučaj zaleđivanja jedrilice javlja se kada se jedri — „buši" kumuluskongestus ili kumulonimbus, ili kada se leti na talasima na visinama iznad 3000 m.

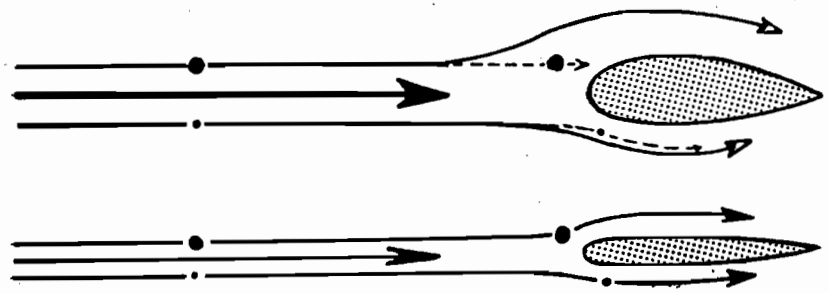
Zaleđivanje jedrilice, bez obzira u kojem se vidu pojavilo, štetno utiče na let. Osnovna opasnost je u tome što jedrilica sa postepenim narastanjem ledenih naslaga pogoršava svoje aerodinamičke osobine. To se ogleda u tome što se led na jedrilici obično pojavljuje na napadnim površinama i time povećava otpor.

Primetno pogoršanje aerodinamičkih osobina jedrilice nastaje onda kada je debljina leda na napadnim ivicama znatna, a pri vrlo velikoj debljini leda može da dođe i do razaranja pojedinih delova jedrilice. U ovim slučajevima ne može da se koristi dijagram polare jedrilice.

Pored toga, zaleđivanje može negativno da utiče i na rad jedriličarskih instrumenata. Na primer, zaleđivanje pito-cevi dovodi do prestanka rada brzinomera i visinomera, stvaranja leda na anteni — pogoršava rad radio-instrumenata, dok zaleđivanje stakla kabine pogoršava osmatranje pilota, itd.



Slika 65. — Struktura kumulonimbusa u odnosu na fizičko stanje vode u njemu



Slika 66. — Uslovi taloženja vodenih kapi razne veličine na površinu krila

Stvaranje leda na jedrilici može da se pojavi i pri letu u vazduhu koji sadrži prehlađene vodene kapi. Takav slučaj redovno se pojavljuje kada se jedri — „buši" kumulonimbus. Na slici 65 prikazana je struktura kumulonimbusa u odnosu na fizičko stanje vode u njemu.

Intenzivno zaleđivanje jedrilice. — Pri stvaranju leda na jedrilici najveći uticaj na letenje ima brzina narastanja ledene naslage na površinama jedrilice (intenzitet zaleđivanja izražava se u mm/minut). Intenzitet zaleđivanja kreće se od nekoliko stotih delova milimetra do nekoliko milimetara u minuti, a u izuzetnim situacijama i preko 20 mm/minut.

Intenzitet zaleđivanja zavisi od tipa jedrilice, tj. od aerodinamičkih osobina onih površina na kojima se stvara led i od brzine leta. Da bismo videli kakav intenzitet zaleđivanja možemo susresti u letu u zavisnosti od veličine vodene kapi, razmotrićemo sledeći primer.

Pretpostavimo da se u vazduhu koji opstrujava krilo jedrilice nalaze dve vodene kapi različitih veličina (sl. 66). U neposrednoj blizini krila (ispred), na vodene kapi dejstvovaće sila inercije, koja teži da uputi kapi u pravcu prvobitnog kretanja, i sila otpora vazdušne struje, koja teži da vrati kapi na putanju vazdušnih čestica koje optiču krilo. U ovom slučaju na veću kap delovaće veća sila inercije, zbog toga možemo da pretpostavimo da će se ona kretati po trajektoriji, koja je slična pravoj liniji. Iz ovoga primera konstatujemo:

— ukoliko su veće vodene kapi u oblaku i ukoliko je veća brzina jedrilice, utoliko će se brže taložiti led na jedrilici;
— ukoliko su vodene kapi manje, i ukoliko je manja brzina jedrilice, utoliko će vodene kapi više opstrujavati jedrilicu, i
— ukoliko su poprečni preseci profila krila jedrilice deblji, taloži se veća količina leda.

Bez obzira na velike uspehe u usavršavanju tehničkih i hemijskih sredstava u borbi protiv zaleđivanja letelica, zaleđivanje još uvek predstavlja jednu od najopasnijih meteoroloških pojava za vazduhoplovstvo.

VAZDUŠNE MASE, ATMOSFERSKI FRONTOVI, CIKLONI I ANTICIKLONI

U ovoj glavi razmatraju se osnovne zakonitosti razvoja atmosferskih procesa i poremećaja, uslovljenih različitim uticajem podloge i vremenskim promenama karaktera vremena od jedne ka drugoj oblasti.

VAZDUŠNE MASE U TROPOSFERI

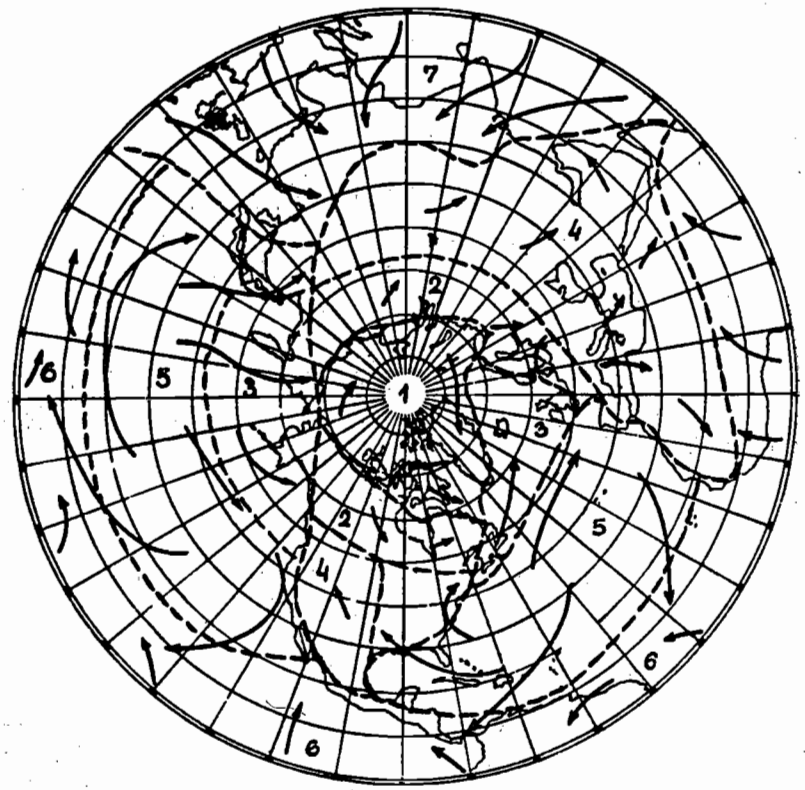
Vazdušna masa u troposferi je neka određena količina vazduha koja ima opšte osobine, tj. dovoljnu jednorodnost ili neprekidnost u raspodeli osnovnih meteoroloških elemenata u horizontalnom pravcu. Vazdušne mase mogu da se premeštaju kao jedna celina sa osnovnim strujanjima cirkulacije vazduha ili da se duže zadržavaju u jednim istim predelima: najčešće u stabilnim oblastima visokog pritiska — anticiklonima. Horizontalne razmene vazdušnih masa su veličine reda kontinenata ili okeana, a u vertikalnom pravcu rasprostiru se od 1 do 2 km do nivoa tropopouze, a u izuzetnim slučajevima zahvataju i niže slojeve stratosfere.

KLASIFIKACIJA VAZDUŠNIH MASA

Klasifikacija vazdušnih masa u osnovi se temelji na dva principa. Po prvom, vazdušne mase delimo prema njihovom **toplotnom stanju,** a po drugom prema **geografskom položaju stvaranja** (formiranja) ili po **geografskom poreklu.**

Prema toplotnom stanju vazdušne mase delimo na *tople* i *hladne.* Toplom vazdušnom masom nazivamo onu vazdušnu masu koja se iz toplih predela premešta u hladnije, i suprotno — hladnom onu koja se premešta iz hladnih u toplije predele.

U svom premeštanju na hladnu podlogu topla masa se hladi odozdo, zbog toga se u njoj javljaju mali vertikalni gradijenti



Slika 67. — Izvorišne oblasti vazdušnih masa na severnoj hemisferi leti: 1 — arktički; 2 — kontinentalni polarni; 3 — morski polarni; 4 — kontinentalni tropski; 5 — morski tropski; 6 — ekvatorijalni; 7 — monsunski.

temperature, tj. dolazi do stabilizacije u njenim nižim slojevima. Uslovi za termičku konvekciju su nepovoljni, a kondenzacija vodene pare uglavnom se vrši pri površini tla — u vidu magle, ili ispod sloja inverzije — u obliku slojaste oblačnosti, a u izuzetnim prilikama — u obliku slojasto-gomilaste oblačnosti.

Hladna masa se zagreva odozdo i zbog toga se u nižim slojevima atmosfere stvaraju veliki vertikalni gradijenti temperature. Zbog toga se javlja termička nestabilnost vazduha, bar u donjih nekoliko kilometara. Ovo stanje omogućava razvoj intenzivne konvekcije sa obrazovanjem Cu, Cu con, a u pojedinim slučajevima i Cb. Padavine imaju karakter pljuskova, a ponekad su praćene i grmljavinom.

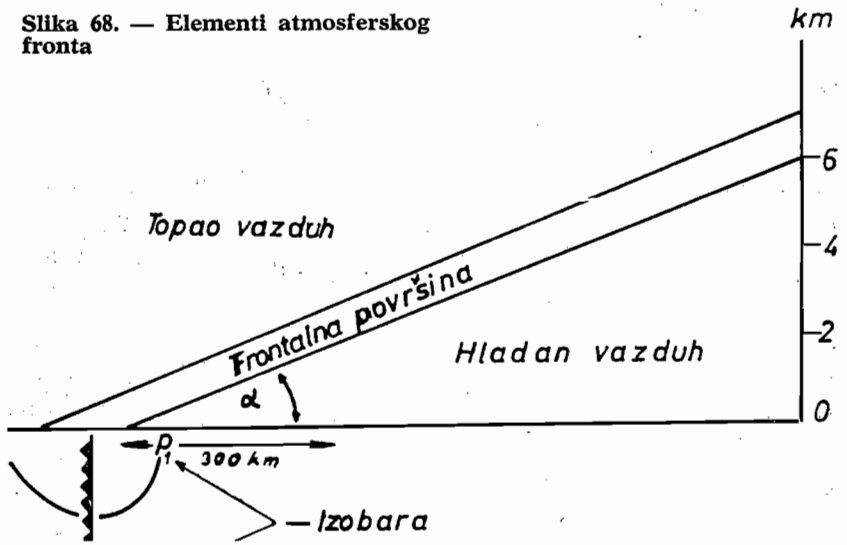
Prema geografskom poreklu vazdušne mase se dele na: *arktičke, polarne, tropske* i *ekvatorijalne.* U odnosu na fizičko stanje podloge, tj. da li se na datim širinama vazduh nalazi nad morem ili kopnom, svaka od navedenih vazdušnih masa može biti *morska* ili *kontinentalna.* Između navedenih vazdušnih masa mogu da se jave *prelazne vazdušne mase.* S obzirom na svoje karakteristike one ne mogu da se svrstaju ni u jednu pomenutu vazdušnu masu. Isto tako, nad pojedinim relativno manjim predelima povremeno se stvaraju određene mase sa specifičnim osobinama, kao što je mediteranski vazduh, monsunski i dr. (sl. 67).

Vazdušne mase se stalno nanovo formiraju i gube svoja individualna obeležja — karakteristike. Pri premeštanju u druge geografske predele, one menjaju svoja karakteristična stanja, temperaturu, sadržinu vodene pare, vidljivost itd., transformiraju se i ponovo formiraju. Zbog toga one neprekidno menjaju izgled vremena, a u dužim vremenskim intervalima i klimu.

ATMOSFERSKI FRONTOVI

Atmosferski front predstavlja prelaznu zonu ili graničnu površinu između dve vazdušne mase. Granična površina nagnuta je u prostoru od toplog ka hladnom vazduhu. Veličina nagiba frontalne površine u odnosu na površinu zemlje meri se tangensom ugla i on iznosi od 1/50 do 1/300. Frontalnu površinu karakteriše skok — diskontinuitet meteoroloških elemenata i nagla promena izgleda vremena pri prelazu iz jedne vazdušne mase u drugu. Frontalna površina počinje od površine zemlje i rasprostire se do one visine gde ne postoji uočljiva razlika između dve vazdušne mase.

Slika 68. — Elementi atmosferskog fronta



Obično, izraženiji frontovi dopiru do nivoa tropopauze. Linija preseka frontalne površine sa površinom zemlje naziva se *linija fronta* ili kraće *front* (sl. 68).

U zavisnosti od toga kakva vazdušna masa smenjuje drugu, topla hladnu ili hladna toplu, frontove delimo na tople i hladne (glavni frontovi).

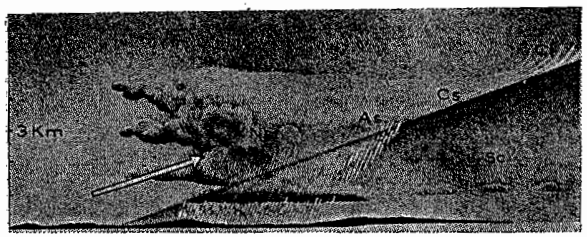
Toplim frontom nazivamo front ako se topla vazdušna masa premešta u stranu hladne vazdušne mase. Pri tome se hladan vazduh povlači i ustupa mesto toplijem. Ovi frontovi donose otopljenje.

Hladnim frontom nazivamo front kad se hladna vazdušna masa premešta u stranu toplije vazdušne mase. Pri tome se topao vazduh povlači ili izvlači — uzdiže na visine, a hladan vazduh ga zamenjuje. Ovi frontovi donose zahlađenje.

U troposferi se javljaju i složeni frontovi ili *frontovi okluzije.* Front okluzije obično se obrazuje u centralnim delovima ciklona kad se brže premešta hladni nego topli front i podvlačenjem hladnog vazduha pod topli; u ovom slučaju takav front se naziva *okluzija po tipu hladnog fronta.* U suprotnom slučaju imamo *okluziju po tipu toplog fronta,* tj. kada je hladan vazduh u zadnjem delu ciklona relativno topliji od hladnog vazduha ispred toplog fronta.

U jednoj istoj vazdušnoj masi može da se javi diskontinuitet u meteorološkim elementima i u tom slučaju tu liniju nazivamo *sekundarnim frontom.* Ovi se frontovi obično stvaraju u pozadini glavnog hladnog fronta.

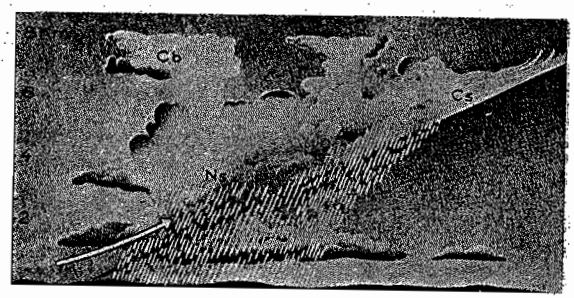
Topli front — kod toplog fronta postoji uzlazno kretanje toplog vazduha iznad hladnog. Kao posledica toga javlja se kondenzacija vodene pare, a s tim u vezi dolazi i do obrazovanja oblačnog



Slika 69. — Shema frontalne oblačnosti toplog fronta sa stalibnim toplim vazduhom

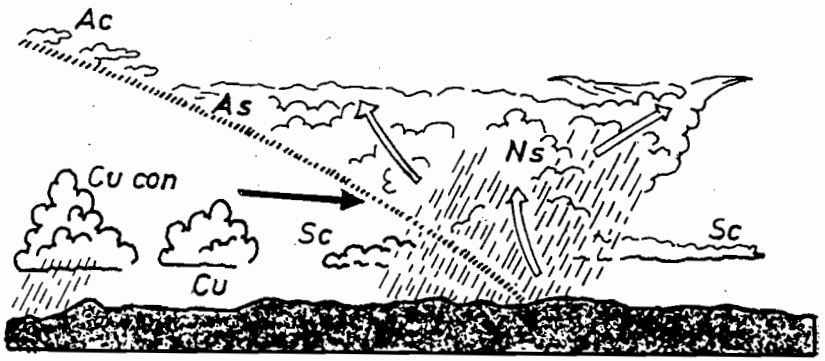
sistema duž frontalne površine. Kada je topla vazdušna masa stabilna, tada se obrazuje sistem oblačnosti prikazan na slici 69. U suprotnom slučaju, kada je topao vazduh nestabilan, obrazuje se sistem oblačnosti prikazan na slici 70.

Slika 70. — Shema frontalne oblačnosti toplog fronta sa nestabilnim toplim vazduhom



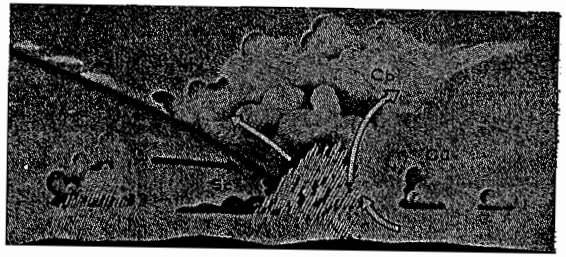
Hladni front — u odnosu na brzinu premeštanja razlikujemo hladni front prvog roda — sporo se premešta ili je usporen, i hladni front drugog roda — brzo se premešta ili se ubrzava.

Topao vazduh koji leži u nižim slojevima atmosfere ispred hladnog fronta prinudno se uzdiže naviše, jer ga potiskuje „klin" hladnog vazduha. U vezi s tim, ako je topao vazduh stabilan, obrazuje se frontalna oblačnost prikazana na slici 71; u suprotnom slučaju, sa nestabilnim toplim vazduhom — oblačnost prikazana na slici 72.

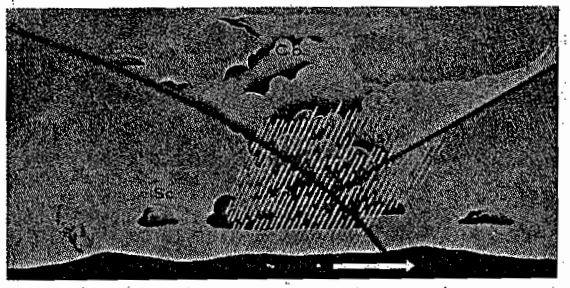


Slika 71 — Shema frontalne oblačnosti hladnog fronta prvog reda sa stabilnim toplim vazduhom

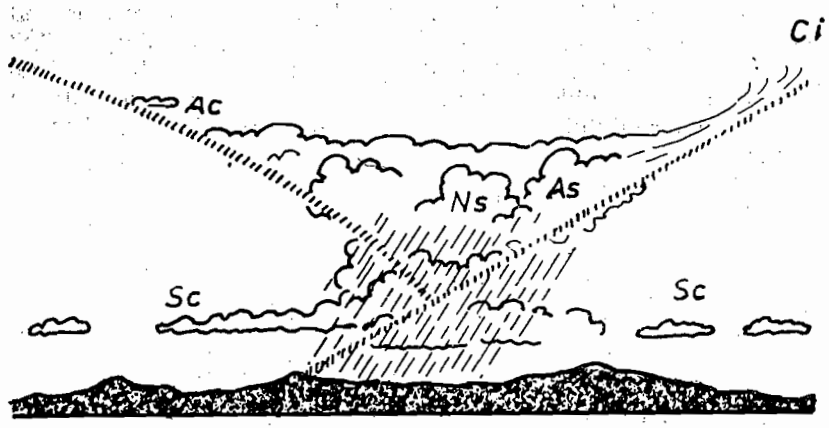
Slika 72. — Shema frontalne oblačnosti hladnog fronta drugog roda sa nestabilnim toplim vazduhom



Front okluzije — sistem oblačnosti okluzije po tipu hladnog fronta prikazan je na slici 73, a okluzije po tipu toplog fronta na slici 74. Sa njih se vidi da je vazdušna masa na visini nestabilnija



Slika 73. — Shema frontalne oblačnosti pri okluziji po tipu hladnog fronta



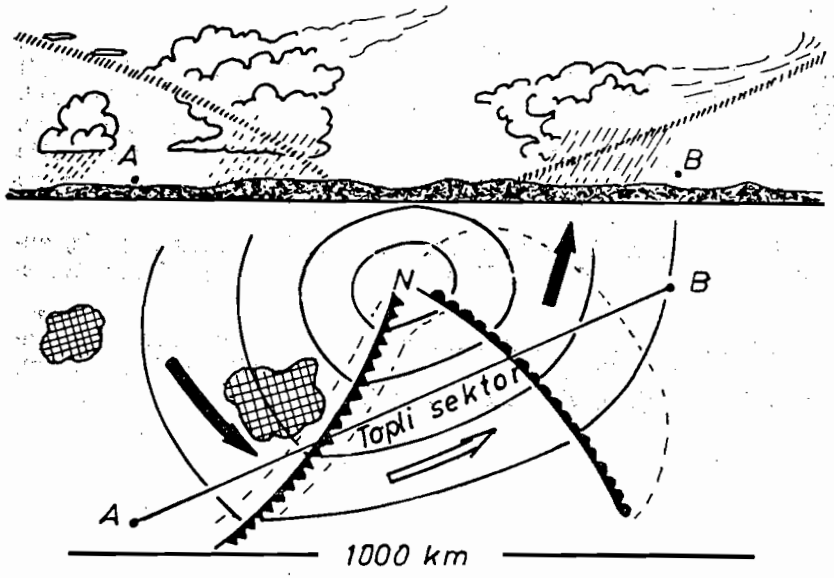
Slika 74. — Shema frontalne oblačnosti pri okluziji po tipu toplog fronta

u slučaju okluzije po tipu hladnog fronta. U ovom slučaju Cb su zamaskirani slojastom i slojasto-gomilastom oblačnošću, stoga ih nije moguće uočiti pri letenju na manjim visinama, a u izuzetnim slučajevima ni pri letenju na srednjim visinama troposfere (4—6 km).

CIKLONI I ANTICIKLONI

Prisustvo barskih sistema u atmosferi prouzrokovano je neravnomernošću u raspodeli vazdušnog pritiska, zbog čega se izobarske površine presecaju sa nivoima iste visine i stvaraju sisteme sa zatvorenim, kružnim izobarama. Ovi sistemi, u odnosu na vrednost vazdušnog pritiska u njihovom centru, tj. u odnosu na izgled izobarskih površina, mogu da budu ispupčeni ili ugnuti. U prvom slučaju barski sistem sa ispupčenim izobarama i sa strujanjem vazduha u smeru obrtanja kazaljke na satu nazivamo *anticiklonom*, a u drugom slučaju sa udubljenim izobarama i strujanjem vazduha u suprotnom smeru obrtanja kazaljke na satu nazivamo *ciklonom*.

Razmere ciklona i anticiklona mogu da budu vrlo različite, što zavisi od stadijuma njihovog razvoja i od atmosferskih poremećaja. U umerenim širinama prečnik jako razvijenog ciklona iznosi oko 1000 km, a anticiklona oko 2000 km. Njihova brzina premeštanja varira u vrlo velikim granicama od 0 pa do 80—100 km/h, a nekad i više. Nad kontinentom Evrope prosečno se premeštaju brzinom od 30 do 45 km/h, a nad Atlantikom nešto brže.



Slika 75. — Shema oblačnosti frontalnih sistema kroz poprečni presek jako razvijenog ciklona

U načelu, ciklonski poremećaji uslovljavaju loše vreme sa znatnom oblačnošću i padavinama, a anticiklonski — lepo vreme. Nad predelima gde se atmosferski poremećaji brzo smenjuju, cikloni sa anticiklonima, vremenske prilike su promenljive i preovladava nestabilna oblačnost (sl. 75).

Obrazovanje ciklona, kao i anticiklona, u uskoj je vezi sa jačanjem, odnosno slabljenjem temperaturnih kontrasta u troposferi između glavnih frontalnih zona. Kad temperaturni gradijenti jačaju, frontalna zona postaje izraženija i na njoj dolazi do formiranja talasa. Daljim razvijanjem talasa vazdušne mase dobijaju sve veće ubrzanje cirkulacije, i to tako da je hladan vazduh usmeren u pravcu toplog, a topli u pravcu hladnog. U momentu kad strujanje vazduha dobije potpuno kružan izgled, dolazi do zatvaranja prve izobare i tada se formira *mlad ciklon.* Ovo je ujedno i prvi stadijum obrazovanja ciklona.

U drugom stadijumu, ciklon pri površini zemlje predstavljen je većim brojem zatvorenih izobara, a pritisak u njegovom centru dostiže najmanju vrednost. Ovaj stadijum nazivamo *stadijumom maksimalnog razvoja ciklona.*

Odumiranje ciklona uslovljeno je obrazovanjem fronta okluzije, tj. potiskivanjem toplog vazduha na više visine. Ovaj proces u evoluciji ciklona naziva se *trećim stadijumom* ili *stadijumom odumiranje.*

Anticiklon se, po pravilu, obrazuje u hladnoj vazdušnoj masi, u pozadini hladnog fronta, odnosno u zadnjem delu ciklona koji se popunjava, okluduje. U *prvom stadijumu* anticiklon je predstavljen u vidu grebena visokog pritiska bez zatvorene izobare. Nailaskom toplog vazduha na visini pritisak u grebenu sve više raste i jačanjem njegovog intenziteta dolazi do zatvaranja prve izobare.

U *drugom stadijumu — stadijumu maksimalnog razvoja,* anticiklon je pri površini zemlje predstavljen većim brojem zatvorenih izobara.

Treći stadijum — stadijum starog anticiklona uslovljen je padom barometarskih tendencija u području anticiklona i nailaskom, kao i formiranjem, visoke oblačnosti.

KRATAK REČNIK METEOROLOŠKIH TERMINA I ZNAČENJA

A

ADIJABATA — kriva koja pokazuje vezu između dve karakteristične veličine gasa pri adijibatskom procesu. U fizici to je obično pritisak i specifična zapremina gasa, a u meteorologiji — pritisak i temperatura vazduha *(V. suva, vlažna i kondenzaciona adijabata).*

ADIJABATSKI DIJAGRAM — dijagram sa pravougaonim ili kosougaonim koordinatnim osama. U meteorologiji (aerologiji) najčešće se za koordinate uzima temperatura i logaritam pritiska (aT, — bln p), ili logaritam temperature i logaritam pritiska (a ln T, — b ln p). A.D. sadrži suve i vlažne adijabate, krive specifične vlažnosti i druge veličine. Na A.D. se ucrtavaju radio-sondažni podaci i po njima se grafičkim putem određuju karakteristične veličine vazduha, kao što su: potencijalna temperatura suvog i vlažnog vazduha, tačka rose, relativna vlaga, stvarni i uslovni nivo kondenzacije, stabilnost atmosfere itd. U aerologiji najčešće se upotrebljava emagram (aT, — b ln p).

ADIJABATSKI GRADIJENT TEMPERATURE — individualna promena temperature vazduha (adijabatska — bez razmene toplote) u vertikalnom pravcu. A.G.T. u suvom i nezasićenom vazduhu vodenom parom iznosi 1° na 100 m (γ_a — suvoadijabatski gradijent temperature), a u vlažnom vazduhu (nije konstantan) znatno je manji od γ_a i zavisi od oslobađanja toplote kondenzacije pri dizanju vazduha.

ADIJABATSKI PROCESI — procesi koji se odigravaju bez dobitka i gubitka toplote. U atmosferi idealni A.P. ne postoje, a pri vertikalnim kretanjima približno su zadovoljeni.

ADVEKCIJA — 1) prenos vazduha u horizontalnom pravcu (suprotno konvekciji); 2) prenos određenih svojstava vazduha u horizontalnom pravcu (toplote, hladnoće, vlage, gustine, pritiska, nestabilnosti, stabilnosti, magle, itd.).

ADVEKCIJA TEMPERATURE — isto kao i prenos toplote *(V. advekcija).*

ADVEKTIVNA GRMLJAVINA — grmljavina uslovljena advekcijom nestabilnog vazduha. *(V. advekcija).*

ADVEKTIVNA PROMENA TEMPERATURE — lokalna promena temperature uslovljena advekcijom hladnijeg ili toplijeg vazduha.

AEROLOGIJA — grana meteorologije koja se bavi ispitivanjima fizičkih i hemijskih osobina vazduha u slobodnoj atmosferi.

AEROLOŠKE KARTE — karte na kojima se obrađuju podaci koji se odnose na visoke slojeve atmosfere ili na podatke iz slobodne atmosfere *(V. visinske karte).*

AEROLOŠKI DIJAGRAM (V. *adijabatski dijagram).*

AEROSOLI — koloidne čvrste i tečne čestice reda veličine 10^{-6}—10^{-4} cm. Atmosferski vazduh javlja se kao A, jer se u njemu sadrže joni, jezgra kondenzacije, prašina, elementi oblaka i padavina, itd.

AKCELEROMETAR — instrument za merenje ubrzanja.

ALTOKUMULUS (Ac) — međunarodni naziv za gomilasto-slojaste oblake srednjeg kata — sprata.

ALTOSTRATUS (As) — međunarodni naziv za slojaste oblake srednjeg kata — sprata.

AMPLITUDA — 1) kolebanje talasa u fizici; najveća udaljenja periodične promenljive veličine $X=X_0 \sin \omega t$ od ravnotežnog položaja; 2) u meteorologiji razlika između maksimuma i minimuma periodično promenljivog meteorološkog elementa sa vremenom (u toku dana, godine, dugogodišnjeg niza, itd.).

ANABATSKI VETAR — vetar koji ima izraženu uzlaznu komponentu strujanja zbog orografske prepreke ili frontalne površine u slobodnoj atmosferi. Na primer, dolinski vetar, strujanje toplog vazduha uz klin hladnog vazduha. A.V. je suprotan *katabatskom vetru.*

ANAFRONT — front sa uzlaznim strujanjem toplog vazduha nad frontalnom površinom premeštajućeg toplog fronta. Pri hladnom frontu ulazna strujanja se javljaju ispod frontalne površine.

ANALIZA — u sinoptičkoj meteorolgiji analiza sinoptičkih karata, a na osnovu njih se izvodi *kompleksna analiza* sinoptičke situacije i vremena.

ANALIZA EMAGRAMA — utvrđivanje stanja pojedinih karakterističnih fizičkih veličina vazduha na osnovu ucrtanih i obrađenih podataka radio-sondaže.

ANEMOGRAF — instrument koji neprekidno registruje na anemografskoj traci (dijagram) brzine vetra, a kod nekih A. i smer vetra.

ANEROID — instrument za merenje atmosferskog pritiska. Služi i kao *visinomer;* umesto skale pritiska ima skalu visine.

ANTICIKLON — barska tvorevina povišenog atmosferskog pritiska sa premeštanjem vazduha u pravcu kretanja kazaljke na satu (na severnoj hemisferi). Površina A. je reda veličine kontinenta ili okeana, a po visini može da se rasprostire i do srednjih visina stratosfere. Prema svom postanku A. se dele na *termičke* i *dinamičke;* prema površini koju zauzimaju na A. *velikih razmera* i *lokalne;* po vremenu trajanja na *stalne* i *promenljive* i po brzini premeštanja na *slabopokretne* i *brzopokretne.*

ANTICIKLONSKA KRIVINA IZOBARE (IZOHIPSE) — krivina izobare koja je udubljena, odnosno ispupčena u stranu povećanog, odnosno sniženog pritiska, a smer joj je anticiklonski.

ANTICIKLONSKA INVERZIJA — inverzija temperature u anticiklonu. Deli se na *prizemne radijacije inverzije* i *inverzije supstidencije* (spuštanja, taloženja). Veći broj pojava inverzije u atmosferi pripada A.I *(V. inverzija temperature).*

ANTIPASAT — zapadna vazdušna struja u višim slojevima troposfere u tropskim oblastima, iznad pasata.

APSOLUTNA NESTABILNOST — termičko stanje atmosfere pri kojem je vertikalni gradijent temperature veći od suvoadijabatskog *(apsolutno suvonestabilna atmosfera;* $\gamma > \gamma_a$), odnosno od vlažnoadijabatskog (apsolutno vlažnonestabilna atmosfera; $\gamma > \gamma_a > \gamma_v$).

APSOLUTNA STABILNOST — suprotno apsolutnoj nestabilnosti. Za apsolutnu suvostabilnu atmosferu je $\gamma_a > \gamma$, a za apsolutnu vlažnostabilno atmosferu je $\gamma < \gamma_v < \gamma_a$ *(V. apsolutna nestabilnost).*

APSOLUTNA TOPOGRAFIJA (AT) — u geografiji visina terena predstavljena izohipsama (linije iste nadmorske visine). U meteorologiji, visina izobarske površine predstavljena izohipsama — linijama iste dinamičke visine. U sinoptičkoj meteorologiji A.T. naziva se *barska topografija,* a karte na kojima se prikazuje — *karte apsolutne barske topografije.*

APSOLUTNA VISINA — visina (mesta, živinog barometra, letelice, izobarske površine, itd.) nad nivoom mora.

APSOLUTNA VLAŽNOST — veličina stanja vlažnog vazduha. Količina vodene pare u gramima u jedinici zapremine (1 m^3) vazduha. Na meteorološkim stanicama određuje se meteorološkim tablicama — *psihrometarske tablice.*

ARKTIČKI FRONT — front između arktičkog i polarnog vazduha na severnoj hemisferi.

ASTRONOMSKI SUTON — kada se sunce nalazi 18° ispod horizonta, a u pojedinim slučajevima i pri manjem uglu od 18° (do 16°). Vreme trajanja A.S. zavisno je od geografske širine i doba godine; na ekvatoru iznosi 1 h i 16′ u januaru i junu 1 h i 10′, na 50° geografske širine — 1 h i 50′ u oktobru, a 2 h i 1′ u januaru *(V. sumrak).*

ATMOSFERSKI ELEKTRICITET — sveukupna električna javljanja u atmosferi: električno polje atmosfere, pojava jonizacije, električna provodljivost vazduha, električna jezgra u oblaku i padavinama, električni tok — struja, polarna svetlost, itd.

ATMOSFERSKI PRITISAK — vazduh koji se nalazi u bilo kojoj tački atmosfere izložen je pritisku viših slojeva atmosfere (od posmatrane tačke do gornje granice atmosfere), a on, kao i vazduh ispod i iznad njega, vrši pritisak na okružujuću masu vazduha nad neposrednom površinom zemlje, ili na površinu mora, odnosno na sve predmete na zemlji. U meteorologiji A.P. se izražava u *milimetrima* visine živinog stuba (mm Hg) ili u *milibarima* (bm) i *inčama* (in); u fizici: *atmosferom* (Atm) i u tehnici: tehničkom atmosferom (at). Atmosferski pritisak na površini mora iznosi prosečno 760 mm Hg, a to odgovara „normalnom" pritisku.

ATMOSFERSKI TALASI — talasi različitih osobina i postanka:

— *zvučni talasi,* dužine reda veličine centimetara i metara;

— *kratki talasi* na graničnim površinama; često se javljaju na površini anticiklonske inverzije; uslovljeni su promenom gustine vazduha i brzinom vetra; dužine — od 10 do 10^2 m;

— *ciklonski talasi,* javljaju se na graničnim površinama glavnih frontova; dužina im iznosi 10^2—10^3 km;

— *talasi većih dužina* (nekoliko hiljada kilometara), u vezi su sa promenom polja pritiska na većem prostoru (kontinenta, okeana);

— *talasi na vrhu tropopauze* povezani sa ciklonskim talasima; u pojedinim slučajevima su samostalni;

— *gravitacioni talasi;*

— *seizmički talasi* (na primer: A.T. uslovljen padom većeg meteorita).

AUTOMATSKA STANICA — stanica koja automatski registruje vrednosti meteoroloških elemenata i periodično ih predaje radio-putem u etar.

AZORSKI ANTICIKLON — prema srednjoj karti pritiska rasprostire se u tropskim širinama severnog Atlantika, sa centrom u blizini 35° geografske širine, nedaleko od Azorskih ostrva, po kojima je i dobio ime. Zimi pruža greben na severnu Afriku, a leti na Sredozemno more i južnu Evropu. Pritisak u centru, zimi (januar),

iznosi oko 1022 mb, a leti (juli) oko 1025 mb. Njegovim posredstvom — cirkulacijom morski tropski vazduh prenosi se nad Evropu. U toku leta ometa ili sprečava — blokira prodore hladnog vazduha ka srednjoj i južnoj Evropi. Po postanku je dinamički, a po vremenu trajanja stalan — preovlađujući.

B

BACANJE — označava „podrhtavanje" letelice u letu, slično drmusanju kola pri vožnji po turskoj kaldrmi, uslovljeno turbulentnim kretanjem vazduha. B. se meri u jedinicama sile teže ($g = 9{,}8\ m/s^2$).

BAROMETAR — instrument za merenje atmosferskog pritiska. Postoji više vrsta konstrukcija; sa tečnošću — živin B, metalni B — aneroid, gasni B i termobarometri. Barometri koji neprekidno registruju vrednost pritiska nazivaju se *barografi.*

BAROMETARSKA TENDENCIJA — lokalna promena pritiska u jedinici vremena. U sinoptici se za jedinicu vremena uzima 3 h; u depešama — telegramima, šifruje se njen intenzitet i oblik krive sa barografa.

BARSKA TOPOGRAFIJA — predstavljanje visine izobarskih površina. Razlikujemo apsolutnu i relativnu B.T. *(V. visinske karte).*

BARSKI GRADIJENT — ($-\nabla p$) — vektor koji pokazuje promenu atmosferskog pritiska u prostoru. Horizontalna komponenta određuje se padom pritiska u milibarima na rastojanju od 1^0 meridijana ili 1^0 geografske širine na ekvatoru, tj. oko 111 km, dok se vertikalna komponenta obično izražava njoj suprotnom veličinom, tj — *barskim stepenom* (m/mb).

BARSKI SISTEMI — oblasti u atmosferi sa karakterističnom raspodelom atmosferskog pritiska, izgledom barskog polja, oblikom raspodele pritiska. U osnovi se dele na oblasti *povišenog* i *sniženog* pritiska. Razlikujemo B.S. sa neprekidnim — zatvorenim i nezatvorenim izobarama. Oblast sa zatvorenim izobarama — *ciklon* i *anticiklon;* sa nezatvorenim izobarama — *dolina* i *greben.* U zatvorene B.S. spada i *sekundarni ciklon* i *ogranak anticiklona,* a u nezatvorene *sedlovine* i *pravolinijske izobare.*

BARSKI ZAKON VETRA — veza između vetra i horizontalne raspodele atmosferskog pritiska. Glasi: smer vetra pri površini zemlje otklonjen je udesno od barskog gradijenta na severnoj hemisferi (na južnoj ulevo), pri čemu ugao otklona sa porastom visine raste i u slobodnoj atmosferi približno je jednak uglu od 90^0.

BARSKO POLJE — prostorna raspodela atmosferskog pritiska. B.P. — skalarno polje, a karakteriše ga sistem konstantnog pritiska — *izobarske površine (V. izobarska površina).*

BAZA OBLAKA — donja granica oblaka ili oblačnog sloja.

BLISKA GRMLJAVINA — grmljavina: vremenska razlika između pojave sevanja i groma ne prelazi 10 sekundi, ili — od osmatrača grmljavinski oblak se nalazi na rastojanju ne većem od 3 km.

BLOKIRAJUĆI ANTICIKLON — sinoptički proces koji se sastoji u tome što se visoki topli anticiklon, razvijajući se u umerenim širinama, prepreči zapadnom prenosu i skrene trajektorije pokretnih ciklona i anticiklona sa pravca zapad—istok u meridijalni smer jug—sever.

BOFOROVA SKALA — skala za približno određivanje brzine vetra na osnovu vizuelnog osmatranja.

BRZINA VETRA — pređeni put vazduha, vazdušnih čestica u približno horizontalnoj ravni, u jedinici vremena. U meteorologiji se izražava u metrima po sekundi (m/s), kilometrima na čas (km/h) i u čvorovima — knotama (knots, *V. čvor).*

BURA — veoma jak vetar koji duva zimi niz planinske strane i donosi osetno zahlađenje. Preovlađuje u onim predelima gde se planinski lanci graniče sa morem.

BURAN VETAR — vetar čija brzina prosečno za dva minuta dostigne ili pređe 15 m/s.

C

CENTRALNI CIKLON — prostran, po intenzitetu — dubok, po visini — izražen i slabopokretan. Na njegovoj periferiji može da bude nekoliko sekundarnih ciklona a ponekad i nekoliko serija. Pritisak u centru C.C. može da bude manji i od 950 mb. U izuzetnim slučajevima vek trajanja mu iznosi i nekoliko nedelja. Najčešće se stvara zimi nad severnim Atlantikom i Evropom.

CIKLOGENEZA — proces stvaranja i razvijanja ciklona u atmosferi. Mehanizam procesa saglasan je *talasnoj teoriji C,* tj. pojavom dinamički nestabilnog talasa na frontu, pri čemu se u dolini frontalnog talasa razvija ciklon, a na grebenu — anticiklon.

CIKLON — atmosferski poremećaj sa snežnim pritiskom vazduha (minimalni pritisak nalazi se u centru C.), i sa kružnom cirkulacijom vazduha u smeru koji je suprotan kazaljci na satu (na severnoj hemisferi, dok je na južnoj suprotno).

CIKLONSKA KRIVINA — izgled izobare suprotan *anticiklonskoj krivini.*

CIKLONSKI TALAS — talas na atmosferskom frontu sa kojim je povezano stvaranje i razvijanje pokretnih ciklona i anticiklona *(V. atmosferski talasi).*

CIRKULACIJA — kružno kretanje, sistem kretanja sa zatvorenim ili delimično zatvorenim linijama toka. Na primer, opšta cirkulacija atmosfere, dnevna cirkulacija vazduha između kopna i mora, cirkulacija u oblacima vertikalnog razvoja itd.

CIROKUMULUS (Cc) — međunarodni naziv za gomilasto-slojaste oblake visokog kata — sprata.

CIRUS (Ci) — međunarodni naziv za oblake visokog kata — sprata (visoki oblaci).

CIROSTRATUS (Cs) — međunarodni naziv za slojaste oblake visokog kata — sprata.

Č

ČAĐAVINA, SUVA SUMAGLICA (∞) — meteorološka pojava. Suve čestice prašine, golim okom nevidljive; smanjuju vidljivost i daju vazduhu karakterističan dimljiv, magličast i mutan izgled.

ČASOVNA OSMATRANJA — osmatranje na određenim meteorološkim stanicama; vrši se svakog časa po svetskom vremenu na sinoptičkim, a po lokalnom vremenu na klimatološkim stanicama.

ČVOR (KNOTA-KNOT.; Mi/h) — jedinica za brzinu; upotrebljava se u pomorstvu i meteorologiji (u međunarodnom sinoptičkom kodu); 1 morska milja na čas=1 čvoru=0,51479 m/s, (međunarodna morska milja=1852 m).

D

DEPRESIJA — 1) sniženje, ulegnuće; 2) oblast sniženog atmosferskog pritiska; u meteorologiji češće se naziva *barska depresija.*

DINAMIČKA KONVEKCIJA — ponekad se naziva *turbulencijom (dinamička turbulencija).* Pod D.K. podrazumevamo vertikalna strujanja vazduha uslovljena raspodelom vetra po visini.

DINAMIČKA METEOROLOGIJA — oblast meteorologije koja proučava atmosferska kretanja i u vezi sa njima promenu toplote u atmosferi putem matematičkog izvođenja iz osnovnih jednačina hidrodinamike i termodinamike. D. M. se naziva i *dinamika* i *termodinamika atmosfere.*

DINAMIČKA TURBULENCIJA — obično sinonim *turbulencija;* podrazumeva se što se turbulencija razmatra kao svojstvo — posledica vazdušnih strujanja, nezavisno od termičkih uslova *(V. dinamička konvekcija).*

DINAMIČKI ANTICIKLON — naziv za anticiklone čiji je postanak uslovljen opštom cirkulacijom atmosfere (azorski anticiklon). Postanak D.A. suprotan je postanku termičkog anticiklona *(V. termički anticiklon).*

DINAMIČKI BARSKI STEPEN — povećanje dinamičke visine, tj. geopotencijala, pri padu pritiska za 1. mb. Sr. *barski stepen.*

DINAMIČKI OBLAK VERTIKALNOG RAZVOJA — oblak vertikalnog razvoja postao dejstvom sile dinamičke turbulencije (za razliku od termičke konvekcije).

DIVERGENCIJA — podrazumeva se D. brzine, D. količine kretanja — mase, itd. Negativna D. često se naziva *konvergencijom.* Popularno, pozitivna D. mase u nekoj tački odgovara izvoru, a negativna (konvergencija) ponoru. Horizontalna komponenta D. naziva se *konfluencijom* kada se strujne linije toka duž struje približavaju, odnosno *difluencijom* kada se razilaze.

DIVERGENCIJA BRZINE — skalarna funkcija:

$$\operatorname{div} \vec{V} = \nabla \cdot \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

gde je: V — vektor brzine, i u, v, w — komponente vektora brzine duž x, y i z ose. U meteorologiji se pod V podrazumeva brzina kretanja vazduha — vetar. D.B. je potok vektora brzine kroz jedinicu zapremine u atmosferi, ili promena jedinice zapremine u polju vetra u jedinice vremena.

DOLINA — polje sniženog pritiska sa nezatvorenim izobarama i sa cirkulacijom vazduha koja je suprotna kretanju kazaljke na satu (oblik izobara, izohipsa sličan je slovu U ili V).

E

EHO — odbijanje zvuka.

EKSPOZICIJA — orijentacija zemljišta prema stranama sveta. U odnosu na veličinu terena, podrazumevamo *makro, mezo* i *mikro E.* Pri termičkoj konvekciji naročitu ulogu ima mezo i mikro E terena u odnosu na severnu i južnu stranu sveta.

EKSTREMUM — krajnja vrednost, maksimalna ili minimalna.

F

FEN — vetar koji je obično jak i plahovit; uslovljava brz i velik porast temperature i pad relativne vlažnosti; duva sa planinskog grebena u dolinu. Osobina vazduha pri F. je adijabatsko hlađenje pri usponom strujanju vazduha i adijabatsko zagrevanje pri nisponom strujanju. U našoj zemlji F. se pojavljuje u Sloveniji i zapadnoj Makedoniji pri zapadnom tipu vremena, u zapadnoj Bosni (Bihać) i u pojedinim predelima Dinarida — pri jugozapadnom tipu vremena. U Bihaću pri F. temperatura vazduha za 1 čas može da poraste i preko 10°.

FENSKI TALAS — pojava koja se sastoji u tome što se na visini u slobodnoj troposferi iznad oblasti sa fenom pojavljuje talasno kretanje vazduha (visina talasa zavisi od oblika i visine orografske prepreke, od raspodele brzine vetra sa visinom i od ugla kojeg gradi pravac protezanja prepreke i pravac vetra). F.T. je stacionaran — stojeći talas. U jedriličarstvu se koristi za talasno jedrenje *(V. dinamičko jedrenje).*

FENSKI ZID — oblak, podrazumeva se stacionarna oblačna masa koja se stvara, nalazi, pri pojavi fena nad planinskim grebenom.

FIZIKA ATMOSFERE — termin, javlja se u novije vreme, a ima isti značaj kao i meteorologija *(V. meteorologija).*

FORMULA ROSBIJA (ROSSBY-JA) — za brzinu premeštanja dugih talasa:

$$C = u - \frac{\beta L^2}{4\pi^2}$$

gde je:

C — brzina talasa;

u — brzina zonalnog strujanja;

L — dužina talasa;

β — Rosbijev parametar, promena parametra sile devijacije duž meridijana.

F.R. se primenjuje u sinoptici za prognozu položaja doline dugih talasa.

FRONT — prelazna zona ili, uslovno, granična površina između dve vazdušne mase u atmosferi. Frontom se, takođe, naziva i linija preseka frontalne površine sa površinom zemlje. Širina frontalne zone u horizontalnoj ravni iznosi nekoliko desetina kilometara, a u vertikalnoj ravni — nekoliko stotina metara. Ugao nagiba frontalne površine prema površini zemlje ($\operatorname{tg}\alpha$) iznosi od 0,01 do 0,001. F. u troposferi neprekidno se stvaraju, premeštaju i rasplinjavaju (nestaju). U frontalnoj zoni gradijenti meteoroloških elemenata znatno

su povećani, a izgled vremena naglo se menja idući iz jedne vazdušne mase u drugu. F-vi se dele: prema mestu stvaranja — geografska klasifikacija: *artički, polarni, tropski* i *ekvatorijalni* F-vi; po temperaturnoj razlici u slobodnoj atmosferi, između vazdušne mase iza i ispred fronta: *hladni* ($\triangle T<0$) i *topli* ($\triangle T>0$); po brzini premeštanja: *brzopokretni, kvazistacionarni* i *stacionarni*; po vertikalnim strujanjima u neposrednoj blizini frontalne zone: *anafront* (uzlazno) i *katafront* (silazno); po izraženosti meteoroloških pojava i elemenata: *izraženi, neizraženi* i *kamuflirani*, i po termodinamičkoj stabilnosti vazduha u frontalnoj zoni: *stabilni* i *nestabilni.*

FRONT OKLUZIJE — složen (kompleksan) front; nastaje pri okludovanju ciklona, podizanjem frantalne zone toplog, odnosno hladnog franta sa površine tla na visinu. U prvom slučaju naziva se *okluzija toplog fronta (V. frant).*

FRONTALNA GRMLJAVINA — grmljavina, uslovljena atmosferskim frontom. Nastaje pri naglom podizanju toplog vazduha na visinu pri brzom prodiranju hladnog vlažnog vazduha.

FRONTALNA INVERZIJA — inverzija temperature u slobodnoj atmosferi uslovljena frontalnom površinom. Češće se javlja pri nailasku toplog fronta.

FRONTALNA MAGLA — magla uslovljena aktivnošću fronta, pojavljuje se u uskoj zoni ispred fronta. Njeno stvaranje uslovljeno je: advekcijom, zasićenim vazduhom vodenom parom od frontalnih padavina i adijabatskim hlađenjem pri pretfrontalnim padom pritiska.

FRONTALNA MASA — masa vazduha koja se nalazi u širokoj pretfrontalnoj zoni između dve vazdušne mase (red veličine frontalne zone u horizontalnoj ravni je — desetine kilometara, a F.M. — stotine kilometara).

FRONTALNA POVRŠINA — granična površina u prostoru *između dve vazdušne mase (V. front).*

FRONTALNI OBLAČNI SISTEM — oblačnost uslovljena atmosferskim frontom. Njeno stvaranje, premeštanje i nestajanje uslovljeno je evolucijom fronta.

FRONTOGENEZA — stvaranje atmosferskog fronta koje je suprotno *frontolizi.* Razlikujemo kinematičku F. (kretanjem, zbližavanje čestica vazduha različitih fizičkih osobina) i *topografsku F.* (uticaj nehomogenosti površine zemlje na zagrevanje vazduha). Preovlađuje kinematička F.

FRONTOLIZA — slabljenje, rasplinjavanje atmosferskog fronta. Suprotno frontogenezi *(V. frontogeneza).*

G

GASGENERATOR — pribor za proizvodnju vodonika. Dobija se redukcijom ferosilicijuma (SiF_2), natrijum hidroksida (NaOH) i vode (H_2O). Koristi se za punjenje balona pomoću kojih se određuje smer i brzina vetra u slobodnoj atmosferi, ili za podizanje radio-sondi.

GASNA KONSTANTA (R) — stalna veličina R u jednačini stanja idealnog gasa. R. predstavlja rad koji obavi gas pri širenju i zagrevanju od 1° na stalnom pritisku. Za 1 gr suvog vazduha $R=2{,}8704\cdot10^6\ m^2\,s^{-2}\,grad^{-1}$.

GENETIČKA KLASIFIKACIJA OBLAKA — klasifikacija oblaka po stvaranju. Po savremenoj G.K.O. razlikujemo: *frontalne, nestabilne* i *stabilne;* po morfologiji (obliku): *slojasti, gomilasti, talasni.*

GENETIČKA KLASIFIKACIJA PADAVINA — klasifikacija padavina po stvaranju. Razlikujemo: padavine uslovljene uzlaznim strujanjem vazduha na većem prostoru, tj. frontalne padavine, a ponekad i orografijom (padaju iz AS—Ns); pljuskovite padavine (Cb) i sipeće padavine (St i Sc).

GLATKI LED — stvara se pri letu u oblaku koji sadrži prehlađene kapi vode, ili u oblaku sa pomešanim kapima ili u zoni grada, pri temperaturi od 0° do −10°.

GLAVNA FRONTALNA ZONA *V. klimatološki front.*

GLAVNE IZOBARSKE POVRŠINE — izobarske površine. 1000, 900, 800, 700, 600.....100 i 50 mb, na kojima se prikazuje barska topografija. U G.I.P. ubraja se i površina 850 mb.

GLAVNI FRONT — deli osnovne vazdušne mase, i to: *arktički front* — između arktičkog i polarnog vazduha; *polarni front* — polarnog i tropskog vazduha, i *tropski front* — tropskog i ekvatorijalnog vazduha.

GOMILASTI OBLAK — oblak vertikalnog razvoja.

GRADIJENT — vektor usmeren po normali na izolinije skalarnog polja:

$$-\frac{d\alpha}{dn}n,$$

gde je:

$d\alpha/dn$ — promena skalarne veličine α duž normale;

n — jedinični vektor normale.

GRADIJENT PRITISKA — *V. barski gradijent.*

GRADIJENT TEMPERATURE — vektor koji pokazuje najbrži pad temperature u atmosferi na jedinici rastojanja. Može da se rastavi na horizontalnu i vertikalnu komponentu. Za jedinicu rastojanja horizontalne komponente uzima se 100 km ili 1° meridijana, a za vertikalnu komponentu — 100 m. Brojna veličina vertikalnog G.T. izražava se:

$$\gamma=-\frac{\partial T}{\partial z}{}^0/100\ m.$$

Horizontalni G.T. često se naziva *termičkim gradijentom.*

GRADIJENTNI LENJIR — nomogram za određivanje brzine gradijentnog vetra na osnovu poznatog rastojanja između izobara ili izohipsa apsolutne topografije na sinoptičkim kartama *(V. gradijentni vetar).*

GRADIJENTNI VETAR — uslovljeni vetar. Ravnomerno kretanje vazduha u odsutnosti sile trenja, po pravolinijskim *(geostrofski vetar)* ili kružnim *(geociklostrofski vetar)* trajektorijama, koje se podudaraju sa izobarama, odnosno izohipsama apsolutne topografije.

GREBEN — polje povišenog pritiska sa nezatvorenim izobarama i sa anticiklonskim strujanjem vazduha. Oblik izobara, odnosno izohipsa u većini slučajeva sličan je okrenutom slovu U.

GRMLJAVINA — složena atmosferska pojava; obavezno je prisustvo električnog pražnjenja (grom) između oblaka, ili između oblaka i tla. Grmljavina je uslovljena razvojem cumulonimbusa u nestabilnom vlažnom vazduhu. G. delimo na *frontalne grmljavine;* gumljavine unutar jedne iste mase — *unutarmasovne; lokalne grmljavine* i *toplotne grmljavine.* Broj električnih pražnjenja pri jakoj G. u srednjoj Evropi za 5 minuta iznosi i do 200. Pri G. obično se javlja jak olujan vetar i pljuskovite padavine.

GRMLJAVINSKI NOS — karakterističan hod atmosferskog pritiska, koji je registrovan na barografskoj traci pri prolasku grmljavine sa olujnim „iznenadnim" vetrom.

GRMLJAVINSKI OBLAK — oblak vertikalnog razvoja u zadnjem stadijumu rašćenja (cumulonimbus).

GROM — zvučna pojava koja prati električno pražnjenje (munja) pri postojanju grmljavinskih oblaka.

H

HIDROMETEOROLOŠKA STANICA — tačka na kojoj se vrše hidrometeorološka osmatranja.

HIGROMETAR — instrument za merenje relativne vlažnosti vazduha; ako neprekidno registruje merenja, naziva se *higrograf*.

HLADNA VAZDUŠNA MASA — hladna vazdušna masa koja se nalazi ili se kreće u sredini koju okružuje topla masa. Obično je u prvih nekoliko kilometara po visini termički nestabilna. Na njenoj periferiji javljaju se oblaci vertikalnog razvoja, pljuskovi i nepogode.

HLADNI ANTICIKLON — anticiklon uslovljen termičkim dejstvom podloge, tla. Zimi se stvara nad centralnom Azijom posredstvom hladnog vazduha u prvom kilometarskom sloju troposfere; poznat kao *sibirski anticiklon*.

HLADNI FRONT DRUGOG RODA — brzopokretni ili ubrzani hladni front; obično se stvara u zapadnoj polovini centralne oblasti ciklona; oblačni sistem ovog fronta karakteriše se oblacima vertikalnog razvoja.

HLADNI FRONT PRVOG RODA — slabopokretni ili usporeni hladni front; obično se pojavljuje u perifernim oblastima ciklona ili u sniženom polju pritiska sa slabim gradijentima; oblačni sistem ovog fronta karakteriše se slojastom oblačnošću (A_s—N_s).

HORIZONT — linija po kojoj nebeski svod preseca površinu zemlje. Na pučini mora linija H čini krug; dijametar kruga (D) povećava se sa porastom visine osmatranja (h) i izračunava se po formuli: D=3.84 h, u km. Na primer, na visini vida čoveka prosečnog uzrasta dijametar D je ravan 4,65 km, a na visini 10 m — 11,3 km i na visini 100 m — 35,7 km.

HORIZONTALNA VIDLJIVOST — daljina vidljivosti u horizontalnom pravcu (za razliku od vertikalne i kose vidljivosti). Daje se u meteorološkim telegramima.

HORIZONTALNO SONDIRANJE — aerološka merenja meteoroloških elemenata na stalnoj visini leta aviona, sa meteorografom ili radio-sondom pričvršćenom za punjeni balon određenog pritiska.

I

INSOLACIJA — pritisak Sunčeve radijacije na horizontalnu ili kosu površinu. Izražava se u kalorijama na jedinicu površine za vreme koje nas interesuje (minuti, dani, godina). I. zavisi od Sunčeve aktivnosti, njegove visine i prozračnosti atmosfere.

INSTRUMENTI — meteorološke sprave za merenje meteoroloških elemenata i nekih parametara meteoroloških pojava.

INTENZITET — 1) za vektorske veličine apsolutna vrednost vektora, jačina; na primer, za vektor brzine — iznos brzine; gradijent brzine — iznos količnika (razlika u brzini na zadatom rastojanju), itd. 2) U meteorologiji za vektorske veličine važi stav 1; inače za ostale veličine uzima se određena količina po jedinici vremena. Na primer, intenzitet padavina — količina padavina u jedinici vremena (mm/min).

INTENZITET PADAVINA — *V. intenzitet.*

INVERZIJA — kao pravilo podrazumeva se *I. temperature*, tj. porast temperature sa povećanjem visine.

INVERZIJA TEMPERATURE — *V. inverzija.*

INVERZIONA MAGLA — magla uslovljena koncentracijom dodatnih čestica vazduha, ispod donje granice inverzije u anticiklonu.

INVERZIONI OBLAK (PODINVERZIONI OBLAK) — oblak koji se javlja ispod sloja temperaturne inverzije u slobodnoj atmosferi. Predstavnici I.O. su: *slojasti, slojasto-gomilasti* i *visoki slojasto-gomilasti oblaci* (S_t, S_c i A_c).

INVERZIONI SLOJ — sloj vazduha koji se karakteriše inverzijom temperature. U aerologiji njegovo vertikalno rasprostiranje — debljina izražava se u metrima.

INJE — (∨) — pojava na površini tla. Razlikujemo *meko* i *tvrdo* inje. Meko inje obično je providno, a tvrdo neprovidno. Stvara se pri dodiru neprehlađenih i prehlađenih vodenih kapi sa predmetima na površini tla kada je temperatura ispod 0°C. Pojavljuje se na navetrenoj strani predmeta.

ISPARAVANJE — u meteorogiji se pod ovim pojmom podrazumeva isparavanje vode. Isparavanje se, pre svega, sastoji u pritoku vodene pare u atmosferu usled izdvajanja molekula vodene pare sa površine vode, snega, leda, vlažnog tla, kao i sa kapljica i kristala u atmosferi. Srednja brzina molekula utoliko je veća, ukoliko je temperatura viša, a s tim u vezi i broj otrgnutih molekula. Sa porastom temperature broj otrgnutih molekula se povećava, a isparavanje raste.

Pri isparavanju vode pri temperaturi 0° potrebno je utrošiti 597 kal, a pri ledu 677 kal na 1 gr.

ISPRAVKA PROGNOZE — prognoza, daje se u svim slučajevima kada se razvoj atmosferskih procesa, kao i razvoj vremena ne podudara sa prognoziranim. Ispravka pognoze može da bude delimična ili potpuna. Obaveštavanje o ispravci prognoze dužnost je sinoptičara.

IZALOBARA — linija koja na sinoptičkoj karti povezuje sve tačke iste promene atmosferskog pritiska sa vremenom (lokalna promena pritiska). Vremenski interval za razne potrebe sinoptike iznosti 3,12,24 časa.

IZALOHIPSA — linija koja na visinskim kartama povezuje sve tačke iste promene apsolutne ili relativne dinamičke visine sa vremenom (lokalna promena dinamičke visine). Vremenski interval iznosi 12 i 24 časa.

IZOBARA — linija koja na prizemnoj sinoptičkoj karti (nivo mora) povezuje sve tačke istoga pritiska.

IZOBARSKA POVRŠINA — površina konstantnog pritiska u atmosferi.

IZOHIPSA — linija konstantne visine. U meteorologiji izohipsa izobarske površine na visinskoj karti. Visina I. izobarske površine daje se u geopotencijalnim metrima (dinamička visina).

IZOTERMA — linija određene vrednosti (konstantan) temperature. U sinoptici se izvlači na visinskim kartama.

IZOTERMIČKI SLOJ — sloj vazduha koji se karakteriše istom vrednošću temperature; u aerologiji se izražava u metrima.

J

JAČINA VETRA — 1) pritisak koji vetar svojom brzinom duvanja stvara na izloženim predmetima, objektima itd., načelno, preprekama. Podaci o J.V. značajni su pri projektovanju objekata. 2) U meteorologiji, brzina vetra koja se izražava stepenima Boforove skale *(V. Boforova skala)*

JAK VETAR () — vetar, kao meteorološka pojava, kada je brzina vetra veća od 11 m/s, ili po Boforu — 6 stepeni.

JEDRILIČARSKA PROGNOZA — prognoza *(V. specijalizovana prognoza)*, koja pored opšte prognoze vremena sadrži i podatke o termičkom i dinamičkom stanju atmosfere.

JEZGRA KONDENZACIJE — higroskopne čestice na kojima se vrši obrazovanje vodenih kapi oblaka i magle u atmosferi. Dijametar im iznosi od 10^{-5} do 10^{-6} cm, tj. reda veličine mikrona i desetih delova mikrona.

JONOSFERA — sloj atmosfere na visini od 80 do 400 km i više; u znatnim količinama sadrži jonizovane molekule i atome atmosferskog gasa i slobodne elektrone. Jonosfera je posebno značajna za radio-telegrafiju. U njoj postoji nekoliko slojeva sa maksimalnom jonizacijom; osnovni među njima *E sloj* (između 80—120 km) i *F sloj* (200—400 km).

JUGO — vetar koji preovlađuje u hladnoj polovini godine pri ciklonskoj aktivnosti u zapadnom Sredozemlju. Iznad našeg šireg obalskog područja u pojedinim slučajevima ima izuzetno veliku brzinu duvanja. Nad orografskim preprekama, koje se protežu paralelno obali, uslovljava pojavu stacionarnih talasa.

K

KAPLJA HLADNOG VAZDUHA — relativno manja količina hladnog vazduha u toplom vazduhu. Pojavljuje se posle prodora hladnog vazduha u niže geografske širine; ima približno kružni oblik na visinskim kartama (horizontalni presek K.H.V.).

KARTA — u meteorologiji se podrazumevaju *sinoptičke, aerološke* i *klimatološke karte.*

KATABATSKI NISPONI — u meteorologiji se koriste za imenovanje onih vetrova kod kojih je izražena nispona komponenta strujanja (zbog delovanja sile teže na čestice vazduha). Takav karakter strujanja u našoj zemlji ima *hladna košava* i *bura*, a u pojedinim slučajevima i *fen.*

KATAFRONT — front, suprotno anafrontu *(V. front).*

KLIMA — srednje stanje meteoroloških elemenata i broja pojava iz dugogodišnjeg niza osmatranja koje karakteriše dato mesto, oblast, kontinent ili zemlju, u odnosu na njegov geografski položaj, a za zemlju položaj prema Suncu.

KLIMATOLOGIJA — oblast meteorologije, nauka o klimi.

KLIMATOLOŠKA ZONA — pojas oko Zemljine kugle koji ima veće ili manje širinsko protezanje sa približno istim klimatskim činiocima.

KLIMATOLOŠKI FRONT — glavni front na klimatološkim kartama.

KLIN HLADNOG VAZDUHA — masa hladnog vazduha koja leži ispod toplog vazduha u vidu položenog klina.

KOLOIDNO-NESTABILAN OBLAK — oblak koji je sastavljen iz koloidno nestabilnih kapljica, odnosno kristala ili različitih faza vode (dijametar kapi je različit).

KOLOIDNO-STABILAN OBLAK — oblak koji je suprotan *koloidno-nestabilnom oblaku.* Sr.

KOMPLEKSNA KARTA — karta koja se upotrebljava u sinoptici; prizemna ili visinska karta na koju se primenjuju svi koraci analize (analiza izobara, izobara, frontova, itd.), podizanje — isticanje pojava u masi i uslovljenih frontova... odvojene stabilnih od nestabilnih vazdušnih masa, itd., na visinskim kartama analiza izohipsa, izoterma, a na nekim i izotaha, itd.).

KONDENZACIJA — proces pretvaranja vodene pare u tečnu vodu. U atmosferi se javlja u prvoj i drugoj fazi razvoja oblaka i magle. Pri kondenzaciji vodene pare oslobađa se jedan deo toplote, koju je čestica dobila pri isparavanju, ta toplota se naziva *latentna toplota kondenzacije.* Zavisi od temperature; nižim temperaturama odgovara veća količina toplote. Na primer, pri temperaturi 30° oslobodi se 593, a pri 0° — 600 gr kal/gr.

KONSULTACIJA — upotrebljava se u sinoptičkoj službi, i to kao:

1) Usmeno ili pismeno izlaganje sinoptičara o atmosferskim procesima i njihovom uticaju na prognozu vremena; metod izlaganja zavisi od sinoptičara.

2) Meteorološki izveštaj za javnost putem radija ili televizije.

3) Razmena mišljenja između sinoptičara.

KONVEKCIJA — vertikalno strujanje vazduha, suprotno advekciji. Sr. Postojanje K. omogućava jedrenje.

KONVEKTIVNA NESTABILNOST — termičko stanje atmosfere pri kojem se toplije čestice vazduha sa nižih nivoa uzdižu naviše; pri K. N. temperatura vazduha sa porastom visine obavezno opada; od veličine pada *(vertikalni gradijent temperature)* zavisi stepen K. N. atmosfere.

KONVEKTIVNA STABILNOST — termičko stanje atmosfere suprotno *konvektivnoj nestabilnosti.*

KONVEKTIVNI NIVO KONDENZACIJE — nivo u atmosferi na kojem se nalazi donja baza vertikalnih oblaka; razlikujemo *uslovni* od *stvarnog* K. N. K. Uslovni K. N. K. je pretpostavljeni nivo izračunat na osnovu prognozirane temperature (temperature u meteorološkom zaklonu) i srednjeg odnosa smeše za izvorišni sloj termičke nestabilnosti; stvarni K. N. K. je visina donje baze vertikalnog oblaka.

KORIOLISOV PARAMETAR — veličina: $l=2\omega \sin\varphi$, gde je ω — uglovna brzina Zemlje ($7{,}29-10^{-5}\,s^{-1}$), φ — ugao geografske širine. Javlja se u *jednačini Koriolisove sile (V. Koriolisova sila).*

KORIOLISOVA SILA — prividna sila, koja se javlja pri obrtanju Zemlje oko svoje ose; ne vrši rad već utiče na promenu pravca kretanja vazdušnih masa; na severnoj hemisferi skreće vazdušne mase od njihovog pravca kretanja udesno, a na južnoj hemisferi ulevo; za tumačenje strujanja vazduha u atmosferi, ona je od osnovnog značaja.

KRATKOROČNA PROGNOZA — kratkoročna prognoza vremena se odnosi za 24—48 časova unapred.

KRATKOTRAJNE PADAVINE — padavine iz oblaka vertikalnog razvoja (C_b, C_{con}); obično se javljaju posle pljuska, i to najviše do 3 časa.

KRISTALASTI OBLAK — oblak sastavljen iz kristala leda.

KRIVA STRATIFIKACIJE — kriva raspodele temperature vazduha po visini ili po pritisku; dobija se ucrtavanjem podataka radio-sondažnih merenja na adijabatski dijagram (emagram).

KUMULONIMBUS (CUMULONIMBUS — Cb) — oblak snažnog izgleda sa znatnim vertikalnim prostiranjem u obliku planine ili ogromnih tornjeva. Bar jedan deo njegovog gornjeg dela obično je gladak, končast ili izbrazdan i gotovo uvek spljošten; ovaj se deo obično razvlači u obliku nakovnja ili prostrane perjanice. Donja baza oblaka većinom je tamna, a ispod nje se obično nalaze niski iskidani oblaci, a ponekad i padavine u obliku zavese — „virge". Stvara se u vlažno-nestabilnoj atmosferi, a njegovi vrhovi u izuzetnim slučajevima dopiru i do visine tropopauze.

KUMULUSHUMILIS (CUMULUS HUMILIS — Cu hum) oblak vertikalnog razvoja; bele boje sa manjim brojem kupola — tornjeva; odnos između dužine donje baze i njegovog vertikalnog prostiranja — debljine približno je jednak jedinici; vesnik je lepog vremena.

KUMULUSKONGESTUS (CUMULUS CONGESTUS — Cu con) — oblak vertikalnog razvoja; uglavnom gust i jasno ocrtanog oboda; razvija se vertikalno u obliku zaobljenih vrškova kupa ili tornjeva, čiji gornji delovi pupe i često liče na karfiol. Delovi oblaka koji su osvetljeni suncem najčešće su blještavi i bele boje; donja baza je tamna i gotovo horizontalna; za termičko jedrenje predstavljaju idealnu sredinu.

L

LATENTNA TOPLOTA — „skrivena toplota" koju čestice vodene pare, koju su dobile pri isparavanju vode, oslobađaju pri kondenzaciji *(latentna toplota kondenzacije)* ili sublimaciji *(latetna toplota sublimacije) (V. isparavanje).*

LAVINA — USOV — snežna masa koja se sručila i kotrlja sa planinske litice. U zavisnosti od pokrenute količine snega zavisi rušilačka moć lavine.

LED — čvrsta faza vode.

LEDENI OBLAK — oblak sastavljen iz ledenih kristala; svi oblaci gornjeg kata — sprata.

LINIJA FRONTA — linija preseka između frontalne površine i površine zemlje. L. F. obično se naziva *front.*

LINIJA GRMLJAVINE — linija koja povezuje grmljavine u određenom pravcu; u izuzetnim slučajevima predstavlja *sekundarni hladni front.* Sr.

LOKALNA CIRKULACIJA VAZDUHA — cirkulacija uslovljena lokalnim činiocima (orografijom, raspodelom kopna i vodenih površina, biljnim pokrivačem, dispozicijom terena, itd.).

LOKALNA GRMLJAVINA — grmljavina, koja se pojavljuje na užem — manjem području, a uslovljena je lokalnim činiocima.

LOKALNI — 1) Odnosi se na određenu tačku sa fiksnim koordinatama. Na primer, lokalna promena pritiska, ili temperature, lokalni proizvod itd. 2) Mesni, sa ograničenim rasprostiranjem. Na primer, pri pojavi lokalne grmljavine, jakog vetra itd.

M

MAGLA — 1) Nagomilavanje produkta kondenzacije ili sublimacije (kapi vode ili kristala leda, ili jednih i drugih zajedno); stvara se u vazduhu neposredno iznad površine zemlje. 2) Opisani proces uslovljava zamućenost vazduha.

U meteorološkim osmatranjima magla je uslovljena horizontalnom vidljivošću do 1 km. Delimo je na *unutarmasovne* i *frontalne;* na *magle hlađenja (radijacione i advektivne) i isparavanja.*

MAKROSINOPTIČKI PROCESI — sinoptički procesi koji se odigravaju na većem delu zemljine površine, a uslovljavaju određen karakter vremena. Njihovo izučavanje osnova je za sinoptički metod dugoročne prognoze vremena.

MAKSIMALNA TEMPERATURA — najveća vrednost temperature osmotrene u toku dana, meseca ili ma kog vremenskog intervala u određenoj tački — mestu *(V. ekstremum).*

MASA ATMOSFERE — masa celokupnog vazduha koji sačinjava atmosferu. Ceni se da masa atmosfere iznosi $5{,}3.10^{15}$T, tj. za 10^6 puta je manja od litosfere Zemlje.

MASKIRANI FRONT — front koji je teško ili nemoguće utvrditi na sinoptičkoj karti.

MEDICINSKA METEOROLOGIJA — grana medicine koja izučava uticaj atmosferskih uslova na zdravlje, kao i na hronična i epidemična oboljenja. U novije vreme naglo je napredovala i u njoj su se razvile pojedine samostalne oblasti, kao što su centri za „vazduhoplovnu i kosmičku medicinu", za pomorstvo, zavodi za higijenu gradova i vazduha, centri i zavodi za klimatska lečenja itd.

MEĐUNARODNA METEOROLOŠKA ORGANIZACIJA — organizacija saradnje većeg broja nacionalnih meteoroloških službi. Rešava naučne, tehničke i operativne poslove od međunarodnog interesa. Osnovana je 1872. godine na Vašingtonskoj konferenciji reorganizovana je i promenila je naziv u „Svetska meteorološka organizacija".

MEĐUNARODNA STANDARDNA ATMOSFERA — uslovna raspodela atmosferskog pritiska sa visinom *(V. standardna atmosfera).*

MEĐUNARODNI ATLAS OBLAKA — atlas oblaka koji je izradila i usvojila Međunarodna meteorološka organizacija. Po njemu meteorološki osmatrači celog sveta vrše identifikaciju oblaka.

MERIDIJALNA CIRKULACIJA — 1) Razmena vazduha između različitih geografskih širina, duž meridijana. 2) Meridionalni tip cirkulacije vazduha nad većom oblašću zemlje.

MESNA CIKLOGENEZA — obrazovanje ili jačanje ciklona, ili slabljenje anticiklona pod uticajem temperaturnih uslova podloge. Na primer, pri nailasku doline sa zapada u Panonski bazen (za vreme letnjih meseci), povećava se ciklonska iskrivljenost doline.

METEOROLOGIJA — nauka koja izučava sastav i strukturu atmosfere, njeno fizičko stanje i promene tog stanja sa svim pojavama koje ih prate. Sva izučavanja, u prvom redu, odnose se na upoznavanje karaktera vremena za potrebe prognoze.

METEOROLOŠKA OPSERVATORIJA — meteorološka stanica koja, pored osmatranja koja se vrše na meteorološkim stanicama, vrši i specijalna osmatranja i merenja i proučava ih.

METEOROLOŠKA STANICA — tačka sa koje se vrše meteorološka osmatranja i merenja. Me-

sto — lokacija meteorološke stanice mora da se odlikuje geografsko-geološkim i biljnim karakteristikama sredine.

METEOROLOŠKA RAKETA — raketa namenjena za dobijanje podataka najviših slojeva atmosfere.

METEOROLOŠKI ELEMENTI — opšti naziv za niz karakterističnih stanja vazduha i nekih atmosferskih procesa. Meteorološki elementi, pre svega, odnose se na ona karakteristična stanja atmosfere i atmosferskih procesa koji se osmatraju na meteorološkim stanicama. Na primer, temperatura, pritisak, relativna vlažnost, količina oblačnosti, visina oblaka, količina padavina itd.

METEOROLOŠKI INSTRUMENTI — instrumenti za merenje meteoroloških elemenata, tj. karakterističnih stanja atmosfere. Razlikujemo: *stacionarne* (koji stoje u zgradi meteorološke stanice i u meteorološkom krugu) i *pokretne* (prenosne), a po radu: na one na kojima se vrednost vizuelno očitava, *registrirne* i na *teleautomatske.*

METEOROLOŠKI SATELITI — satelit namenjen za potrebe meteorologije, prvenstveno sinoptičkoj delatnosti. Snima i emituje oblačne pokrivače, prati kretanje ciklonskih oblačnih sistema, kao i stvaranje i premeštanje tropskih ciklona.

METEOROLOŠKE POJAVE — opšti naziv za manifestaciju niza karakterističnih procesa u atmosferi. Na primer, kiša, sneg, grom, grmljavina, slana, inje, oblaci, poledica, jak vetar, duga, polarna svetlost, itd.

METOD SLOJA — metod iskazan uslovom predznaka stabilnosti stratifikacije atmosferskog sloja, tj. uzdizanje jednih čestica biće kompenzirano spuštanjem drugih. Na osnovu njihove temperaturne razlike na sredini sloja, a u odnosu na krivu stratifikacije temperature, utvrđuje se stepen stabilnosti, odnosno nestabilnosti atmosfere.

MIKROSTRUKTURA OBLAKA — unutrašnja struktura oblaka; fazno stanje sastavnih čestica; odnos između različitih čestica po veličini.

MINIMUM — najmanja vrednost meteorološkog elementa u toku dana, nedelje ili ma kog intervala vremena *(V. ekstremum).*

MORSKI VAZDUH — vazduh koji se duže vreme sporo kreće ili zadržava nad morskom površinom; tokom vremena prenesu se na njega određene fizičke osobine podloge, kao što su vlaga, toplota — u prizemnim slojevima, prozračnost — posrednim putem, stratifikacija itd. Može da bude *hladan* i *topao* (po temperaturnoj podeli), odnosno *polarni* i *tropski* (po geografskoj podeli).

N

NAKOVANJ (INCUS) — gornji deo oblaka vertikalnog razvoja; razvija se od oblačne mase vrhova kumulonimbusa. Kada se rašćenje vrhova kumulonimbusa zaustavi — zakoči zbog visinske inverzije temperature (u izuzetnim slučajevima tropopauzom) ili zbog horizontalne komponente strujanja koja je znatno veća od vertikalne, tada se isti pod uticajem visinskog vetra razvlače u pravcu strujanja. Zbog porasta vetra sa visinom, odnosno pada intenziteta uzlaznih strujanja vrhovi kumulonimbusa poprimaju karakteristični oblik nakovnja.

NESTABILAN TALAS — dinamički nestabilan talas, koji se manifestuje u progresivnom povećavanju amplitude.

NESTABILNA STRATIFIKACIJA — *V. nestabilna vazdušna masa.*

NESTABILNA VAZDUŠNA MASA — vazdušna masa koja se u prvih nekoliko kilometara odlikuje nestabilnom stratifikacijom vazduha, tj. vertikalni gradijent temperature je veći od suvoadijabatskog (ili blizak suvoadijabatskom) do nivoa kondenzacije i veći od vlažnoadijabatskog nad nivoom kondenzacije.

NIMBOSTRATUS (Ns) — međunarodni naziv za *slojasti* oblak koji daje padavine. Deo atmosfere u kome se rasprostire N. karakteriše se stabilnom stratifikacijom vazduha.

NISKI OBLACI (OBLACI DONJEG KATA-SPRATA) — po međunarodnoj klasifikaciji to su: — *slojasti* (stratus), *slojasto-gomilasti* (stratokumulus) i *kišno-slojasti* (nimbostratus). Visina njihove baze rasprostire se od površine zemlje do 2 km.

NIVO KONDENZACIJE — nivo ili baza oblaka na kojem se vrši kondenzacija (ili sublimacija) ili održavanje kapi (kistola).

NIVO MORA (MORSKI NIVO) — površina, uzima se za visinu jednaku nuli (h=0).

NIVO TRENJA — podrazumeva se visina na kojoj je intenziet *spoljnjeg trenja* jednak nuli (h_r=0); N. T. nije stalan, zavisi od konfiguracije zemljišta, brzine vetra i stabilnosti prizemnog sloja vazduha; za istu brzinu vetra i istu stratifikaciju vazduha nad planinskim zemljištem je na većoj visini no što je nad ravnicom i morem.

O

OBLAČNI DAN — kad je srednja količina oblačnosti jednaka i veća od šest osmina (6/8) pokrivenosti neba oblacima.

OBLAK — nagomilavanje produkta kondenzacije (ili sublimacije) vodene pare koji plove u atmosferi. Oblak se sastoji iz vodenih kapi dijametra od nekoliko mikrona, ili ledenih kristala, ili iz smeše tih i drugih čestica.

OCENA PROGNOZE — ocena opravdanja prognozirane sinoptičke situacije i vremena, ili obe zajedno.

ODNOS SMEŠE (r) — veličina stanja vlažnog vazduha; definicija — odnos mase vodene pare sadržan u određenoj zapremini vlažnog vazduha prema masi suvog vazduha koju sadrži ta zapremina; izražava se u gramu po gramu; paktično r je reda veličine 1/100 grama po gramu. Za zasićen vazduh odnos smeše se naziva *odnos zasićene smeše* (r_w). Odnos smeše koristi se pri izračunavanju *uslovnog nivoa kondenzacije.*

OKLUZIJA — 1) Zatvoren; 2) U meteorologiji atmosferski front. *(V. front okluzije).*

OKLUZOVANI CIKLON — ciklon; frontalni ciklon u poslednjem stadijumu evolucije; brzina premeštanja mu je mala ili je stacionaran.

OLUJA — pojava, vetar velike jačine i rušilačke moći.

OMBROGRAF — registrirni instrument za merenje količine tečnih padavina (kiše, pljuska).

ORKAN — 1) Po Boforovoj skali to je vetar uništavajućeg dejstva sa brzinom većom od 125 km/h. 2) Tropski ciklon, s tim što se u pojedinim delovima sveta različito naziva. Tako, u severnom delu Tihog okeana naziva se *Tajfun,* oko Filipinskih ostrva — *Bagujos,* na južnom delu Tihog okeana (od Paumota i Društvenih ostrva pa do obala Australije) *Orkan* (herakeni), oko srednje Amerike i južne Kalifornije — *Uragan* ili *Kardonaco.*

OROGRAFSKA CIKLOGENEZA — ciklogeneza uslovljena orografskim prilikama, javlja se na zavetrenoj strani planinske prepreke *(V. ciklogeneza).*

OROGRAFSKA DEFORMACIJA FRONTA — deformacija, promena oblika frontalne površine uticajem orografske prepreke; front se može zadržati ispred prepreke, obići *(orografska okluzija)* i preći ga u manjem ili višem stepenu u zavisnosti od visine i protezanja prepreke, kao i od izraženosti fronta po visini.

OROGRAFSKE PADAVINE — padavine uslovljene orografijom.

OROGRAFSKI TALAS — talas uslovljen orografskom preprekom; veličine talasa (dužina, amplituda) zavise od stabilnosti atmosfere, jačine vetra i njegove raspodele po visini, visine orografske prepreke i njene dužine, kao i od ugla između pravca vetra i pravca protezanja orografske prepreke. Izraženi orografski talas omogućava talasno jedrenje.

P

PADAVINE — voda u tečnom ili tvrdom stanju koja pada iz oblaka ili se taloži iz vazduha na površinu tla i predmeta, objekata na njemu. Iz oblaka pada u vidu kiše, izmaglice, snega, mokrog snega, snežne i ledene krupe, grada, sugradice i pljuska, a neposredno iz vazduha: rosa, inje, slana, poledica.

PASAT — vetar, vazdušna struja koju uslovljava suptropski anticiklon (od 25° do 30° geografske širine), a duva iz suptropa ka ekvatoru; izraženija je na okeanima; na severnoj hemisferi pri površini zemlje duva kao severoistočni vetar, a na južnoj kao jugoistočni vetar *(V. antipasat).*

PILOT-BALON — balon od rastegljive gume napunjen vodonikom; služi za određivanje smera i brzine vetra u slobodnoj atmosferi (visinskog vetra).

PILOT-SONDA — balon (v. pilot-balon) na koga se okači laki meteorograf i pusti u slobodan let. Posle eksplozije balona meteorograf se padobranom spusti na zemlju. Sa folije meteorografa obradom se dobijaju podaci pritiska, temperature i vlažnosti u slobodnoj atmosferi, a vetar se dobije iz praćenja balona teodolitom.

PLJUSAK KIŠE — tečne padavine koje padaju iz oblaka u vidu kapi dijametra 0.5—6.0 mm. Padaju iz oblaka vertikalnog razvoja pretežno u toploj polovini godine.

POGRANIČNI SLOJ — 1) U hidrodinamici: tanki sloj fluida (tečnosti iz gasa) koji se neposredno graniči sa spoljnom površinom tela. Njegova brzina brzo raste od nule na površini tela do neke konačne značajne vrednosti na spoljnoj površini P. S. 2) U meteorologiji: sloj vazduha u kome je tok vazdušnog potoka poremećen uticajem podloge. Brzina potoka raste sa visinom do određenog nivoa, aproksimativno do brzine neporemećenog potoka. U odsustvu turbulencije laminarni P. S. bio bi vrlo tanak, reda 1 m. Uticajem turbulencije P. S. se rasprostire na nekoliko stotina metara i često se naziva *sloj trenja* ili *planetarni pogranični sloj.*

POLARNI DAN — u polarnim oblastima deo godine kada sunce ne zalazi za horizont. Polarni dan raste sa porastom geografske širine, od 1 dana na 66°33' do 183 dana na Polu.

POLJE TEMPERATURE (TEMPERATURNO POLJE) — termička karta ili vertikalni termički presek; izrađuje se za određene visine — izobarske površine (apsolutne i relativne dinamičke visine — topografije) i meridijalne i zonske preseke u sinoptici, a za potrebe jedriličarstva izrađuju se karte za uža — makro i mikropodručja sa ciljem da se utvrde rejoni termičke nestabilnosti atmosfere. Karte i preseci daju sliku raspodele toplih i hladnih masa.

POLJE VETRA — posebno se prikazuje za intenzitet — brzinu i za smer vetra; izrađuje se na odabranim visinama — izobarskim površinama i na vertikalnim presecima.

POTENCIJALNA TEMPERATURA (Θ) — temperatura vazduha; dovedena po suvoadijabatskom postupku na normalni — standardni pritisak. Grafičkim postupkom određuje se na emagramu; odabrana tačka na krivoj temperaturne stratifikacije spusti se po suvoj adijabati na standardni pritisak (1 000 mb); očitana temperatura na preseku izobare 1 000 mb i suve adijabate daje vrednost P. T. Za praktična izračunavanja služimo se jednačinom $\Theta = T + Z$, gde je Z — visina u stotinama metara.

PRIZEMNI SLOJ VAZDUHA — 1) Sloj vazduha koji neposredno prileže uz površinu zemlje; debljina mu iznosi 30—50 m; koeficijenat turbulencije raste u njemu. 2) Niži sloj vazduha debljine 1,5—2,0 m, tj. nivo na kojem se nalaze meteorološki instrumenti postavljeni u meteorološkom zaklonu. Ovaj sloj se karakteriše pojavom noćnih magli (magla radijacije) i velikim vertikalnim gradijentom temperature, vetra i relativne vlažnosti danju.

PROGNOZA — predskazivanje; u meteorologiji (sinoptici) predskazivanje vremena. Sastoji se u primeni naučnih metoda P. na barsko polje, frontove, visinsko strujanje (mlaznu struju), itd., iz čije se evolucije i novoformiranih atmosferskih poremećaja, kao i položaja prognoziraju (određenim metodama) meteorološki elementi i pojave, a zatim na osnovu njih formira prognoza vremena. P. vremena deli se na: *P. šireg područja, mesta, marš-rute;* po informaciji: *detaljne* i *opšte* i u odnosu na razne potrebe na: *specijalizovane P. (V. jedriličarska prognoza).*

PUTANJA (TRAJEKTORIJA) — odnosi se na putanju premeštanja barskih sistema, u prvom redu, na centar ciklona i anticiklona.

R

RADIJACIJA — jedna od dve osnovne osobine materije; u meteorologiji: odnosi se na svetlosne i toplotne zrake. U tom smislu razlikujemo svetlosnu sunčanu R. — *insolacija* i toplotno izračivanje zemlje — *radijaciju.*

RADIJACIONA MAGLA (≡) — stvara se u prizemnom sloju vazduha posredstvom hlađenja

prizemnog vazduha od podloge, tla. U toploj polovini godine pojavljuje se noću i u časovima pre izlaska sunca, a zimi u jutarnjim i ranim prepodnevnim časovima.

RADIOAKTIVNOST — pojava koja se javlja pri raspadanju atoma nekih hemijskih elemenata. Pri tome jezgro atoma izbacuje pozitivne ili negativno naelektrisane čestice (α, β), a u većem broju slučajeva zrači i γ zrake. U rezultatu ovog procesa *(proces radioaktivnog raspadanja)* iz atoma jednog hemijskog elementa stvaraju se atomi drugog elementa.

Radioaktivne čestice utiču na stepen radioaktivnosti vazduha. U odnosu na poreklo radioaktivnih čestica, radioaktivnost vazduha deli se na *prirodnu* i *veštačku radioaktivnost*. U okviru meteoroloških merenja vrši se merenje radioaktivnosti padavina i vazduha.

RADIO-SONDA — aerološka aparatura sastavljena iz balona napunjenog vodonikom, lakog meteorografa konstruisanog na električnom principu (otporu) merenja temperature, pritiska i vlažnosti i davača koji ih emituje.

RADIO-METEOROLOGIJA — doskoro disciplina, a danas oblast meteorologije; proučava uticaj meteoroloških uslova na rasprostiranje radio-talasa u troposferi i uticaj jonosfere na održavanje radio-veze sa satelitima.

REGENERACIJA — u meteorologiji (sinoptici) R. ciklona i anticiklona. R. ciklona — produbljavanje okluzovanog ciklona zbog pritoka novog svežijeg i hladnijeg vazduha u zadnju polovinu ciklona. R. anticiklona nije u potpunosti potvrđena; ima mišljenja da se anticiklon R. kada nakon pada pritiska u centru anticiklona dođe do parasta pritiska.

RIČARDSONOV BROJ (Ri) — kriterijum za utvrđivanje turbulencije u atmosferi prouzrokovane termodinamičkim stanjem atmosfere. Izražava se Ričardsonovim brojem:

$$R_i = \frac{\frac{g}{T}(\gamma_a - \gamma)}{|\overrightarrow{\delta c}|^2}$$

gde je:

$(\overrightarrow{\delta c})^2$ — veličina promene vektora vetra sa visinom;

γ_a — adijabatski gradijent temperature.

γ — stvarni gradijent temperature;

g — ubrzanje zemljine teže;

T — temperatura.

Pri $R_i < 1$ turbulencija se pojavljuje i jača, a atmosfera je termodinamički nestabilna; a pri $R_i > 1$ turbulencija slabi, a atmosfera je stabilna. Za $R_i = 0$ (kada je $\gamma_a = \gamma$) atmosfera se nalazi u indiferentnom stanju.

RUŽA VETRA — krug podeljen u osam ili šesnaest delova; u klimatologiji služi za prikazivanje režima vetra (čestine smera vetra) na osnovu dugogodišnjeg osmatranja.

S

SATELIT — *V. meteorološki sateliti.*

SEDLOVINA — barski sistem između dva ciklona i anticiklona; cikloni i anticikloni poređani su u vidu crno-belih površina šahovske ploče.

SEKUNDARNI FRONT — hladni front koji se pojavljuje iza glavnog hladnog fronta; pri prolasku obično uslovljava nestabilno vreme sa pojačanim vetrom, pljuskom i grmljavinom.

SIBIRSKI ANTICIKLON — anticiklon termičkog porekla; javlja se redovno zimi; pri jačanju njegovog grebena u pravcu Ukrajina — Rumunija, a i pri postojanju ciklona u zapadnom Sredozemlju u Vojvodini i Pomoravlju duva jaka košava, a na Jadranu bura ili jugo. Prodiranjem njegovog grebena na Balkansko poluostrvo dolazi do osetnog pada temperature.

SILA TRENJA — u meteorologiji se podrazumeva sila koja smanjuje brzinu duvanja vetra. Sila trenja sastavljena je iz dve komponente, i to *sile spoljnjeg trenja (S. S. T.)* i *sile unutrašnjeg trenja* (S. U. T.). Sila spoljnjeg trenja javlja se zbog uticaja podloge (površine zemlje); ukoliko je podloga izraženija (u orografskom smislu), utoliko je skretanje i kanalisanje smera vetra veće; S. S. T. u svim slučajevima smanjuje brzinu duvanja vetra. S. U. T. javlja se kao posledica trenja vazdušnih čestica između sebe, zbog nejednake raspodele meteoroloških elemenata sa porastom visine (vetra, temperature, gustine itd.). Rezultanta između S. S. T. i S. U. T. naziva se *ukupnom silom trenja.*

SINOPTIČKA SITUACIJA — stanje atmosferskog procesa koji uslovljava određen karakter vremena za dato područje.

SINOPTIKA — u širem smislu, grana meteorologije koja se bavi predskazivanjem vremena.

SINOPTIČKE KARTE — dele se na *prizemne* i *visinske S. K.* Na prizemnim sinoptičkim kartama prikazani su barski sistemi i frontovi, kao i ostali elementi, a na visinskim kartama strujno polje vetra, temperature i vlažnosti. *Sr. karte.*

SLAB VETAR — vetar čija srednja brzina ne prelazi 4.5 m/s ili po skali Bofora 3 stepena.

SLEPA PROGNOZA — prognoza vremena bez pomoći bilo kog naučnog metoda. Na primer, — „na slepo" (inercijalna prognoza) „kako danas tako sutra".

SLOJASTA TROPOPAUZA (V) tropopauza, kada u atmosferi između troposfere i stratosfere postoje dve i više tropopauza, tada se ista naziva *slojastom tropopauzom.*

SLOJASTI OBLAK (STRATIFORMIS — str.) — oblak u vidu ravnomernih slojeva; može znatno da se prostire po vertikali; karakterističan je za stabilnu atmosferu.

SNEG (✳) — pojava; spada u tvrde padavine koje padaju iz oblaka u vidu snežnih kristala, pahuljica, pri negativnim temperaturama (u izuzetnim slučajevima i pri temperaturi većoj od nula stepeni).

SNEŽNI POKRIVAČ — sloj snega koji leži na površini tla ili leda, nastao padanjem snega u toku zime; njegova visina meri se u centimetrima.

SPECIJALIZOVANA PROGNOZA — koriste je razne grane privrede, sport i armija. Na primer, poljoprivredna, vazduhoplovna (u širem smislu), za transport (suvozemni), pomorska, za ribolov, građevinarstvo, sportske priredbe na otvorenim terenima, itd., a u armiji za potrebe pojedinih rodova i službi.

STABILNA VAZDUŠNA MASA — 1) Smatra se ona vazdušna masa u kojoj je stvarni vertikalni gradijent temperature (γ) manji od suvoadijabatskog (γa). 2) Kad topao vazduh pri svom kretanju naiđe na hladniju podlogu ili nalegne na hladan vazduh. Obično su tople vazdušne mase termički stabilne.

STACIONARNI TALAS — 1) Talas koji se stvara u atmosferi posredstvom orografske prepreke *(V. orografski talas).* 2) Ciklonski

talasi koji imaju vrlo veliku amplitudu *(V. atmosferski talas)*.

STANDARDNA ATMOSFERA (S. A.), (MEĐUNARODNA S. A.) — uslovna raspodela pritiska sa porastom visine prema pretpostavljenoj temperaturi, dobijena po barometarskoj formuli. Ostali podaci: pritisak na srednjem nivou mora pri temperaturi 15° iznosi 1013,3 mb (760 mm Hg), vertikalni gradijent temperature −6.5° na 1 km do 11 km, gde temperatura iznosi −56.5°, a iznad tog nivoa temperatura je konstantna — izotermija.

STADIJUM GRADA — stadijum adijabatske promene uzlaznog vlažnog vazduha; posle pljuska temperatura vazduha koji je zasićen vodenom parom opadne do 0°, daljim širenjem vazduha i padom pritiska dolazi do smrzavanja vodenih kapi, a temperatura ostaje konstantna (0°) sve dotle dok se sva voda ne zamrzne; posle ovoga vodena para se ne kondenzuje, već direktno (putem sublimacije) prelazi u stadijum snega.

STRATIFIKACIJA (ATMOSFERE) — raspodela temperature u atmosferi sa porastom visine; atmosfera može da bude: *stabilna, indiferentna* i *nestabilna.*

STRATOKUMULUS (STRATOCUMULUS — Sc) — međunarodni naziv za *slojasto-gomilasti oblak niskog kata — sprata.*

STRATOSFERA — atmosferski sloj koji se rasprostire između troposfere i jonosfere, u proseku na visini od 12—80 km. U prvih 30—35 km temperatura se krece od −45° do −65°, a vertikalni gradijent temperature od −0.1 do +1°/100 m. Na visini oko 50 km temperatura je pozitivna i dostiže oko +50°.

STRATUS (St) — međunarodni naziv za slojasti oblak niskog kata — sprata.

STUB — u jedriličarstvu podrazumevamo termički stub *(V. termički stub)*.

SUBLIMACIJA — direktan prelaz vodene pare u čvrsto stanje.

SUMRAK — osvetljenost nebeskog svoda indirektnim sunčevim zracima po zalasku sunca za horizont — večernji S.; suprotno pre izlaska sunca — svitanje.

SUVA ADIJABATA — kriva iste potencijalne temperature *(V. potencijalna temperatura)*. U prvoj aproksimaciji S. A. važi i za vlažno-nezasićene čestice vazduha (vlažan vazduh), tj. promena temperature prilikom uzdizanja ili spuštanja čestica opada, raste za 1° na 100 m.

SVETSKO VREME — vreme određeno po jednom meridijanu ili časovnom pojasu po kojem se vrše sinhrona, istovremena meteorološka osmatranja. Tako su za potrebe sinoptike uvedeni osnovni sinoptički termini: 00, 06, 12, 18 časova po griničkom vremenu (GMT).

T

TAČKA ROSE — (τ) — temperatura koju dobije vlažan vazduh kada se pri stalnom pritisku hlađenjem dovede do zasićenja.

TAJFUN — naziv za tropski ciklon *(V. orkan)*.

TALAS (VAL) — *V. atmosferski talasi.*

TALASNI OBLAK — najčešće oblak srednjeg kata-sprata; obično se pojavljuje iznad orografskih prepreka (na zavetrenoj strani iznad planinskog grebena) na talasnom grebenu ili na istom pri talasnom strujanju vazduha u slobodnoj atmosferi ispred hladnog fronta. Naziva se altokumulus lentikularis (altocumulus lenticularis — Ac len). Po izgledu je bademastog oblika sa oštro izraženom prednjom ivicom.

TALASNO JEDRENJE — statičko jedrenje, jedrenje na talasu koji je stvoren posredstvom orografske prepreke.

TELEGRAM — u meteorologiji: emitovanje radio-putem ili telefonom meteoroloških izveštaja sastavljenih uglavnom ciframa po meteorološkom kodu.

TEMPERATURA — kvalitativna mera toplotnog stanja materije; u meteorologiji — vazduha, vode i zemljišta; meri se termometrom, a izražava u stepenima.

TEMPERATURA KONDENZACIJE — temperatura pri kojoj vazduh postane zasićen vodenom parom, tj. *temperatura tačke rose.* Sr.

TEMPERATURA SUVOG VAZDUHA — temperatura koju pokazuje suvi termometar u meteorološkom zaklonu, za razliku od mokrog termometra *(V. temperatura vlažnog vazduha)*.

TEMPERATURA TLA — temperatura zemljišta; meri se na samoj površini tla i na dubinama od 5, 10, 15 i 20, 40, 80, 160 i 320 cm.

TEMPERATURA VLAŽNOG VAZDUHA — temperatura vlažnog vazduha nezasićenog vodenom parom; meri se u meteorološkom zaklonu sa mokrim termometrom, tj. sa termometrom čiji je rezervoar obavijen mokrom krpicom (muslinskim platnom).

TEMPERATURNI GRADIJENT (GRADIJENT TEMPERATURE) — najveći pad temperature na jedinici rastojanja. Razlaže se u horizontalnu i vertikalnu komponentu. Veličina vertikalnog gradijenta temperature mera je stabilnosti atmosfere, a horizontalnog — temperature homogenosti vazdušne mase, odnosno termičke izraženosti fronta (frontalne zone).

TENDENCIJA (TEŽNJA — INERCIJALNOST) — 1) Pri kretanju barskih sistema, na primer ciklon ima T. umerenog premeštanja. 2) Pri evoluciji barskih sistema, na primer anticiklon ima tendenciju brzog slabljenja — rasplinjavanja. 3) Za svaku lokalnu promenu, na primer *barometarska tendencija. Sr.*

TERMOMETAR — instrument za merenje temperature; kada neprekidno registruje-beleži vrdnosti temperature na dijagramu — termografskoj traci, naziva se *termograf.* Po konstrukciji mogu da budu: tečni (živin, alkoholni), *metalni* (bimetalni) i *električni.*

TEODOLIT — optički ili elektronski instrument za merenje ugla azimuta (horizonta) i nagiba; u meteorologiji (aerologiji) upotrebljava se za merenje smera i brzine visinskog vetra (vetra u slobodnoj atmosferi).

TEORIJSKA METEOROLOGIJA — teorijski problemi iz meteorologije za čije se učenje uglavnom koriste fizičko-matematički postupci.

TERMIČKA TRANSFORMACIJA VAZDUŠNIH MASA — transformacija vazdušnih masa pod uticajem toplotnog stanja podloge.

TERMIČKI ANTICIKLON — anticiklon koji se stvara pod uticajem termičkih faktora (hlađenjem vazduha od podloge), na primer sibirski anticiklon; po postanku suprotan dinamičkom anticiklonu *(V. dinamički anticiklon)*.

TERMIČKI KONTRAST — 1) Razlika u temperaturi između dve vazdušne mase (obično se posmatra u okolini frontalne zone) kako u horizontalnoj tako i u vertikalnoj ravni. 2) U odnosu na podlogu, kao izvora zagrevanja prizemnih slojeva vazduha.

TERMOSFERA — sloj atmosfere na visini većoj od 80 km u

kome temperatura raste sa visinom.

TERMIČKI STUB — stub nastao podizanjem toplijeg prizemnog vazduha, u odnosu na užu okolinu, na visinu u nestabilnoj atmosferi. Razlikujemo suv i vlažan termički stub. Vlažan termički stub je oblak vertikalnog razvoja.

TIH VETAR — vetar čija srednja brzina ne prelazi 1 m/s, po Boforu 1 stepen.

TIP ATMOSFERSKE CIRKULACIJE — makrosituacija visinskog strujanja nad kontinentom, okeanom ili celom hemisferom; prema uzetim parametrima karakteristika strujanja; u odnosu na razne autore, ima više klasifikacija, na primer za vantropske širine severnog Atlantika i Evroazije po G. J. Van Gogenu razlikujemo: *zapadni* (W), *istočni* (E) i *meridijalni* (C) tip.

TIP VREMENA — u sinoptici, vreme koje je uslovljeno određenim vazdušnim masama, frontovima, poremećajima itd. u određenom mestu za određeni period vremena.

TOPLI FRONT — kada se topla vazdušna masa premešta u pravcu hladne vazdušne mase. Oblačnost toplog fronta karakteriše se sistemom visokoslojaste i slojaste oblačnosti iz koje se javljaju padavine (As—Ns). Frontalne padavine se javljaju ispred fronta (linije fronta na zemlji) u zoni širine 300—400 km. Ispred i iznad sistema oblačnosti As—Ns pojavljuju se perjastoslojasti oblaci (Ci, Cs). Nagib toplog fronta reda je veličine od 1/150 do 1/250.

TOPLOTNA GRMLJAVINA — grmljavina koja se javlja u toploj vazdušnoj masi, obično 1—2 dana pre prodora hladnog vazduha.

TOPOGRAFSKA FRONTOGENEZA — frontogeneza koja nastaje posredstvom orografije *(V. frontogeneza)*.

TORNADO — naziv *trombe* u SAD. Najjače lokalne vrtložne oluje. Brzina premeštanja tornada prosečno iznosi od 35 do 65 km/h, a brzina vetra u njemu oko 650 km/h; prečnik mu je obično nešto manji od 300 m, a razlika u pritisku unutar vrtloga iznosi i preko 100 mb (75 mm Hg).

TRAGOVI KONDENZACIJE (KONDENZACIONI TRAGOVI AVIONA) — oblačni trag koji avion ostavlja za sobom leteći na većim visinama (u višoj troposferi ili nižoj stratosferi). Po strukturi i obliku liči na perjasto-gomilaste oblake. Stvaraju se zbog povećanja kondenzacionih jezgara i vodene pare u vazduhu koje se ispuštaju sa sagorelim gasovima iz motora.

TRAJEKTORIJA — u meteorologiji putanja ciklona, anticiklona.

TRANSFORMACIJA — u meteorologiji uglavnom se odnosi na transformaciju vazdušnih masa, energije i sistema barskog polja.

TRANSFORMACIJA VAZDUŠNE MASE — pri kretanju vazdušnih masa neprekidno se odigrava; znatniju ulogu ima u onim slučajevima kada vazdušna masa postane sporopokretna ili kada je po vertikali slabo razvijena. Transformacija vazdušne mase vrši se onda kada se prekine dovod mase vazdušnoj masi iz izvorišne oblasti i kada se ista nađe u slabom gradijentnom polju daleko izolovana od svoje izvorišne oblasti *(V. transformacija)*.

TROMBA — atmosferski vrtlog manjih razmera u horizontalnoj ravni u obliku levka.

TROPOPAUZA — sloj atmosfere, pogranični, vrlo uzan sloj između troposfere; predstavlja kočeću površinu za vertikalna kretanja vazduha u gornjoj troposferi; u proseku se nalazi na visini od 10 do 12 km; temperatura mu raste sa porastom visine, ili je stalna ili slabo opada.

TROPOSFERA — sloj atmosfere koji se rasprostire od površine zemlje do tropopauze; visina troposfere na polu iznosi oko 8 do 9, a na umerenim širinama 10 do 12, i na ekvatoru 17 do 18 km; u njoj se nalazi gotovo celokupna količina vodene pare u atmosferi; temperatura uglavnom opada sa visinom; javljaju se vetrovi jakog intenziteta i vertikalna strujanja vazduha.

TROPSKI VAZDUH — vazdušna masa koja se stvara u tropskim i suptropskim predelima, a leti, takođe, u južnim predelima umerenih širina; deli se na: *morski* tropski vazduh i *kontinentalni* tropski vazduh. Relativna vlažnost tropskog vazduha je mala, a nestabilnost je ograničena na relativno plitak prizemni sloj vazduha za vreme sijanja sunca.

TURBULENCIJA — stanje tečne ili gasovite sredine, koja se karakteriše turbulentnim (haotičnim) kretanjem.

Od stepena turbulentnosti atmosfere zavisi: *udar vetra, vertikalni prenos* materijalnih primesa u više slojeve atmosfere *(prašine, kondenzacionih jezgara, bakterija* itd.) vertikalni prenos toplote iz jednog sloja atmosfere u drugi; *razmena količine kretanja* između različitih slojeva atmosfere, a u vezi sa tim i unutrašnje trenje vazduha u slobodnoj atmoseri itd.

U

UDAR VETRA — *V. jačina vetra.*

UKT — *ultraktratki talasi.*

UMEREN VETAR — vetar čija srednja brzina ne prelazi 6,5 m/s, po Boforovoj skali 4 stepena.

URAGAN — naziv za tropski ciklon *(V. orkan)*.

V

VAL — TALAS — *V. atmosferski talasi.*

VAZDUH — fizička smeša gasova, koja u obliku atmosfere obavija Zemlju. Glavni sastojci vazduha (po zapreminskom odnosu u %) su: azot (78,09), kiseonik (20,95), argon (0,93), a ostali 0,03% su: ugljendioksid, kripton, ksenon, neon, helijum, ozon, jod, radon, vodonik, amonijak i drugi gasovi, koji su primetni kao tragovi.

VAZDUŠNA KRETANJA — sistem vetrova nad manjom ili većom površinom zemlje i u većem ili manjem sloju atmosere. Po lokaciji (po predelima iznad kojih duvaju) i vremenu, mogu biti stalna, periodična i promenljiva. U odnosu na intenzitet: slaba, umerena, jaka i orkanske jačine.

VAZDUŠNE STRUJE — V. vazdušna kretanja.

VETAR — horizontalno ili približno horizontalno relativno kretanje čestica vazduha (vazdušnih masa) u odnosu na površinu zemlje. Vetar se određuje pravcem, smerom i intenzitetom (brzinom). Pravac vetra koji, u odnosu na smer vetra, pokazuje iz koje strane sveta vetar duva, izračunava

se u stepenima (od 0 do 360°), a brzina u m/s, km/h ili čvorovima (miljama na sat).

VERTIKALNI GRADIJENT — vertikalna komponenta gradijenta, na primer gradijenta temperature, gradijent brzine itd.

VERTIKALNI PRESEK — presek atmosfere u vertikalnoj ravni atmosfere (normalno na površinu zemlje). Izrađuje se za teorijska proučavanja i praktične potrebe; u vazduhoplovstvu za prikaz sadašnjeg i prognoziranog vremena; u sinoptici za potrebe analize atmosferskih procesa.

VERTIKALNI PROFIL VETRA — vertikalni presek na kojem je prikazana brzina vetra; brzina vetra na V.P.V. izvlači se na svakih 25 čvorova (izogene — linije iste brzine).

VETROKAZ — *V. anemometar.*

VETROMER — *V. anemometar.*

VIDLJIVOST — stepen prozračnosti atmosfere; meri se daljinom (normalnog vida) jasno raspoznavajućih predmeta od tačke osmatranja. Razlikujemo: *horizontalnu, vertikalnu* i *kosu vidljivost* na zemlji i u vazduhu (u letu).

VIHOR — vrtložno i uzlazno kretanje vazduha oko upravne ili nagnute ose. Vrtložno kretanje je najčešće ciklonskog smera, katkad i anticiklonskog, a nekad je čak nemoguće utvrditi smer kretanja. Vertikalna osa je otprilike za 30 puta veća od širine V. Najviše se stvara pri intenzivnom zagrevanju površine tla, odnosno prilikom pregrejanosti prizemnih slojeva vazduha.

VIRTUELNA TEMPERATURA — temperatura koju treba dovesti zapremini suvog vazduha, koja je jednaka zapremini posmatranog vlažnog vazduha, da bi pod istim pritiskom gustina suvog vazduha bila jednaka gustini datog vlažnog vazduha.

VISINA — vertikalno rastojanje od površine tla (relativna visina) ili mora (apsolutna visina) do neke tačke u atmosferi.

VISINA NULTE IZOTERME — visina izotermske površine sa temperaturom 0° nad određenom tačkom.

VISINA SNEŽNOG POKRIVAČA — visina snega od tla ili zamrznute vod (leda) do gornje granice snežnog pokrivača; na meteorološkim stanicama meri se novi i stari sneg, kao i ukupna visina snežnog pokrivača. V.S.P. se izražava u cm.

VISINSKA INVERZIJA — inverzija temperature na visini u slobodnoj atmosferi.

VISINSKI BARSKI SISTEMI — barski sistemi koji su izraženi na visinama. Na primer, visoki ciklon, anticiklon, dolina, greben itd.

VISINSKI VETAR — vetar u slobodnoj atmosferi *(V. vetar).*

VISINOMER — instrument za određivanje visine leta, koji je konstruisan na principu barometra (aneroida).

VISOKI ANTICIKLON — *V. visoki barski sistemi.*

VISOKI CIKLON — *V. visinski barski sistemi.*

VISOKI OBLACI — OBLACI GORNJEG KATA — SPRATA — u ove oblake spadaju svi oblaci izuzev oblaka vertikalnog razvoja, koji se nalaze na većim visinama od 3 km u polarnim predelima, od 5 km u umerenim širinama i od 6 km u tropskim predelima.

VISOKOGOMILASTI OBLAK — po međunarodnoj klasifikaciji u V.G.O. ubraja se cirokumulus (cirocumulus — Cc). Oblak sastavljen iz kristala leda.

VISOKOSLOJASTI OBLAK — po međunarodnoj klasifikaciji u V.S.O. ubraja se cirostratus (cirastratus — Cs). Oblak jednoličnog izgleda sastavljen iz kristala leda.

VLAŽNA ADIJABATA — linija po kojoj se kreće čestica vazduha zasićena vodenom parom.

VLAŽNOST VAZDUHA — stanje vlažnog vazduha. Može da se odredi sa nekoliko veličina, i to: *odnosom smeše (V), apsolutnom vlažnošću* (masom vodene pare izraženom u gramima koja se nalazi u kubnom metru vazduha), *relativnom vlažnošću* (količinom između stvarnog i maksimalnog odnosa smeše pomnoženog sa 100, izražava se u %), *virtuelnom temteraturom* (V.), razlikom između temperature suvog i vlažnog termometra i pomoću stvarnog i maksimalnog napona vodene pare.

VODA — hemijsko jedinjenje kiseonika i azota (H_2O). U atmosferi se nalazi u gasovitom, tečnom i čvrstom stanju, i to u promenljivim količinama.

VODA U OBLAKU — sadržina vode u tečnom ili čvrstom stanju u jedinici zapremine oblaka. U oblacima iz kojih pada kiša iznosi od 0,2 do 5,0 gr/m³, a u oblacima iz kojih pada sneg od 0,01 do 0,1 gr/m³.

VODENA PARA — voda u gasovitom stanju. U atmosferi je stalno prisutna, ali u promenljivim količinama; u proseku iznosi 0,2% (po zapremini) u polarnim i 2—6% u ekvatorijalnim predelima. Sa porastom visine naglo opada i na visini između 1,5—2 km upola je manja no što je pri površini zemlje (na visini od 2 m).

Z

ZALEĐIVANJE LETELICE — pojava stvaranja leda na letelici u letu.

LITERATURA

1. *A. Kuletin:* **ANALIZA VREMENSKIH PRILIKA PRI PRELETU U U TROUGLU 500 km NAD VOJVODINOM**
   Beograd, 1963. godine
2. *P. Vujević:* **ARHIV ZA POLJOPRIVREDNE NAUKE**
   Beograd, 1953. godine
3. *A. Baranov, M. Mazurin, C. Colorin, I. Jakovski:* **AVIJACIONA METEOROLOGIJA**
   Lenjingrad, 1966.
4. *I. Pčelko:* **AVIJACIONA METEOROLOGIJA**
   Lenjingrad, 1963.
5. *E. Anderson:* **CUMULUS DYNAMICS**
   London, 1960.
6. *A. Sražek, J. Podzimek:* **FISIKA OBLAKU**
   Prag, 1959.
7. *A. Kuletin:* **GRMLJAVINSKA AKTIVNOST U VOJVODINI**
   (neobjavljen rad)
8. *W. Georgije:* **FLUGMETEOROLOGIE**
   Frankfurnt na Majni, 1959.
9. *A. Kuletin:* **JAVLANIE NOČNOGO POVIŠENIJA TEMPERATURI V ŽARKOM PERIODE GODA V G. VRŠAC (Javljanie Karpat na pogodu)**
   Beograd, 1966.
10. *I. Kravčenko:* **LETIČKU O METEOROLOGIJI**
    Moskva, 1962.
11. **MANUEL DE METEOROLOGIE DU VOL A VOILE**
    Pariz, 1956.
12. **MEĐUNARODNI ATLAS OBLAKA**
    Beograd, 1959.
13. *P. Pogosjan:* **OPŠTA CIRKULACIJA ATMOSFERE**
    Lenjingrad, 1959.
14. *M. Đorđević:* **OSNOVI TEORIJE LETENJA**
    Zemun, 1965
15. **REZULTATI OSMATRANJA METEOROLOŠKE OPSERVATORIJE U BEOGRADU u periodu 1888—1962.**
    Beograd, 1963.
16. *O. Kričak:* **SINOPTIČESKAJA METEOROLOGIJA**
    Lenjingrad, 1956.
17. *A. Zverov:* **SINOPTIČESKAJA METEOROLOGIJA**
    Lenjingrad, 1957.
18. *Z. Rendulić:* **TEORIJA LETENJA**
    KV Zemun
19. *M.Čadež:* **UVOD U UDINAMIČKU METEOROLOGIJU**
    Beograd, 1959.
20. *A. Kuletin:* **VERTIKALNO PROSTIRANJE MLAZNE STRUJE NAD BEOGRADOM u zavisnosti od intenzitetat vetra na osi mlazne struje i njegove visine javljanja**
    Beograd, 1963.
21. *M. Čadež:* **VREME U UJUGOSLAVIJI**
    Beograd, 1964.

IV

TEHNIKA JEDRENJA I PRELETA

Iako nema sopstvene pogonske snage, jedrilica može, u određenim meteorološkim uslovima i određenim načinom letenja, da postigne za laike iznenađujuće rezultate, koji često mogu da se mere sa rezultatima koje postiže neki avion, pa čak i više. Već je izvršen prelet od 1000 km jedrilicom, postignuta je visina od preko 14.000 m, dakle letelo se u stratosferi a još davno je zabeležen rekord trajanja leta jedrilicom od 56 časova. Naravno, ovo je u jedriličarstvu moguće postići samo uz odgovarajuće meteo-uslove, odgovarajuću opremu i ljude koji su spremni za ovakve letove. Meteorološke uslove moramo da čekamo, opremu moramo da nabavimo a sami moramo da se spremimo, tj. naoružamo znanjem kako da napravimo let u kome treba da ostvarimo neki visok rezultat. Ako ma i jedan od ova tri uslova nije zadovoljen, uzaludno je očekivati ostvarenje nekog visokog rezultata. Nema nikakve nade na uspeh bez obzira što postoje i dobri meteo-uslovi i dobra jedrilica ako pilot nije spreman i nema znanja da sve to iskoristi. Visoki rezultat se dugo sprema, to je redovno plod iscrpnog razmišljanja, traženja novih saznanja, korišćenja raznih iskustava itd. Zato ćemo ovde pokušati da objasnimo ono što je najbitnije za ostvarivanje boljih rezultata jedrilicom. Međutim, nemoguće je objasniti sve što bi moglo da bude potrebno, jer se iz knjige može čitati samo o tuđem iskustvu a uspešan let sadrži u sebi daleko veći deo sopstvenog iskustva.

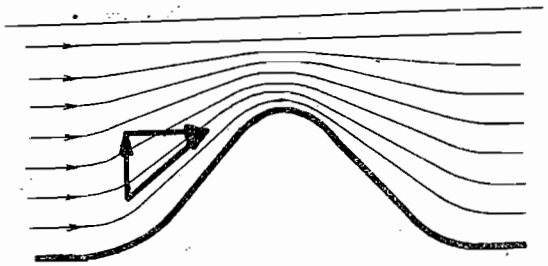
TAKTIKA JEDRENJA

JEDRENJE

Oto Lilijental, a, takođe, i njegovi savremenici koji su gradili jedrilice, zaletali su se sa uzvišenih mesta svojom jedrilicom i po blago nagnutoj putanji „klizili" ka dolini. Onaj ko je sagradio bolju jedrilicu mogao je dalje da odleti ili duže da se zadrži u vazduhu. Klizanje ili „planiranje" ubrzo je pokazalo da se jedino na ovaj način ne može dugo ostati u vazduhu, pa su jedriličari počeli da traže druge mogućnosti za produženje leta koristeći razne vrste usponog kretanja vazduha. U početku veoma nesigurno a danas na mnogo načina i sa mnogo iskustva, razvio se novi vid letenja jedrilicom — jedrenje, tj. letenje sa korišćenjem meteoroloških pojava u cilju produženja leta. Ustvari, to je svako letenje jedrilicom kada let traje duže nego što jedrilica može to da postigne leteći u mirnoj atmosferi. Razlikujemo četiri osnovna načina jedrenja: jedrenje na padini, jedrenje na vazdušnim talasima, jedrenje ispred olujnog fronta i jedrenje na termici.

JEDRENJE NA PADINI

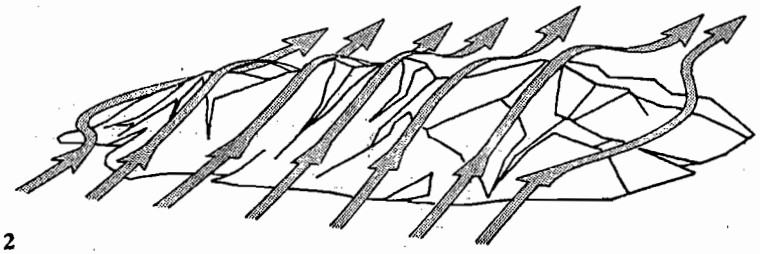
Klizeći sa padine ka dolini kada duva dovoljno jak vetar ka stranama padine, jedriličari su primetili da u prostoru bliskom padini jedrilica može da se održi u vazduhu više nego kada ne duva vetar, pa čak i da dobije u visini. Ova pojava se lako objašnjava time što vazduh koji se horizontalno kreće ka nekoj prepreci (u ovom slučaju ka padini) mora pri dolasku do prepreke da počne da se penje uz stranu prepreke da bi je preskočio (slika 1).



Slika 1

Vertikalna komponenta ovog vektora koristi se za jedrenje. Vazdušna struja prati oblik padine samo do grebena a dalje, zbog inercije, odvaja se od nje i stvara polje depresije a time i vrtloženje vazduha iza padine. Letenje u zavetrenoj strani padine veoma je opasno zbog ovih vrtloga i u većini slučajeva završava se lomom jedrilice.

Veličina vertikalne komponente vetra zavisi od oblika padine i brzine vetra. Visina do koje je moguće tražiti ovu vertikalnu komponentu, tj. uspono strujanje vazduha, zavisi, takođe, od oblika padine, brzine vetra i visine same padine. Najjača vertikalna strujanja daje jako izdužena padina na koju duva vetar pod uglom od 90° i čija strana ima nagib od oko 35° do 70° (sl. 2).

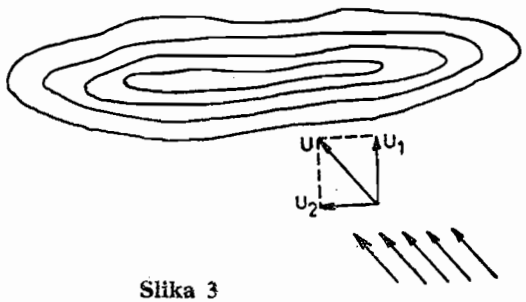


Slika 2

Naravno, vetar ne mora da duva pod uglom od 90° na padinu, ali će što god odstupanje od ovog ugla bude veće i uspono strujanje biti slabije ili će prestati (sl. 3).

Padina, takođe, ne sme da bude suviše kratka da je vazduh ne bi obilazio nego treba da se, penjući se uz nju, prebacuje na drugu stranu (sl. 4).

Krećući se jedrilicom u polju usponog strujanja padine, moguće je koristiti ovo strujanje sve dok duva vetar i postizati veću visinu nego što je greben padine. Iskustvo je pokazalo da ta visina može ponekad da bude viša od grebena za celu visinu padine.

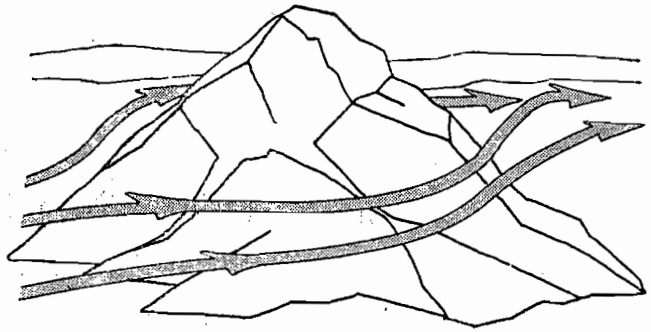


Slika 3

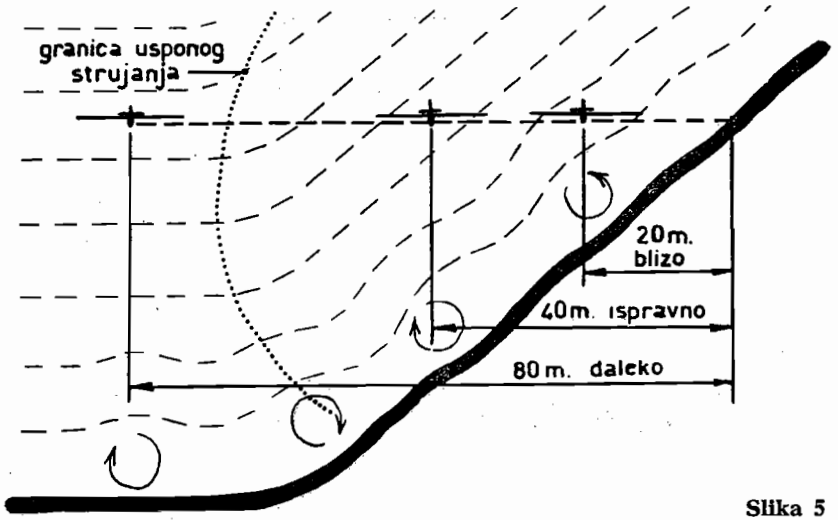
Jedrenje na padini počinjemo na taj način što će nas avion dovući uz stranu padine prema kojoj duva vetar. Sačekaćemo da dizanje koje je pokazao variometar dostigne maksimalnu vrednost. Tada otkačinjemo i nastavljamo pravolinijski let paralelan strani padine ili njenom grebenu. Pošto je to let bočnim vetrom, moraćemo stalno da letimo u traverzi sa uglom u stranu odakle duva vetar. Ovakav let u traverzi potreban je da ispariramo silu vetra kako nas vetar ne bi prebacio na drugu stranu padine u predeo vrtloga i nisponih struja vazduha. Znači, što god je vetar jači, traverza treba da je veća.

Tražeći mesta sa što jačim usponim strujama, treba na padini leteti brzinom najmanjeg propadanja jedrilice, sem u slučaju da je vetar toliko jak da jedrilicu zanosi u neželjenom pravcu kada brzinu treba povećati. Što se tiče udaljenosti jedrilice od padine, kraj krila ne treba da bude bliži od 20 m od strane padine i ne mnogo dalji od 80 m. Najpogodinja bi bila udaljenost od oko 40 m (sl. 5).

Na kraju padine, tamo gde uspone struje osetno slabe ili prestaju, treba napraviti zaokret i vratiti se opet pored padine gde

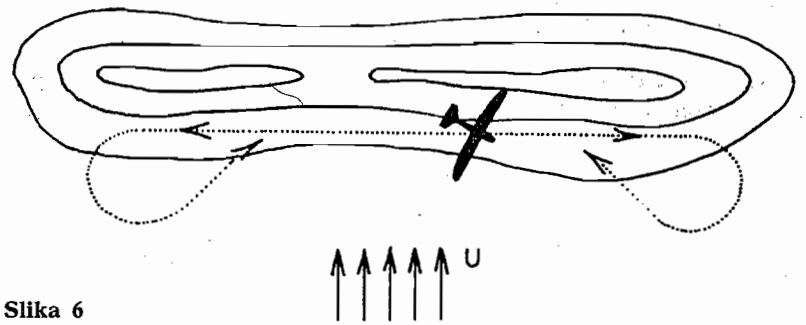


Slika 4



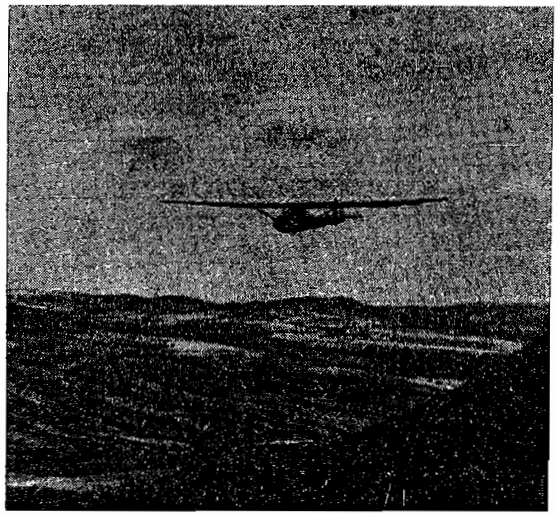
Slika 5

su bila jača dizanja. Ovaj zakoret, kao i svaki drugi zaokret na padini treba praviti u suprotnu stranu padine, tj. protiv vetra. Ovo se radi zbog toga što bi u protivnom vetar mogao suviše da približi jedrilicu uz padinu pa da ona zakači o nju ili da je prebaci u zatvorenu stranu padine gde su nispona strujanja i vrtlozi. Znači, putanja koju jedrilica pravi leteći na padini treba da bude neka izdužena osmica (sl. 6).



Slika 6

Nagib u ovim zaokretima ne treba da prelazi 30° kako zaokret ne bi bio suviše brz, tako da jedriličar može da osmatra da li u blizini postoji još neka jedrilica i ne dozvoli da dođe do neke nezgode. Za one padine koje su „ispitane", tj. na kojima se dugo letelo, zna se otprilike do koje visine može da se digne pri odre-



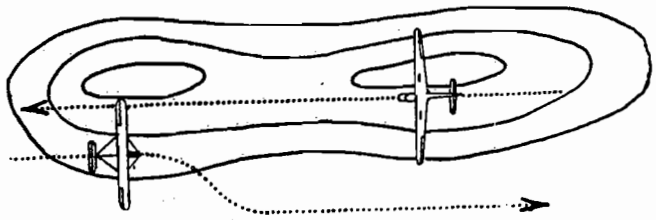
Slika 7

đenom vetru. Mogućnost dužine jedrenja na padini zavisi od toga koliko će vetar dugo da duva. Ponekad to može da bude i po nekoliko dana. Tako je i svetski rekord u trajanju leta od 55 h i 52 min postignut na padini 16—18. IX 1943.

Napuštanje padine vrši se na taj način što treba izaći iz polja usponog strujanja. To se radi odmicanjem od padine u stranu odakle duva vetar, tj. tamo gde vazdušne strujnice imaju horizontalan smer. Tu neće biti dizanja i jedrilica će moći u planirajućem letu da siđe na zemlju.

Kada na jednoj padini jedri više jedrilica zbog relativno uskog polja dizanja i održavanja bezbednosti u letenju, jedriličari su dužni da se pridržavaju sledećih pravila jedrenja na padini:

— *dolazak*, tj. priključivanje na padinu vrši se na krajnjim okretnim tačkama padine, i to dolazeći iz pravca koji je paralelan sa padinom;
— *uklanjanje* se vrši od padine, a obilaženje od padine;
— *pri susretu* prednost ima jedrilica kojoj se padina nalazi sa desne strane; jedrilica koja nema prednost uklanja se leteći od padine (sl. 8);



Slika 8

— *pri ukrštanju* prednost ima jedrilica koja dolazi sa desne strane; jedrilica koja leti s leve strane, dužna je da napravi desni zaokret i propusti jedrilicu koja ima prednost, a zatim nastavi svojim prethodnim putem;
— *na krajnjim okretnim tačkama* zadnji jedriličar ne sme da pravi zaokret pre prednjeg;
— *nadletanje* ili *podletanje* druge jedrilice je zabranjeno ako visinska razlika između njih nije veća od 50 m;
— *pri sletanju* prednost ima jedrilica koja je niža;
— *posle sletanja* ostati u jedrilici ili kod nje.

Jedrenje na padini danas je prevaziđen način jedrenja, jer čisto padinsko jedrenje ne daje mogućnost za izvođenje preleta. Najčešće ovakav način jedrenja koristimo za trenažu ili postiza-

nje uslova trajanja za srebrno „C" značku ili slično. Ipak, kada smo na nekom preletu a ima vetra, poneka padina može dobro da pomogne da jedrilica dobije u visini i na taj način poboljša svoje izglede za uspeh.

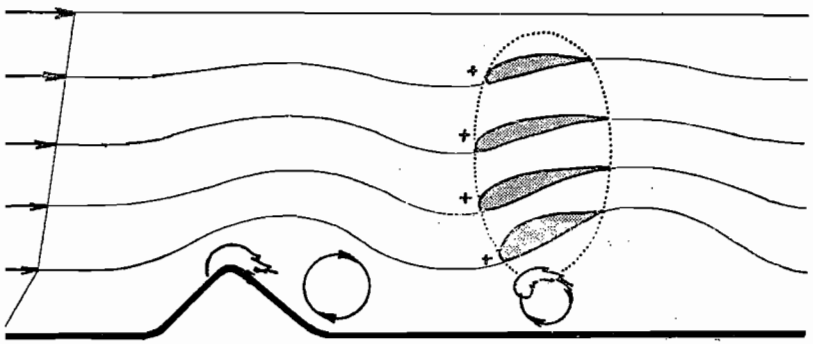
Kod nas je najpoznatija vršačka padina koju koristimo pri severozapadnom vetru, a, takođe, i padine u Livanjskom polju, zlatiborske padine, padine planina u okolini Sarajeva, na Bledu itd.

JEDRENJE NA VAZDUŠNIM TALASIMA

Pri stabilnoj atmosferi, kada horizontalno vazdušno strujanje (vetar) naiđe na prepreku — neko brdo ili planinu, doći će do poremećaja pravca strujanja i do pojave talasanja vazdušne struje iza prepreke. Ovakvo talasanje je stacionirano što znači da breg i dolja ovakvih talasa stoje na istom mestu a vazduh se penje ili spušta ne menjajući njihovo mesto (nalik na prolazak vode kroz talasasto iskrivljenu čvrstu cev). Da bi se stvorila talasna strujanja vazduha, potrebni su sledeći uslovi:

— *potpuni stabilitet atmosfere,*
— *dovoljna i konstantna brzina vetra sa visinom (ili da brzina raste sa visinom),*
— *dovoljno visoka vazdušna masa koja se kreće,*
— *pravac strujanja vazduha na prepreku što približniji 90°,*
— *dovoljno visoka i dugačka prepreka (planina),*
— *povoljan oblik terena iza prepreke.*

Prilikom prelaska vazdušnih struja preko prepreke, iza nje se stvara rotaciono strujanje vazduha — tzv. rotor, koji se pri određenoj brzini rotiranja odvaja od prepreke i biva nošen vetrom do izvesne udaljenosti, a onda slabi ili nestaje. Ovo odvaja-



Slika 9

nje rotora dešava se otprilike svakih deset minuta, čime se ceo proces ponavlja. Obrtanjem oko svoje ose rotor stvara na strani odakle duva vetar uspono strujanje a na suprotnoj nispono. Ova strujanja nisu ravnomerna, već su praćena velikom turbulencijom tako da dizanja ili propadanja mogu da pređu ± 10 m/s što čini letenje jedrilicom u njima veoma neprijatnim, pa čak i opasnim ukoliko se ne poznaju ćudi ovakvog strujanja. Rotorna strujanja poznaju se po oblacima sličnim raskidanim kumulusima koji se vrlo brzo kreću a otkinuti komadi se odvajaju i idu po krivoj putanji (sl. 9).

Na određenom rastojanju od prepreke a iznad rotora javlja se laminarno talasno strujanje. U njemu nema nikakve turbulencije. Vazdušne strujnice idu po zatalasanoj putanji, ali nema nikakvih vrtloga. Na bregovima ovih talasa javljaju se karakteristični oblaci sočivastog oblika altocumulus lenticularis. Njih može biti više nanizanih jedan iznad drugog ili, ako je vlažnost velika, mogu da se sastave u jedan debeo oblak i stvore tzv. „fenski zid". Iznad vrha prepreke javlja se, takođe, jedan karakterističan oblak tzv. „fenska kapa", koja, u stvari, leži na samom vrhu. Između ove „kape" i talasnog oblaka javlja se usled nisponih vazdušnih struja tzv. „fenski procep" u kome kondenzacija zbog toga nije moguća. Prestanak vetra stvara prestanak nisponih i usponih strujanja, a tada dolazi do zatvaranja fenskog procepa što je jasan znak da talasno strujanje prestaje.

Način jedrenja na talasima je sledeći. Avion dovlači jedrilicu ili direktno na talasno strujanje ili u rotor. Dovlačenje jedrilice direktno na talas lakše je za jedriličara, ali zahteva otkačivanje na velikoj visini, tj. od 1500 m pa čak i do 3000 m, odakle počinju laminarna talasna strujanja. Ovo u svakom slučaju smanjuje mogućnost postizanja efektivne visine. Dovlačenje u uspono polje rotora skopčano je sa letenjem u velikoj turbulenciji, čak sa rizikom da priključivanje na talas uopšte i ne uspe, ali otkačinjanje od aviona je moguće već na 2—300 metara visine. Znači da je i mogućnost postizanja efektivne visine tada daleko veća. Za šlep kroz rotor bira se veoma kratak konopac kako bi bacanja u koja uleće avion bila skoro istovremena sa bacanjima u koja uleće jedrilica.

Avion treba da dovede jedrilicu do rotora tamo gde se pretpostavljaju uspone struje. Zbog suviše brze promene usponih i nisponih struja jedriličar treba da otkači jedrilicu od aviona nešto pre nego što je variometar pokazao maksimalnu vrednost dizanja. Avion je dužan da se odmah ukloni. Dizanje prilikom otkačinjanja ne sme da bude malo, već nešto manje od maksimalnog. Pri otkačinjanju okrećemo jedrilicu prema vetru i traverziramo slično kao na padini. Ovo su obično jake traverze, jer je i vetar

jak i ne sme se dozvoliti da zanese jedrilicu niz vetar. Nije isključena mogućnost, ukoliko je vetar suviše jak, da se jedrilica postavi i potpuno u čelo vetra i tako „lebdi" sve dok traje dizanje. Let u traverzi traje sve dotle dok variometar ne počne da opada i tada počinjemo zaokret *u* vetar da bismo se vratili u polje većih usponih strujanja. Opet letimo u traverzi samo u suprotnom smeru i kada variometar ponovo počne da opada, počinjemo zaokret u vetar da bismo se ponovo vratili u polje većih dizanja. Ponekad je polje dizanja toliko usko da moramo prelaziti iz zaokreta u zaokret, ali uvek samo uz vetar jer najmanja nepažnja može da dovede da jedrilica uleti u polje nisponih struja odakle je vrlo teško izvući se. Jedreći na rotoru doći ćemo na zadnju stranu fenskog procepa, tj. ispred talasnog oblaka lentikularisa. Ulazak u polje laminarnog talasnog strujanja je veoma uočljivo, ponekad iznenađujuće za jedriličara. Iz predela velikih bacanja, kada je teško održavati jedrilicu u određenom položaju što predstavlja i psihički i fizički napor, ulazi se u predeo savršenog mira i neočekivanog olakšanja. Kazaljke instrumenata koje su do tog momenta skakale na sve strane sada su odjednom stale a jedino visinomer pokazuje uočljivi porast visine. Tada treba proći kroz fenski procep i jedriti pravolinijski u traverzi ispred lentikularnog talasnog oblaka. S obzirom na veliku brzinu vetra, nije moguće jedriti brzinom najmanjeg propadanja jedrilice, nego brzinu donekle povećati čime se mnogo ne gubi jer talasna dizanja mogu biti veoma jaka, vrlo često između 5 i 10 m/s a ponekad i više. Da bi let bio paralelan lentikularnom oblaku, na zemlji se izaberu orijentiri i pomoću njih viziranjem iz jedrilice ne dozvoljava se da vetar uvuče jedrilicu u oblak. Pravolinijski let traje sve dotle dok variometar pokazuje dovoljno veliko penjanje. Čim kazaljka spadne ispod dizanja u kome se vredi zadržavati, treba se, zaokretom u vetar vratiti na putanju gde su bila jača dizanja. Ma i jedan zaokret napravljen niz vetar može da dovede do ispadanja iz polja usponog strujanja, ulaska u lentikularni oblak i time do neuspeha u izvršenju zadatog leta.

Ako je to let za postizanje što veće visine, a na talasima se uglavnom zbog toga jedri, čim jedriličar pređe visinu od 3500 m, počinje sa pripremom kiseoničkog uređaja za let na velikoj visini. Ova priprema traje do visine od 4000 m kada jedriličar treba da počne da udiše kiseonik. Svako odlaganje udisanja kiseonika može jedriličara da dovede do gubitka svesti a da on uopšte ne bude svestan da gubi svest. Prema tome, tu nema očekivanja nekakvih simptoma nesvestice nego treba bez odlaganja upotrebiti kiseonik. Ukoliko na većoj visini jedriličar primeti modru boju na noktima, kratkotrajno preznojavanje ili bezrazložnu radost ili neke druge nesvakidašnje pojave, treba odmah da uključi sigurnosni protok



Foto: Dejan Gajić

Slika 10

kiseonika i snizi jedrilicu na malu visinu. Ako jedriličar ne primeti ovakve znakove, može da nastavi dalje sa penjanjem.

Na velikoj visini može da dođe do pojave zaleđivanja jedrilice. Mada se talasna strujanja kod nas javljaju pri južnim strujanjima, zbog čega je zaleđivanje otežano, ipak na velikoj visini može da dođe do toga, naročito ako jedriličar dozvoli da ga vetar zanese u lentikularni oblak koji je sastavljen od prehlađenih kapljica pa svaki ulazak stranog tela izaziva naglo zaleđivanje. Na kabini se prave obično hermetički zatvoreni dupli prozorčići, koji služe da se kroz njih gleda kada se kabina zaledi. Ako se i ovi prozorčići zalede, treba otvoriti bočni otvor za ventilaciju na kabini i gledati kroz njega, što na visini može da bude dovoljno. Ukoliko led koji se nahvatao na jedrilici počne da otežava komandovanje, treba prestati sa penjanjem i sniziti se da bi se izazvalo njegovo topljenje. Kratkotrajno oštro komandovanje palicom po dubini izazvaće trešenje krila i pucanje leda a time i njegovo odvajanje od krila.

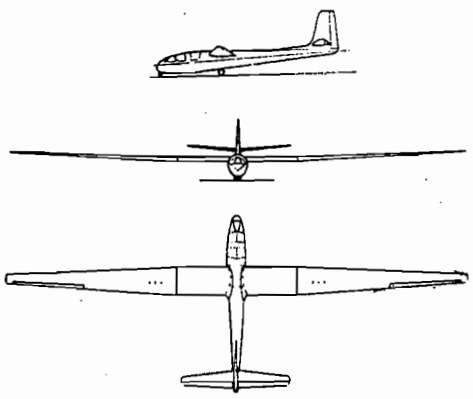
Kada je velika vlažnost i kada je celo nebo pokriveno oblacima a jedino fenski procep ostane da se kroz njega spustimo na zemlju, treba tokom celog leta da se pazi da se on zbog slabljenja vetra ne zatvori. U slučaju tendencije njegovog zatvaranja, treba prestati sa penjanjem, sjuriti se kroz njega još dok postoji i sleteti na aerodrom ili postupiti po nekom drugom propisu za taj slučaj, koji je propisan za taj predeo. Leteti u oblacima u planinskom predelu znači biti na domaku katastrofe i tada ne treba računati na sreću.

Kad se dostigne željena ili maksimalna visina, treba se vratiti na aerodrom. To se čini udaljavanjem od lentikularnog oblaka ka fenskom procepu kroz koji, povećanom brzinom i sa izvučenim kočnicama, letimo ka nisponim strujama iza prepreke.

Silazak u slojeve vazduha gde su rotori izazvaće ponovo jako bacanje jedrilice. Pažnja jedriličara mora ponovo da bude jako pojačana, jer treba sleteti na aerodrom po jakoj turbulenciji i jakom vetru a da se pri tom jedrilica ne ošteti ili ne ostane izvan aerodroma.

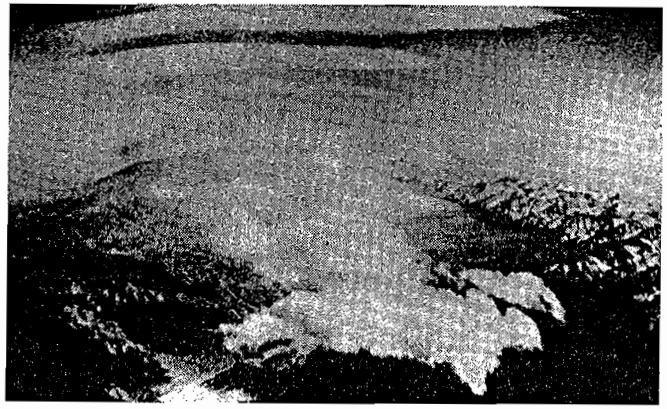
Visinsko jedrenje na talasima zahteva čvrstu i veoma pokretljivu jedrilicu, sa potpuno ispravnim kiseoničkim uređajem i uređajem za slepo letenje. Uz padobran ide i mala kiseonička boca koja se prilikom skoka priključuje na masku. Pilot mora da bude zdrav, dobro utopljen i sa suvom obućom (sl. 10).

Jedrenje na vazdušnim talasima je do danas još nedovoljno ispitan način jedrenja, koji, međutim, otkriva neslućene mogućnosti. Svaki let izvršen na velikoj visini predstavlja veće ili manje ispitivanje i pronalaženje nečeg interesantnog, pored toga što ti letovi još predstavljaju nezaboravan doživljaj u posmatranju zemljinog pejzaža i neba. Ptice ovamo ne dolaze. Možda su na tim visinama nekad jedrili pterodaktili ili slični preistorijski letači koji su mogli bez kiseonika. Mi danas pokušavamo da bez motora prodremo tamo i osetimo direktno jačinu vazdušnih struja. Svetski rekord apsolutne visine jedrilice postignut je 1966. godine i iznosi 14.102 m. Možemo li više? Ljudi konstruišu tjv. „stratosferske jedrilice", koje su, u stvari, meteorološke laboratorije. One imaju hermetički zatvorene kabine sa održavanjem stalnog pritiska, temperature i kiseonika. Raspon krila stratosferske jedrilice koju



Slika 11

Slika 12



Photograph by Tom Henderson

je konstruisao SCSA (Southern California Soaring Association) (sl. 11), iznosi 36,6 m. Njena brzina ide od 80 do 300 km/h.

Danas sve više počinjemo da ispitujemo i koristimo jedrenje na vazdušnim talasima naročito za obaranje visinskih rekorda i osvajanje uslova visine za značke. Otkrivaju se i neslućene mogućnosti za pravljenje preleta na talasima, u čemu već postoje i prvi uspeli pokušaji. Kod nas je jedriličar Arsen Kukura 30. IV 1959. godine izvršio prelet jedrilicom „Olympia" od Sarajeva do Sjenice sa prosečnom brzinom od 120 km/h, leteći isključivo na talasima i na visini 5000 m.

U Jugoslaviji postoje velike mogućnosti za letenje na talasima. Čitav Dinarski planinski sistem za vreme južnih strujanja vazduha prekriven je lentikularnim oblacima. Neki tereni su već ispitivani, kao u: Sarajevu, Skoplju, Mariboru a teren u Bihaću kod planine Plješevice pokazuje da je tu moguće postizati svetske rekorde. Izrazite divne bihaćke talase nije moguće snimiti običnom kamerom zbog njihovih ogromnih razmera i zbog toga je njihova fotografija na ovom mestu izostala. Poznati talasni tereni u svetu su na planinama Krkonoše u Čehoslovačkoj i Poljskoj a, takođe, i u Kaliforniji u Bišopu na planinama Sijera Nevada (sl. 12).

JEDRENJE ISPRED OLUJNOG FRONTA

Jedan već pomalo zaboravljen i zapostavljen način jedrenja ali veoma dinamičan i interesantan, a uz to sa mogućnošću postizanja lepih rezultata, jeste jedrenje ispred olujnog fronta.

Kada leti po sparnom vremenu primetimo na horizontu tamnu zavesu koja se brzo približava prema nama, tada možemo da raču-



Slika 13

Foto: „Skrzydlata Polska"

namo na mogućnost postizanja visine ili preleta jedreći ispred olujnog fronta. Ovakav olujni front može da se kreće brzinom oko 60 km/h. Vazdušna masa koja se nalazi u njemu mnogo je hladnija od one gde on dolazi, što uslovljava veliki termički gradijent i veliku labilnost vazdušne mase koja se nalazi na čelu fronta. Ta pojačana uspona termička strujanja ispred fronta možemo dobro da koristimo za jedrenje.

Za jedriličara je važno da oceni da li će olujni front moći da prevali veće rastojanje ili će se ubrzo raspasti. Indealno je kada se dobiju podaci iz meteorološke stanice, pa se po njima postupi. Ako ovih podataka nema, tada jedriličar mora sam da proceni situaciju. Što god je olujni front tamniji i što god je više praćen grmljavinom i munjama, to je povoljniji za izvođenje preleta (sl. 13).

Da bi let bio bezbedan, potrebna je čvrsta jedrilica, koja može da ulazi u oblak, opremljena električnim instrumentima za slepo letenje, padobranom i eventualno kiseoničkim uređajem, dok jedriličar mora dobro da vlada tehnikom pilotiranja i da bude obučen u slepom letenju.

Ako se poleće pomoću autovitla, treba sačekati da se oluja sasvim približi i da prođe period karakteristične tišine kada se na drveću ni list ne pomera. Zatim dolazi jak nalet čeonog vetra. Tog momenta treba poleteti pomoću vitla, doći ispred olujnog oblaka i tu jedriti u zaokretima ili osmicama, prema sopstvenoj oceni.

Još bolje je poleteti u aerozaprezi. Poleće se još dok je front dosta daleko od aerodroma i avion dovlači jedrilicu direktno u uspono strujanje ispred olujnog oblaka. Na taj način avion ima mogućnost da se vrati i bude u hangaru kada oluja pređe preko aerodroma a jedrilica, ako ne uspe da nađe uspone struje, takođe može da se vrati na aerodrom. Način dobijanja visine je isti kao i pri poletanju pomoću vitla.

Nije preporučljivo ulaziti u olujni oblak mada tamo postoje daleko jača dizanja od onih ispred njega, ali zbog pojave grada i strahovito velike turbulencije jedriličar nikad ne može da bude siguran da će njegova jedrilica to izdržati ili da će moći njome uspešno da komanduje. Postoje primeri da su jedriličari ulazeći u kumulus congestuse ili kumulonimbuse uspevali da naprave visok sportski rezultat, ali je isto tako dosta njih koji su morali da se spasavaju padobranom a na taj način je jedrilica izgubljena a život bio doveden u pitanje.

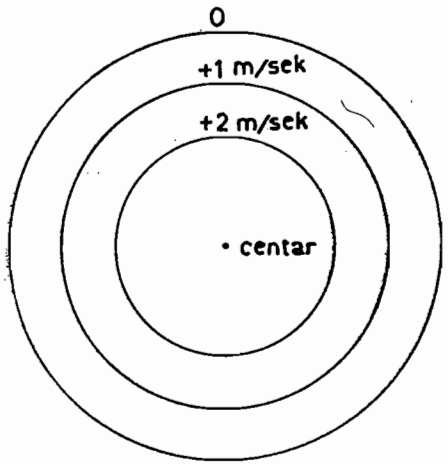
Zbog toga je dovoljno jedriti ispred olujnog oblaka i ne dozvoliti da se uđe u njega, jer su i tamo veoma jaka dizanja pa je moguće postići dobar rezultat uz daleko veću sigurnost.

Prvi let jedrilicom ispred olujnog fronta izvršen je 1926. godine i na taj način postignut svetski rekord u preletu od 52,5 km. Kod nas je 1940. godine jedriličar Slavko Lemešić na jedrilici „Komar" preleteo ispred olujnog fronta 364 km i sleteo na čehoslovačko-poljsku granicu. Ovakav način jedrenja retko danas koristimo, jer postoje i drugi bolji načini za jedrenje pa smo često skloni da pre oluje sklonimo jedrilicu u hangar. Ipak, ovaj način može da omogući postizanje velike visine ili dužeg preleta, pa treba poznavati letenje u oluji i koristiti ga.

JEDRENJE U TERMIČKIM STUBOVIMA

Postanak termičkog strujanja objašnjavamo uprošćeno na taj način što se pri zagrevanju sunčevim zracima, zbog različite strukture zemljine površine, različito zagrevaju materijali a time i vazduh iznad njih. Jače zagrejani vazduh postaje lakši, odvaja se od površine zemlje i penje se toliko visoko dok se ne ohladi do temperature okolnog vazduha. Tada uspono strujanje vazduha prestaje. Hladan vazduh, kao teži, silazi na zemlju i tako se stvaraju nispona strujanja. Detaljnije razmatranje postanka termičkih strujanja vazduha dato je u delu ove knjige koji se zove „Meteorologija". Naš zadatak je sada da razmotrimo kako da najbolje iskoristimo ova strujanja za jedrenje u njima.

Usponu termičku struju zamišljamo kao stub vazduha koji je topliji od okolnog, koji se kreće naviše. Ukoliko je vlažnost vazduha dovoljna, na vrhu ovog stuba javiće se karakterističan oblak kumulus, koji će nam pomoći da ovaj stub lakše u prostoru pronađemo, mada nije uvek sigurno da će ovaj oblak postojati. Niko ne može da tvrdi kakvog je preseka ovaj stub; da li je to krug, elipsa ili neki drugi oblik. Radi teorijskog razmatranja uzećemo da je to krug, jer je takav oblik najlogičniji. Znači, ako napravimo horizontalan presek kroz atmosferu možemo u vidu kruga da obeležimo granicu usponih i nisponih strujanja. Veličina usponih struja u ovom polju nije svuda jednaka, ali se pretpostavlja da su po obodu slabije a na sredini jače (sl. 14).



Slika 14

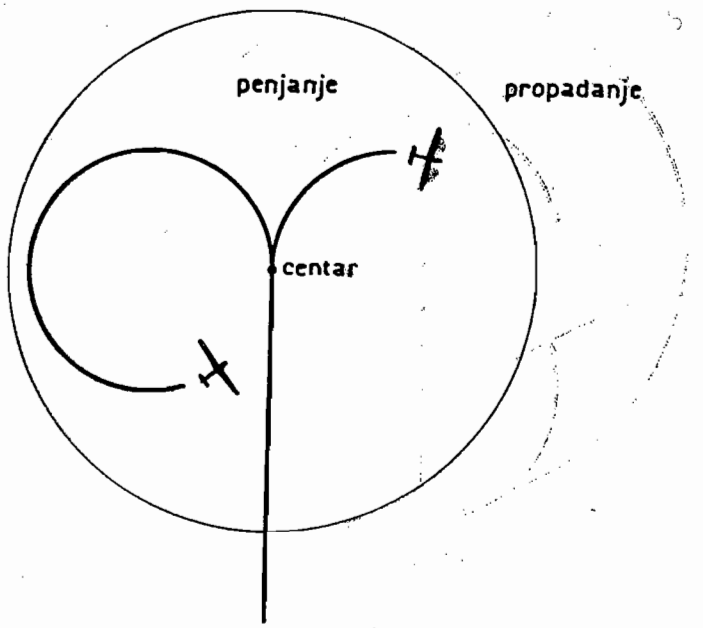
Najbolji način da se iskoristi ovakvo uspono strujanje je kruženje u njemu, jer se na taj način jedrilica najduže zadržava u predelu dizanja. Cilj je, takođe, i što brže popeti se jedrilicom u ovakvom strujanju, što se postiže kruženjem u onim delovima termičkog stuba gde su uspona strujanja najveća. Logično je da će stub biti najbolje iskorišćen ako se centar kruga koji opisuje jedrilica poklopi sa centrom termičkog stuba. Međutim, jedriličar ne vidi termički stub, pa postoji problem kako „centrirati" jedrilicom termički stub.

Kada jedriličar uleti u termički stub, njegova putanja može da bude usmerena pravo u centar stuba (sl. 15) ili može da bude tetiva tog kruga (sl. 16).

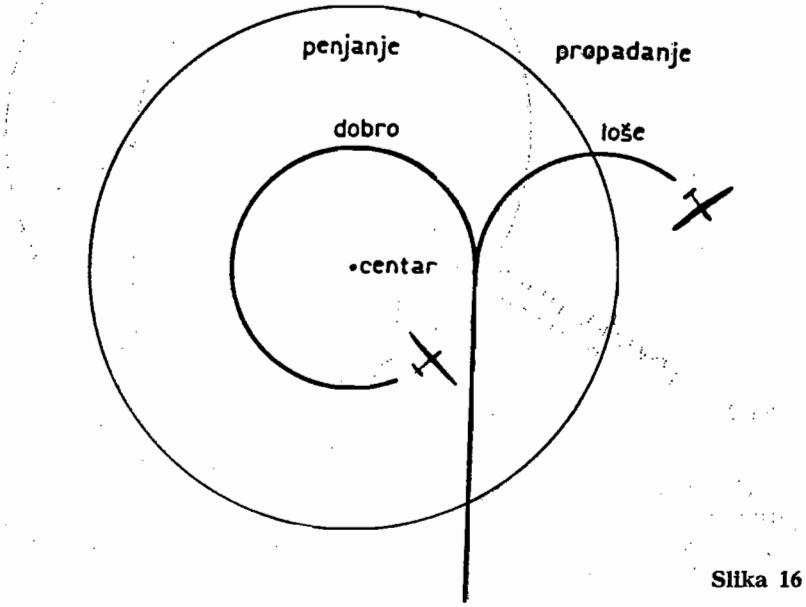
Odmah nastaje problem na koju stranu napraviti zaokret. Ako je putanja tetiva, onda je problem daleko lakši, jer, pod uslovom da pilot nasumice pogodi stranu zaokreta, posao oko centriranja stuba može da bude brzo gotov. Međutim, ako pilot okrene jedrilicu na pogrešnu stranu, tada će izaći iz polja usponog strujanja, a ako u sledećem zaokretu ne promeni stranu zaokreta, može da se desi da ovo uspono strujanje više i ne nađe. Pri prolasku jedrilice direktno kroz centar stuba i to u momentu kada se nalazi u najjačem dizanju, počinje se zaokret, levi ili desni, svejedno. Većina jedriličara pravi levi zaokret, jer im je tako lakše. Posao oko centriranja tek sada počinje i u tome je sva umešnost jedrenja i tajna mnogih uspeha u jedrenju. Iskoristiti termičke stubove do maksimuma, znači imati mogućnost za postizanje najboljeg rezultata toga dana. Postoji nekoliko načina centriranja stubova i ne može se reći koji je od njih najbolji. Jedriličar može da izabere onaj koji njemu najviše odgovara ili onaj za koji smatra da će biti najbolji u datoj situaciji.

Centriranje prema najslabijim dizanjima

Kada variometar pokaže dizanje, jedriličar napravi zaokret i posmatra veličine penjanja. Posle prvog zaokreta zapamtiće momenat kada je dizanje imalo najmanju vrednost na taj način što

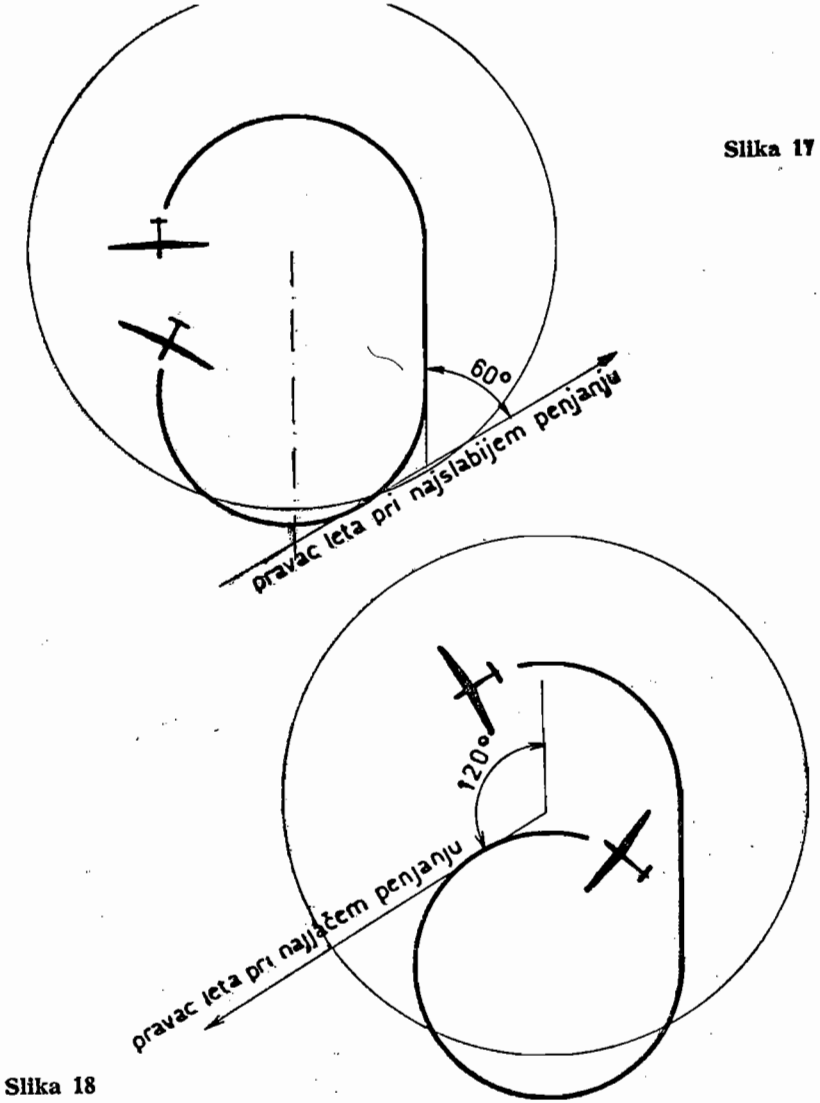


Slika 15



Slika 16

uoči neki orijentir prema kome je jedrilica bila tada okrenuta. U sledećem zaokretu proverava se da li će najmanje dizanje biti ponovo na tom mestu. Kada se utvrdi gde je dizanje najmanje, onda se jedrilica zaokrene od tog pravca još za 60° i uvede u pravolinijski let. Trenutak-dva leti se pravolinijski pa se onda nastavi sa zaokretom kakav je bio i ranije (sl. 17).



Slika 17

Slika 18

Na taj način centar stuba treba da se nalazi na liniji koja je paralelna sa pravcem kada se u centriranju izvodi pravolinijski let. Ako se manevar izvede pravilno, jedan zaokret približava jedrilicu ka centru za oko 50 m.

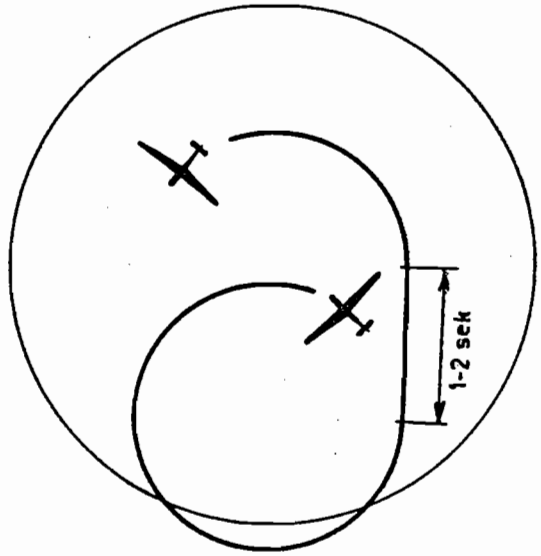
Centriranje prema najjačem dizanju

Kada, tražeći stub, jedriličar napravi zaokret pa je veći deo tog zaokreta u propadanju, onda je najlakše centrirati stub prema najvećem dizanju. Kada jedriličar odredi orijentir u momentu najvećeg dizanja, u sledećem zaokretu treba na oko 120° pre dolaska na taj orijentir, tj. na najveće dizanje, da ispravi jedrilicu i u tom pravcu da leti 1—2 sekunde. Posle ovoga jedriličar treba da nastavi sa onim zaokretom koji je započeo ranije (sl. 18).

I jedan i drugi način centriranja treba utrenirati tako da se to radi refleksno.

Centriranje pomoću promene nagiba

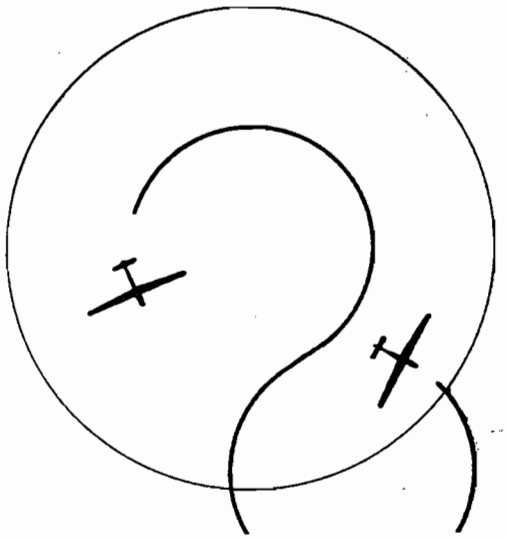
Najviše korišćen način centriranja a uz to i najjednostavniji jeste centriranje pomoću promene nagiba. Svaki put kad jedriličar oseti porast brzine penjanja jedrilice, treba da smanji nagib jedrilice i sa tako smanjenim nagibom da leti još 1—2 sekunde. Smanjenje nagiba prouzrokuje povećanje prečnika zaokreta jedrilice što, u stvari, znači da će se jedrilica pomeriti ka većim dizanjima. Posle smanjenja nagiba jedriličar ponovo vraća jedrilicu u nagib koji je imao ranije i nastavlja da kruži u istom zaokretu (sl. 19).



Slika 19

Ovaj način, ipak, zahteva ili iskusnog pilota koji dobro oseća promenu brzine penjanja ili veoma osetljiv variometar čije je zakašnjavanje svedeno na minimum. Ipak, kada su termički stubovi iskidani ili slabo izraženi, ovaj je način najpogodniji.

Slika 20



Centriranje pomoću promene pravca kruženja

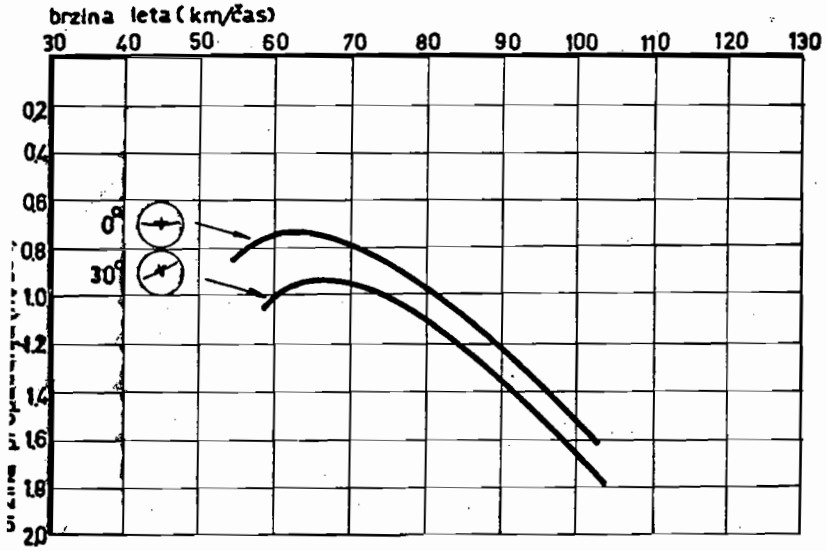
Ovaj način ne može da se preporuči početnicima, jer traži dobro poznavanje termičkih stubova i date meteorološke situaci-

je. Kada je veći deo zaokreta u propadanju, onda jedriličar treba u momentu najvećeg dizanja da, što je moguće brže, promeni pravac zaokreta i na taj način se „ucentrira" u stub (sl. 20). Momenat prelaska iz jednog zaokreta u drugi određuje se po osećaju i iskustvu, a greška u ovome može da dovede do potpunog gubljenja stuba. Međutim, pravilan manevar ima efekat kao i nekoliko zaokreta pri promeni nagiba.

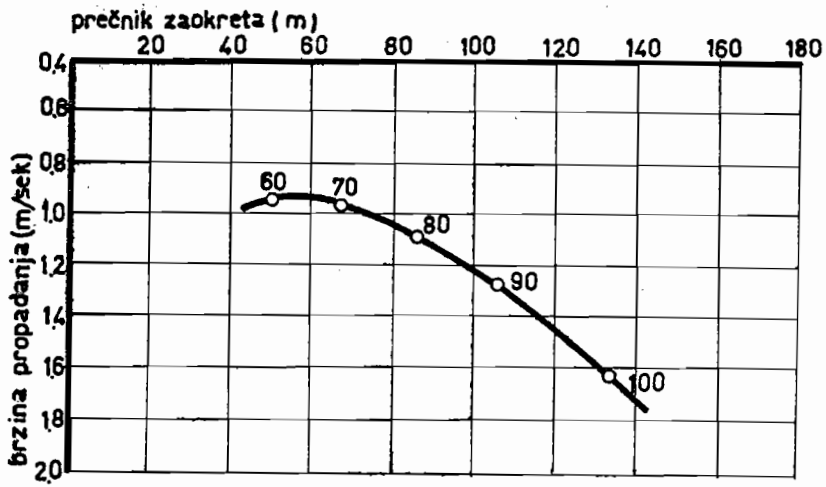
Tehnika kruženja

Na osnovu ispitivanja utvrđeno je da je u termičkom stubu brzina penjanja vazduha najveća u njegovom centru, a idući od centra ka periferiji ova brzina opada. To znači da bi najbolje bilo praviti što je moguće manji prečnik zaokreta. Međutim, smanjenje prečnika zaokreta prouzrokuje povećanje nagiba jedrilice i povećanje brzine propadanja jedrilice. Postavlja se, dakle, pitanje do kog nagiba se isplati kružiti u stubu. Smanjenje prečnika kruženja na račun povećanja ugla nagiba isplati se ako porast brzine propadanja jedrilice, koji je nastao povećanjem nagiba, bude manji od porasta brzine penjanja, koje je nastalo zbog smanjenja prečnika kruženja. Oni koji ne vole mnogo da misle dobro je da znaju da se sa većinom jedrilica najviše isplati kružiti sa nagibom od oko 30°.

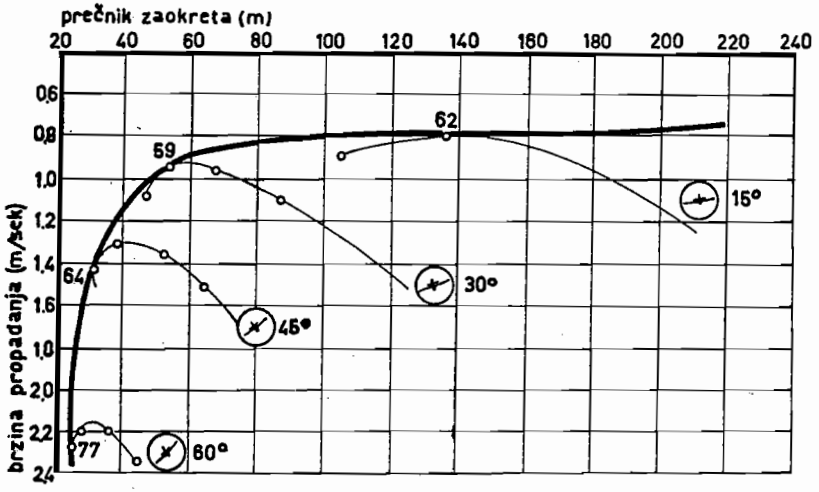
Da pogledamo kako to izgleda predstavljeno na dijagramu (sl. 21). Ako na apscisi imamo horizontalnu brzinu a na ordinati



Slika 21



Slika 22



Slika 23

brzinu propadanja pri nagibu od 0° kriva koja pokazuje zavisnost veličine propadanja od horizontalne brzine biće viša od iste takve krive koja važi za nagib od 30°. Ovo jasno pokazuje da će pri nagibu od 30°, propadanja pri jednoj određenoj brzini biti uvek veća nego pri nagibu od 0°.

Na drugom dijagramu, koji je napravljen za jedan određen nagib (npr. za 30°), vidimo da, ako kružimo sa istim nagibom, veličina brzine propadanja zavisi od prečnika kruga a ovaj opet od horizontalne brzine (sl. 22).

Odavde se, takođe, vidi da je najmanji prečnik takvog zaokreta pri najmanjoj brzini kruženja. Treba sad odrediti da li je bolje kružiti brzinom pri kojoj je najmanji prečnik kruženja ili brzinom pri kojoj je najmanje propadanje jedrilice. Ako načinimo dijagram sličan prethodnom, u kome ćemo ucrtati za svaki nagib po jednu krivu pa te krive tangiramo jednom linijom obvojnicom, videćemo da svaka kriva sa obvojnicom ima po jednu zajedničku tačku koja daje najbolje parametre kruženja za taj nagib (sl. 23).

Dakle, vidi se da je pri malim nagibima najbolja brzina kruženja veća od minimalne brzine leta a skoro jednaka brzini pri najmanjem propadanju. Sa porastom nagiba najbolja brzina kruženja se približava brzini prevlačenja, tako da pri velikom nagibu ne možemo da letimo sa najboljom brzinom kruženja već nekom većom koja će prouzrokovati i preterano veliko propadanje. Prema tome kako je konstruisan, svaki tip jedrilice daje različite mogućnosti i ovi dijagrami odnose se samo na određeni tip, pa zato treba posmatrati dijagrame koji odgovaraju za tip jedrilice na kojoj letimo.

Pored nagiba, treba da se zna da svaka promena horizontalne brzine jedrilice prouzrokuje promenu brzine propadanja, i to uglavnom tako da se pri povećanju horizontalne brzine povećava i brzina propadanja. To znači da i brzina utiče na veličinu penjanja a ne samo nagib, i nije svejedno kojom ćemo brzinom kružiti. Logično bi bilo da to bude brzina pri kojoj je propadanje jedrilice najmanje, ali zbog toga što u stubu kružimo sa nagibom, pa su osobine nagnute jedrilice lošije, ova će brzina biti nešto veća. Brzina u zaokretu ne sme da bude promenljiva. Svaka promena brzine pri kojoj se jedrilica najbolje penje prouzrokuje veće ili manje smanjenje brzine penjanja. Nagib se menja onako kako zahtevaju načini centriranja stuba ili se održava onaj pri kome se dobija najveća vrednost brzine penjanja. Veština održavanja stalne brzine i određenog nagiba stiče se trenažom, kao i mnoge refleksne radnje koje nastaju prilikom kruženja i centriranja stuba. Treba imati na umu da je jedriličar pun posla za vreme jedrenja i da, pored centriranja, mora još da osmatra oko sebe ako jedri sa još nekim, da računa elemente za let van stuba, osmatra meteorološku situaciju itd.

U nekim slučajevima centriranje termičkog stuba može da se smatra završenim ako je kazaljka variometra stajala mirno u najmanje dva zaokreta. Međutim, ima i takvih stubova koje je nemoguće ucentrirati, pa jedriličar stigne do njegovog vrha a da uopšte nije uspeo da centrira stub.

Ma koliko da su tokom zaokreta potrebni elementi kao što je horizontalna brzina i brzina penjanja, koje čitamo sa instrumenata, ipak je pogrešno uvući glavu u kabinu i neprestano posmatrati instrumente. Veličina nagiba kontroliše se posmatranjem horizonta a promena brzine se oseća po promeni šuma jedrilice a, takođe, i razna klizanja i nepravilnosti zaokreta. Pravilnost zaokreta može da se kontroliše posmatranjem kuglice na pokazivaču klizanja ili osećajem centrifugalne sile na telu jedriličara.

Veština kruženja stiče se treniranjem uz primenu teorijskog znanja i, mada na prvi pogled izgleda prosto, zahteva dosta vremena a u dobrom centriranju i maksimalnom iskorišćenju stubova leži veliki deo uspeha u letenju.

Pronalaženje termičkih usponih struja

Ulazak jedrilice u termički stub ne može se prepustiti slučaju. Jedriličar mora dobro da zna gde se stubovi stvaraju, koliko dugo traju, kako se prepoznaju itd. da bi mogao da ih iskoristi za svoj let. Bez obzira na to što može da ima odličnu tehniku pilotiranja, ako nije u stanju da dovoljno brzo pronađe termički stub, jedriličar neće moći da se održi dugo u vazduhu sa svojom jedrilicom.

Pre poletanja jedriličar treba da posmatra kako se meteo-situacija razvija. Ocenjuje jačinu i pravac vetra, posmatra oblake i na osnovu njihovog oblika i približne visine pretpostavlja kakva dizanja može da očekuje. Naravno, ukoliko je moguće da dobije podatke iz neke meteorološke stanice, njegove pretpostavke mogu da budu približnije stvarnom stanju u atmosferi.

Postoji dosta znakova koji otkrivaju postojanje termičkih usponih struja. Dim iz fabričkog dimnjaka koji se diže visoko otkriva da je on centar nekakvog veštački stvorenog termičkog stuba i da je u njemu moguće jedriti. Ono što je u toj pojavi još važnije jeste to da taj dim govori da u atmosferi može tada da postoji još termičkih usponih struja koje su se prirodno stvorile. Kada dim iz fabrike ne može da se penje nego se odmah po izlasku iz dimnjaka rasipa na maloj visini, to je znak da nema ni prirodnih termičkih struja. Pored fabričkih dimnjaka, termički stub mogu da stvore mesta gde se izbacuje vrela šljaka iz ložionica fabrika ili železničkih stanica, svakojake vrste većih paljevina na zemlji itd.

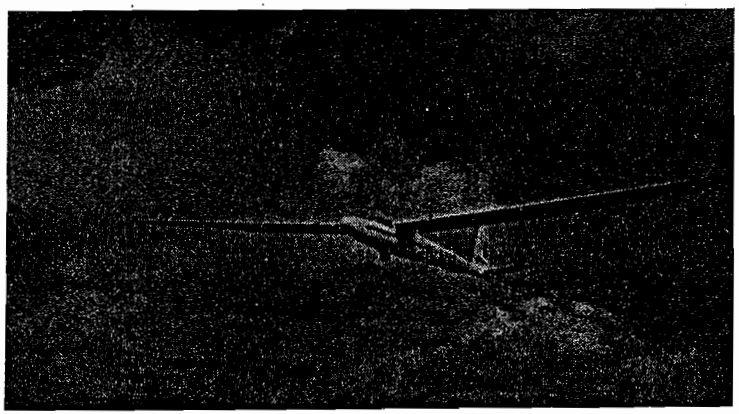
Prirodno stvoren termički stub može u sebi da nosi razne lake otpatke kao što su sasušeni listovi kukuruza, delovi starih novina i slično. Ako na visini od 1000 m nađemo novine, jasno je da su one tu došle termičkim strujanjima. Listovi kukuruza govore o tome da se termički stubovi stvaraju iznad suvih kukuruznih površina i da ih tamo treba tražiti ako se nalazimo na maloj visini.

Ako se kruži u blizini ovih predmeta, može sa dosta nade da se očekuje dobar termički stub. Kad su stubovi slabo izraženi, neki jedriličari pokušavaju da pronađu bolja dizanja na taj način što iz jedrilice izbacuju parčad hartije ili plakate (kojih uvek na aerodromima ima dovoljno), pa posmatraju kako ih nose vazdušne struje i prema tome jedre.

Ptice su stari jedriličari koje svojim instinktom pronalaze termičke stubove. Mi nemamo taj instinkt, ali možemo da se oslonimo na njihov kada ih vidimo kako jedre. Naročito su korisne velike ptice kao jastrebovi, orlovi, rode i sl. a, takođe, i vrane koje jedre u jatima, dok manje ptice teško mogu da nam budu putokaz za termički stub.

Činjenica da termički stub nastaje tamo gde je zagrevanje površine zemlje veće navodi na to da je potrebno tražiti takve površine na zemlji. Peskoviti tereni, njive sa suvim kukuruzom i žitom, strnjike, oranice tamne boje, kameniti delovi terena, krovovi naselja itd. mogu da budu mesta gde mogu da se stvore termički stubovi danju. Predveče i noću situacija se menja i ova mesta zameniće druga koja su se tokom dana sporije zagrevala a noću su se sporije hladila. Sada će se iznad njih zadržati topli vazduh, jer se iznad onih prethodnih brže ohladio. Traženje termičkih stubova posmatranjem terena preko koga se leti treba vršiti uvek kada je nebo bez oblaka ili kada je visina jedrilice najmanje 1000 metara niža od baze oblaka. U ovakvom slučaju jedriličar treba da posmatra senku oblaka na zemlji. Ona će redovno biti uzrok slabijeg zagrevanja terena, pa uspono strujanje treba tražiti na osvetljenom terenu između senki.

Kada postoji kumulusna oblačnost, jedriličar ima veliko olakšanje u poslu oko pronalaženja stubova, jer su oni obeleženi kumulusnim oblacima. Ipak, i tu može da dođe do velikih pogreški



Slika 24

Slika 25

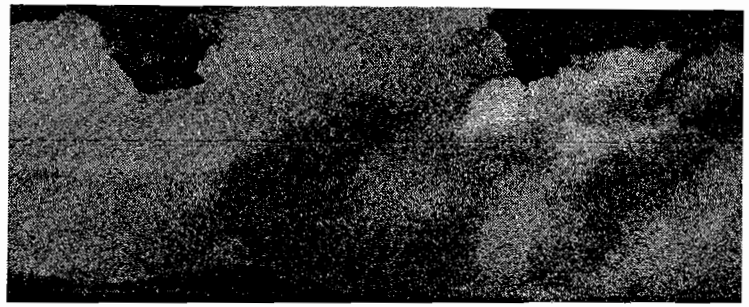


Foto: „Soaring"

pa treba dobro poznavati ove oblake. Svaki kumulus ima svoj vek trajanja, koji može da bude od 5 do 20 minuta. Pri posmatranju nekog kumulusa, treba utvrditi da li je on u fazi razvoja ili raspadanja. Ako je u razvoju, onda će imati koristi za jedrenje; ako je u raspadanju, neće biti mnogo nade za njegovo korišćenje. Kumulus počinje da se stvara kada gornja granica termičkog stuba dostigne visinu kondenzacije vodene pare. Prvo se stvaraju male „krpice" od oblaka, koje se zatim spajaju i stvaraju oblak gomilastog oblika sa zaobljenim izbočinama i jasno naznačenom ravnom i nešto tamnijom bazom. Ceo proces stvaranja ovakvog oblaka može da se uoči posmatranjem za koje ne treba više od dva do tri minuta (sl. 24).

Ovakvi oblaci mogu da daju mnogo nade da će pod njima biti dobrih usponih strujanja.

Posle izvesnog vremena, tj. kada se kumulusni oblak razvio do maksimuma, počeće njegovo raspadanje. To se dešava kada donji deo termičkog stuba dostigne visinu kondenzacije vodene pare. Početak raspadanja oblaka sličan je njegovom stvaranju, pa može lako da prevari jedriličara. Siva boja baze počinje da dobija svetlija mesta a pojedina mesta nemaju istu visinu. Najzad, odvajaju se pojedini delovi oblaka i nestaju. Time se završava život jednog oblaka. Dolazak pod ovakav oblak redovno je osuđen na neuspeh i zato je korisnije leteti ka nekoj maloj krpici koja je u stvaranju, nego tražiti uspone struje pod velikim oblakom koji je u raspadanju.

Ponekad, kada je vlažnost velika, imamo pojavu velike kumulusne oblačnosti, koja može da bude potpuno beskorisna za jedrenje. Slabo zagrevanje usled prevelikog zasenčenja ne daje mogućnosti za stvaranje usponih struja koje bi mogle da podignu jedrilicu. Odsustvo ravne osnove takvih kumulusa govori da ovi oblaci ne mogu mnogo da koriste jedriličarima (sl. 25).

Dobro razvijen kumulus, koji ispod sebe može da ima jaka uspona strujanja, ne mora da diže ispod cele svoje baze. Ponekad njegov prečnik može da bude daleko veći nego što je prečnik zaokreta jedrilice. To znači da jedrilica može da dođe ispod oblaka koji ima uspone struje a da ipak ne uđe u njih. Zbog toga se tra-

ženje stuba pod oblakom počinje širokim zaokretom od 360°, kojim se ispituje svaka strana oblaka. Ponekad su dizanja na onoj strani oblaka sa koje je sunce, ponekad na suprotnoj i u ovome nema pravila. Ali, ako su npr. pod nekim oblakom uspone struje na onoj strani gde je sunce, onda postoji velika verovatnoća da će toga dana i pod ostalim oblacima te struje biti na istoj strani.

Vetar može različito da utiče na stvaranje usponih termičkih struja. Slab vetar pomaže njihovo stvaranje na taj način što sa toplih terena raznosi topli vazduh koji se podigao a nije uspeo da se ohladi, i na taj način pravi mogućnost za stvaranje novog stuba a sprečava stvaranje inverzije. Jači vetar može da zakosi termički stub i tada se on ne nalazi iznad mesta na kome je postao. Zbog jakog vetra termički stubovi mogu da budu „iskidani" pa ih je teže pronaći i teže je u njima jedriti. Ipak, jak vetar može da bude koristan u pronalaženju stuba, naročito ako je jedriličar pogrešio pa je krenuo niz vetar ka oblaku koji je počeo da se raspada. Tada postoji verovatnoća da će preleteti preko mesta gde se raspadnuti oblak stvorio i tu pronaći uspone struje drugog stuba koji je u stvaranju a koji još ne mora biti obeležen oblakom. Nailazak na takvo strujanje može da bude veoma koristan.

Pri jakom vetru i jakoj kumulusnoj oblačnosti, može da dođe do pojave „kumulostrada". Kumulusi se niz vetar sustižu i nižu jedan za drugim, obrazujući čitave nizove usponih strujanja koji mogu da budu dugački 50—60 km. Naravno, pored ovih nizova nalaze se, isto tako, dugačka polja nisponih strujanja. Ponekad se nekoliko kumulostrada poređaju jedna pored druge. Dovoljno je da se leti bočno prema kumulostradi i kada se naiđe na dizanje, okrenuti jedrilicu niz ovaj niz oblaka. Velika je greška kružiti u ovim dizanjima. Tada se leti pravolinijski niz kumulostradu, smanujući brzinu jedrilice pri prolasku kroz veća dizanja. Takvim letom jedriličar će se naći uskoro pod bazom oblaka. Zbog bolje vidljivosti i da bi mogla da se oceni situacija ispred sebe, dobro je leteti nešto niže od baze oblaka. Kumulostrade mnogo pomažu da se brzina preleta poveća i jedriličar koji ima kumulostradu na svom preletu može da smatra da mu je sreća bila naklonjena.

Jedrenje u termici je od ogromnog značaja za današnje jedriličarstvo. Sve naše jedriličarske značke mogu da se osvoje ovim načinom jedrenja. Većina rekorda oborena je u jedrenju na taj način. To možemo nazvati osnovnim načinom jedrenja. Najveće brzine na preletima, najduži preleti ostvareni su jedrenjem na termici a ovo su danas najinteresantnije discipline. Ni približno nisu iskorišćene sve mogućnosti koje daju termička uspona strujanja. Jedrenjem na ovaj način očekuju se mnogi rekordi, a kraj postizanja velikih rezultata je tako daleko da danas ne možemo ni da ga sagledamo.

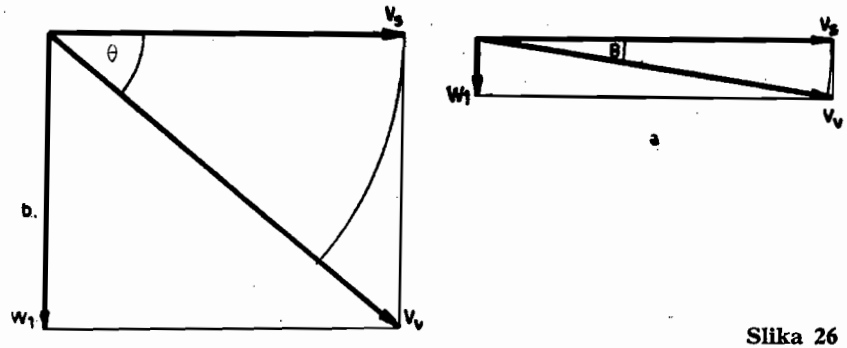
TEHNIKA PRELETA JEDRILICOM

PRELET

Jedna od najinteresantnijih, u isto vreme i najkomplikovanija disciplina u jedriličarstvu jeste prelet. Raznovrsni su oblici preleta koji mogu da se izvode jedrilicom. Gruba podela bila bi na: prelete kojima je cilj što veće rastojanje i prelete kojima je cilj što veća brzina. Način letenja u jednoj vrsti nešto se razlikuje od načina letenja u drugoj vrsti, a često iz određenih razloga mogu da budu isti. Do sada smo razmatrali problem jedrenja, tj. dobijanja visine u nekom usponom strujanju a sada pri preletu nastaje novi problem: kako tu visinu pretvoriti u rastojanje ili preleteti neko rastojanje što je moguće većom brzinom. Odmah može da bude jasno da posle penjanja u usponom strujanju dolazi neka druga faza leta u kojoj treba da se preleti neko rastojanje. To je planiranje. Pri planiranju jedrilica gubi visinu, pa je potrebno da nađe neko novo uspono strujanje vazduha u kome će ponovo da dobije u visini. Dakle, let jedrilice na preletu sastoji se iz naizmeničnog penjanja u usponim strujama i planiranju između njih. Logički se nameće da je prelet moguće vršiti samo onda ako postoje uspone vazdušne struje. Prema jačini usponih struja, brzini i pravcu vetra, vrsti jedrilice itd., treba naći određenu tehniku letenja da bi se što duže ili što brže vršio prelet.

BRZINA PRELETA

Iz aerodinamike se zna da je za let jedrilice potrebno da se ona kreće određenom horizontalnom brzinom. U potpuno mirnoj atmosferi ta brzina može da se meri u odnosu na neku nepokretnu tačku na zemlji. Ako se jedrilica kreće tom istom brzinom u vazdušnoj masi koja se kreće nekom brzinom u istom smeru kao i jedrilica, onda će se ona, u odnosu na nepokretnu tačku na zemlji, kretati brzinom koja je ravna zbiru njene brzine kroz vazduh i brzine vazdušne mase. Brzinu jedrilice kroz vazduh nazivaćemo *vazdušna brzina jedrilice* (V), a brzinu jedrilice u odnosu na neku nepokretnu tačku na zemlji *stvarna brzina jedrilice* (Vs). Brzinu kretanja vazdušne mase, tj. *brzinu vetra* možemo da obeležimo sa Vv. Sada



Slika 26

možemo da kažemo da je: ako vetar duva u leđa Vs=V+Vv, a ako duva u čelo Vs=V−Vv.

Pri određenoj horizontalnoj brzini, kada leti u mirnoj atmosferi, jedrilica uvek propada nekom brzinom što čini da let ne može biti horizontalan nego pod nekim uglom koji nazivamo *ugao planiranja* (Θ). Zbog ovog ugla brzina kojom jedrilica leti kroz miran vazduh bila bi nešto manja od brzine u odnosu na neku nepokretnu tačku na zemlji (sl. 26a).

Pošto su uglovi pod kojim jedrilica normalno planira pri preletu relativno mali, ta razlika između ove dve brzine može da se zanemari, pa ćemo uvek računati sa jednom istom vrednošću horizontalne brzine. Naravno, pri obrušavanju ova se razlika mnogo povećava i ne bi mogla da bude zanemarena (sl. 26b). Međutim, za naša računanja na preletima beskorisno je leteti pod suviše velikim uglovima, pa takve slučajeve nećemo ni razmatrati.

Pri različitim horizontalnim brzinama imamo i različita propadanja jedrilice. Ovu brzinu propadanja nazivamo *vertikalna brzina propadanja* (W). Kada jedrilica leti kroz mirnu atmosferu, onda je vertikalna brzina propadanja jedrilice u odnosu na neku nepokretnu tačku na zemlji i u odnosu na vazduh jednaka. Veličina brzine propadanja u zavisnosti od horizontalne brzine nije kod svih jedrilica jednaka, već zavisi od konstrukcije jedrilice. Ovu brzinu propadanja nazvaćemo *sopstvena brzina propadanja* (Ws). Kada jedrilica leti kroz nemirnu atmosferu pa uleti u postor sa propadanjem vazduha, onda će njena brzina propadanja da se poveća za veličinu brzine propadanja vazduha. *Ukupna brzina propadanja* (W_1) biće zbir *sopstvene brzine propadanja* (Ws) i *brzine propadanja vazduha* (Wv). Sada možemo da napišemo da je u mirnoj atmosferi:

$$W_1 = Ws + Wv$$

gde je Wv=0, pa je:

$$W_1 = Ws.$$

Kada u otmosferi postoji propadanje, ukupna brzina propadanja biće:

$$W_1 = Ws + Wv$$

Vrednost ukupne brzine propadanja čitamo na variometru.

Šta će se, međutim, dogoditi kad jedrilica uleti u uspono vazdušno strujanje? Ako je *brzina usponog vazdušnog strujanja* (Wu) veća od sopstvene brzine propadanja jedrilice (Ws), onda će jedrilica početi da se penje brzinom usponog vazdušnog strujanja (Wu) umanjenog za veličinu sopstvene brzine propadanja (Ws) koje ćemo nazvati *brzina penjanja jedrilice* (W_2). Dakle, biće:

$$W_2 = Wu - Ws$$

U slučaju da je Wu=Ws, onda je:

$$W_2 = 0,$$

pa će let jedrilice biti horizontalan.

Iz ovoga može da se izvede zaključak da jedrilica uvek propada u odnosu na vazduh, bez obzira na to što vazdušne struje mogu da je podižu u odnosu na zemlju. Znači, ona leti uvek pod nekim uglom planiranja (Θ), čija veličina zavisi od horizontalne brzine jedrilice. Ugao planiranja može da se definiše kao ugao koji zaklapa putanja planiranja jedrilice sa nekom zamišljenom horizontalnom ravni. Prema tome, ako se jedrilica nalazi na nekoj određenoj visini, pri nepromenjenom uglu planiranja, preleteće uvek jedno određeno rastojanje. Odnos visine jedrilice prema rastojanju koje je preletela naziva se *finesa jedrilice* (F). Ovaj pojam imali smo i ranije u aerodinamici — prilikom proučavanja polare krila kada smo rekli da je to:

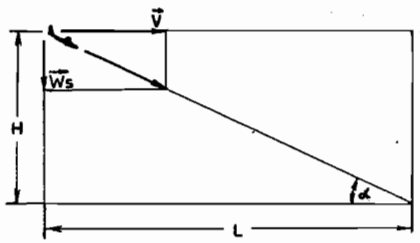
$$F = \frac{C_x}{C_z} = \operatorname{tg}\alpha \quad \text{ili} \quad \frac{C_z}{C_x} = \operatorname{cotg}\theta$$

gde je: α — bio ugao planiranja. Sada vidimo da cotg Θ možemo da predstavimo i odnosom:

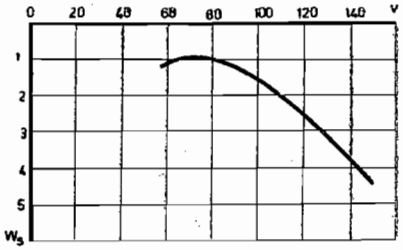
$$\operatorname{cotg}\theta = \frac{L}{H}$$

ili odnosom vrednosti horizontalne brzine jedrilice (V) prema vrednosti sopstvene brzine propadanja (W_s) (sl. 27).

Finesa je neimenovan broj, odnos dveju veličina i u praksi se predstavlja npr. sa $\frac{L}{H}=30$ ili F=30:30 što znači da jedrilica o ko-



Slika 27



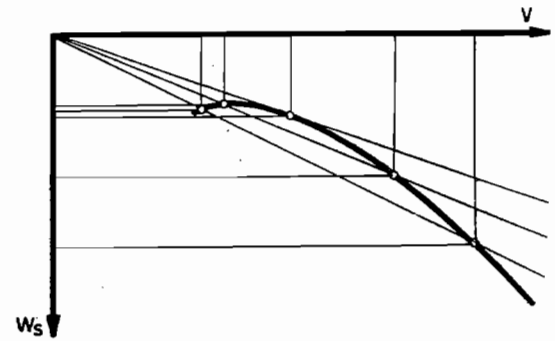
Slika 28

joj je reč preleće trideset puta veće rastojanje nego što je njena visina, ili leti trideset puta većom horizontalnom brzinom nego što je njena sopstvena brzina propadanja.

Posmatrajući polarni dijagram brzine jedrilice, možemo da vidimo kako se u zavisnosti od promene horizontalne brzine jedrilice menja i njena sopstvena brzina propadanja a sa ovim i finesa (sl. 28).

Svaka tačka na polari brzina predstavlja neku vrednost horizontalne brzine i sopstvene brzine propadanja. Pri tome imamo i određenu veličinu finese. Ako smo dijagram iscrtali tako da je veličina podeoka na apscisi jednaka podeocima na ordinati (što zbog nepraktičnosti i nepreglednosti retko radimo), onda možemo da dobijemo tačne veličine ugla planiranja ako pravom linijom spojimo koordinatni početak sa presekom veličine horizontalne brzine i brzine propadanja. To znači da će ovaj dijagram moći da nam pokaže i finesu pri toj brzini i propadanju, jer smo malopre rekli da je finesa odnos ovih dveju brzina (sl. 29).

Na slici se jasno vidi da za svaku vrednost finese postoje dve vrednosti horizontalnih brzina i dve vrednosti sopstvenih propadanja. Samo na onom mestu gde linija povučena iz koordinatnog



Slika 29

početka više ne preseca polaru nego je tangira, postoji samo jedna horizontalna brzina i jedna sopstvena brzina propadanja jedrilice. To je brzina najbolje finese (ili najmanjeg ugla planiranja). Leteći tom brzinom jedrilica će moći da pređe najveće rastojanje. Iz dijagrama se jasno vidi da će, ako jedrilica leti nekom drugom brzinom, ugao planiranja biti veći, tj. vrednost finese biće slabija. Prema tome, postoji samo jedna horizontalna brzina kojom jedrilica treba da leti pa da sa neke visine preleti najveće rastojanje.

Na polari brzine može da se očita i brzina pri najmanjem propadanju. To se očitava na onom mestu gde horizontalna linija dodiruje polaru.

Polarni dijagram brzina daje mogućnosti da se vide skoro sve osobine jedrilice koje su važne za tehniku preleta. Zato se on daje uz svaku jedrilicu. Bez poznavanja osobina jedrilice nemoguće je ma šta tačno izračunati u vezi sa preletom.

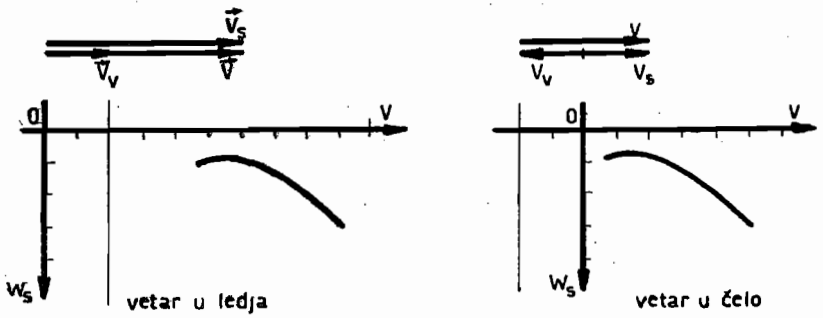
UTICAJ KRETANJA VAZDUHA NA POLARU BRZINA JEDRILICE

Ova prethodna posmatranja polare vršili smo pod pretpostavkom da se let odvija u potpuno mirnoj atmosferi. Za nas je, takođe, važno da znamo šta biva sa polarom (tj. sa jedrilicom) kada se let odvija u turbulentnoj atmosferi, tj. kada na let utiču vetar i uspona i nispona strujanja. Bilo koje jedrenje ili prelet odvijaju se samo u turbulentnoj atmosferi, gde postoje uspone vazdušne struje, a pojam potpuno mirne atmosfere u slobodnoj prirodi praktično i ne postoji, sem u nekim retkim i kratkotrajnim momentima.

UTICAJ VETRA

Ranije smo pomenuli da se brzina vetra koji duva jedrilici u leđa dodaje na njenu horizontalnu vazdušnu brzinu da bi se dobila njena stvarna brzina u odnosu na zemlju: $Vs=V+Vv$ ili se oduzima od horizontalne vazdušne brzine kada vetar duva u čelo: $Vs=V-Vv$. Kako ovo izgleda na polari? (sl. 30).

Pošto brzinomer pokazuje vazdušnu brzinu jedrilice a ne stvarnu brzinu u odnosu na zemlju, onda bismo morali pri vetru u leđa uvek da dodajemo veličinu njegove brzine na vazdušnu

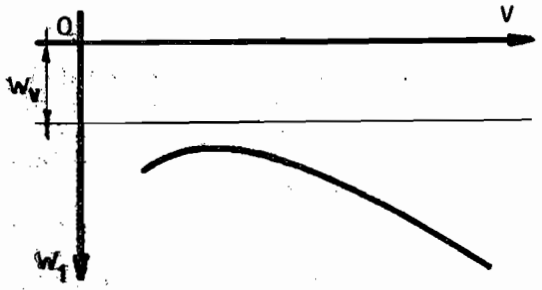


Slika 30

brzinu koju pokazuje brzinomer, a pri čeonom vetru da oduzimamo. Pri posmatranju polare, dovoljno je da samo koordinatni početak pomeramo za veličinu vrednosti brzine vetra „ulevo" ili „udesno", prema tome da li vetar duva u leđa ili u čelo.

UTICAJ VERTIKALNIH VAZDUŠNIH STRUJANJA

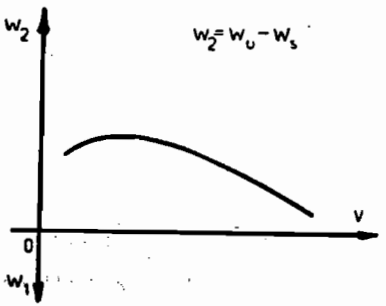
Kada jedrilica uleti u predeo sa nisponim strujama, njena sopstvena brzina propadanja (Ws) povećaće se za veličinu brzine nisponog strujanja (Wv), tako da će ukupna brzina propadanja jedrilice biti: $W_1 = Ws + Wv$. Pod uslovom da jedrilica stalno leti kroz nispono strujanje određene veličine, kada takav let prikazujemo na polari, dobićemo vrednosti brzine propadanja povećane za vrednost brzine nisponog strujanja. To znači da će oblik polare ostati isti samo će ona biti u koordinatnom sistemu spuštena niže za veličinu Wv ili, što je isto, koordinatni početak biće podignut više za istu tu veličinu (sl. 31).



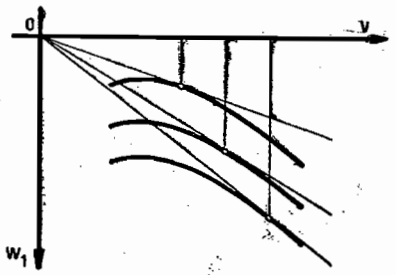
Slika 31

Svaka ordinata na polari biće veličina ukupnog propadanja jedrilice W_1 a ne Ws kao što je dosad bilo kada smo posmatrali let u mirnoj atmosferi.

Pri prolasku kroz uspone vazdušne struje, ceo polarni dijagram će se pomeriti naviše za veličinu brzine ovih strujanja. Oblik polare i dalje ostaje isti što znači da će zakonitost promene brzine propadanja ostati ista, jedino će se menjati veličine ukupnog propadanja. Kada uspone struje dostignu toliku vrednost da polara brzine prevaziđe nultu vrednost propadanja i pređe u kvadrant gde su nanesene brzine penjanja, tada ćemo imati let jedrilice u penjanju, tj. njena ukupna brzina penjanja W_2 biće jednaka razlici između brzine usponog vazdušnog strujanja (Wu) i sopstvene brzine propadanja jedrilice (Ws) (sl. 32).



Slika 32

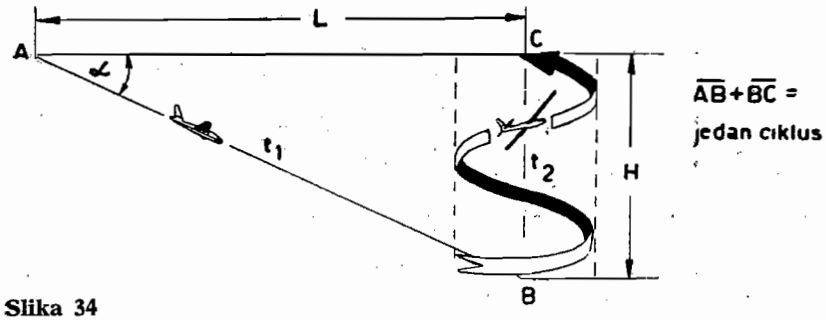


Slika 33

Za vreme planiranja kroz nemirnu atmosferu jedrilica prolazi kroz različita nispona ili uspona strujanja u kojima se ne zadržava podjednako. Kada bismo posmatrali njenu polaru pri takvom letu, videli bismo da bi ona pri prolasku kroz nispona strujanja silazila dok bi se pri prolasku kroz uspona strujanja pela nagore. To njeno „skakutanje" zavisi od veličine nisponih i usponih struja vazduha. Ovo, naravno, utiče i na ugao planiranja, jer bi tada i tangenta koja ide iz koordinatnog početka pomeranjem polare menjala svoj ugao u odnosu na apscisnu osu. Menjanjem tog ugla menjala bi se, takođe, i brzina najbolje finese, i to tako što bi pri većim propadanjima brzina najbolje finese bila veća a pri manjim manja. To govori da u planiranju kroz velika propadanja treba povećati brzinu dok je u planiranju kroz manja propadanja treba smanjiti da bi se najdalje doletelo. Koliko? To treba očitati na polari za datu jedrilicu (sl. 33).

BRZINA PRESKAKANJA IZMEĐU USPONIH STRUJANJA I PROSEČNA BRZINA

Već smo napomenuli da se prelet sastoji iz naizmeničnog planiranja između dva uspona strujanja i penjanja u usponom strujanju. Prilikom planiranja jedrilica prevaljuje neko rastojanje nekom brzinom, ali istovremeno gubi u visini. Za vreme penjanja jedrilica dobija visinu, ali ne prevaljuje nikakvo rastojanje nego penje iznad jedne nepokretne tačke na zemlji. Radi lakšeg razmatranja, jedno planiranje sa neke visine i jedno penjanje do te iste visine nazvaćemo ciklus. Ceo prelet sastoji se iz mnogo takvih ciklusa, tj. smenjuju se naizmenično planiranje i penjanje. Na preletu se dešava da u jednom ciklusu jedrilica postigne veću visinu a u drugom manju. Međutim, za naša razmatranja to nema značaja jer „višak" visine u jednom ciklusu možemo da uračunamo pri računanju za sledeći ciklus.



Slika 34

Posmatrajmo sliku 34. Da bi doletela iz tačke A do tačke C, jedrilica će planirati i u tom planiranju sniziće se u tačku B. U tački B nalazi se uspono strujanje i odatle jedrilica počinje da penje ka tački C. Vreme koje je potrebno jedrilici od A do B obeležićemo sa t_1, a vreme koje je potrebno da jedrilica popne od B do C obeležićemo sa t_2. Ukupno vreme koje je jedrilici potrebno da stigne od A do C preko tačke B biće:

$$T = t_1 + t_2 .$$

Pošto je ugao α u praksi veoma mali, uzećemo da je rastojanje od A do B i od A do C jednako i ono iznosi L. Sada će *brzina preskakanja* (V) između usponih strujanja biti:

$$V = \frac{L}{t_1} \text{ a } L = V \cdot t_1$$

Međutim, jedrilica se u planiranju snizila u tačku B pa je u penjanju prošlo vreme t_2 dok je popela do tačke C. Znači *prosečna brzina* (V_1) u jednom ciklusu biće put (L) podeljen ukupnim vremenom koje je proteklo u planiranju i u penjanju:

$$V_1 = \frac{L}{t_1 + t_2} = \frac{L}{T} .$$

Za vreme planiranja jedrilica je imala neko propadanje čija je brzina W_1 iznosila: vertikalni put koji je prešla planiranjem H podeljen vremenom planiranja (t_1):

$$W_1 = \frac{H}{t_1}$$

U penjanju prešla je isti toliki put H samo u suprotnom smeru za vreme t_2. Dakle brzina penjanja biće:

$$W_2 = \frac{H}{t_2}$$

Pri brzinskom preletu treba postići što veću prosečnu brzinu celog preleta. To se postiže na taj način što se jedriličar trudi da postigne maksimalnu moguću prosečnu brzinu (V_1) u svakom ciklusu. Dakle, treba razmotriti koji činioci utiču na veličinu prosečne brzine (V_1). Rekli smo malopre da je:

$$V_1 = \frac{L}{T}; \quad L = V \cdot t_1; \quad T = t_1 + t_2; \quad t_1 = \frac{H}{W_1}; \quad t_2 = \frac{H}{W_2};$$

Kada četiri poslednja izraza zamenimo u izrazu za V_1 dobićemo:

$$V_1 = \frac{L}{T} = \frac{V \cdot t_1}{t_1 + t_2} = \frac{V \ \frac{H}{W_1}}{\frac{H}{W_1} + \frac{H}{W_2}} = \frac{\frac{V \cdot H}{W_1}}{\frac{H \cdot W_1 + H \ W_2}{W_1 \, W_2}} =$$

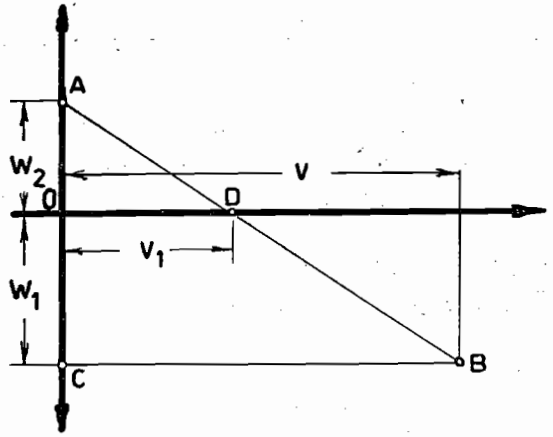
$$= \frac{V \cdot H \cdot W_1 \ W_2}{W_1 \cdot H \, (W_1 + W_2)} = \frac{V \, W_2}{W_1 + W_2}$$

$$V_1 = V \cdot \frac{W_2}{W_1 + W_2}$$

Posmatrajući dobijenu jednačinu možemo da kažemo da postoji neki broj kojim je moguće pomnožiti brzinu preskakanja (V) pa da se dobije veličina prosečne brzine (V_1). Taj broj je: $\frac{W_2}{W_1+W_2}$. To je neimenovan broj i on predstavlja odnos vertikalnih brzina.

Navešćemo jedan kratak primer. Ako je vreme planiranja jedrilice (t_1) jednako vremenu penjanja jedrilice u termičkom stubu t_2, onda će prosečna brzina (V_1) biti upola manja od brzine preskakanja. Pošto je vreme planiranja jednako vremenu penjanja, onda će i brzina propadanja (W_1) biti jednaka brzini penjanja (W_2). Ako te vrednosti zamenimo u jednačini za prosečnu brzinu, uvek će biti izraz $\frac{W_2}{W_1+W_2}=\frac{1}{2}$.

Naravno, ne mora uvek da bude tako. Jedrilica prolazi kroz nispona i uspona strujanja razne veličine, pa će i ovaj količnik imati različitu vrednost. Kada njegova vrednost dostigne 1, tada će brzina preskakanja biti jednaka prosečnoj brzini. To će biti onda kad brzina propadanja bude $W_1=0$. Tada jedrilica u planiranju neće propadati, pa neće ni biti potrebno da penje jer neće izgubiti visinu. Odnos prosečne brzine i brzine preskakanja, u zavisnosti od brzine propadanja i penjanja, može lepo da se posmatra na polarnom dijagramu brzina. Na apscisu koordinatnog sistema nanesene su vrednosti horizontalnih brzina a na ordinatu veličine vertikalnih brzina. Pošto mi sada posmatramo let u turbulentnoj atmosferi, gde postoje razna dizanja i propadanja, pokušaćemo da pronađemo prosečnu brzinu, tj. njenu veličinu ako u taj dijagram unesemo vrednosti brzine od kojih zavisi ova brzina (sl. 35).



Slika 35

Na apscisu smo naneli veličinu brzine preskakanja (V), na donji deo ordinate vrednost brzine propadanja (W_1) a na gornji deo vrednost brzine penjanja (W_2). Gde možemo da očitamo veličinu prosečne brzine (V_1)? Ona će se pojaviti na apscisi, tamo gde je preseca linija povučena od tačke A do tačke B. Zašto? Pogledajmo crtež. Imamo dva pavougla trougla △ABC i △ADO. Oni su slični, pa im i veličine strana stoje u jednakim odnosima.

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{CB}}=\frac{\overline{AO}}{\overline{OD}};\qquad \overline{AC}=W_1+W_2,\quad \overline{CB}=V$$

$$\overline{AO}=W_2,\qquad \overline{OD}=V_1$$

Iz gornjeg odnosa izlazi da je:

$$\frac{W_1+W_2}{V}=\frac{W_2}{V_1}$$

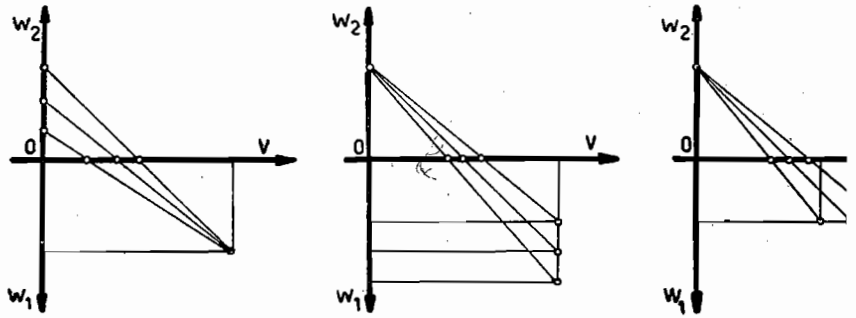
Unakrsnim množenjem dobijamo:

$$(W_1+W_2)\,V_1=V\cdot W_2$$

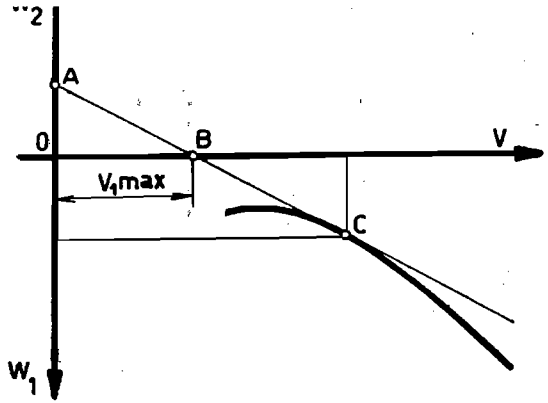
a rešenjem po V_1 biće:

$$V_1=V\frac{W_2}{W_1+W_2}$$

što predstavlja našu poznatu formulu za srednju brzinu (V_1). Na slici 35 možemo da vidimo da pri određenim brzinama penjanja (W_2) treba tako podesiti horizontanu briznu (V) i brzinu propadanja (W_1) da odsečak na apscisnoj osi $\overline{OD}$ bude što je moguće



Slika 36

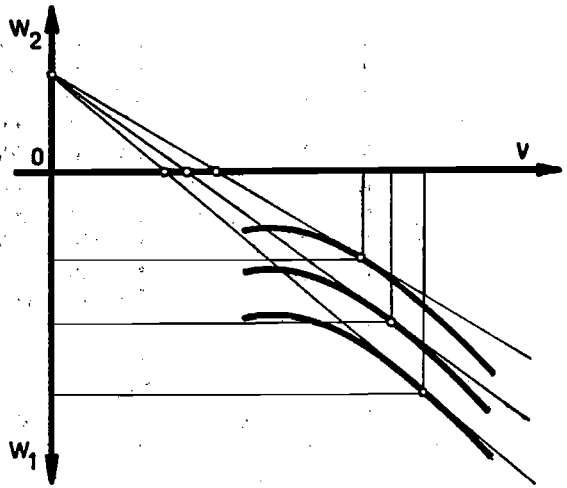


Slika 37

veći. Kada znamo jedrilicu na kojoj ćemo leteti i kada imamo njenu polaru brzina, možemo lako da zaključimo da su potrebne samo što veće brzine penjanja i što manje brzine propadanja pa da prosečna brzina bude veća. Pogledajmo nekoliko primera (sl. 36).

Nama je, međutim, potrebno da u datim meteorološkim uslovima dobijemo maksimalnu posečnu brzinu koja može da se postigne jedilicom na kojoj letimo. Zato nam je potrebna njena polara brzina da bismo iz nje videli zavisnost brzina propadanja te jedrilice od horizontalnih brzina (sl. 37).

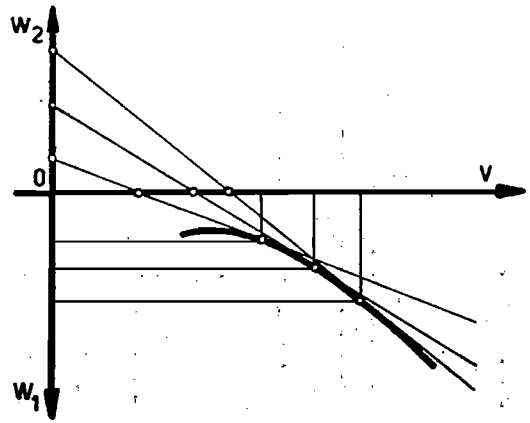
Maksimalnu prosečnu brzinu za dati slučaj pročitaćemo na preseku apscisne ose i tangente na polaru koja polazi iz tačke A. Tačka A označava na ordinati veličinu brzine penjanja. Ovaj posao je sličan onome kada smo ranije na polari tražili brzinu najbolje finese, pa smo polaru tangirali iz koordinatnog početka. Tada smo ustanovili da postoji samo jedna horizontalna brzina pri



Slika 38

kojoj je finesa najbolja. Na sadašnjem primeru vidimo da pri određenim brzinama penjanja (W_2) i propadanja (W_1) postoji samo jedna horizontalna brzina preskakanja (V) pri kojoj je prosečna brzina (V_1) najveća. Nama nije od bitne važnosti da na preletu znamo veličinu prosečne brzine. Daleko je važnije da znamo kolika je brzina preskakanja pri kojoj je prosečna brzina (V_1) maksimalna u datim meteo-uslovima.

Pri planiranju kroz turbulentnu atmosferu, jedrilica nailazi na veća ili manja nispona strujanja vazduha, čija se brzina Wv dodaje sopstvenom propadanju jedrilice (Ws) pa dobijamo ukupnu brzinu propadanja (W_1). Ovo govori da se u zavisnosti od ve-



Slika 39

ličine nisponih struja, polara brzine pomera čas naniže, čas naviše u koordinatnom sistemu. To povlači pomeranje tangente na nju koja polazi iz jedne nepokretne tačke na ordinati. Svako pomeranje tangente povlači i promenu mesta preseka na apscisnoj osovini a time i promenu veličine maksimalne prosečne brzine (sl. 38).

Iz slike 38 se jasno vidi da prilikom ulaska u veća nispona strujanja maksimalna prosečna brzina (V_1 max) opada. Da bismo mogli da se održavamo uvek na maksimalnoj prosečnoj brzini, biće potrebno da u većim nisponim strujanjima povećamo brzinu preskakanja (V), i obratno.

Brzina usponih struja, takođe, utiče na veličinu maksimalne prosečne brzine (V_1 max). To može da se vidi na slici 39. Dijagram pokazuje da pri povećanju brzine penjanja (W_2) treba povećati horizontalnu brzinu preskakanja (V) da bi se ostalo na maksimalnoj prosečnoj brzini, koja će se u ovom slučaju povećavati, bez obzira na to što će se povećavati i brzina propadanja.

Sve ovo što smo dosad razmatrali važilo je za uslove kad nema vetra. Kakav uticaj ima vetar na prosečnu brzinu? Ako naša računanja vršimo u odnosu na neke nepokretne tačke na zemlji, onda vetar utiče tako što se njegova veličina dodaje na veličinu prosečne brzine ako duva u smeru u kome leti jedrilica ili se oduzima ako duva u suprotnom smeru leta jedrilice. Znači, možemo da napišemo:

$$V_1 = V \cdot \frac{W_2}{W_1 + W_2} \pm Vv.$$

Kod bočnog vetra uzima se u obzir samo njegova komponenta koja je u pravcu leta jedrilice. Prilikom računanja brzine preskakanja, koja je potrebna da bi se dobila maksimalna prosečna brzina (V_1), nas uopšte ne mora da interesuje brzina vetra, jer se zajedno sa jedrilicom u vazdušnoj masi kreću i vertikalna vazdušna strujanja pa je horizontalna brzina jedrilice u odnosu na njih ista kao kad nema vetra. U odnosu na zemlju jedrilica prelazi neka druga rastojanja nego što pokazuje račun, ali to ima značaja za navigaciju a ne za tehniku preleta.

Kada smo shvatili od čega zavisi prosečna brzina, treba da vidimo kako ćemo je izračunati u letu jedrilicom. U svakom slučaju ne možemo u kabini da crtamo polare, da ih pomeramo i dodirujemo nekim linijama. Iz brzinomera i variometra možemo da očitavamo vrednosti brzine, ali ne možemo da znamo kada letimo najvećom prosečnom brzinom. To na neki način moramo da izračunamo. Za taj posao koristimo razne računare na kojima su unapred sračunate vrednosti koje mogu da nam budu potrebne. Tih računara ima dosta, ali mi ćemo ovde da se upoznamo sa onim koji se pokazao najpraktičnijim. To je Mek Kredijev prsten i tablica brzina preskakanja što je, u stvari, jedno isto.

RAČUNARI I NJIHOVA UPOTREBA

Prva stvar koju jedriličar treba da zna kad hoće da upotrebi računar je da nijedan računar nema nikakvog značaja ako ne postoje uspona vazdušna strujanja koja mogu da podignu jedrilicu ili ako jedriličar nije u stanju da ih pronađe. Svi računari rađeni su pod uslovom da uspone struje postoje i da mogu da se koriste. Ako jedriličar ne poznaje meteorološku situaciju i ako njoj ne može da prilagodi način svog letenja jedrilicom, nikakav računar

ne može da mu pomogne. Međutim, tek kada se obe ove stvari dobro poznaju i prilagode jedna drugoj, moguće je ostvariti dobar rezultat.

Brzine termičkih usponih i nisponih struja možemo da merimo jedino onda kad prolazimo kroz njih, čitajući vrednosti na variometru. Za naša računanja potrebno je, pored toga, da znamo kakva će ova strujanja biti ispred nas, tamo gde treba da doletimo. Podaci koje dobijamo od meteorologa samo su orijentacioni, a nama su potrebne što tačnije vrednosti dizanja u stubu i propadanja između stubova. Dugo se sticalo iskustvo kako unapred odrediti veličine usponih i nisponih struja. I danas je to još uvek predmet diskusija u kojima je teško nešto dokazati. Možemo ipak da kažemo to da ako tokom jednog dana imamo jaka dizanja, da će toga dana biti i jaka propadanja. To ne mora da bude pravilo, ali uglavnom je tako. Dugotrajnim ispitivanjem neki poljski jedriličari su došli do zaključka da brzina nisponih strujanja vazduha iznosi 0,1 do 0,3 brzine usponih strujanja vazduha, pod pretpostavkom da su površine sa nisponim strujama daleko veće od površina sa usponim strujama a da ista količina vazduha treba da se popne i da se spusti. Pokazalo se da je odnos od 0,2 najpribližniji stvarnom stanju pa se on uzima prilikom pretpostavki i na osnovu dobijenih veličina konstruiše računar. Takođe se zna da uspona termička strujanja počinju slabim penjanjem i da negde oko 14 časova dostignu svoj maksimum, da bi kasnije njihova jačina opet opala. To znači da mereći brzinu penjanja u jednom stubu možemo da pretpostavimo da će brzina penjanja i u sledećem stubu biti slična, jer se situacija neće izmeniti za desetak minuta, koliko nam je potrebno da stignemo do sledećeg stuba. Ovo je vrlo važno za nas. Znači, i veličine usponih strujanja u sledećem stubu određujemo prema veličini u prethodnom. Nastalu grešku ispravljamo u sledećem stubu, tj. ciklusu.

TABLICA BRZINA PRESKAKANJA

Prvo da vidimo kako izgleda tablica brzine preskakanja (sl. 40).

Penjanjem u termičkom stubu odredićemo veličinu brzine penjanja na taj način što štopujemo vreme penjanja na visinsku razliku od 1000 m. Prvi horizontalni red na tablici predstavlja vreme penjanja na tu visinsku razliku a ispod njega je prosečna brzina penjanja (W_2). Kada vidimo koliko nam je bilo potrebno vremena da popnemo, pronađemo tu vrednost na tablici i u vertikalnoj koloni ispod tog broja čitaćemo veličine propadanja W_1. Za ono propadanje koje nam pokazuje variometar naći ćemo u krajnjoj desnoj vertikalnoj koloni vrednosti brzine preskakanja

Slika 40

vreme penj. 1000 m.	4'	55'	8'	17'	∞	WEIHE	DELFIN
sred. penj.	4	3	2	1	0	65	75
	+3	+2	+1	0	1	70	88
	+2	+1	0	1	2	86	100
	+1	0	1	2	3	94	112
	0	1	2	3	4	103	123
	1	2	3	4	5	111	133
	2	3	4	5	6	118	114
	3	4	5	6	7	123	154
	4	5	6	7	8	127	164
	5	6	7	8	9	130	172

(V) kojom treba leteti pa da prosečna brzina bude najveća. Brzina preskakanja teško će se poklopiti sa datim propadanjem, pa se rad sa tablicom svodi na stalno korigovanje brzine preskakanja u odnosu na propadanje koje pokazuje variometar. Što god brzina preskakanja bude približnija odgovarajućoj brzini propadanja, to će i prosečna brzina jedrilice biti približnija maksimalnoj prosečnoj brzini (V_1 max) za date vrednosti.

Ova tablica, kao uostalom i svaki računar, služi samo za određeni tip jedrilice. Prilično je jednostavna i laka za upotrebu. Može da se napiše na parčetu hartije i zalepi na instrument-tabli negde pored variometra.

MEK KREDIJEV (MAC CREADY) PRSTEN

Mek Kredijev prsten ili tzv. Mek Kredijeva kružna skala je isto što i tablica brzine preskakanja. Poznati američki jedriličar Dr Paul MacCready uzeo je vrednosti brzina preskakanja i umesto da ih ima na nekoj tablici, on je tu kolonu obavio oko variometra, načinivši oko njega pokretni prsten. Za svaku veličinu propadanja on očitava jednu brzinu preskakanja (sl. 41).

Na prstenu postoji početni podeok na kome je nanesena neka vrednost brzine preskakanja. Od njega, pa naniže uz svaku vrednost brzine propadanja nanesena je po jedna vrednost brzine preskakanja.

Kada jedriličar želi da odleti sa date visine što je moguće dalje, stavlja početni podeok prstena na vrednost 0 na variometru i za dobijena propadanja sa variometra očitava veličinu horizontalne brzine. Trudi se da horizontalnu brzinu podesi tako da ona uvek odgovara datom propadanju. Na taj način leteće uvek takvom horizontalnom brzinom za koju je pri datim propadanjima finesa najveća. Tako postiže mogućnost da najdalje odleti.

Kada želi da leti maksimalnom prosečnom brzinom (V_1), tada će jedriličar početni podeok na prstenu da pomeri naviše na vrednost veličine prosečnog usponog strujanja koje je imao u prethodnom stubu i koje je izmerio štopovanjem vremena. Pošto je prsten otišao naviše, sada su se vrednosti brzine preskakanja pri raznim propadanjima pomerile naviše i ne zauzimaju položaj kao kad je početni podeok prstena bio na nuli variometra. Zato pri raznim propadanjima brzinu preskakanja treba podešavati prema vrednostima koje sada stoje na prstenu (sl. 42).



Slika 41



Slika 42

Mek Kredijev prsten nije stoprocentno tačan računar, jer takav računar ne postoji i verovatno nikad neće ni postojati. Međutim, njegova jednostavnost i lakoća izrade, a pogotovu rukovanja, doveli su do toga da se najmasovnije koristi. U mnoge jedrilice već u fabrici ugrađuju ovaj prsten oko variometra, pa je on postao sastavni deo opreme jedrilice. Međutim, on važi samo za određeni tip jedrilice i ne može se stavljati u drugi tip. Ovo se napominje zbog toga što jedriličari često imaju običaj da menjaju variometre u jedrilicama. Pri takvoj zameni, ne sme se menjati i ovaj prsten.

DOLET

Poslednji ciklus, tj. poslednje penjanje u termičkom stubu i poslednje planiranje do cilja nazivamo *dolet*. Ovaj poslednji ciklus donekle se razlikuje od prethodnih ciklusa — penjanja i planiranja — zbog toga što tokom leta jedrilica leti u vazdušnoj masi koja može da se kreće, a sledeći termički stub se, takođe, nalazi u toj pokretnoj masi, pa prilikom računanja nemamo uticaj vetra i ne uzimamo ga u račun. Međutim, pri doletu jedrilica leti u vazdušnoj masi koja se obično kreće a cilj do koga treba doleteti nalazi se na zemlji nepokretan, pa u računu moramo uzeti u obzir jačinu i pravac vetra da bismo mogli sigurno da doletimo i da bi naš račun bio realan.

U poslednje vreme obraća se velika pažnja na izračunavanje doleta i za tu svrhu konstruisani su razni računari kako bi ovaj račun bio što tačniji. To nije bez razloga, jer loše napravljen dolet, ma koliko ne izgledao značajan, može da dovede do osetnog smanjenja teško stečene prosečne brzine ili, što je najgore, do sletanja ispred cilja zbog čega ceo prelet nije uspeo. Treba odmah uočiti dva pojma: dolet daljinskog preleta i dolet brzinskog preleta. Skoro je redovna pojava da se daljinski prelet pretvara u brzinski, jer je vreme preleta, tj. postojanje termičkih strujanja, vremenski ograničeno, pa za to ograničeno vreme treba postići što veću brzinu da bi se preletelo što veće rastojanje.

Pri doletu daljinskog preleta imamo drukčiji problem za rešavanje nego pri doletu brzinskog preleta. Problem se sastoji u tome što jedrilicu treba popeti na što je moguće veću visinu i sa te visine isplanirati na što je moguće veće rastojanje brzinom najbolje finese. Međutim, zbog uticaja vetra pređeno rastojanje biće veće ili manje što zavisi od brzine vetra i njegovog pravca u odnosu na pravac leta. Računar koji koristimo trebalo bi da pokaže koliko će kilometara sa maksimalno postignute visine jedrilica stvarno preleteti, kojom brzinom treba leteti i koji kurs treba jedrilica da ima u slučaju da ima bočni vetar određene jačine. Ovaj problem nije naročito težak i mogao bi da se javi onog trenutka kad na dugom preletu dođemo do zaključka da se termički dan završava i da je trmički stub u kome se nalazimo poslednji, tako da posle njega ne može više da se jedri nego ostaje da dobijenu visinu pretvorimo u što je moguće veće rastojanje. Naravno, računar će pokazati neke vrednosti rastojanja koje će biti pređeno i one mogu biti tačne, ili bar dovoljno tačne, ali one važe za ravan teren i pod uslovom da terena za sletanje ima svuda. U praksi je to sasvim drukčije. Zbog sigurnosti često ćemo morati daljinski prelet malo da skratimo da bismo mogli da sletimo na pogodan teren. Inače preterano velika upornost, naročito u pretvaranju male visine u rastojanje, skoro redovno dovodi u pitanje sigurnost leta.

Dolet brzinskog preleta je daleko teži za rešavanje, jer je uostalom i brzinski prelet složenija disciplina od daljinskog preleta. Računari mnogo olakšavaju pravilno izvođenje ovog doleta, zato ćemo se kasnije i upoznati sa načinom korišćenja jednoga od njih. Na prvi pogled, problem je jednostavan i sličan letenju najboljom brzinom preskakanja, tj. kako sa određene visine sa koje nije moguće doplanirati do cilja popeti u stubu i doleteti do cilja za najkraće moguće vreme. Cilj se nalazi na zemlji i to je obično neki aerodrom ili linija cilja, koju treba preleteti na što manjoj visini. Kada jedriličar doleti svojom jedrilicom toliko blizu cilja da je potrebno još samo jedno penjanje u termičkom stubu i jedno planiranje, od tog stuba do cilja pripremiće se za izračunavanje podataka za najbrži mogući i siguran dolet. Rastojanja koja današnjim jedrilicama treba preleteti pri doletu iznose oko 20 do 50 km. Prva stvar koju treba uraditi jeste određivanje tačne pozicije jedrilice na karti da bi se izmerilo njeno rastojanje do cilja. Kada je rastojanje određeno, jedriličar mora da načini jednu pretpostavku koja nikad nije sasvim tačna a to je da pretpostavi veličinu brzine penjanja njegove jedrilice u stubu u kome će da penje. Ovde veliku ulogu igra iskustvo, tj. dobro poznavanje meteorološke situacije, tehnike jedrenja itd. To se radi na osnovu posmatranja veličina brzina penjanja u ranijim stubovima, jer se polazi od pretpostavke da su brzine usponih strujanja u termičkim stubovima iste, tj. približne. Od tačnosti ove pretpostavke umnogome zavisi i tačnost celog računara, ali to je jedini način da se ta veličina unapred, makar i približno, odredi. Naravno, iskusan jedriličar će, ako primeti da je načinio suviše veliku grešku prilikom pretpostavljanja, biti u stanju da lako izvrši popravku pod uslovom da je shvatio suštinu ovog računanja. Dakle, kada je odredio brzinu penjanja u stubu, jedriličar na osnovu ovog podatka određuje najbolju brzinu preskakanja za tu veličinu penjanja. Ona se određuje lako na ranije opisanoj Mek Kredijevoj kružnoj skali variometra ili nekom drugom računaru, ili tablici za tip jedrilice na kojoj se leti. Sada nije teško da se odredi kolika je finesa jedrilice pri toj brzini preskakanja. To ni u kom slučaju nije najbolja finesa nego neka lošija. Pri izračunavanju finese pri najboljoj brzini preskakanja obavezno je uzeti u obzir uticaj vetra. To znači veličini najbolje brzine preskakanja dodaćemo ili ćemo oduzeti veličinu komponente vetra koja je paralelna sa pravcem kretanja jedrilice. Njena veličina zavisi od brzine i pravca vetra u odnosu na pravac kretanja jedrilice. Ona može da se izračuna pomoću navigacijskog trougla brzina ili nekog računara koji je za tu svrhu konstruisan. Vetar se mora uzeti u obzir zato što je cilj na zemlji a jedrilica se kreće u pokretnoj vazdušnoj masi, što ima

uticaja na kretanje jedrilice u odnosu na zemlju. Kada brzinu najboljeg preskakanja korigujemo uticajem vetra, dobićemo stvarnu brzinu u odnosu na zemlju kojom treba leteti da bi se dobila vrednost stvarne finese u odnosu na neku nepokretnu tačku na zemlji, npr. cilj. Sada nije teško izračunati sa koje visine treba jedrilica da počne planiranje najboljom brzinom preskakanja da bi tom stvarnom finesom stigli do cilja čije smo rastojanje ranije odredili. Prilikom određivanja visine polaska u planiranje, moguće je, ako se to želi, na određenu visinu dodati još neku veličinu visine za slučaj sigurnosti zbog nedovoljno tačnih podataka o vetru ili slično, ali to uvek ide na račun brzine.

Ako je jedriličar pogrešio u određivanju brzine penjanja, popravku može da izvrši kada dostigne izračunatu visinu i dođe do momenta da započne planiranje. Tada već ima stvarnu veličinu brzine penjanja i, ako ima dobar računar, može brzo da izračuna da li da nastavi sa penjanjem ili ne. Pri planiranju jedriličar može stalno da vrši kontrolu svog proračuna doleta. Pošto leti određenom brzinom, pomoću računara može lako da odredi kolika će biti potrebna brzina propadanja jedrilice da bi ona letela finesom koja je izračunata prethodnim računom. Ako je propadanje na variometru veće od ove određene brzine propadanja, znači — račun nije dobar, jedrilica neće doleteti do cilja. Treba na svaki način smanjiti propadanje, tj. poboljšati finesu. Ako je propadanje na variometru manje od određene brzine propadanja, to znači — račun je loš, ali je moguće povećati horizontalnu brzinu i tako stići još brže do cilja. Međutim, na pitanje koliko je moguće povećati brzinu najbolje je odgovor potražiti na računaru.

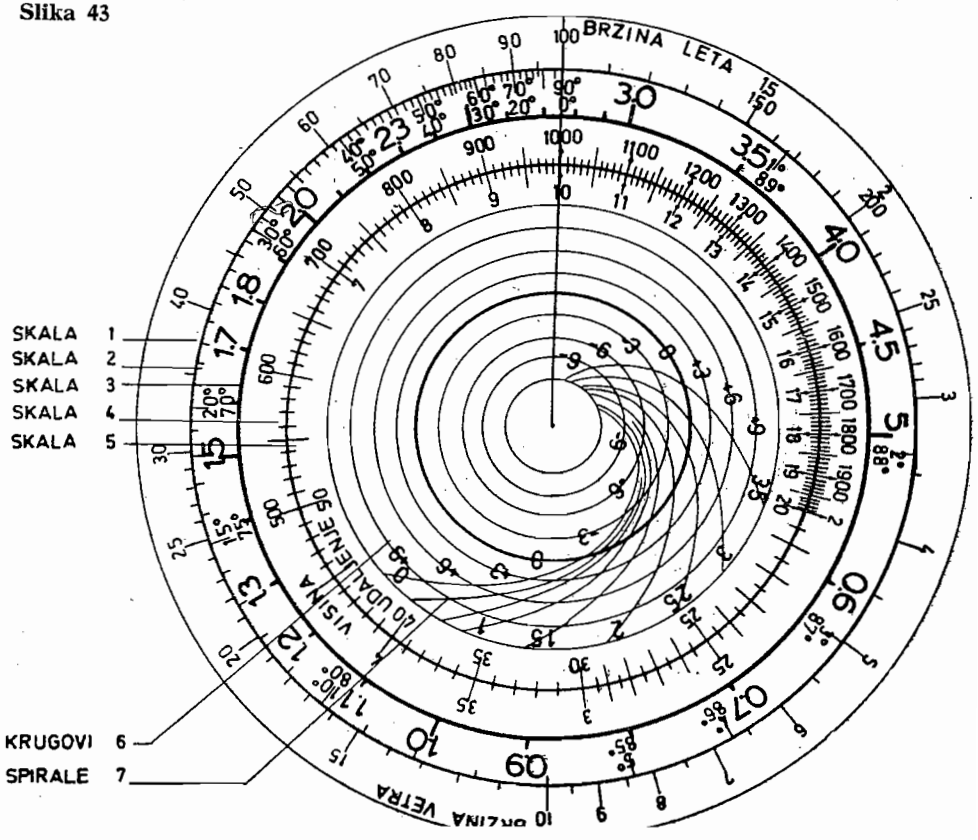
Dobar dolet je komplikovana stvar. To je trenutak kada vrhunski jedriličari pokazuju svoje majstorstvo. Stići brže od ostalih na visini od pola metra iznad linije cilja, i to brzinom koja je tek nešto veća od normalne brzine jedrilice, pravo je majstorstvo. Na takmičenjima je veoma interesantan jednovremeni dolet više jedrilica na cilj. Tada svaka jedrilica nosi u sebi po jednu mašinu za računanje u vidu pilota, koji se svim svojim znanjem trudi da svoj račun sprovede tako da njegova jedrilica stigne najbrže.

Za neiskusnog jedriličara dobro izvršen dolet predstavlja izvesnu teškoću subjektivne prirode. Pošto se cilj pri doletu nalazi na zemlji, to znači da jedrilicom treba planirati do zemlje. Ugao pod kojim planira jedrilica veoma je mali i iznosi svega nekoliko stepeni, što zavisi od njene finese. Posmatrajući cilj pod tako malim uglom, jedriličar često pretpostavi da jedrilica neće doleteti do njega. Naročito neprijatno izgledaju poslednjih nekoliko kilometara doleta, koji se odvijaju na visini manjoj od 200 metara. Tada jedrilica preleće nisko iznad kuća, drveća ili drugih prepreka na koje je nemoguće sleteti. Zbog male visine cilj je loše vidljiv, pa neizvežban jedriličar nikad ne može biti siguran hoće li doleteti do njega ili ne. Nailazak na najmanje povećano propadanje dovodi do straha od loma jedrilice, dok i najmanja penjanja oslobađaju jedriličara ovog straha. Zato će oni koji nemaju iskustva, da bi bezbedno izvršili svoj prelet, uvek uzeti u račun nešto veću visinu od potrebne, makar to išlo nešto malo i na račun postignute prosečne brzine pri preletu. Međutim, u ovome se ne sme preterivati, jer velika nepotrebna visina jedrilice u doletu mnogo smanjuje njenu moguću prosečnu brzinu u preletu, zbog čega i računanje doleta gubi smisao.

Za računanje doleta do sada je konstruisano nekoliko računara. Svi oni imaju i dobre i loše strane a interesantni su po svojim koncepcijama. Za jedriličara koji je dobro ovladao teorijskim znanjem o letenju i koji je razmišljanjem i praktičnim letenjem ušao u suštinu problema jedriličarskih preleta, rad sa ovim računarima biće lak i doprineće uspehu. Ovde ćemo da se upoznamo sa računarom doleta koji je vrlo često u upotrebi i koji je veoma uspešno konstruisan.

RAČUNAR DOLETA

Slika 43

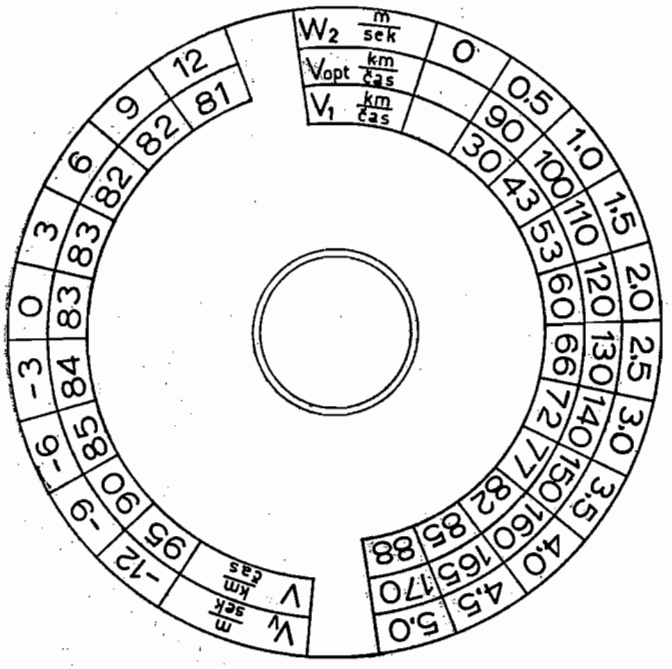


Ovaj računar konstruisao je poljski jedriličar inž. Edvard Makula a dopunili su ga Nemac Alfred Pitras i Rus D. Dvoenosov. On je predviđen za određeni tip jedrilice i za druge ne može da se upotrebljava. Jedan deo ovog računara može da se koristi za računanje bez obzira na tip jedrilice, dok se spiralne linije koje se nalaze u sredini računara odnose samo na određeni tip. Moguće je ucrtati u računar i spiralne linije za dva tipa jedrilice (sl. 43). Računar se sastoji iz dva dela: donjeg, nepokretnog kruga A i gornjeg, pokretnog kružnog prstena B na kome se nalazi vizirna linija koja prolazi kroz centar i brojku 1000 na skali broj 4. Na slici broj 43 ove skale obeležene su rednim brojevima da bismo ih lakše uočili. Vidimo da ih ima sedam.

Skala broj 1 je logaritamska, nalazi se na nepokretnom delu A i predstavlja horizontalnu brzinu leta ili brzinu vetra. Izražena je u km/h od 1,5 do 200.

Skala broj 2 se nalazi na spoljnoj ivici pokretnog prstena. B. To je skala koja predstavlja logaritme sinusa uglova koji su izraženi u stepenima. Obeleženi su u dva reda, od 0° do 90° i od 90° do 0°.

Skala broj 3 se nalazi u sredini pokretnog prstena B i na nju su nanesene veličine brzina propadanja od 0,6 m/s do 5 m/s. Ove



Slika 44

cifre, prema potrebi, moguće je povećati ili smanjiti za 10 ili 100 puta.

Skala broj 4 se nalazi na unutrašnjoj ivici pokretnog kružnog prstena B. Ona je logaritamska i predstavlja visinu izraženu u metrima od 500 do 1900 m, a dalje u kilometrima.

Skala broj 5 se nalazi na nepokretnom delu A i potpuno je jednaka sa skalom broj 4, dakle logaritamska je. Obeležena je brojevima od 6 do 50 i na njoj je moguće čitati ili jedinicu finese ili brzinu u desetinama km/h ili udaljenje u kilometrima.

Koncentrični krugovi broj 6 nalaze se u sredini nepokretnog kruga A i predstavljaju brzine vetra. Srednji, deblje izvučeni krug predstavlja vrednost kada je brzina vetra 0. Tanki, spoljašnji krugovi predstavljaju vetar u leđa od 3 do 12 m/s a unutrašnji — vetar u čelo od 3 do 12 m/s.

Spiralne linije broj 7 ucrtane su preko kružnih linija 6 i one predstavljaju veličine penjanja u poslednjem termičkom stubu. Obeležene su u veličinama od 0 do 3,5 m/s.

Na svojoj poleđini računar takođe ima upisane dve tablice koje važe za tip jedrilice za koji je predviđen (sl. 44). U jednoj se nalaze vrednosti najbolje moguće brzine preskakanja V_{opt} (km/h) i vrednosti prosečnih brzina V_1 (km/h) pri raznim vrednostima brzina penjanja W_2 (m/s). U drugoj se nalaze vrednosti najboljih brzina planiranja V (km/h) pri brzini vetra Vv (m/s) od 0 do $\pm$ 12 m/s.

UPOTREBA RAČUNARA

Sada možemo da se upoznamo sa načinom upotrebe ovog računara. Pošto se računar koristi u jedrilici za vreme leta, treba ga držati u levoj ruci tako da nazivi i cifre ne budu prevrnuti. Početni položaj za rad je kad se cifra 1000 sa skale broj 4 stavi nasuprot broju 20 sa skale broj 5.

Određivanje potrebne finese *(skale 4 i 5).*

Na skali broj 4 označimo visinu, a na skali broj 5 rastojanje koje treba preleteti i ove podeoke postavimo jedan prema drugom. Veličinu potrebne finese čitamo na skali 5 nasuprot broju 1000 sa skale broj 4.

Primer: visina leta: 1800 m (skala 4),
rastojanje do cilja: 45 km (skala 5).

Cifru 1800 staviti prema broju 45, a nasuprot broju 1000 čitamo potrebnu finesu 25.

Određivanje stvarne finese *(skale 3 i 5).*

Na skali 3 označimo brzinu propadanja koju imamo na variometru a na skali 5 horizontalnu brzinu planiranja kojoj smo dodali leđni ili oduzeli čeoni vetar, pa ove cifre postavimo jednu prema drugoj. Stvarnu finesu čitamo na skali 5 nasuprot broju 1000 sa skale 4.

Primer: brzina propadanja: 1,5 m/s (skala 3),
brzina u planiranju: 130 km/h,
vetar u leđa: +20 km/h,
brzina u odnosu na zemlju: 150 km/h (skala 5).

Postavimo cifru 1,5 prema cifri 15 a nasuprot broju 1000 sa skale 4 čitamo na skali 5 stvarnu finesu 26.

Određivanje brzine leta koja obezbeđuje potrebnu finesu *(skale 3 i 5).*

Kada smo odredili potrebnu finesu (skale 4 i 5), treba, ne pomerajući pokretni prsten računara, naći na skali 3 veličinu brzine propadanja koja se nalazi prema vrednosti putne brzine na skali 5.

Primer: brzina leta: 130 km/h,
vetar u leđa: 20 km/h,
brzina u odnosu na zemlju: 150 km/h (skala 5),
potrebna finesa: 25 (skala 5).

Vrednost 25 potrebne finese sa skale 5 stavimo prema vrednosti 1000 na skali 4, pa nasuprot vrednosti 15 (150 km/h) sa skale 5 čitamo vrednost brzine propadanja 1,65 m/s na skali 3.

Ako letimo brzinom 130 km/h pa variometar pokazuje veće propadanje od onoga što pokazuje računar, znači nećemo doleteti, a ako pokazuje manje propadanje od ovoga, znači da ćemo doleteti sa rezervom visine.

Određivanje minimalne visine potrebne za dolet *(skale 4 i 5).*

Kada smo izabrali brzinu kojom ćemo leteti i odredili stvarnu finesu, onda stavimo vizirnu liniju (ili broj 1000 sa skale 4) na vrednost finese na skali 5. Nasuprot vrednosti udaljenja od cilja sa skale 5 čitamo vrednost potrebne finese na skali 4.

Primer: stvarna finesa: 25 (skala 5),
udaljenje od cilja: 45 km (skala 5).

Stavimo vizirnu liniju ili broj 1000 preko broja 25 na skali 5 a nasuprot broja 45 sa te iste skale čitamo minimalnu potrebnu visinu 1800 m na skali 4.

Određivanje optimalne brzine doleta *(tablica na poleđini računara)*

Optimalna brzina obezbeđuje dolet u najkraćem mogućem vremenu, što znači sa najvećom prosečnom brzinom. Ona zavisi samo od veličine brzine penjanja u poslednjem stubu. Veličine optimalnih brzina pri raznim brzinama penjanja date su u tablici na poleđini računara.

Primer: brzina penjanja: 1,5 m/s,
optimalna brzina: 110 km/h.

Napomena. — Dobivena vrednost optimalne brzine važi samo za tip jedrilice za koji je konstruisan upotrebljeni računar.

Određivanje optimalne visine potrebne za dolet i finese doleta *(skale 4, 5, 6 i 7)*

Ova se visina određuje pomoću spiralnih linija (broj 7) i krugova vetra (broj 6) kada se vizirna linija stavi na tačku preseka kruga koji odgovara komponenti čeonog vetra i spirale koja predstavlja srednju brzinu penjanja u poslednjem stubu. Ne pomerajući skalu, čitamo veličinu optimalne visine na skali 4 suprotno udaljenju do cilja na skali 5, a nasuprot broju 1000 sa skale 4 čitamo veličinu optimalne finese na skali 5.

Ovde treba obratiti pažnju na sledeće: ovaj račun je tačan samo onda kada se mi u trenutku dolaska do rezultata već nalazimo na toj visini. Međutim, ako se nalazimo na manjoj visini — što je redovno slučaj — a imamo čeoni vetar, on će tokom penjanja u stubu da zanese jedrilicu i time još više poveća udaljenje do cilja, pa dobivenom vrednošću optimalne visine neće moći da se doleti do cilja. Zato treba izvršiti popravku te optimalne visine na osnovu novog rastojanja koje je nastalo i optimalne finese koja je već određena. To znači, ne pomerajući skale pročitaćemo na skali 4 vrednosti visine do koje treba popeti, suprotno od vrednosti novog udaljenja na skali 5. Kada dođemo na ovu dobivenu visinu, rastojanje do cilja ponovo će se povećati zbog čeonog vetra koji zanosi jedrilicu tokom penjanja u stubu. Ne pomerajući računar, ponovo ćemo pročitati visinu do koje treba penjati s obzirom na novonastalo udaljenje do cilja. Teorijski, ovakve popravke mogle bi da se vrše u beskonačnost, a praktično — prestaćemo sa penjanjem onog momenta kada računar, za vrednost udaljenja koje imamo tog momenta, pokaže onu potrebnu visinu koju upravo tada imamo na visinomeru.

Primer: brzina penjanja: 1,5 m/s,
čeoni vetar: 6 m/s,
visina jedrilice: 1000 m,
udaljenje do cilja: 35 km.

Namestimo vizirnu liniju na presek kružne linije od —6 m/s i spiralne linije od 1,5 m/s. Na skali 5 vizirna linija će preseći vrednost optimalne finese 18 a suprotno vrednosti udaljenja 35 sa skale 5 čitamo vrednost potrebne visine 1970 m. Međutim, kada se budemo popeli na ovu visinu, zbog čeonog vetra udaljenje će se povećati sa 35 na 39 km, pa će potrebna visina za to rastojanje biti sada 2160 m. Dok se popnemo na ovu visinu, čeoni vetar će nas zaneti još za nekih 0,5 kilometara pa će potrebna visina za dolet sa 39,5 km biti 2190 m. Ovo je zanemarljivo mala razlika u pokazivanju računara i visinomera. To je, dakle, momenat polaska u planiranje ranije određenom optimalnom brzinom pri kojoj treba održavati optimalnu finesu za dati čeoni vetar.

Određivanje prosečne brzine doleta *(tablica na poleđini računara)*

Na poleđini računara nalazi se tablica na kojoj se za razne vrednosti brzine penjanja mogu čitati vrednosti prosečnih brzina (V_1) zajedno sa veličinama optimalnih brzina (V_{opt}).

Primer: brzina penjanja: 1,5 m/s,
prosečna brzina: V_1=53 km/h.

Određivanje ugla zanosa i putne brzine *(skale 1 i 2)*

Na skali 1 odredimo vrednost brzine leta, pa nasuprot njoj stavimo vrednost ugla vetra sa skale 2 (gornji red). Suprotno vrednosti brzine vetra na skali 1 čitamo ugao zanosa na skali 2 (gornji red), a suprotno zbiru ugla zanosa i ugla vetra za leđni vetar ili razlici ugla zanosa i ugla vetra za čeoni vetar na skali 2 (gornji red), čitamo veličinu putne brzine na skali 1.

Primer: brzina leta: 120 km/h,
leđni vetar: 27 km/h,
ugao vetra: 50°.

Suprotno podeoku 120 na skali 1 postavimo vrednost 50 sa skale 2 (gornji red), pa nasuprot podeoku 27 sa skale 1 čitamo ugao zanosa 10° na skali 2 (gornji red), a nasuprot zbira ugla vetra i ugla zanosa: 50°+10°=60° na skali 2 (gornji red) čitamo veličinu putne brzine 136 km/h.

Pri čeonom vetru veličinu putne brzine čitali bismo nasuprot razlike ugla vetra i ugla zanosa: 50°—10°=40°, i ona bi iznosila 100 km/h.

Određivanje komponente čeonog vetra
(skale 1 i 2)

Nasuprot vrednosti brzine vetra na skali 1 postavimo početak skale 2 (cifre 90° ili 0°), a na donjem redu skale 2 nađemo zbir ugla vetra i ugla zanosa. Nasuprot vrednosti ovog zbira čitamo veličinu komponente čeonog vetra na skali 1.

Primer: brzina vetra: 30 km/h,
ugao vetra: 70°,
ugao zanosa: 10°.

Nasuprot vrednosti 30 na skali 1 postavimo početak skale 2 (cifre 90° i 0°). Sabraćemo veličine ugla vetra 70° i ugla zanosa 10° i nasuprot vrednosti 80° na skali 2 (donji red) čitamo veličinu komponente čeonog vetra 4,8 km/h na skali 1.

Određivanje zbira komponente čeonog vetra i brzine leta
(skale 1 i 2)

Ovaj zbir se nalazi na taj način što se nasuprot vrednosti brzine leta na skali 1 postavi početak skale 2, tj. broj 90° ili 0°, na nasuprot veličini ugla zanosa na skali 2 (donji red) čita se traženi zbir na skali 1.

Primer: putna brzina: 120 km/h,
ugao zanosa: 30°.

Postavimo brojku 90° ili 0° skale 2 suprotno od podeoka 120 na skali 1 a iznad broja 30° na skali 2 (donji red) čitamo na skali 1 traženi zbir 100 km/h.

Računanje vremena leta
(skale 4 i 5)

Nasuprot udaljenju od cilja u kilometrima na skali 5 stavimo vrednost putne brzine na skali 4. Nasuprot broja 1000 sa skale 4 čitamo vreme u časovima na skali 5, a nasuprot broja 600 sa skale 4 čitamo vreme u minutima na skali 5.

Primer: udaljenje: 40 km,
putna brzina: 90 km/h.

Nasuprot broju 40 sa skale 5 postavimo broj 900 (90 km/h) sa skale 4. Nasuprot broju 1000 sa skale 4 čitamo na skali 5 vreme leta u časovima 44,5, tj. 0,445 časova, a nasuprot broju 600 sa skale 4 čitamo na skali 5 vreme leta u minutima, tj. 26 minuta.

Računanje putne brzine *(skale 5 i 4)*

Nasuprot rastojanju u kilometrima sa skale 5 postavimo vreme leta u časovima sa skale 4, a nasuprot broju 1000 sa skale 4 čitamo veličinu putne brzine na skali 5.

Primer: udaljenje: 40 km,
vreme leta: 0,445 h.

Iznad broja 40 na skali 5 postavimo broj 445 sa skale 4. Nasuprot broju 1000 sa skale 4 čitamo na skali 5 veličinu putne brzine 90 km/h.

Određivanje srednjeg penjanja *(skale 4 i 5)*

Nasuprot veličini dobijene visine na skali 5 postavimo vreme prikupljanja te visine u sekundima, a ispod broja 1000 sa skale 4 čitamo veličinu srednje brzine penjanja na skali 5.

Primer: dobivena visina: 1300 m,
vreme penjanja: 520 sekundi.

Nasuprot broju 13 (1300 m) na skali 5 stavimo broj 520 sa skale 4, a ispod broja 1000 sa skale 4 čitamo na skali 5 veličinu srednje brzine penjanja 25, tj. 2,5 m/s.



Slika 45. — Dolet

Ovde smo pokazali 13 radnji koje mogu da se izvode ovim računarom. Većina radnji se izvodi na skalama 4 i 5, tj. onim logaritamskim koje su potpuno jednake. Pomoću ove dve skale jedriličar može da vrši i bilo koje druge radnje sa množenjem i deljenjem brojeva isto onako kako se radi sa logaritmarom.

Za efikasan rad sa računarom doleta potrebno je malo prakse, koja se može steći vežbanjem za vreme trenaže jedrenja iznad aerodroma. Isto tako, potrebno je poznavanje suštine problema

izvršenja doleta. Ovde je dat približan redosled radnji sa računarom, ali jedriličar ne može da ih uči napamet nego, shvatajući probleme koji mu se u doletu nameću, treba logičkim radom da ih rešava pomoću računara.

TAKTIKA PRELETA JEDRILICOM

Svaka jedriličarska disciplina traži određen način letenja da bi bila što bolje izvršena. Ne može se pri svakoj meteorološkoj situaciji izvršavati svaka disciplina. Meteorološke situacije uglavnom određuju disciplinu za letenje a, takođe, diktiraju i određen način letenja u njima. Na način letenja mogu da utiču i drugi činioci, kao što su: konfiguracija terena, zahtevi takmičenja, pravila letenja itd., ali su oni manje bitni od meteoroloških činioca. Svi ovi činioci zajedno određuju način letenja za datu situaciju, koji mi nazivamo taktikom. Primenjujući pravilnu taktiku jedriličar može do maksimuma da iskoristi uslove koji mu se pružaju kad leti, dok pogrešnom taktikom može svoj let da dovede do potpunog neuspeha. Za dobro „taktiziranje" potrebno je pored teorijskih znanja i dosta iskustva. Masa „sitnica" koje ni u jednoj knjizi ne mogu da budu opisane, mogu da upropaste dobro započet let ili, ako se dobro postupi, mogu da budu od velike koristi. Ovde ćemo se upoznati sa nekim osnovnim pojmovima iz taktike preleta, dok ostale načine za izvršavanje ostalih disciplina, kao što su postizanje visine, trajanje itd., nećemo razmatrati, jer su manje važni.

VRSTE PRELETA

Pre svega, treba da se upoznamo sa tim kakve prelete jedrilicom možemo da vršimo. Uopšte uzevši, prelet možemo da vršimo kako god hoćemo, ali danas postoje sportski pravilnici, pravilnici za takmičenja, uslovi za jedriličarske značke i slično koji nam propisuju kakve prelete treba da izvodimo da bi oni imali smisla. Napravićemo zato neku podelu tih preleta, pa ćemo prema mogućnostima koje nam daje meteorološka situacija, teren, sposobnosti jedrilice itd. da određujemo sebi disciplinu.

Po gruboj podeli prelete možemo da podelimo u dve vrste, i to:
— *prelete za rastojanje* — daljinske i
— *prelete za brzinu* — brzinske.

Po obliku putanje možemo da podelimo, takođe, na tri vrste:
— *pravolinijske prelete,*
— *prelete po izlomljenoj liniji* i
— *prelete po zatvorenoj putanji.*

Pravolinijski preleti mogu da imaju četiri discipline, i to:
— *slobodan prelet* (sa merenjem rastojanja),
— *prelet po zadatom kursu* (sa merenjem rastojanja),
— *prelet na unapred određeni cilj* (sa merenjem rastojanja),
— *prelet na unapred određeni cilj* (sa merenjem brzine).

Preleti po izlomljenoj liniji imaju tri discipline:
— *prelet po izlomljenoj liniji* (sa merenjem rastojanja),
— *prelet na određeni cilj po izlomljenoj liniji* (sa merenjem rastojanja),
— *prelet na određeni cilj po izlomljenoj liniji* (sa merenjem brzine).

Pri preletu po zatvorenoj putanji postoji nekoliko disciplina kod kojih može da se meri ili rastojanje ili brzina. To su:
— *prelet na određeni cilj sa povratkom,*
— *prelet u trouglu od 50 km,*
— *prelet u trouglu od 100 km,*
— *prelet u trouglu od 200 km,*
— *prelet u trouglu od 300 km,*
— *prelet u trouglu od 500 km.*

Za svaku disciplinu prelet mora da bude odganizovan, a to znači da mora da postoji nekakva komisija koja će utvrditi da li je prelet pravilno izvršen i koliki je njegov rezultat. Pri svim preletima gde linija puta menja pravac ili smer (okretna tačka), mora takođe da bude neki član komisije koji će potvrditi da je jedrilica pravilno nadletela okretnu tačku. U slučaju sletanja van aerodroma, jedriličari uzimaju potvrde o sletanju od mesnih vlasti. Izvršenje bilo koje od ovih disciplina reguliše Sportski pravilnik o jedriličarstvu za VSJ, koji je napravljen na osnovu Sportskog pravilnika međunarodne vazduhoplovne federacije FAI. One se koriste prilikom raznih takmičenja a, takođe, i pri treniranju za takmičenja.

Pored navedenih disciplina za prelete, jedriličari letenjem stiču uslove za svoje značke, koje je, takođe, propisala Međunarodna vazduhoplovna federacija. Tako, postoje sledeće značke i uslovi koji treba da budu ispunjeni da bi se one osvojile:

„A" značka
„B" značka
„C" značka

Uslove za ove značke propisuje nacionalni aeroklub svake zemlje i oni se s vremena na vreme menjaju.

Srebrno „C" značka:
— visina: 1000 m efektivnih,
— trajanje: 5 časova jedrenja u jednom letu,
— prelet: 50 km slobodno.

Zlatno „C" značka:
— visina 3000 m efektivnih,
— trajanje: 5 časova jedrenja u jednom letu,
— prelet 300 km slobodno.

Zlatno „C" značka sa dijamantima:
— visina: 5000 m efektivnih,
— prelet: 300 km sa određenim ciljem,
— prelet: 500 km slobodno.

Za svaki od ovih uslova potrebno je imati određenu dokumentaciju, koju daje komisija koja je kontrolisala let a prema Sportskom pravilniku za jedriličarstvo.

PLANIRANJE PRELETA

Pošto smo se upoznali sa vrstama preleta, možemo da pređemo na planiranje preleta. Svaki jedriličar je više ili manje ambiciozan i mnogo pre no što dođe do rezultata koji ga interesuje, provede dosta vremena u razmišljanju o njemu. Većina toga razmišljanja je samo mašta, dok je onaj manji i korisniji deo proučavanje osobina jedrilice na kojoj treba da se leti. Bez poznavanja polare brzina jedrilice nema ozbiljnog preleta. Znači, svako treba da nacrta polaru svoje jedrilice, da je posmatra i da vrši razne pretpostavke o veličini penjanja i propadanja, da određuje brzine preskakanja, da računa prosečne brzine pri raznim pretpostavkama i da se na taj način upozna sa sposobnošću te jedrilice. Takođe, svako treba sebi da pripremi nekakav računar ili tablicu koji će koristiti prilikom izvršenja samog leta. Koji će računar biti upotrebljen zavisi od jedriličara, tj. koji mu se učinio najzgodnijim i u koga on ima najviše poverenja.

Sve ovo je samo zemaljska priprema za ono što treba da se odvija u vazduhu.

Međutim, meteorološku situaciju ne možemo da pripremimo. Nju očekujemo i koristimo je onakvu kakva je, ali se trudimo da

je iskoristimo do maksimuma. Ona će imati ogroman značaj prilikom određivanja discipline.

Na žalost, naročito pri svakodnevnom letenju, jedriličari obično nemaju mogućnosti da dobiju ozbiljne meteorološke podatke i prognozu, pa su veoma često prinuđeni da se upravljaju prema onoj narodnoj poslovici: „Po jutru se dan poznaje." Već od svanuća (a možda još i prethodnog dana) posmatraju nebo i donose nesigurne zaključke o vremenu za letenje. Može se u takvom posmatranju steći prilično iskustvo, ali ono ne obezbeđuje predviđanje vremena na rastojanju većem od nekoliko desetina kilometara. Meteorološka služba treba da obezbedi podatke i prognozu vremena za celu dužinu preleta, tj. od meteorologa se očekuje da kaže do koje udaljenosti od aerodroma je moguće leteti jedrilicom i u kakvim meteorološkim uslovima. Obično od meteorologa dobijamo podatke telefonom, ukoliko nemamo sreću da polećemo sa aerodroma gde postoji meteorološka stanica koja raspolaže sinoptičkim kartama i ostalim podacima. Pošto je dobijanje podataka od meteorologa redovno praćeno žurbom i nervozom, pa se često desi da se neka stvar zaboravi da pita, dajemo ovde nekoliko osnovnih podataka koje meteorolog treba da dâ jedriličaru.

To su:

— *opšti zaključak o vremenu;*
— *u kome predelu i na kome rastojanju postoji mogućnost za jedrenje;*
— *podaci o temperaturi: maksimalna temperatura, gradijenti, visina nulte izoterme, inverzije;*
— *oblačnost: vrste oblaka, visina baze, visina vrha oblaka, mogućnost stvaranja kumulonimbusa, vlažnost;*
— *predviđanje veličine usponih struja;*
— *podaci o pravcu i brzini vetra na raznim visinama;*
— *ostale napomene.*

Kada smo ove podatke sredili, donosimo svoj zaključak o tome koja će disciplina biti najpogodnija i kolika treba da bude njena dužina. Na geografskoj karti posmatramo teren preko koga treba leteti i odabiramo liniju puta. Pogledajmo zato koji meteorološki elementi imaju uticaja na odabiranje discipline.

Slobodni preleti, preleti po kursu, preleti sa unapred određenim ciljem:

smer leta — niz vetar; jačina vetra — što veća.

Preleti po izlomljenoj liniji:

duži deo linije puta niz vetar; kraći deo može biti sa bočnim vetrom.

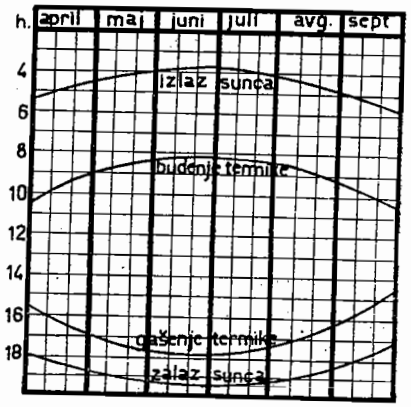
Preleti sa ciljem i povratkom:

pravac leta — sa bočnim vetrom; jačina vetra što je moguće manja.

Preleti u trouglu:

Vreme bez vetra; ako postoji vetar, po mogućstvu trougao orijentisati tako da se u dve strane leti sa leđno-bočnim vetrom a jedna da bude sa čeono-bočnim. Pri veoma jakom vetru, nema smisla praviti prelete u trouglu.

Iz ovoga se vidi da na disciplinu utiču uglavnom pravac i jačina vetra. Koliko će kilometara biti moguće da se preleti, saznaće se iz podataka o veličini usponih strujanja, podataka o vetru, oblačnosti i sl., kao i od kvaliteta jedrilice na kojoj treba leteti. Poseban značaj u određivanju dužine preleta ima dužina tzv. „termičkog dana". Termički dan je vreme od momenta kad je termička uspona strujanja moguće koristiti jedrilicom pa do momenta kada se ona „ugase" i na njima ne bude moguće jedriti. Dužina termičkog dana zavisi, uglavnom, od godišnjeg doba a, takođe, i od same meteorološke situacije određenog dana. Iz ovoga možemo da zaključimo da bez obzira što je godišnje doba takvo da termički dan može dugo da traje, njega može uopšte da ne bude s obzirom na meteorološku situaciju toga dana. Približnu sliku o dužini termičkog dana s obzirom na godišnje doba, možemo da vidimo na slici 46.



Slika 46

Na osnovu svih ovih podataka treba da budemo u mogućnosti da definitivno odredimo disciplinu, pravac i dužinu preleta. Još ostaje da se odredi momenat poletanja.

Ako je prelet veoma dugačak tako da treba koristiti celu dužinu termičkog dana, onda treba poleteti onog momenta čim termička strujanja mogu da podižu jedrilicu. Za kraće prelete, naročito brzinske, treba predvideti koliko će otprilike da traje prelet, pa sredinu ovog vremena poklopiti sa vremenom kada su najjača dizanja. tj oko 14 h. Na primer, ako planiramo da prelet traje 4 časa, poletećemo u 12 h a sletećemo negde oko 16 h. Tada ćemo oko 14 h iskoristiti najjača dizanja. To će biti mnogo bolje nego

da smo poleteli u 10 h po slabim dizanjima pa sleteli oko 14 h, tj. kada jačine dizanja imaju svoj maksimum.

Naročito je važno odrediti momenat poletanja u slučajevima kada prelet treba da počne sa nekog mesta koje je vrlo udaljeno od aerodroma. Tada treba, na osnovu rastojanja i brzine aviona za vuču, odrediti koliko ranije treba poleteti da bismo stigli na određeno mesto i tamo u određenom momentu otkačili jedrilicu od aviona. Ako je to prelet koji treba da počne kada počinje i termički dan, nije teško pretpostaviti šta će se dogoditi ako se tamo stigne ranije od početka termičkog dana, a taj početak nikad nije moguće potpuno tačno predvideti. Zato je uvek bolje malo zakasniti na mesto početka preleta nego doći ranije. Međutim, suviše veliko zakašnjenje može da ima za posledicu manju mogućnost dužine preleta.

OPREMA JEDRILICE ZA PRELET

Na prelet se ide trenažnom ili visokosposobnom jedrilicom. Ona treba da bude čvrsta i ne sme da ima ni najmanje neispravnosti. Da bi prelet bio što sigurniji i što bolje izvršen, potrebna je sledeća oprema:

Instrumenti

— brzinomer, tačan i odgovarajući za taj tip,
— visinomer, precizni,
— variometar do ± 10 m/s ili dva variometra, i to jedan normalan a jedan fini, od kojih jedan može da bude variometar totalne energije;
— pokazivač skretanja i klizanja — električni, nove baterije (proveriti),
— kompas.

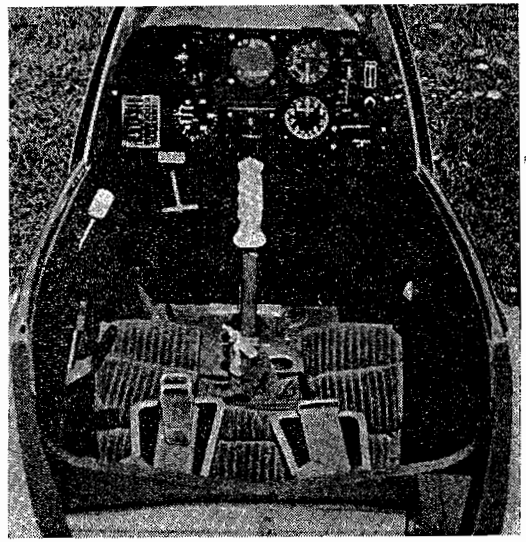
Računari:

— računar brzine preskakanja: Mek Kredijev kružni računar, tablica brzine preskakanja ili neki drugi računar za istu namenu,
— računar doleta.

Ostala oprema:

— geografska karta,
— olovka i hartija,
— štoperica ili bar časovnik sa sekundarom,
— padobran,
— pribor za lengerisanje jedrilice,
— mali startni pribor,
— pribor za prvu pomoć,
— novac,
— dokumenta.
— barograf

Slika 47



Ovo je osnovna oprema koju jedriličar treba da ima za vreme preleta. Pored ove, jedriličar može da ima i drugu opremu koja mu olakšava izvršenje preleta, kao što su: radio-stanica, kiseonički uređaj, razni specijalni instrumenti (termovizori, „kosim" variometri, libele i slično). Na slici 47 prikazana je kabina jedne visokosposobne jedrilice.

Napomena:

— *neozbiljno je ići na prelet bez časovnika;*
— *veoma je važno imati negde zapisan broj telefona aerodroma na koji se treba javiti posle sletanja;*
— *hrana može da se nosi ali „pravi jedriličar" ne jede i ne pije na preletu. Zdrav čovek to radi posle preleta.*

IZVRŠENJE PRELETA

Nemoguće je pisati o izvršenju svake discipline posebno. One su ponekad i slične. Zato ćemo ovde da opišemo jedan brzinski prelet, tj. da vidimo kada i šta jedriličar radi u jedrilici od poletanja do sletanja. Pretpostavimo da je disciplina određena, da smo proučili meteorološke podatke, odredili čas poletanja i opremili jedrilicu svom potrebnom opremom. Visinu otkačinjanja određujemo odoka i to saopštavamo pilotu aviona za vuču. Poletećemo

određenog momenta i još za vreme vuče pokušaćemo da ocenimo da li su dizanja onakva kakva smo pretpostavili. Posmatramo oblake i čekamo trenutak da se otkačimo. Obično je to na visini između 400 i 600 m. Onog momenta kada variometar pokaže penjanje veće od oko 3 m/s i zadrži se na toj veličini, otkačićemo jedrilicu od aviona. Odmah zaokret i pogled u nebo iznad glave da vidimo koji je to oblak. Nastaje centriranje termičkog stuba po nekom od napred opisanih načina. U isto vreme uključujemo štopericu i štopujemo vreme penjanja na visinu do koje ćemo penjati. Obično je to do baze oblaka. Srednju brzinu penjanja izračunavamo na osnovu podataka dobijene visine i vremena penjanja. Pored toga, posmatramo na kojim visinama je variometar pokazivao najveće vrednosti penjanja da bismo na osnovu toga odredili visinu preleta. Bolje je kada su jača penjanja na većoj visini da bi se izbeglo neželjeno sletanje. To je uvek kada je atmosfera nestabilna.

Pri stabilnoj atmosferi imamo obrnut slučaj, najjača dizanja su pri zemlji a sa visinom njihov intenzitet opada tako da je nemoguće ući u oblak, a i ne isplati se leteti u ovim predelima. Kada dizanja oslabe, ne isplati se u njima jedriti pa prestajemo sa penjanjem i štopovanjem vremena penjanja. Pomoću računara doleta lako izračunavamo veličinu srednjeg penjanja. Uvek je na početku bolje uzeti u račun nešto slabiju vrednost srednjeg penjanja, jer je sa vrednostima horizontalne brzine za manje veličine srednjeg penjanja sigurnije leteti. Treba ispitati intenzitet nekoliko termičkih stubova da bi se dobila jasna predstava o stvarnim veličinama penjanja. Kada smo rešili da počnemo planiranje, okrećemo jedrilicu u smeru preleta i početnu crtu kružnog računara stavljamo na veličinu srednjeg penjanja na variometru. Prilikom planiranja kazaljka variometra pokazuje izvesno propadanje a sa njim i neku brzinu preskakanja. Odmah ćemo početi da letimo tom horizontalnom brzinom. Ukoliko tada variometar pokaže još veće propadanje i novu brzinu preskakanja, izvršićemo korekciju i letećemo novom brzinom preskakanja. Tokom celog planiranja trudićemo se da letimo onim brzinama preskakanja koje nam pokazuje kazaljka variometra na kružnoj skali ili u tablici brzina preskakanja.

Za vreme planiranja počinjemo još i posao u vezi sa navigacijom, koji ovde ne možemo opisivati. U nekoliko termičkih stubova trebalo je već da dobijemo određenu predstavu o veličini usponih vazdušnih struja a, takođe, i da odredimo visine između kojih ćemo vršiti naš prelet. Međutim, važno je znati da je intenzitet penjanja ujutru mali i da se tokom dana povećava do nekog momenta kada dostiže svoj maksimum. Tada može da dođe i do opadanja intenziteta za neko vreme, pa nešto kasnije do njegovog ponovnog povećanja itd. Jednog momenta intenzitet penjanja počinje sve više da se smanjuje, dok se predveče sasvim ne izgubi. Pretpostavljamo da su najjača dizanja između 14 i 15 časova, a posle tog vremena počinju da slabe. Prema tome, moraćemo tokom celog leta da štopujemo vreme penjanja na neku visinu i stalno računamo srednja penjanja na osnovu kojih posle čitamo veličine brzine preskakanja.

Pored toga, baza oblaka se stalno diže, pa će i ovo uticati na visinu preleta, koju ćemo morati povremeno da menjamo. Za vreme dok planiramo, moramo da posmatramo sledeći oblak ka kome želimo da idemo i ispod koga se nadamo da ćemo pronaći neko dizanje. Možda će biti potrebno da krenemo ka nekom drugom ukoliko je onaj koga smo izabrali u raspadanju. Uvek ćemo se truditi da pronađemo oblak koji je u fazi formiranja, jer ispod njega ima nade da nađemo dobra dizanja. Ako su oblaci veliki, pokušaćemo da otkrijemo na kom njihovom delu treba tražiti dizanja. Ako nema oblaka, posmatraćemo zemlju i tražiti mesta koja se dobro zagrevaju: krovove naselja, pesak, tamne njive i slično. Imamo, dakle, veoma mnogo posla a malo vremena. Štopovanje vremena, računanje srednjeg penjanja i brzine preskakanja, određivanje najbolje visine na preletu, vođenje navigacije, posmatranje meteorološke situacije i donošenje odluka na osnovu nje, pilotiranje itd. itd. Ko uspe još i da jede za vreme ovog posla, zbilja je izvanredno sposoban.

Pri pojavi kumulonimbusa treba doneti odluku brzu i važnu: da li pokušati da se ovaj oblak obiđe (što zavisi od njegovih razmera), da li ući u njega i izbiti na veliku visinu pa ga tako preskočiti (što je skopčano sa izvanredno velikim rizikom) ili čekati da ovaj oblak prođe? Ovo treće je najgore, jer se obično iza ovog oblaka nalazi veliki prostor bez termičkih strujanja, pa postoji i velika mogućnost da se sleti na zemlju. Na taj način dolazi i do ogromnog smanjenja brzine preleta, pa je pitanje da li se to isplati. Ukoliko postoji mogućnost, preporučljivo je obići kumulonimbus, ali za to nema uvek mogućnosti. Odluka zavisi od date situacije. Ona mora biti mudra, ali bez avanturističkih tendencija. Postoji više načina kako se u letenju plaća za grešku, pa se treba uvek truditi da kazna bude što manja. Prilikom konsultacije sa meteorologom, ako on predviđa kumulonimbuse, dobro je posavetovati se sa njim o mogućnostima ulaska u ovaj oblak.

Često se desi da jedriličar ispred sebe vidi veliki prostor bez ijednog oblaka a to može da znači i bez dizanja, pogotovu ako na visini primeti i tragove cirusa. Tada odstupamo od naše taktike vršenja preleta na određenoj visini i pokušavamo da se popnemo do maksimalne moguće visine i na taj način preletimo ovaj predeo bez dizanja. Ovakve „rupe" su obično lokalnog karaktera i meteorolozi ih ne mogu predvideti. Ovde ćemo, možda, i izgubiti

na brzini, ali to je još uvek bolje nego da sletimo i na taj način završimo prelet. Dakle, na maksimalnoj visini polazimo u planiranje i crtu računara postavljamo na nulu na variometru. Letećemo onim brzinama koje pokazuje kazaljka variometra na kružnoj skali računara. One će biti manje od onih koje smo imali ranije kada smo crtu računara stavljali na veličine nekih penjanja. Ako smo uspeli da doletimo do predela gde postoje dizanja, nastavićemo da letimo na način kakav tamošnja meteorološka situacija zahteva.

Za postizanje većih brzina pri preletu korisno je ponekad koristiti jaka uspona strujanja u oblacima. Jedriličar koji dobro vlada slepim letenjem i ima jedrilicu opremljenu za let u oblacima, bez bojazni može da koristi ovu mogućnost. Jaka dizanja mogu mnogo da povećaju prosečnu brzinu pri preletu. Onima koji nisu obučeni u letenju bez spoljne vidljivosti, ne dozvoljava se ulazak u oblake, bez obzira na to što tamo postoji mogućnost povećanja prosečne brzine.

Nastaje bezbroj situacija pri preletu, koje je ovde, međutim, nemoguće opisivati. Čak i u istim situacijama razni ljudi će različito postupiti, pa je teško sugerirati nešto svoje. Svako stiče svoje iskustvo i više se nauči na sopstvenim greškama nego na tuđim.

Kada se približimo cilju na oko 50 kilometara ili još manje, pripremićemo se za izvršenje poslednjeg ciklusa — doleta. Želimo da za najkraće vreme stignemo sa određenog rastojanja do cilja. Na karti ćemo tačno odrediti poziciju i izmeriti rastojanje do cilja. Štopovaćemo vreme penjanja i odredićemo veličinu brzine srednjeg penjanja, pa ćemo uz pomoć računara doleta izračunati i ostale elemente potrebne za najbrži dolet, kao: potrebnu visinu, brzinu planiranja, finesu, zanos vetra itd. Čitav ovaj posao opisan je u delu u kome se govori o radu sa računarom doleta a dati su i primeri. Računanje doleta treba da bude što je moguće tačnije i bolje, jer uvek može da se desi da jedrilica zbog lošeg računa i ne doleti do cilja. Manja je šteta ako dolet ne bude izvršen optimalnom brzinom, ali ne možemo se uvek ni zadovoljiti nedovoljno postignutom prosečnom brzinom. Pri obaranju rekorda, naročito ako je u pitanju malo poboljšanje rekorda, jedriličar će često doći u situaciju da dolet izračuna veoma tačno, što se graniči sa nesigurnim. Onaj ko hoće rekord, moraće da rizikuje. Najgore što može da mu se desi, to je da sleti ispred linije cilja, verovatno negde pred samim aerodromom što u suštini i nije tako strašno pa se isplati rizikovati i postići novi rekord.

Doletom se završava prelet. Posle sletanja ostaje još da se proanalizira ceo prelet i uoče greške da bi se sledećeg puta umanjile. Vrlo dobro je imati sa sobom barograf i na osnovu barograma analizirati svoj let.

GRUPNI PRELETI

Tokom celog ovog razmatranja preleta pretpostavljali smo da se jedri na termičkim usponim strujanjima i da leti samo jedan jedriličar. Međutim, u poslednje vreme sve češće se javlja potreba za izvršenje grupnog preleta, a to znači više jedriličara u isto vreme, dogovarajući se, izvršavaju istu disciplinu. Ova pojava je nastala verovatno zbog drugarske želje da se pomogne drugome, pa se videlo da je ta pomoć velika. Naročito na takmičenjima prilikom teških disciplina jedriličari se dogovaraju da ostvare zajednički let iako između njih postoji rivalstvo. Nije mala korist kada jedriličar koji traži termički stub, ugleda ispred sebe drugoga kako već jedri u njemu. Kada dve jedrilice jedre blizu, onda je moguće iz jedne jedrilice posmatranjem ustanoviti da li ona druga penje većom ili manjom brzinom penjanja. Pri planiranju, kada je jedriličar sam, on uspeva da pronađe samo one termičke stubove koji su na njegovoj putanji. Ponekad ih teško pronalazi a oni se nalaze blizu njegove putanje i ostaju neiskorišćeni. Zato jedriličari rado koriste grupni prelet kada je slaba meteorološka situacija.

Način izvršenja grupnog preleta je uglavnom ovakav. Jedriličari se rasporede na rastojanju od 100 do 300 metara i zajednički istražuju stubove na širokom pojasu koliko zahvata njihovo ukupno rastojanje. Onaj koji prvi uleti u uspono strujanje koje je vredno iskoristiti, počinje zaokret i centriranje a ostali dolaze u „njegov" stub, koji je on već centrirao. Pri planiranju svi se ponovo razilaze i ponovo istražuju nove termičke stubove. Ne treba uopšte objašnjavati kolika je korist kada jedriličari imaju radio-stanice i dobiju na taj način mogućnost da se dogovaraju.

Ipak, po dobrom vremenu retko se izvode grupni preleti. Uopšte, pri preletu gde je u pitanju brzina grupni prelet ređe dolazi u obzir. On se radije koristi pri preletu pri kome se želi veliko rastojanje.

PRELETI NA VAZDUŠNIM TALASIMA

Veoma jake uspone struje koje nastaju prilikom pojave vazdušnih talasa, veoma velike visine koje se tom prilikom mogu postići i velika brzina vetra bez koje nema pojave talasa, u poslednje vreme dovode do sve češćeg pokušaja izvođenja preleta isključivo na vazdušnim talasima.

Još je nedovoljno ispitan način vršenja preleta na talasima, pa svako ko ima priliku da to radi koristi ko zna kakva svoja iskustva. U Jugoslaviji je dosad ostvaren jedan jedini let koji bi se mogao nazvati preletom na talasima. Izvršio ga je jedriličar Arsen Kukura i o njemu je ranije bilo govora. Kod nas postoje velike i neispitane mogućnosti za izvođenje preleta na talasima. Postoji i velika verovatnoća da to neko iskoristi i postigne neki rezultat. O nekoj taktici još uvek nema ni govora, jer je iskustvo još veoma malo. Može se pretpostaviti da će razna talasna strujanja zahtevati i različite taktike. Već sada je jasno da će, ako postoji jedna planina od koje se stvaraju neki talasi, biti najkorisnije popeti se do maksimalno moguće visine pa onda isplanirati niz vetar koliko god je moguće. Kada je u pitanju dugački planinski lanac, onda može da se leti sa bočnim vetrom duž lanca. Kod nas postoji Dinarski planinski sistem, koji pri južnim vetrovima daje izvanredno jake i dobre vazdušne talase. Postoji zbog toga ideja da se leti duž ovog planinskog sistema — od njegovog severozapadnog dela do jugoistočnog, a to znači sa bočnim vetrom, pa da se na kraju sistema okrene jedrilica niz vetar i isplanira dokle god bude moglo. To bi, znači, bio prelet po izlomljenoj liniji.

Pretpostavlja se da korišćenje vazdušnih talasa u jedriličarstvu stvara velike mogućnosti za ostvarivanje visokih rezultata ne samo u disciplini postizanja visine nego i preleta kako brzinskih tako i daljinskih.

LITERATURA

1. *Ludvik Elsnic:* **VÝCVIK PLACHTAŘE** II 1947.
2. *Makula, Skrzydlewski, Wielgus:* **PRZELOTY SZYBOWCOWE** 1953
3. **BULETYN INSTRUKTORA SZYBOWCOWEGO-CENTRUM SZYBOWCOWE** APRL
4. **„SKRZYDŁATA POLSKA"**
5. **„КРЫЛЬЯ РОДИНЫ"** № 6
6. *VSJ:* **TEHNIKA JEDRENJA**
7. *VSJ:* **PRIRUČNIK SPORTSKOG PILOTA**

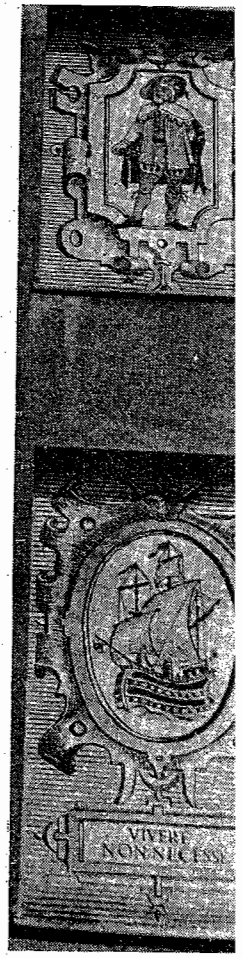
V

VAZDUHOPLOVNA JEDRILIČARSKA NAVIGACIJA

Još vrlo davno, kada je čovek izašao iz pećine i počeo po okolini da traži hranu, susreo se sa problemom — kako se vratiti natrag u pećinu? Možda se vraćao po sopstvenom tragu koji je ostavljao na zemlji, možda je zalamao grančice na drveću pored koga je prolazio. Bez obzira kojim se načinom služio, stvarao je veštinu kretanja po nepoznatom terenu da bi uspešno stigao do nekog svog cilja. Tokom vremena pronalazio je i mnoga sredstva pomoću kojih je uspevao da prevaljuje sve veća rastojanja i bio prinuđen da iznalazi nove načine kako da se orijentiše u ogromnom prostranstvu koje ga okružuje. Stići do nekog cilja koji smo unapred odredili svakodnevni je naš problem, pa ma kakvim se sredstvom kretali, a uslovi u kojima se krećemo teren, brzina, vidljivost, visina itd. odrediće nam način kako da stalno, tokom puta budemo svesni gde se nalazimo i stignemo tamo gde smo naumili.



PODELA NAVIGACIJE



Reč „navigacija" latinskog je porekla i dolazi od reči navigo-navigare, što znači ploviti. Nije slučajno što danas ova reč označava veštinu kako najboljim i najsigurnijim putem stići do nekog cilja. Moreplovci su bili ti koji su radi ostvarenja svojih putovanja usavršili ovu veštinu. Posmatranje zvezda, upotreba kompasa, razni načini merenja brzine i uglova, bili su osnov ove veštine. I danas principi se nisu mnogo promenili. Promenila su se i usavršila sredstva za izračunavanje. Umesto kompasa došao je radio-kompas, radar i sl.

Oni koji su počeli da putuju po vazduhu koristili su iskustvo moreplovaca, koristili geografske karte, ugrađivali kompase u svoje leteće sprave, nosili sobom sekstante, posmatrali zvezde, ali su ipak sve to morali da prilagode svom načinu kretanja. letenju

kroz vazduh. Ti ljudi su, dakle, usavršavali svoju veštinu dolaska na cilj — vazduhoplovnu navigaciju. Ona ima u sebi mnogo sličnosti sa pomorskom ali i razlike.

Kada su jedriličari počeli da se udaljuju od aerodroma, a to nije bilo tako davno, pred njih se postavio jedan problem kako stići na određeni cilj. Logično je da je veliki deo iskustva iz motornog letenja prenesen na jedriličarstvo. Međutim, način letenja jedrilice na nekom putu mnogo se razlikuje od leta aviona na tom istom putu. Jedrilica se kreće različitim brzinama, zadržava se penjući se u termičkom stubu, udaljava se po potrebi od svoje zadate linije puta itd. Sve je to uticalo da jedriličari stvore svoju navigaciju, koju prosto zovemo jedriličarska navigacija.

Nabrojaćemo nekoliko metoda vazduhoplovne navigacije.

Astronomska navigacija je vođenje aviona noću pomoću posmatranja zvezda i merenja uglova u odnosu na njih. Ako je nebo pokriveno oblacima a leti se ispod njih, nemoguće je koristiti se ovim vidom navigacije. Za jedriličarstvo ona nema nikakvog značaja.

Računska navigacija je osnovni vid navigacije u motornom letenju. Zasniva se na održavanju određenog pravca i brzine pri čemu se za određeno vreme preleti određeni put.

Iako u jedriličarstvu mogu da se koriste izvesni elementi koje upotrebljava računska navigacija, ovaj vid za jedrličarstvo nema značaja. Voditi računsku navigaciju u jedrilici znači ne iskoristiti sve mogućnosti koje nam pruža meteo-situacija.

Radio-navigacija je vođenje vazduhoplova pomoću elektronskih uređaja. Danas je to najvažniji i najrasprostranjeniji vid navigacije, koji, međutim, za jedriličarstvo nema značaja, ali nije isključeno da ga neće imati.

Vizuelna navigacija je „najprimitivniji" vid vaduhoplovne navigacije. Za jedriličarstvo je od ogromnog značaja i svodi se na upoređivanje geografske karte sa terenom iznad koga se leti. Za motorno letenje ovaj vid je preživeo, jer postoje mnogi drugi lakši i sigurniji vidovi. S obzirom na specifičan način kojim jedrilica leti, vizuelna navigacija se pokazala najpogodnijom. Zato ćemo ovde da proučimo ovaj vid navigacije a iz ostalih samo ono što za jedriličarstvo ima nekog značaja.

OBLIK I VELIČINA ZEMLJE

Mnogo je ljudi stradalo u srednjem veku dokazujući „da je Zemla okrugla". Praktično su to prvi dokazali moreplovci koji su oplovili Zemlju i ponovo došli na isto mesto a da se nisu vraćali istim putem. Danas mi dosta znamo o planeti na kojoj živimo, mada još uvek ne sve.

Utvrđeno je da Zemlja ima oblik nešto malo spljoštene kugle. Ovakav oblik nazivamo *„geoid"*. Pošto takva kugla ima različite poluprečnike, daćemo ovde veličinu najvećeg i najmanjeg poluprečnika:

— *najveći poluprečnik*	*6.378,368 km,*
— *najmanji poluprečnik*	*6.356,912 km,*
— *spljoštenost (tj. razlika poluprečnika)*	*21,456 km,*
— *Najveći obim Zemlje*	*40.000,368 km,*

Zbog male spljoštenosti i da bismo lakše računali u navigaciji zanemarujemo veličinu spljoštenosti Zemlje. Zamišljamo je kao loptu koja se okreće oko svoje osovine a u isto vreme kruži oko Sunca u jednoj ravni koju nazivamo *ekliptika.* Ugao koji zaklapa osa Zemlje sa ravni ekliptike iznosi 66°33′. Mesta na površini Zemljine kugle kroz koja prolazi zamišljena osa okretanja zovu se *polovi* i to *Severni i Južni pol.*

GEOGRAFSKI KOORDINATNI SISTEM

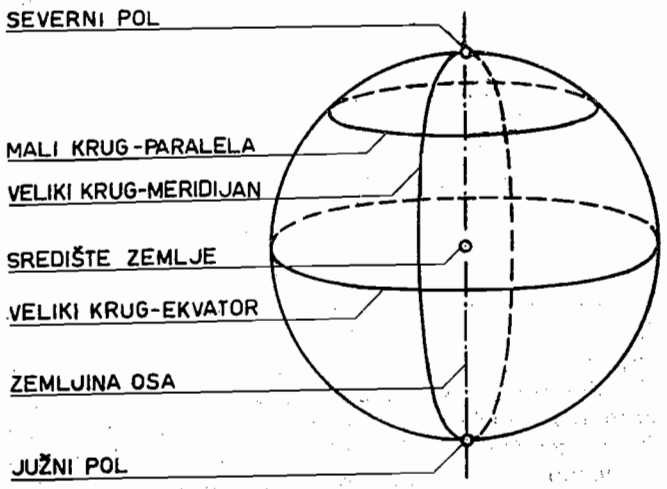
Radi orijentacije na Zemljinoj površini, određivanja pozicija tačaka, merenja rastojanja i sl., Zemljinu kuglu presecamo raznim ravnima i na taj način dobijamo razne linije koje nam taj posao olakšavaju. Pošto Zemljinu kugla smatramo za loptu, svako njeno presecanje nekom ravni daće kao presek krug. Svaka ona ravan koja prolazi kroz središte Zemlje daje najveći mogući kružni presek koji nazivamo *veliki krug.* Možemo dobiti beskonačno

mnogo velikih krugova presecajući Zemljinu kuglu ravnima koje prolaze kroz njeno središte.

Ako Zemljinu kuglu presečemo jednom ravni koja prolazi kroz njeno središte i normalna je na njenu osu okretanja, dobićemo karakterističan veliki krug koji nazivamo *ekvator*. Ekvator deli Zemljinu kuglu na dve hemisfere, severnu i južnu. Severna je ona na kojoj se nalazi Severni pol a južna, na kojoj se nalazi Južni pol. Ekvator je jedini veliki krug koji prolazi sroz središte Zemlje a normalan ze na osu.

Presecanjem Zemljine kugle nekom ravni koja prolazi kroz njeno središte ali i kroz njenu osu okretanja, dobija se opet veliki krug. Ovakav krug naziva se *meridijan*. Svaki meridijan prolazi kroz Severni i Južni pol koji ga dele na dva dela. Presecanjem Zemljine kugle kroz njenu osu moguće je dobiti beskonačno mnogo velikih krugova — meridijana. Radi određivanja pozicije presekli smo Zemlju ravnima koje prolaze kroz njenu osu, a koje se između sebe razlikuju za 1°, i na taj način smo dobili 180 meridijana.

Presecanjem Zemlje nekim ravnima koje ne prolaze kroz njeno središte dobijamo krugove koji su različite veličine što zavisi od toga koliko se daleko od središta Zemlje nalazi presečna ravan. Svi ti krugovi čiji se centar ne nalazi u središtu Zemlje manji su od velikih krugova i mi ih nazivamo zajedničkim imenom *mali krugovi*. Oni mali krugovi čije ravni presecaju Zemlju normalno na njenu osu nazivaju se *paralele*. Naziv je dat zato što su sve ravni presečene paralelne među sobom, jer su normalne na osu okretanja Zemlje. Sve paralele su paralelne sa ravni ekvatora. Mo-



Slika 1

guće je ucrtati beskonačno mnogo ovih paralela ali iz istog razloga kao i kod meridijana mi ih crtamo na određenom razmaku koji sačinjava uglovno udaljenje od ekvatora i polova (sl. 1).

Presecanjem pomenutim ravnima na površini Zemlje dobija se mreža meridijana i paralela koja sačinjava *geografski koordinatni sistem*. Pomoću geografskog koordinatnog sistema može da se odredi položaj bilo koje tačke na Zemljinoj površini. Početak geografskog koordinatnog sistema sačinjavaju ekvator i nulti meridijan koji je po dogovoru određen. To je meridijan koji prolazi kroz astronomsku opservatoriju u Griniču kod Londona.

Sada može da se govori o stranama sveta. Postoje četiri glavne strane sveta: sever, istok, zapad i jug.

Severna strana je ona koja vodi od ma koje tačke na Zemljinoj površini ka Severnom polu a južna ka Južnom polu.

Ako se okrenemo ka severu, na desnoj strani nalazi se istok a na levoj zapad. Kada smo okrenuti ka jugu, istok je na levoj strani a zapad na desnoj. Strane sveta obeležavamo latinicom, i to:

— *sever*	**N**
— *istok*	**E**
— *zapad*	**W**
— *jug*	**S**

Između glavnih strana postoje i međuglavne strane sveta, i to:

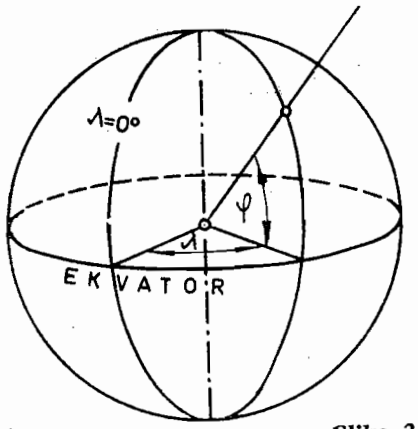
— *severoistok*	**NE**
— *severozapad*	**NW**
— *jugoistok*	**SE**
— *jugozapad*	**SW**

Pozicija neke tačke na geografskom koordinatnom sistemu određuje se pomoću geografskih koordinata. Ove koordinate nazivamo *geografska širina* i *geografska dužina*. Kroz svaku tačku na Zemljinoj površini možemo da povučemo jedan meridijan i jednu paralelu. Meridijan koji prolazi kroz tačku čiju poziciju tražimo naziva se meridijan toga mesta.

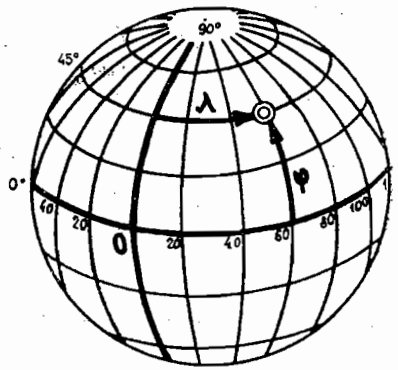
Važno je zapamtiti definicije geografske dužine i širine.

Geografska dužina nekog mesta je *ugao* koji zaklapa ravan meridijana tog mesta sa ravni nultog meridijana. Postoji istočna i zapadna geografska dužina, tj. meridijani polaze od nultog na istok ili zapad i ugao njihovih ravni se razlikuje za 1°, dakle ima ih 180 na istok i 180 na zapad. Meri se u stepenima i obeležava grčkim slovima λ (lambda).

Geografska širina nekog mesta je *ugao* koji zaklapa prava koja prolazi kroz središte Zemlje i to mesto sa ravni ekvatora. Postoji severna i južna geografska širina. Meri se u stepenima od



Slika 2



Slika 3

ekvatora na sever i jug do polova, po 90° na svaku stranu, i obeležava se grčkim slovom φ (fi), (sl. 2).

Pomoću geografske dužine i širine mogu da se odrede koordinate svake tačke na Zemljinoj površini na taj način što se izmeri geografska dužina i širina i izrazi u stepenima. Na primer, tačka A ($\varphi=45°22'$) N i ($\lambda=21°34'$) E. Oznake N ili E, i W ili S, označavaju da li je geografska širina severna ili južna, i da li je geografska dužina istočna ili zapadna (sl. 3).

JEDINICA ZA MERENJE UDALJENJA

Da bi mogao da se stekne pojam udaljenja, usvojeni su razni sistemi mera. Kod nas je u upotrebi *metarski sistem*, a postoji još anglosaksonski, ruski, bečki, turski itd.

Metarski sistem usvojen je prvo u Francuskoj 1795. g., a 1875. godine zaključena je internacionalna metarska konvencija po kojoj je metar usvojen kao jedinica za dužinu. Usvojenu dužinu predstavlja jedan štap rebrastog preseka izliven od 90 delova platine i 10 delova iridijuma. Po dužini neutralnog sloja ovog štapa urezana je podela. Njegova dužina predstavlja približno četrdeset milioniti deo Zemljinog obima.

Metarske mere za dužinu

kilometar	dm	1 dm	1000 m	
metar	m	1 m	0,001 km	100 cm
decimetar	km	1 km	0,10 m	10 cm

santimetar	cm	1 cm	0,01 m	10 mm
milimetar	mm	1 mm	0,1 cm	0,001 m
mikron		1	0,000001 m	0,001 mm

Anglosaksonske mere za dužinu

morska (geografska) milja (nautical mile) 1/60 ekvatorskog stepena	6080 stopa	1.854,965 m
britanska milja (statute mile)	5280 stopa	1.609,3296 m
obična engleska (londonska) milja	5000 stopa	1.523,9863 m
hvat (fathom) 2 jarda 6 stopa 72 palca		1,8288 m
jard (yard) 3 stope 36 palaca		0,91438 m
stopa (foot) 12 palaca		30,4797 cm
palac, col (inch) 2/2″ 4/4″ 8/8″		25,339 mm
polovina palca (half)		12,699 mm
četvrtina palca (fourth)		6,349 mm
osmina palca (eighth)		3,174 mm
meridijanski stepen 1/90 merid kvadranta — 60 morskih milja		111,12 km

Pretvaranje anglosaksonskih mera za dužinu u metarske i obratno

metar		stopa	metar		stopa
0,305	1	3,281	1,829	6	19,685
0,610	2	6,562	2,134	7	22,966
0,914	3	9,842	2,438	8	26,247
1,219	4	13,123	2,743	9	29,528
1,524	5	16,404	3,048	10	32,808
6,096	20	65,616	15,240	50	164,043
7,620	25	82,022	30,480	100	328,086

kilometara		morskih milja	kilometara		engleskih milja
1,8516	1	0,54	1,6093	1	0,6214
3,7031	2	1,08	3,2186	2	1,2428
5,5548	3	1,62	4,8279	3	1,8642
7,4064	4	2,16	6,4372	4	2,4856
9,2580	5	2,70	8,0465	5	3,1070
11,1096	6	3,24	9,6558	6	3,7284

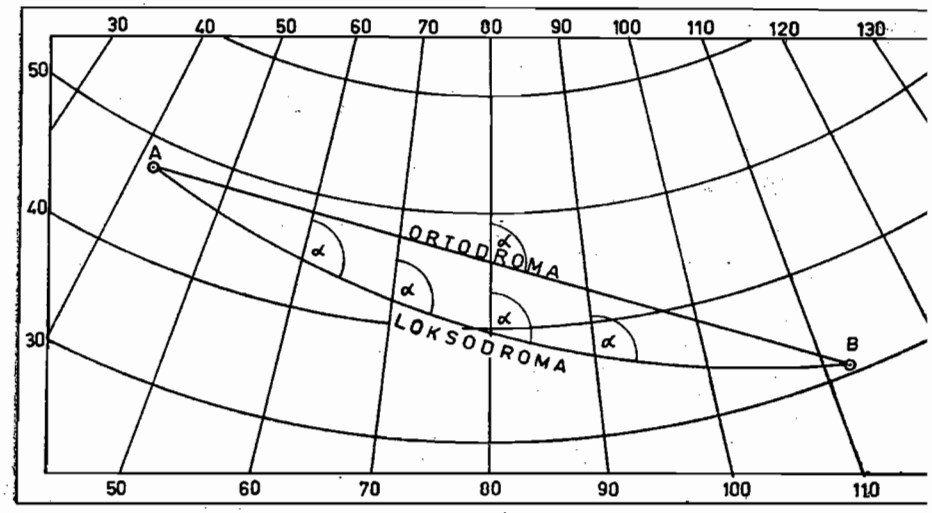
kilometara		morskih milja	kilometara		engleskih milja
12,9612	7	3,78	11,2651	7	4,3498
14,8128	8	4,32	12,8744	8	4,9712
16,6644	9	4,86	14,4837	9	5,5926
18,5160	10	5,40	16.0930	10	6,2140
37,0320	20	10,80	32,1860	20	12,4280
46,2900	25	13,50	40,2325	25	15,5350
92,5800	50	27,00	80,4650	50	31,0700
185,1600	100	54,00	160,9300	100	62,1400

ORTODROMA I LOKSODROMA

Presecanjem Zemlje pomoću ravni koja prolazi kroz njeno središte dobijamo veliki krug. Ako ravan presecanja prođe kroz dve tačke na Zemljinoj površini a, takođe, i kroz središte, onda se te dve tačke nalaze na velikom krugu a linija koja ih spaja naziva se *ortodroma*. To je najkraće rastojanje između dve tačke na Zemlji i deo je luka velikog kruga koji prolazi kroz te tačke. Prilikom presecanja meridijana primećuje se da ih ortodroma preseca na Zemljinoj površini pod različitim uglovima. To znači da bi u letu po najkraćoj putanji između dve tačke vazduhoplov morao stalno da menja uglove u odnosu na meridijan. Ma koliko da je ovo komplikovano, linija leta na ovaj način ispala bi najkraća.

Ako između dve tačke na Zemljinoj površini povučemo takvu liniju koja seče meridijan uvek pod istim uglom, dobićemo krivu spiralnu liniju a rastojanje između dve tačke mereno po toj liniji neće biti najkraće. Ovakva linija naziva se *loksodroma*. Na kraćim rastojanjima razlika udaljenja između dve tačke merena po ortodromi i loksodromi biće neznatna. Znači da bi za pilote bilo lakše da lete po loksodromi, jer se uvek zadržava isti ugao u odnosu na sever pa makar let trajao i nešto duže ako su u pitanju kraća rastojanja. Tako se u praksi i radi.

Na velikim rastojanjima kada razlika dužine merena po ortodromi i loksodromi postaje velika, ne isplati se leteti po loksodromi. U tom slučaju se put po ortodromi izdeli na nekoliko delova i na tim delovima leti po loksodromi, jer je na kraćinm rastojanjima razlika neznatna. Samo prilikom prelaska između jednog podeoka u drugi podeok puta menja se ugao onako kako to traži loksodroma (sl. 4).

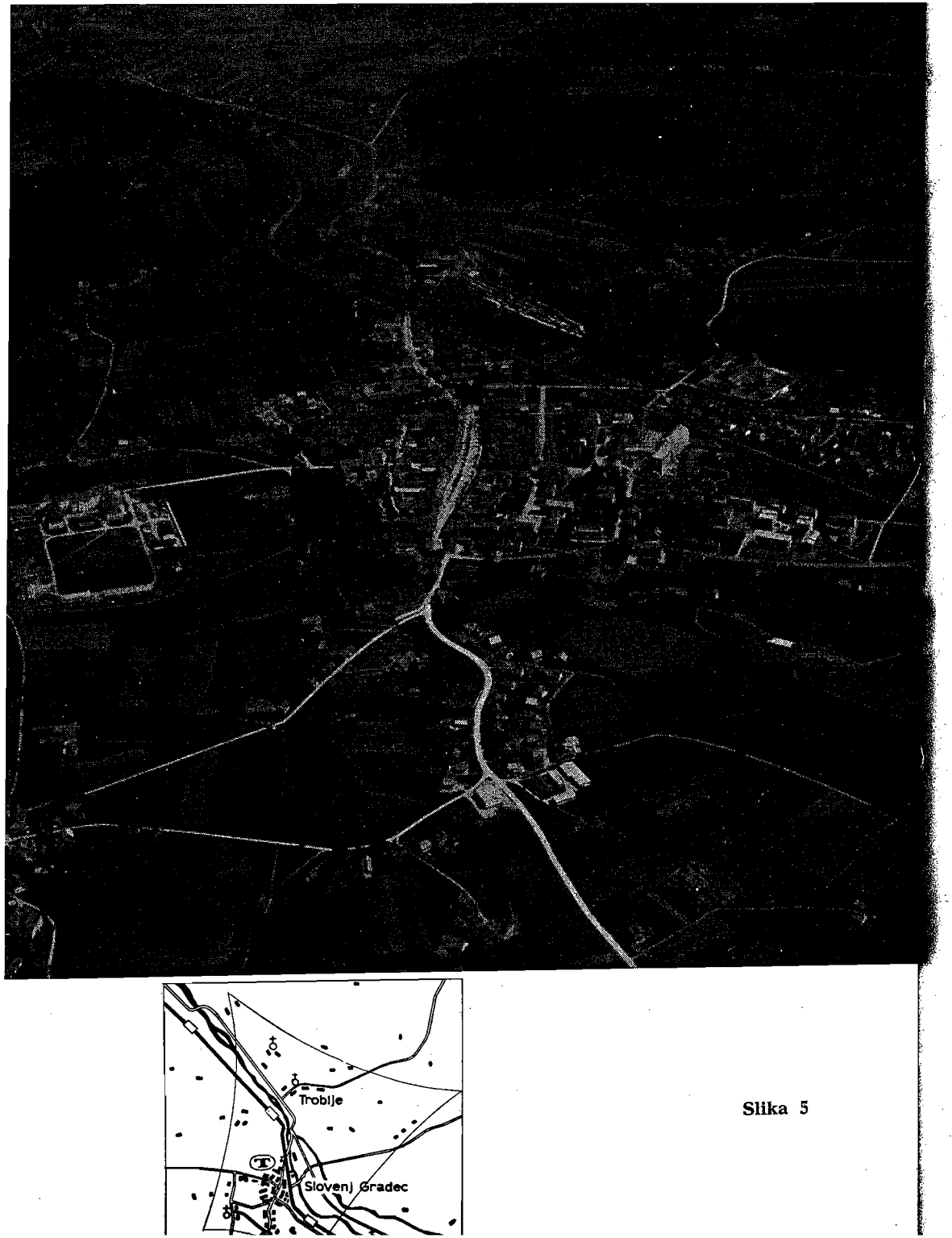


Slika 4

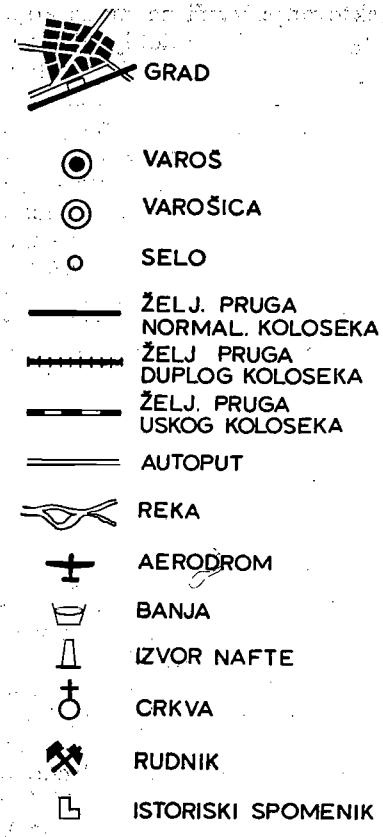
Na rastojanjima koja nisu veća od 500 km zanemaruje se razlika između udaljenja po ortodromi i loksodromi i leti se loksodromski. Na geografskim kartama ortodroma i loksodroma se pojavljuju u različitim oblicima što zavisi od toga kako je karta napravljena. Oblik ovih linija na pojedinim kartama dat je u tablici projekcija geografskih karata.

GEOGRAFSKE KARTE

Predstaviti potpuno verno krivu površinu lopte na jednu ravan nemoguće je. Prilikom svakog „ispravljanja" sferne površine javiće se neke deformacije, koje će uticati da slika Zemljine površine ne bude verna. Jedino je moguće verno predstaviti sliku Zemlje na umanjenoj lopti, tj. globusu. Međutim, globus nije pogodan za upotrebu u navigaciji, jer ne može da se unese u vazduhoplov. Pod uslovom da su odstupanja neznatna, moguće je sa krive Zemljine površine preneti oblike na ravnu površinu. Umanjena slika Zemljine površine prenesena na ravnu površinu naziva se *karta*. Nikad se ne može dobiti potpuno verna karta cele Zemljine površine. Uvek su to samo neki njeni delovi.



Slika 5



Slika 6

Postoji mnogo vrsta geografskih karata prema tome za šta su namenjene. Nas interesuju **vazduhoplovne karte**, koje treba da odgovaraju sledećim uslovima:

— da imaju jasno ucrtane one objekte sa zemlje koji se vide iz vazduha,
— da je razmera karte ista u svim njenim delovima,
— da postoji sličnost oblika na zemlji i oblika na karti,
— da su uglovi na zemlji jednaki uglovima na karti,
— da su otrodrome i loksodrome prave linije ili što približnije pravim linijama.

Karta nije fotografija zemljine površine. Fotografija ne bi dovoljno istakla objekte koji su važni a sadrži mnogo nevažnih objekata koji otežavaju čitanje karte.

Slika 5 pokazuje jedan fotografisani predeo i kartu tog istog predela. Da bi se jasnije naznačili objekti na zemlji koje treba uočiti, prilikom pravljenja karte upotrebljavaju se kartografski znaci. To su simbolično predstavljeni objekti na zemlji. Kartografski zavodi uvez uz geografsku kartu daju i spisak kartografskih znakova. Ovi znaci se s vremena na vreme menjaju. Pošto i karte vremenom zastarevaju, jer se menjaju objekti na zemlji kartografski zavodi izdaju nove zajedno sa novim kartografskim znacima. Ovi znaci se moraju znati napamet da bi se karta mogla čitati (sl. 6).

Geografske karte mogu da se podele prema tome na kakve su površine projektovane i iz koje tačke je izvršena projekcija. Prema ovome možemo da ih podelimo u nekoliko vrsta. To su: gnomonske, stereografske, cilindrične, konične i polikonične. Kako je vršeno projektovanje i kakve su osobine ovih karata, predstavljeno je na datoj tabrici (sl. 7). Iz te tablice može da se vidi da su karte najtačnije tamo gde ravni na koje se vrši projektovanje dodiruju Zemljinu kuglu. Pored dodirne linije postoji još jedan pojas u kome je tačnost zadovoljavajuća i greška toliko mala da se može

zanemariti. Postoji način da se projektovanje izvrši na ravan koja nešto malo prodire kroz Zemljinu kuglu tako da se dobiju dve zajedničke linije a između njih i oko njih prostor sa dovoljnom tačnošću. Na taj način je pojas u kome je karta dovoljno tačna još više proširen. Kod polikonične projekcije svaki konus ima pojas u kome je projekcija ispala verna, pa se ravni tih konusa razviju i sastavljaju da bi se dobila što veća verna površina. Reklo bi se da je u ovakvom načinu projektovanja dobijena najveća vernost. Međutim, i tu postoji problem. Razvijeni konusi ne mogu ni nakakav način da se sastave tako da predstavljaju ravnu površinu. Na mestima gde treba ove ravni da budu sastavljene pojavljuju se „procepi" koji ne dozvoljavaju sastavljanje, onemogućavaju merenje, ucrtavanje pravih linija itd. Ipak su polikonične i konične projekcije u najvećoj upotrebi u vazduhoplovstvu.

RAZMERA KARTE

Kao što smo već ranije rekli, karta je umanjena slika Zemljine površine. Ovo umanjenje uvek stoji u nekom odnosu sa veličinama na Zemljinoj površini. Odnos veličina na Zemljinoj površini i na geografskoj karti zove se *razmera.* Ona je uvek napisana na svakoj karti ili sekciji. Prikazuje se na dva načina, i to: grafički i brojčano. Grafički prikaz razmere karte izgleda kao jedna duž izdeljena na podeoke čija veličina predstavlja određenu dužinsku veličinu na zemlji, npr. 1 cm na karti predstavlja 10 km na zemlji i sl. Brojčana razmera se daje u vidu odnosa 1:X, gde X predstavlja broj koliko su puta umanjene veličine na zemlji koje su ucrtane u tu kartu. Kartografski zavodi štampaju karte samo u određenim razmerama. Nas u vazduhoplovstvu mogu da interesuju sledeće razmere:

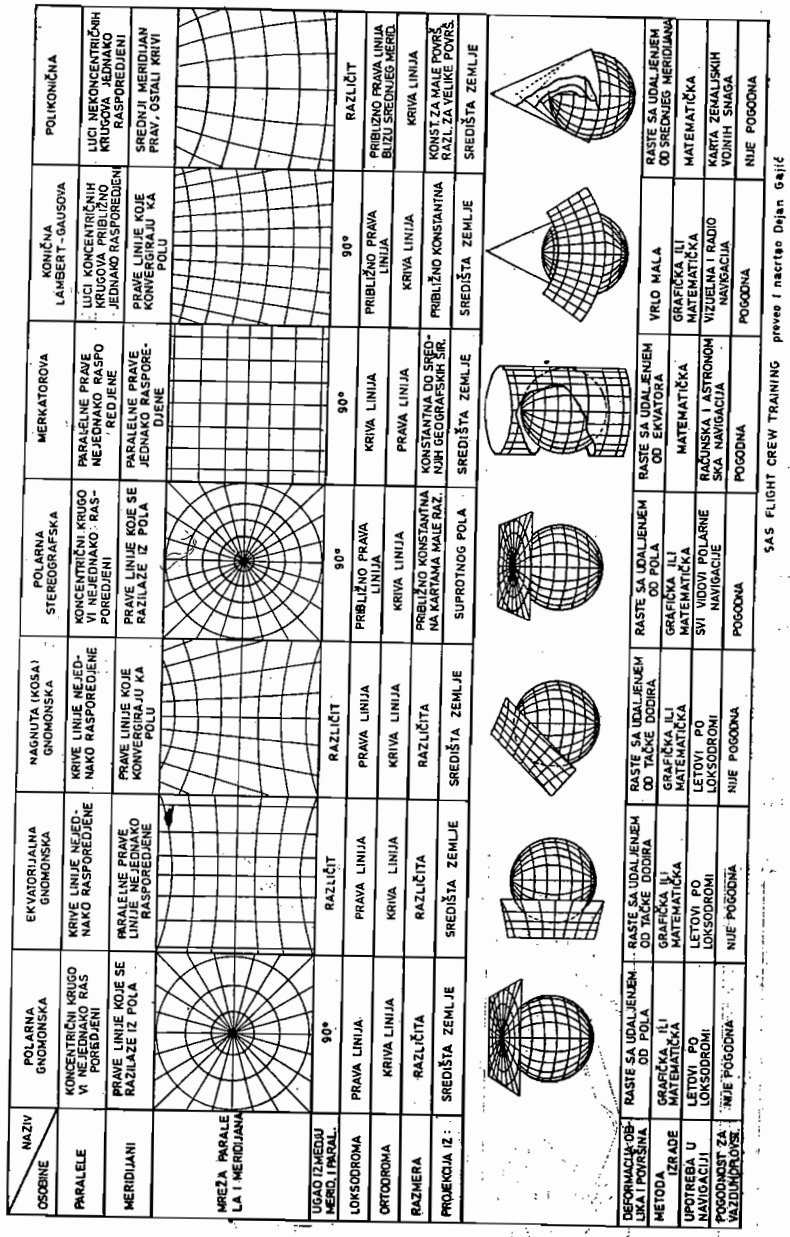
1:100.000	1:300.000	1: 750.000
1:200.000	1:500.000	1:1.000.000
1:250.000	1:600.000	1:1.250.000

Za jedriličarske potrebe upotrebljavamo sve karte od 1:200.000 do 1:1.000.000, tj. prema vrsti zadatka koji se vrši jedrilicom.

Najuniverzalnija i najčešće upotrebljavana je karta razmere 1:500.000.

Može da se desi da za neku kartu nije poznata razmera. Određivanje razmere neke karte vrši se pomoću druge karte kojoj je poznata razmera i koja predstavlja isti teren koji i karta sa ne-

KARTOGRAFSKE PROJEKCIJE



Slika 7

poznatom razmerom. Kada se postavi odnos: razmera poznate karte prema razmeri nepoznate karte X ima se kao rastojanje na nepoznatoj karti prema tome istom rastojanju na poznatoj karti. Na primer:

$$\frac{1.000\,000}{X} = \frac{40\ (cm)}{20\ (cm)} \qquad X = \frac{20.000.000}{40} = 500.000$$

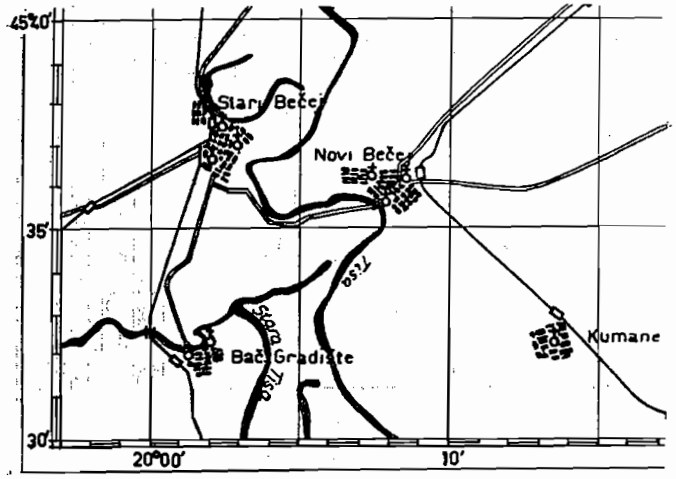
Znači da je nepoznata razmera karte bila 1:500.000.

Nepoznata razmera karte može da se odredi lako i bez druge poznate karte ako se zna rastojanje nekih tačaka na zemlji i izmeri rastojanje tih tačaka na karti. Prostim deljenjem dobićemo razmeru.

ODREĐIVANJE KOORDINATA MESTA NA KARTI

Na svakoj karti ucrtan je geografski koordinatni sistem, tj. mreža meridijana i paralela. Svaki meridijan ili paralela označeni su uglavnom vrednošću, tj. u stepenima, računajući od nultog meridijana ili ekvatora. Ovo označavanje vrši se po obodu karte. Takođe po obodu su upisane i sitnije mere nego što imaju meridijani i paralele, ali one služe samo za odmeravanje i njihova mreža nije ucrtana preko karte (sl. 8).

Kod karata koje imaju paralelno raspoređene meridijane i uporednike određivanje koordinata vrši se prosto kao i u Dekartovom koordinatom sistemu. Takav slučaj je sa Merkatorovom ili

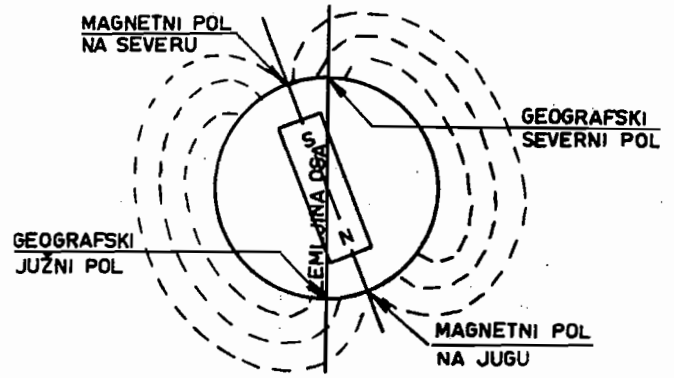


Slika 8

cilindričnom projekcijom. Međutim, ovu projekciju mi ne upotrebljavamo za letenje. Kod koničnih projekcija stvar se komplikuje zbog toga što meridijani konvergiraju ka polu a padalele su ucrtane kao lukovi. Rastojanje između njih nije jednako, pa kroz datu tačku treba povući meridijan i paralelu toga mesta koji će biti saglasni ostalim upisanim meridijanima i paralelama. Na mestu gde meridijan i paralela tog mesta presecaju podelu u stepenima na ivici karte, treba očitati veličinu geografske dužine ili širine.

ZEMLJINO MAGNETNO POLJE

Posmatranjem ponašanja jedne magnetne igle u prostoru utvrđeno je da u našoj okolini stalno postoji magnetno polje. Ovo magnetno polje naziva se *Zemljino magnetno polje.* Magnetna igla zauzima u njemu uvek pravac magnetnih linija. Na osnovu oblika magnetnih linija dobija se utisak da to magnetno polje stvara neki vrlo veliki magnet koji se nalazi u unutrašnjosti Zemlje. Južni pol ovog magneta okrenut je ka severu a severni ka jugu. Magnetska osa tog magneta ne poklapa se sa osom obrtanja Zemlje nego zaklapa, u odnosu na nju, ugao od oko 15°. Na osnovu ovoga uvedeni su pojmovi magnetnih polova za razliku od geografskih čija se mesta, takođe, razlikuju. Tako se južni magnetni pol nalazi na severu, i to na oko φ (70°) severne geografske širine i λ (96°) zapadne geografske dužine. Severni magnetni pol na jugu nalazi se oko φ (72°) južne geografske širine i λ (157°) istočne geografske dužine. Po analogiji sa geografskim uvedeni su magnetni polovi, magnetni meridijani i magnetni ekvator (sl. 9).

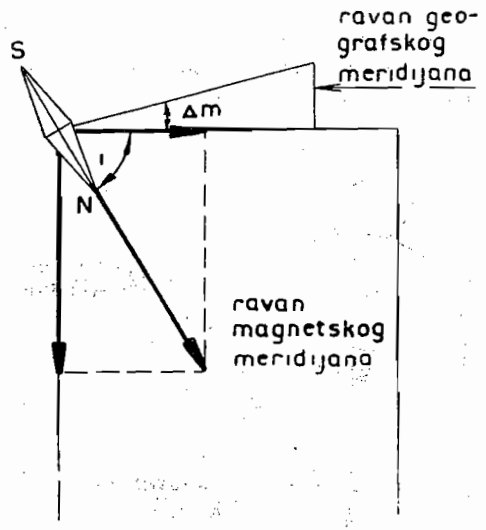


Slika 9

Magnetna igla, koja je oslonjena u težištu i može slobodno da se okreće u horizontalnoj i vertikalnoj ravni, postaviće se uvek u položaj tangente magnetne linije koja prolazi kroz njeno težište. Na taj način igla se nalazi u ravni magnetnog meridijana, koja sa ravni geografskog meridijana zaklapa izvestan ugao. Taj ugao nazivamo *magnetna deklinacija* i obeležavamo ga u navigaciji sa $\triangle$m. Ovaj ugao nije u svakoj tački na zemlji jednak i može da iznosi od 0° do 180°. Na teritoriji naše zemlje magnetna deklinacija iznosi oko 8° na zapad. Magnetna deklinacija jednog mesta nije stalna već se vremenom menja, pa su uočene godišnje promene deklinacije. Izrađuju se karte magnetnih deklinacija u koje su ucrtane linije jednakih deklinacija — *izogone*. Ove karte važe za onu godinu u kojoj su izrađene, ali, znajući godišnju promenu deklinacije, može da se izračuna deklinacija nekog mesta za neku drugu godinu.

Osa NS magnetne igle zaklapa, takođe, i izvestan ugao sa horizontalnom ravni. Ovaj ugao naziva se *magnetna inklinacija*. Na severnoj polulopti Zemlje magnetna igla okreće svoj severni pol nadole, u odnosu na horizontalnu ravan, a na južnoj obrnuto. Ugao magnetne inklinacije nije svuda jednak. Na magnetnom ekvatoru on iznosi 0° a na magnetnim polovima 90°. Na teritoriji naše zemlje inklinacija severnog pola magnetne igle iznosi oko 60° nadole. Slika 10 prikazuje magnetnu deklinaciju i inklinaciju, i to približno za veličine kakve vladaju u našoj zemlji.

I intenzitet magnetne indukcije je različit na raznim mestima na Zemlji a menja se i s vremenom, pa su uočene promene koje



Slika 10

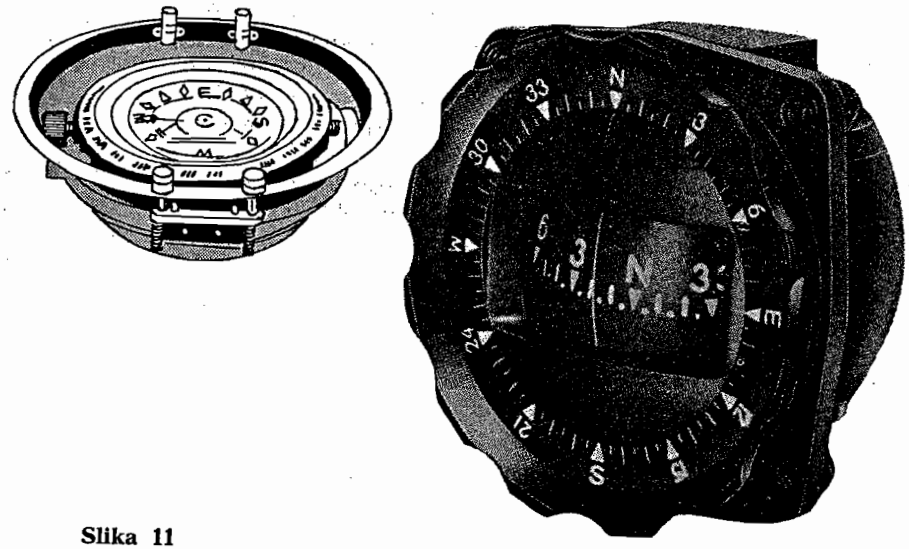
se javljaju periodično, i to: sa periodom od jednog dana, jedne godine ili više godina. Postoje i povremene promene magnetnog intenziteta, koje mogu da budu vrlo intenzivne. Te povremene intenzivne promene nazivaju se magnetnim burama.

U praksi, ipak, možemo da smatramo da je na površini od nekoliko kvadratnih kilometara magnetno polje homogeno.

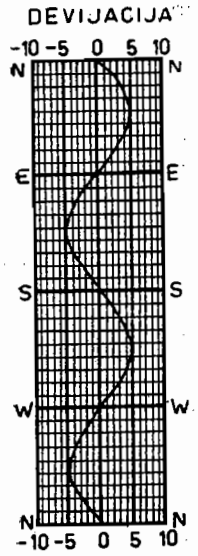
Na Zemljino magnetno polje utiču razne pojave koje dolaze iz unutrašnjosti Zemlje, iz atmosfere a i iz vasione. O poreklu Zemljinog magnetizma postoji nekoliko teorema, ali ni jedna ne može potpuno da objasni ovu pojavu. Za naučnike ovo je još uvek široko neispitano polje čijim bi se otkrivanjem razjasnile i mnoge druge nejasne pojave u prirodi.

KOMPAS

Osobina magnetne igle da se postavlja u pravcu magnetnih linija primećena je vrlo davno. Znajući odstupanja koja ima magnetna igla u odnosu na geografski pravac sever—jug, načinjena je sprava pomoću koje ovaj pravac može da se odredi — *kompas*. Prve kompase upotrebljavali su i usavršavali moreplovci. Bio je to nekad najvažniji instrument na brodu, postavljen na određenom



Slika 11



Slika 12

mestu i naročito čuvan. Zahvaljujući njemu, mogućnosti za sigurnu dugu plovidbu su se veoma povećale.

U vazduhoplovstvu je kompas dobio mesto onog momenta kada je avionom bilo potrebno preleteti do nekog udaljenog mesta u određenom pravcu. U početku isti kao i brodski, kompas je postepeno trpeo promene koje mu je nalagao način kretanja kroz vazduh. Danas imamo pravi vazduhoplovni kompas o čijoj konstrukciji ovde nećemo govoriti, jer je opisan u delu ove knjige koji govori o instrumentima. Izgled jednog starog kompasa i jednog današnjeg kompasa dat je na slici 11.

Pošto je to instrument koji radi na principu postavljanja slobodno oslonjenog magneta u pravcu linija Zemljinog magnetnog polja, lako je razumeti da prisustvo metalnih delova utiče na položaj magnetne igle ili magneta koji imaju isti zadatak kao i igla. Na avionu ili jedrilici postoji dosta metalnih delova koji utiču na kompas i prilikom njegovog ugrađivanja ovaj uticaj je očigledan.

Ruža kompasa u avionu će pokazivati neki drugi pravac od pravca koji je pokazivao van aviona. Ugao za koji skreće magnetna igla usled spoljnih uticaja od magnetnog pravca sever—jug naziva se *magnetna devijacija* i obeležava se sa △K. U svakom vazduhoplovu magnetna devijacija je različita, a njena veličina se menja sa promenom pravca. Zbog toga uz svaki kompas u vazduhoplovu ide i jedan dijagram promene veličine devijacije, u zavisnosti od pravca u kome se nalazi taj vazduhoplov, i taj dijagram važi samo za taj vazduhoplov. On stoji na pogodnom mestu da pilot u određenom pravcu lako može da pročita veličinu devijacije za onaj pravac u kome leti. Izgled ovog dijagrama dat je na slici 12.

NAVIGACIJSKI ELEMENTI

GEOGRAFSKI, MAGNETSKI I KOMPASNI SEVER

Iz svega što smo dosad razmatrali vidi se da se geografski severni pol ne poklapa sa magnetskim polom na severnoj strani a kompas u avionu pokazuje neki drugi pravac i od geografskog i od magnetnog pravca sever—jug.

Pravac koji ide od jednog određenog mesta na Zemljinoj površini ka geografskom severnom polu naziva se *pravi sever* i u navigaciji ga obeležavamo sa Np.

Pravac koji ide od nekog mesta ka magnetnom polu na severnoj Zemljinoj polulopti naziva se *magnetni sever* i obeležava se u navigaciji sa Nm. On se od pravca pravog severa Np razlikuje za veličinu magnetne deklinacije (△m). Ako je skretanje pravca magnetnog severa od pravca pravog severa u smislu kretanja kazaljke na satu, onda je deklinacija pozitivna (+), dok je u suprotnom smislu negativna (−).

Pravac severa koji pokazuje ruža kompasa u nekom vazduhoplovu naziva se *kompasni sever* i u navigaciji se obeležava sa Nk. Ovaj pravac se od pravca magnetnog severa (Nm) razlikuje za veličinu devijacije △K a od pravca pravog severa (Np) za veličinu devijacije i deklinacije. Ako je devijacija u smislu kretanja kazaljke na satu, onda će ona imati pozitivnu vrednost (+) dok će u suprotnom imati negativnu (−).

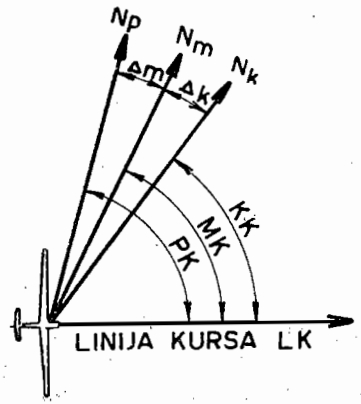
Ako znamo veličinu devijacije i deklinacije, kao i njihov znak (+ ili −), lako možemo da odredimo bilo koji pravac severa njihovim dodavanjem ili oduzimanjem.

KURS

Ugao koji zaklapa uzdužna osa jedrilice ili aviona sa pravcem severa naziva se **kurs.** U zavisnosti od toga sa kojim pravcem severa uzdužna osa jedrilice zaklapa neki ugao, dati su i nazivi kursa.

Tako je *pravi kurs* (PK) ugao koji zaklapa osa jedrilice sa pravim severom (Np), *magnetni kurs* (MK) ugao koji zaklapa osa jedrilice sa magnetnim severom (Nm), a *kompasni kurs* (KK) je ugao koji zaklapa osa jedrilice sa komasnim severom (Nk). Pravi i magnetni kurs se razlikuju za veličinu deklinacije (△m) a magnetni i kompasni za veličinu devijacije(△K). Pravi, magnetni i kompasni kurs mogu da budu pozitivni ili negativni, zavisno od

toga da li je osa jedrilice u odnosu na pravac severa okrenuta u smislu okretanja kazaljke na satu ili obratno. Ako se zna veličina deklinacije (△m) i devijacije (△K), kao njihov znak, lako se može vršiti pretvaranje kurseva dodavanjem ili oduzimanjem (sl. 13).



Slika 13

Pretvaranje kurseva može da se vrši grafički i računski. Grafički se radi ucrtavanjem veličina datih kurseva, deklinacije i devijacije, pa se merenjem pronalazi traženi kurs.

Računski se kursevi pretvaraju sabiranjem ili oduzimanjem deklinacije ili devijacije od datog kursa, i na taj način se dobija traženi kurs. Ovde dajemo nekoliko obrazaca za preračunavanje kurseva:

$$PK = MK + (\pm \Delta m)$$

$$PK = KK + (\pm \Delta m) + (\pm \Delta K)$$

$$MK = KK + (\pm \Delta K)$$

$$MK = PK - (\pm \Delta m)$$

$$KK = MK - (\pm \Delta K) \qquad KK = PK - (\pm \Delta K) - (\pm \Delta m)$$

Na slici 13 možemo da zapazimo još jedan pojam. To je linija kursa (LK). Produžetak ose jedrilice ili aviona daje *liniju kursa.*

BRZINA

Jedrilica se kreće u vazdušnoj masi koja može da stoji i da se kreće (vetar). Kada vazdušna masa stoji, onda je brzina jedrilice, u odnosu na neku nepokretnu tačku na zemlji i na neku tačku koja miruje u vazdušnoj masi, jednaka. Nas u navigaciji interesuje brzina kretanja jedrilice u odnosu na nepokretnu tačku na zemlji. Međutim, brzinomer na kome čitamo u jedrilici brzinu pokazuje brzinu u odnosu na neku tačku koja miruje u vazdušnoj masi. Znači, ako vazdušna masa počne da se kreće, brzina jedrilice u odnosu na neku nepokretnu tačku na zemlji neće biti ista kao brzina koju čitamo na instrumentu. Tako, tačka koju zamišljamo da miruje u vazdušnoj masi, pri kretanju vazdušne mase, kretaće se u odnosu na nepokretnu tačku na zemlji brzinom kojom se kreće vazdušna masa u odnosu na zemlju. Prema tome, ovde imamo dva pojma: brzinu jedrilice u odnosu na tačku koja miruje u vazdušnoj

masi i koju čitamo na instrumentu, tj. *vazdušnu brzinu* (V) i brzinu jedrilice u odnosu na nepokretnu tačku na zemlji koju nazivamo *putna brzina* (V_1).

Brzina kretanja vazdušne mase, tj, vetra, kao i pravac njenog kretanja, nema nikakvog uticaja na vazdušnu brzinu (V). Brzinu vetra možemo da obeležimo sa V_v.

Na putnu brzinu (V_1) pravac, smer i brzina vetra mogu da utiču. Pri čeonom vetru, brzina vetra (V_v) se oduzima od vazdušne brzine (V) i dobija se putna brzina (V_1), dok se pri leđnom vetru dodaje. Pri bočnim vetrovima uticaj vetra na putnu brzinu se izračunava vektorski.

Pošto je brzina vektor, u navigaciji se ove tri brzine koje smo ovde pomenuli predstavljaju vektorski kao $\vec{V}$, $\vec{V}_1$ i $\vec{V}_v$. Intenzitet se predstavlja određenom duži, pravac u odnosu na pravac severa a smer strelicom. Ako se vektori ovih brzina crtaju u određenoj razmeri, moguća su grafička rešenja navigacijskih problema, koji se tako i rešavaju.

Problem se sastoji u ovome: nas interesuje putna brzina jedrilice ($\vec{V}_1$) a na instrumentu čitamo vazdušnu briznu ($\vec{V}$). Treba videti kakav uticaj na putnu brzinu ima vetar ($\vec{V}_v$) i kakvu popravku treba vršiti da bi se eliminisao nepovoljan uticaj vetra. Za navigacijski račun potrebno je leteti jednom zadatom, tj. unapred određenom putnom brzinom i zadatim putem, tj. unapred određenom pravom linijom. Ovi problemi rešavaju se vektorski ili, kako se to obično kaže, pomoću navigacijskog trougla brzina.

NAVIGACIJSKI TROUGAO BRZINA

Ovaj naziv je došao otuda što pri sabiranju dva vektora, sem u naročitom slučaju kad oba imaju isti pravac, njihova rezultanta zajedno sa njima čini trougao, tzv. trougao sila. Sabiranje vektora nije isto što i algebarsko sabiranje skalarnih vrednosti. Pored intenziteta, ovde je od bitnog značaja i pravac i smer vektora što kod skalarnih vrednosti nije slučaj. Zato je navigacijske probleme najlakše rešavati grafički u određenoj razmeri odakle se rezultati dobijaju merenjem.

Da vidimo na nekim grafičkim primerima kako vetar ($\vec{V}_v$) utiče na putnu brzinu ($\vec{V}_1$). Pri sabiranju držimo se pravila da rezultanta počinje od početka prvog a završava se na kraju drugog vektora. Takođe, ne treba zaboraviti da vektori mogu da „klize" po sopstvenom pravcu. Na slfci 14 vidi se uticaj čeonog i leđnog vetra na putnu brzinu.



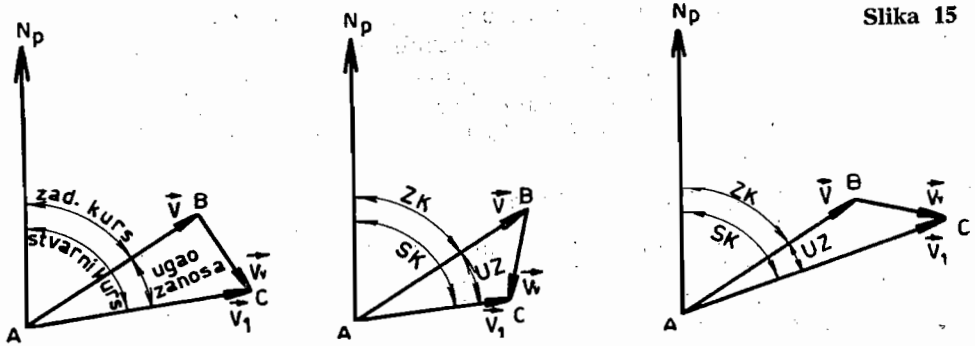
Slika 14

Odavde se vidi da leđni vetar ($\vec{V}_v$) povećava putnu brzinu a čeoni je smanjuje za svoju veličinu pri istoj vazdušnoj brzini. Znači, ako hoćemo da održimo zadatu putnu brzinu, treba pri čeonom vetru da povećamo vazdušnu brzinu ($\vec{V}$) za veličinu vetra $\vec{V}_v$, a pri leđnom da je smanjimo za tu istu veličinu. Na taj način jedrilica će se kretati zadatom putnom brzinom i po liniji koja je u produžetku vektora putne brzine ($\vec{V}_1$), tj. rezultante.

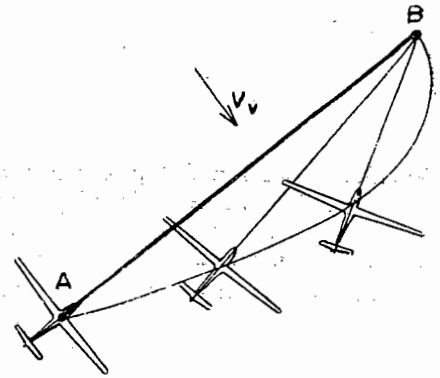
Kad bi vetar duvao uvek samo u pravcu našeg leta, ceo račun bi na ovome bio gotov. Međutim, skoro nikad nije tako. U praksi uvek imamo vetar pod nekim uglom. Pogledajmo šta će se desiti ako vetar duva pod nekim uglom na pravac leta. Nacrtajmo vektore brzina u određenoj razmeri i u određenom pravcu. Na slici 15 imamo karakteristične primere uticaja bočnog vetra.

Na slici 15 vidimo pravac i veličinu rezultante ($\vec{V}_1$), tj. putne brzine.

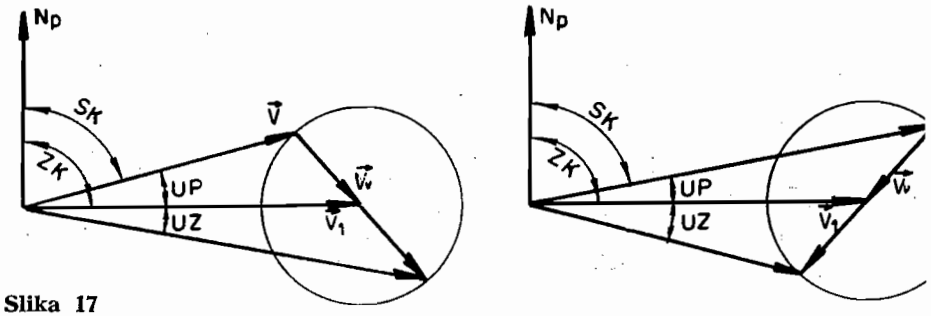
Ako sada zamislimo da su ovi crteži nacrtani skalarno, tj. da veličine vektora predstavljaju rastojanja preletena u jedinici vremena, videćemo da zbog uticaja vetra jedrilica nije iz tačke A doletela u tačku B nego u tačku C. Ako je kurs koji ima vektor $\vec{V}$ bio neki zadati kurs, onda se vidi da jedrilica nije letela po tom kursu nego po nekom drugom, koji u ovom slučaju nazivamo stvarni kurs. Jasno je, dakle, da zbog uticaja vetra jedrilica neće leteti ni određenom putnom brzinom niti će ići po određenom kursu, a to znači da neće ni stići do određenog mesta. Prema tome,



Slika 15



mora nešto da se učini, da se izvrši neka popravka da bi jedrilica letela i zadatom brzinom i zadatom putanjom. Popravka se sastoji u pronalaženju novog kursa i nove vazdušne brzine kojom treba leteti da bi jedrilica letela zadatom putnom brzinom i zadatim kursom. Ako popravku ne bi uzeli a cilj iz jedrilice nije vidljiv zbog uticaja bočnog vetra jedrilica bi proletela pored cilja. U slučaju da se cilj vidi i jedriličar drži jedrilicu uvek okrenutu u pravcu cilja, let bi se odvijao po jednoj krivoj liniji kao na slici 16, a to ne bi imalo nikakvog smisla.



Slika 17

Popravka za let sa bočnim vetrom nalazi se veoma jednostavno pomoću navigacijskog trougla brzina na sledeći način grafički (sl. 17). Od pravca severa odmeri se kurs i pod tim uglom ucrta u određenoj razmeri vektor zadane putne brzine ($\vec{V}_1$). Na vrhu tog vektora opiše se krug čiji poluprečnik u razmeri predstavlja veličinu intenziteta vektora vetra $\vec{V}_v$. U taj krug ucrta se vetar pod određenim uglom tako da se njegov vrh nalazi u centru kruga, tj. na vrhu vektora putne brzine ($\vec{V}_1$). Sastavljanjem početka vektora $\vec{V}_1$ sa početkom vektora $\vec{V}_v$ dobija se vektor vazdušne brzine $\vec{V}$ i novi stvarni kurs kojim treba leteti da bi se letelo po zadatom kursu i zadatom putnom brzinom.

Razlika između zadatog kursa i stvarnog kursa biće ugao popravke (UP). Kad ne bi leteli popravljenim kursom i poravljenom brzinom, vetar bi zaneo jedrilicu za veličinu ugla zanosa (UZ), a jedrilica bi letela i nekom drugom putnom brzinom.

Pomoću navigacijskog trougla brzina moguće je lako odrediti popravke za bilo koji slučaj leta sa vetrom. U motornom vazduhoplovstvu ovaj trougao je od ogromnog značaja, jer se uglavnom leti računskom navigacijom. Za jedriličarstvo ovaj trougao ima poseban značaj. Jedrilica se ne kreće kao avion po nekoj zadatoj liniji puta i nekim zadatim kursom. Jedriličar skreće od oblaka do oblaka, udaljava se od neke zamišljene linije puta, menja brzinu onako kako mu zahtevi tehnike jedrenja nalažu. Prema tome, nema govora o stalnom držanju određenih navigacijskih elemenata. Međutim, računanja koja vrši jedriličar prilikom navigacijskog leta, tj. prilikom preleta, tiču se navigacije i tehnike preleta. Ova dva računanja često se „preklapaju" pa rezultate dobijene u navigacijskom računanju često koristimo za tehniku preleta, i obratno. Navigacijski trougao brzina ima svoj puni značaj na završetku jedriličarskog preleta, u onoj fazi koja se zove „dolet". Dolet je opisan u poglavlju tehnike preleta. Za jedriličara je potrebno da shvati suštinu uticaja vetra na let jedrilice. Grafički način rešavanja je lak i daje tačno ono što se traži, ali često u letu moramo nešto napamet da odredimo. Za to je potrebno poznavanje suštine stvari. Zašto na vektor vazdušne brzine vetar nema uticaja a na putnu ima? Kako u jedrilici odrediti ugao popravke? itd. itd. Mi vodimo vizuelnu navigaciju a pomažemo se nekim osnovnim računanjima iz računske navigacije koja je obimna i koju ovde ne iznosimo, jer ona za jedriličare nije potrebna.

VIZUELNA ORIJENTACIJA

Kada pođemo od kuće pa želimo da stignemo u bioskop koji se nalazi negde u gradu, onda izašavši na ulicu idemo njom do nekog orijentira, široke ulice, velike bele kuće, tramvajske stanice itd. Šta smo radili da bi došli do cilja? Vizuelno smo se orijentisali, tj. vodili vizuelnu navigaciju.

To isto radimo u jedrilici. Da bismo stigli od jednog mesta do drugog, letimo od ušća neke reke do planinskog vrha, odatle do raskrsnice puteva, pa do mesta sa fabrikom itd. dok ne dođemo do cilja. Sve predmete koje smo nabrojali moramo da vidimo da bi jedrilicu mogli da vodimo po njima. Ako ih ne vidimo, onda oni nemaju nikakvog značaja za vizuelnu navigaciju.

Vizuelna navigacijska orijentacija može da se podeli na opštu i detaljnu. Opšta je ona kad pilot zna približno gde se nalazi, ali na karti ne može da odredi tačku iznad koje je tog trenutka. Detaljna orijentacija je ona kad pilot svakog momenta zna iznad koga mesta se nalazi, i to mesto može da označi na karti. Početak i kraj leta mora uvek da se vrši detaljnom orijetacijom a ukoliko postoje mogućnosti za to, let može da se vodi i opštom orijetacijom. Opšta navigacijska orijentacija je lakša i pilot se uvek trudi da posao oko navigacije svede na minimum.

U čemu se sastoji vizuelna navigacija? To je upoređivanje predmeta koji su ucrtani u kartu sa tim istim predmetom koji se nalaze na zemlji. Predmeti koji se nalaze na zemlji a ucrtani su u kartu nazivaju se opštim imenom ORIJENTIRI. Njih možemo da podelimo na tačkaste, linijske i površinske. Tačkasti orijentiri su: raskrsnice, karakteristične kuće, crkve, sela, vrhovi planina itd. Linijski orijentiri su: putevi, pruge, reke, kanali i slično a površinski su: mora, velike šume, ravnice, jezera itd

Ove orijentire možemo da podelimo i da drugi način, i to na orijentire prvog i drugog stepena. Orijentiri prvog stepena su oni koji se u dotično godišnje doba najbolje vide. Leti su to reke, putevi i slično. Zimi kad padne sneg pa pokrije puteve a reke se zaleđe, ovi orijentiri postaju drugostepeni, tj. slabije su uočljivi. Tada neki orijentiri koji su ranije bili drugostepeni postaju prvostepeni kao železničke pruge, koje se na snežnom pokrivaču vide kao crne linije itd.

Lice zemlje stalno se menja, kako pod uticajem godišnjih doba, tako i pod uticajem ljudske delatnosti. Geografske karte ne sadrže sve orijentire koji su na zemlji. Još ranije smo rekli da geografska karta nije fotografija terena koji prikazuje. Takođe, na karti ne nastupaju nikakve promene dok su na zemljinoj površini promene stalne. Upoređujući orijentire ucrtane na karti sa istim orijentirima koji su na zemlji, posmatrajući zemlju jedriličar treba da „apstrahuje" one orijentire koji nisu ucrtani na kartu. Tri sela koja na karti obrazuju trougao treba pronaći na zemlji između više sela koja nisu ucrtana u kartu jer su mala. Raskrsnica ucrtana u kartu pod pravim uglom neće u daljini izgledati pod tim uglom zbog kosog posmatranja. Okruglo jezero na karti u daljini će izgledati elipsasto itd. Jedriličar treba da ima sposobnost da prepoznaje orijentire na zemlji. Ova sposobnost je delimično urođena, mada nije kod svih ljudi jednaka, a delimično se stiče vežbanjem. Zato se navigacija ne može naučiti jedino „iz knjige". Potrebno je da pilot uspe praktično da upoređuje orijentire na zemlji sa orijentirima na karti. Da bi to uspeo mora da izvrši određenu pripremu za taj rad a, takođe, i da mu rad u jedrilici bude pravilan.

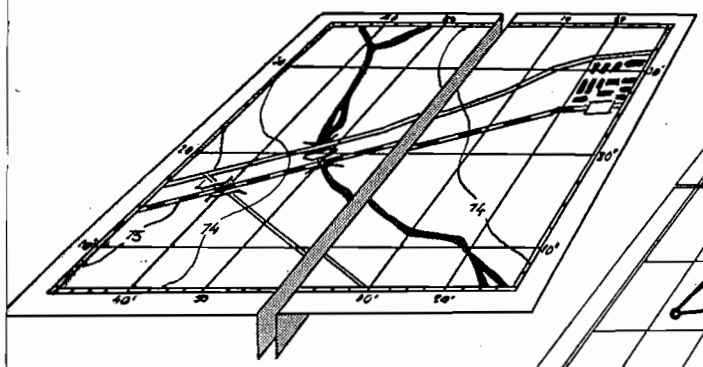
NAVIGACIJSKA PRIPREMA I RAD U TOKU LETA

Obično se po knjigama navigacijska priprema deli na prethodnu i izvršnu. Pisana po ugledu na strane vojne navigacije, ova podela je šablonska jer pilot mora da zna da kaže šta spada u prethodnu a šta u izvršnu pripremu. Pri tom često dolazi do zabune šta u koju pripremu spada a često je to i pitanje shvatanja. Za jedriličare takva šablonska podela nije potrebna. Ovde ćemo da objasnimo redosled pripremnih radnji u letu iz koga će se videti kako se vodi naša jedriličarska vizuelna navigacija.

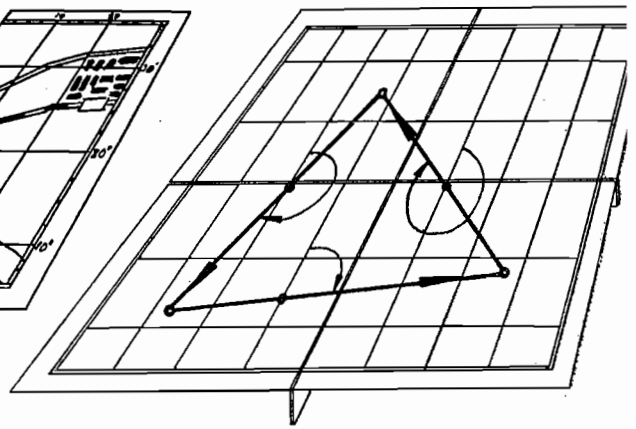
Priprema za jedriličarski navigacijski let počinje od onog momenta kada smo dobili zadatak ili sami odredili da preletimo do nekog mesta jedrilicom. Prvi važan podatak koji tada treba saznati jeste rastojanje koje treba da se preleti. Dovoljno je na bilo kojoj karti izmeriti približno rastojanje između mesta poletanja i mesta sletanja. Pored toga, treba proučiti teren iznad koga treba leteti, tj. ustanoviti da li je to brdovit teren, ravničarski ili slično. Veoma važna stvar u navigacijskoj pripremi je odabiranje odgovarajuće geografske karte. Iz aerodromskog magacina ili nekog drugog skladišta izabraćemo pre svega koničnu ili polikoničnu projekciju. Ona se poznaje po tome što se meridijani ka severu približavaju, tj. rastojanje između dva meridijana na severnoj ivici karte je manje nego na južnoj (ako je u pitanju severna polulopta zemlje).

Razmera karte određuje se prema dužini preleta. Ako je prelet od oko 100 km, uzećemo kartu razmere 1:200.000 ili 1:250.000. Za prelete veće od 100 km a do 500 km vrlo dobra razmera je 1:500.000. Za prelete preko 500 km dobro je nositi kartu 1:750.000 ili 1:1,000.000. Udaljenje preleta nije merilo za odabiranje razmere karte. Ako je predeo preko koga se leti težak za navigaciju tj. nema mnogo orijentira ili su oni slični, preko takvog terena treba leteti krupnijom kartom u koju je ucrtano dosta orijentira.

Karte su potrošni materijal. Pored toga što vremenom zastarevaju, jer se lice zemlje menja, one se još i upropašćavaju upotrebom. Razna savijanja, ucrtavanja i upisivanja vremenom će uništiti kartu. Zato se one u magacinu čuvaju odvojene po „sekcijama". Sekcija je tabak hartije na kojem je naštampan jedan deo karte. Pri biranju karte odabraćemo sekcije onog terena preko koga treba da letimo. Postoji navika da ove sekcije treba slepiti i na taj način dobiti kartu terena preko koga se leti. Međutim, ove sekcije treba iskoristiti i za neki drugi let pa je vrlo nezgodno odlepljivati ih jer se brzo upropaste. Zato ćemo ove odabrane sekcije samo lako sastaviti bilo kancelarijskim



Slika 18

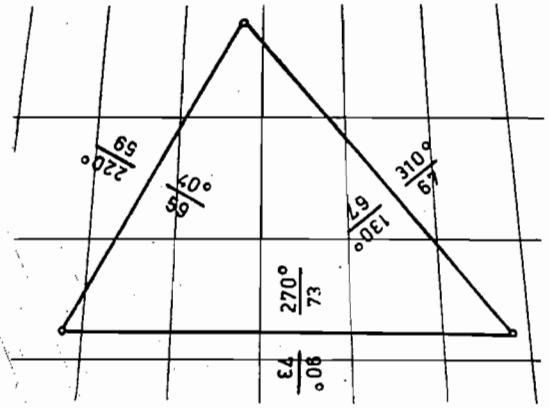


Slika 19

spajalicama ili parčadima lepljive trake i tako sastavljene treba da budu samo dok u njih ne ucrtamo našu liniju puta. Slepljivanje sekcija vršimo onda kad hoćemo kartu da stavimo na zid, a tako slepljena karta nije podesna za rad u jedrilici, jer je glomazna, pogotovu ako je prelet dugačak pa je potrebno tokom leta presaviti kartu. Dakle, posle odabiranja projekcije, razmere i određenih sekcija pristupićemo sastavljanju karte a ne slepljivanju. Svaka sekcija oivičena je okvirom bele hartije koji treba saviti na mestu gde počinje karta. Sekcije sa savijenim okvirima treba pažljvo sastaviti da se poklope odgovarajući meridijani ili odgovarajuće paralele koje prelaze sa jedne sekcije na drugu. I ostali orijentiri koji prelaze sa jedne sekcije na drugu takođe treba da budu tačno spojeni (sl. 18).

Kao što smo već rekli, spajanje treba da bude lako kako bi se sekcije posle mogle bez oštećenja rastaviti. Na ovako sastavljene sekcije ucrtavala se linija puta. Od aerodroma sa koga polećemo do aerodroma ili mesta sletanja povuče se lenjirom jedna linija. Olovka kojom se ova linija ispisuje treba da je meka, crna i da može lako da se briše gumom. Ako je to prelet u trouglu ili po izlomljenoj liniji, tada treba na karti naći pozicije okretnih tačaka i mesta poletanja i sletanja, pa ih spojiti pravim linijama onako kako pretpostavljamo da će ići linija puta (sl. 19).

Kada smo ucrtali liniju puta, pristupamo merenju kurseva i rastojanja. Na liniji puta prvo odredimo smer kretanja. Kurs odmeravamo na taj način što na mestu preseka linije puta sa nekim meridijanom merimo ugao u smislu kretanja kazaljke na satu a s obzirom na pravac kretanja (sl. 19). Ako je linija puta kratka pa na karti ne preseca ni jedan meridijan, treba je



Slika 20

produžiti što tanjom linijom do preseka sa meridijanom samo da bi se izmerio kurs, a kasnije taj produžetak obrisati.

Rastojanja između mesta poletanja i sletanja ili okretnih tačaka mere se jednostavno na taj način što se uz liniju puta prisloni lenjir i izmeri rastojanje na karti u santimetrima, pa se, s obzirom na razmeru karte, izračuna koliko je to rastojanje na zemlji. Tako će rastojanje od 10 cm na karti razmere:

1: 200.000 biti 20 km	1: 750.000 biti 75 km
1: 500.000 biti 50 km	1:1,000.000 biti 100 km

i tako dalje.

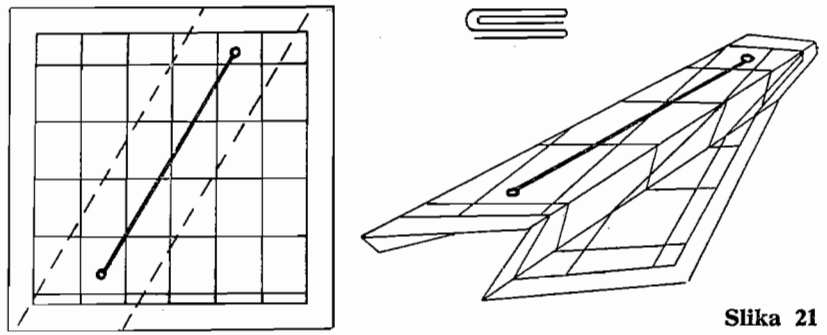
Kada smo izmerili rastojanje i kurseve, pristupamo njihovom upisivanju u kartu. Posmatrajući liniju puta u smeru leta, upisujemo sa njene desne strane broj u vidu razlomka u kome brojitelj označava kurs a imenitelj rastojanje. Ako je linija puta izlomljena ili je to trougao, ovaj razlomak se upisuje za svaku deonicu puta sa desne strane linije u odnosu na smer leta (sl. 20).

Razni su uzroci zbog kojih u leti može da nastupi potreba vraćanja natrag. Zbog toga se uvek u kartu upisuje i povratni kurs. Povratni kurs se dobija jednostavno kada se na kurs doda još 180°. Ako je dobijeni broj manji od 360°, upisuje se taj broj, a ako je veći, onda se upisuje samo višak preko 360°.

S obzirom da je u povratnom letu smer kretanja promenjen, upisaćemo razlomak sa desne strane linije puta, ali u odnosu na novi smer. Dobićemo tada uz svaku liniju puta po dva razlomka koji stoje obrnuto jedan prema drugom a to je potrebno zbog posmatranja karte tokom leta (sl. 20).

U motornom letenju se, pred pomenutog razlomka, na liniju puta ubeležava i takozvana petominutna podela. To su podeoci čija veličina predstavlja rastojanje koje avion leteći predviđenom brzinom preleti za pet minuta. Tokom leta vrši se kontrola da li se avion svakih pet minuta nalazi na predviđenom mestu.

U jedriličarstvu se zbog nestalne brzine ne upisuje petominutna podela, ali je zgodno napraviti podelu nekih jednakih rasto-

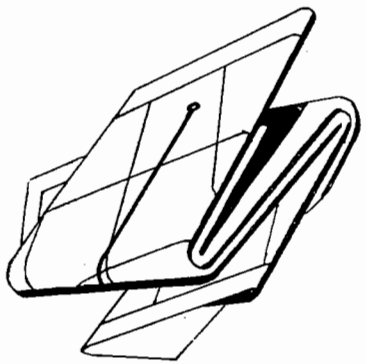


Slika 21

janja. U zavisnosti od dužine preleta i želje samog jedriličara, mogu da se prave podele od 10 km ili 50 km. Potpuno je svejedno koja će veličina biti uzeta. Važno je da jedriličar može tokom leta s vremena na vreme da kontroliše koliko je rastojanje preleteo i koliko još treba da preleti.

Time je posao oko upusivanja podataka u kartu gotov. Sada još ostaje da kartu savijemo onako kako bi u letu mogli pravilno da je upotrebljavamo. Karta se ne savija kao što bi se savio tabak hartije da bi bio manji. Linija puta zauzima neki proizvoljan ugao u odnosu na meridijane. Levo i desno od linije puta na rastojanju iz koga smo sigurni da nećemo izaći tokom leta savićemo kartu paralelno liniji puta kao na slici 21.

Tako ćemo dobiti traku koja ide preko linije puta a ostali nepotrebni deo karte podavićemo da nam ne smeta. Širina ove trake je proizvoljna i to određuje sam jedriličar po svom iskustvu. Ovakvo savijena karta postala je dovoljno uska ali može da bude suviše dugačka, pa je ponovo treba saviti kao na slici 22.



Slika 22

Tako smo dobili zgodno savijenu kartu koja tokom leta može lako da se razvija duž linije puta. Ponekad i ovako savijena karta može da bude nezgodna za upotrebu ako je suviše velika, pa u jedrilici gde je prostor skučen predstavlja smetnju. Tada ćemo kartu rastaviti po sekcijama, jer smo ranije rekli da sekcije ne treba jako lepiti. Ovo rastavljanje se vrši tek pošto su svi podaci upisani u kartu, pa se posebno svaka sekcija savija na način koji je ranije opisan. Redom složene i savijene sekcije stoje

u kabini na sedištu pored jedriličara ili u džepu koji je za tu svrhu napravljen u jedrilici.

Na ovaj način gotov je posao sa kartom. Ostaje još da se od meteorologa obavestimo o pravcu i jačini vetra na raznim visinama a takođe da pogledamo na dijagramu devijacije kompasa (ako postoji) kakve su greške kompasa u kursevima u kojima treba da letimo. Dobro je da se ove greške upišu na jednom posebnom parčetu hartije koje će u letu biti pri ruci. U letu jedrilicom nemoguće je stalno leteti po kompasu u određenom kursu, jer se na taj način ne bi iskoristili dobri meteorološki uslovi koji se nalaze negde van kursa. Zato u vizuelnoj navigaciji kompas služi samo za kontrolu smera leta a ne za vođenje jedrilice po kompasu.

Pored karte, u jedrilici treba imati olovku, po mogućstvu sa gumom na drugom kraju, malo čiste hartije i časovnik.

O časovniku treba ovde posebno reći da je on potreban kako za navigaciju tako i za tehniku i taktiku preleta a, takođe, i za meteorologiju. Neozbiljno je poleteti na prelet bez časovnika. Velika je šteta što se kod nas u jedrilice još ne ugrađuju časovnici kao instrumenti u instrument-tablu. Ručni časovnici ponekad neće da rade na visini ili ne pokazuju tačno vreme, pa jedriličari mogu s tim da imaju teškoće u letu.

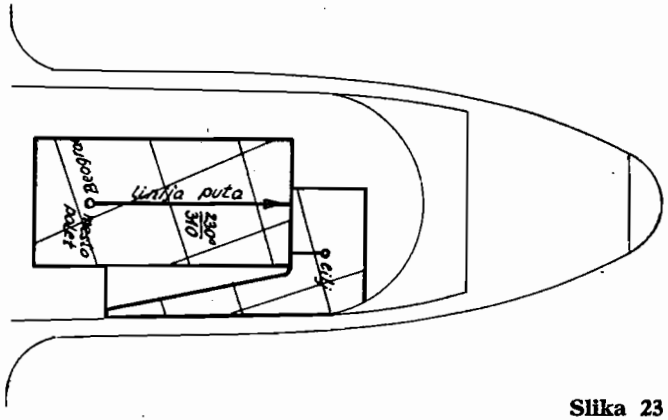
Sa ovakvom jednostavnom opremom za navigaciju možemo da krenemo na let. Važno je napomenuti da je potrebno što je moguće više posla oko navigacije uraditi na zemlji tako da bi što manje ostalo za rad u vazduhu. Navigacija je, u stvari, balast koji treba svesti na najmanju meru u letu, jer postoje i druge stvari koje tokom leta treba raditi. Međutim, ako je navigacijska priprema izvršena slabo ili rad u letu bio slab, može doći do gubljenja orijentacije a time je i čitav let propao.

RAD U VAZDUHU

Posle poletanja i dobijanja potrebne visine, kada dođe vreme da se udaljimo od aerodroma u pravcu našeg cilja, počinjemo sa navigacijom. To je vizuelna navigacija. Dakle, potrebna je vidljivost da bismo se kretali ovim načinom.

Iz džepa u kabini jedrilice uzećemo kartu ili sekciju na kojoj se nalazi mesto poletanja. Karta je već savijena onako kako je napred opisano. Liniju puta postavićemo tako da bude paralelna sa uzdužnom osom jedrilice, s tim da mesto poletanja bude postavljamo ka nama a cilj ka nosu jedrilice (sl. 23).

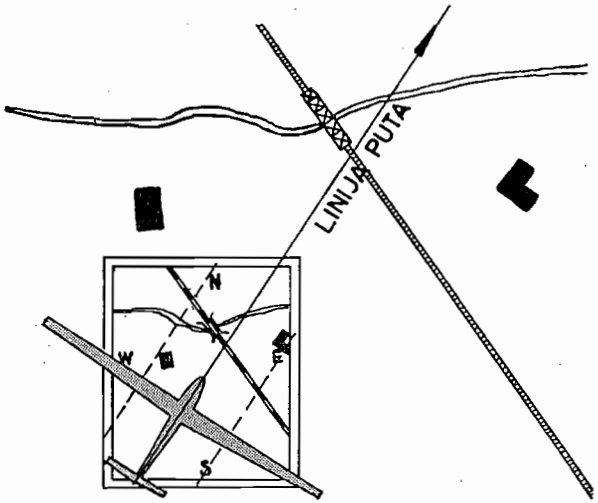
Navigaciju počinjemo detaljnom orijentacijom upoređivanjem orijentira na karti sa orijentirima na zemlji. Prvi poznati orijen-



Slika 23

tir je aerodrom sa koga smo poleteli, a koji je u karti obeležen kao mesto poletanja. Na karti sada pronalazimo sledeći orijentir preko koga prelazi linija puta, a koji je vidljiv sa aerodroma sa koga smo poleteli i sa visine na kojoj se nalazimo. Kada ga pronađemo, okrenućemo nos jedrilice prema njemu i odmah prokontrolisati da li kompas pokazuje kurs koji smo ranije napisali sa desne strane linije puta u imenitelju razlomka. Ako je odstupanje malo, 5°—10°, možemo biti zadovoljni, jer kompas može da greši ne samo usled devijacije i deklinacije koje poznajemo već i usled nagiba, obrušavanja, zaokreta itd. Naravno, kompas posmatramo samo u horizontalnom položaju jedrilice kada mu se ruža umiri. Ako primetimo veće odstupanje na kompasu, moraćemo ponovo da prokontrolišemo da li je orijentir koji je pronađen na zemlji onaj isti koji je ucrtan u kartu preko koga ide linija puta ili je to, možda, neki drugi sličan orijentir. To se radi posmatranjem ostalih orijentira koji se nalaze levo i desno od linije puta i upoređivanjem njihovog položaja u odnosu na orijentir na liniji puta. Kada smo sigurni da smo taj prvi orijentir odredili tačno, krećemo ka njemu i tražimo sledeći koji se nalazi na liniji puta ili u njenoj neposrednoj blizini, pa se preletevši preko prethodnog orijentira upućujemo ka novom. S vremena na vreme posmatramo i kontrolišemo kompas. Dok letimo ka određenom orijentiru, stalno kontrolišemo orijentire koji se nalaze bočno od linije puta. Oni orijentiri koji se nalaze levo od linije puta na karti, treba na zemlji da budu sa leve strane jedrilice, a oni koji se nalaze desno od linije puta na karti, treba na zemlji da budu sa desne strane jedrilice. Njihova rastojanja od jedrilice treba da budu srazmerna rastojanjima koja imaju ti orijentiri upisani u kartu od linije puta (sl. 24).

Ako se neki orijentir ucrtan na karti sa leve strane linije puta pojavi na zemlji na desnoj strani jedrilice, znači da smo skrenuli levo od linije puta. I obratno, kada se orijentir ucrtan sa desne



Slika 24

strane linije puta pojavi na levoj strani jedrilice, znači da smo skrenuli udesno od linije puta.

Upoređujući tako orijentir za orijentirom i kontrolišući s vremena na vreme kompas, krećemo se ka cilju. Treba napomenuti da je vizuelnu navigaciju lakše voditi sa veće visine nego sa manje, jer je sa veće visine bolji pregled i vidi se veći broj orijentira. Naravno, suviše velika visina kod koje se već gube pojedini orijentiri takođe nije dobra. Najbolje visine za navigaciju su od 500 do 2500 m, a to su baš one na kojima i letimo na preletima.

Kada visina postane tolika da se sa nje uoči neki karakterističan orijentir koji će duže vremena biti u vidnom polju jedriličara, tada će biti moguće leteti opštom orijentacijom koja je daleko lakša od detaljne. Takvi orijentiri mogu da budu veće reke, veće planine, poznati auto putevi i slično. Treba uočiti kako taj karakteristični orijentir stoji u odnosu na liniju puta i u odnosu na njega stvarati svoju stvarnu liniju puta i u odnosu na to leteti. Tada neće biti potrebno voditi detaljnu navigacijsku orijentaciju nego je dovoljno imati na oku ove veće orijentire i prema njima voditi jedrilicu. Navešćemo nekoliko primera u kojima je lako voditi opštu orijentaciju. Na putu od Beograda ka Zagrebu karakteristični orijentiri su reka Sava i auto-put Beograd—Zagreb. Na putu od Vršca ka Kruševcu orijentir je reka Velika Morava. Na putu od Vršca ka Zrenjaninu orijentir je kanal Dunav—Tisa—Dunav, itd.

Veoma često jedriličar će biti prinuđen da svesno skrene sa linije puta ka nekom oblaku koji mu obećava dobijanje visine ili u predeo boljih meteoroloških uslova. Ponekad će jedriličar biti prinuđen da skrene sa linije puta da bi pobegao od nevremena. Jedriličar tada mora da ustanovi koliko je skrenuo sa linije puta i gde je njegova nova pozicija. Ako je skretanje bilo malo, za koji kilometar levo ili desno od linije puta, jedriličar će nastaviti let vraćanjem na liniju puta. Ali ako je skretanje bilo veće, npr. za 20 km ili više, tada neće biti naročito inteligentno vratiti se na staru liniju puta nego treba sa nove pozicije ucrtati novu liniju puta u kartu, koja polazi od te pozicije a završava se u mestu sletanja. Kurs se može izmeriti na karti a, takođe, i pročitati na kompasu ako se jedrilica usmeri ka nekom orijentiru koji se nalazi na novoj liniji puta. Na primer, u letu od Vršca ka Nišu ako se jedriličar iz bilo kog razloga nađe iznad mesta Smederevska Palanka koje nije na liniji puta, biće bolje ako se od Smederevske Palanke povuče nova linija puta do Niša i po njoj leti nego da se izlazi na staru liniju puta. Povlačenje nove linije puta u jedrilici nije tako zgodno, ali se ipak više isplati takav napor nego napor i rizik da se ne leti po najkraćoj putanji.

Pred kraj leta ili pred dolazak na okretnu tačku, sa opšte orijentacije treba ponovo preći na detaljnu orijentaciju da bi se jedrilica dovela sigurno do cilja. U tom slučaju pronalazi se ponovo takav orijentir koji se nalazi na liniji puta i preleće preko njega. Letenje se nastavlja kao i u početku leta pronalaženjem novih orijentira koji se nalaze na liniji puta. Letenjem od jednog do drugog takvog orijentira dolazi se do krajnjeg — od mesta sletanja. Onog momenta kada je jedriličar ugledao poslednji orijentir, aerodrom tj. mesto sletanja, posao sa navigacijom je gotov. Karte odlaze na svoje mesto u džep kabine jedrilice, a pilot usmerava jedrilicu ka mestu sletanja pripremajući se za manevar sletanja.

Ovde je opisano ono najosnovnije šta jedriličar treba da radi u jednom navigacijskom letu. Zbog kratkoće prostora mnoga iskustva u specijalnim slučajevima ne mogu da budu izneta. To ne znači da je ovo nedovoljno i ako se jedriličari drže ovakvog redosleda rada kakav je ovde opisan, moći će da preduzimaju svoje navigacijske letove bez bojazni da će se izgubiti. Naravno svi navigacijski letovi počinju sa kratkim preletima pa se postepeno prelazi na veće i na taj način stiče iskustvo.

Svaki dobar navigator prepun je sopstvenog iskustva. To su nepisani načini snalaženja u letu i dobijanja potrebnih podataka za letenje.

Uzmimo samo nekoliko primera. Podaci o vetru koje smo dobili od meteorologa pokazali su se netačni, vetar se promenio. Po dimu iz dimnjaka voza, dimnjaka kuće, vatre, po prašini koju podižu kola na seoskom putu, po savijanju drveća, možemo da odredimo pravac vetra na zemlji a približno i njegovu brzinu. Ako znamo napamet Boforovu skalu vetra, posao će biti još lakši.

Pravac i brzinu vetra na visini moguće je odrediti pomoću posmatranja kretanja senke oblaka na zemlji.

Ako je sat iz nekog razloga stao a zna se vreme zalaska sunca, onda se vreme određuje na taj način što se posmatra sunce i horizont. Ako se zna da sunce za jedan čas pređe ugao od 15°, onda nije teško odrediti koliko je časova kad se odredi koliko otprilike

ima stepeni sunce da pređe do horizonta. Ako, na primer, sunce stoji tačno iznad glave, tj. u zenitu, znači ima da pređe ugao od 90° do zalaska, koji treba da bude u 18 časova, lako ćemo saznati da je sada 12 časova jer ima 6 puta po 15° do njegovog zalaska.

Strane sveta mogu bez kompasa lako da se odrede pomoću sunca i časovnika. Malu satnu kazaljku treba okrenuti ka suncu i cifra 12 pokazaće pravac jug. Naravno, ovo sve je približno i nema govora o držanju kursa u letu na ovaj način, ali za vizuelnu navigaciju može da bude dovoljno.

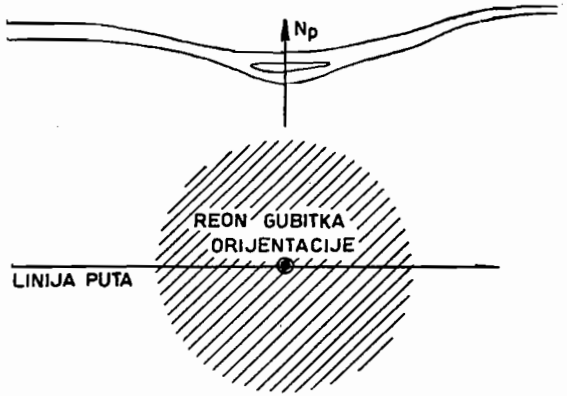
UZROCI GUBITKA I NAČIN USPOSTAVLJANJA ORIJENTACIJE

Razni su uzroci gubljenja orijentacije. Skoro redovno piloti neće da priznaju da su se izgubili sopstvenom krivicom, tj. svojom nepažnjom ili neznanjem. Međutim, ovo su najčešći uzroci gubljenja. Postoje ljudi koji po svojoj prirodi nemaju smisla za upoređivanje predmeta na zemlji sa znacima na karti. Njihova zapažanja su slaba i u šarenilu zemljine površine ne mogu da uoče predmete koji su kao znaci ucrtani u kartu. To su oni koji se konstantno gube u svojim navigatorskim letovima. Njih, međutim, ne treba zbog ovoga potcenjivati, jer oni mogu da imaju mnogo smisla za nešto drugo a primenom drugih metoda navigacije mogu da izbegnu svoje nedostatke za vizuelnu navigaciju. Šteta je kad čovek koji može dobro da uočava orijentire pođe na let slabo pripremljen i zbog toga ne stigne na cilj. Još smešnije je kada onaj koji se izgubio ne priznaje da je to bilo njegovom krivicom nego neubedljivim razlozima pokušava da objasni rezultat svog neuspeha. Na taj način ne dozvoljava da mu se pravilno objasne njegove greške da ih sledeći put ne bi pravio.

Jedan od čestih uzroka gubljenja orijentacije je slaba vidljivost ili teški meteorološki uslovi. Vizuelna navigacija traži dobru vidljivost. To je dobar ali nesavršen metod navigacije i zato se ne može voditi po svakom vremenu.

Dobro je, mada je nemoguće uvek biti dobro upoznat sa terenom preko koga se preleće. Jedriličari treba dobro da poznaju geografiju svoje zemlje i da znanja iz nje stalno održavaju na potrebnom nivou. Slivovi reka, planinski sistemi, nizije, jezera, gradovi, granice itd. su geografski pojmovi koje navigator treba dobro da poznaje. Odličan poznavalac geografije neće da zaluta. To se dešava onima za koje je teren nepoznat. Bilo je primera u ratu da eskadrilu vodi onaj ko je nekad živeo u predelu gde se leti i ko taj predeo dobro poznaje.

Gubitak orijentacije može još da nastupi zbog netačnog kompasa, sata, netačne stare karte i slično. Zbog suviše dugog vođenja



Slika 25

opšte orijentacije bez povremene kontrole detaljnom orijentacijom, takođe, može doći do gubitka itd.

Čim pilot posumnja da je izgubio orijentaciju, treba da uporedi orijentire koje vidi sa znacima na karti. Ako konstatuje da orijentire koji se nalaze na zemlji ne može da pronađe na karti, znači da je orijentacija izgubljena.

Jedriličar u tom slučaju ne sme da se zbuni. Zabeležiće odmah vreme i pokušaće da se seti koliko je prošlo otprilike vremena otkada je video poslednji siguran poznati orijentir. Iz približnog vremena i brzine kojom se kretao može da odredi koliki je put otprilike za to vreme prešao. U kartu će upisati krug čiji je poluprečnik veličine pretpostavljenog pređenog puta a centar mu je u poslednjem orijentiru. Na taj način dobiće se rejon gubitka orijentacije. To znači da jedrilica može da se nalazi samo u ovom rejonu. Orijentire koje zahvata ovaj rejon treba pronaći na zemlji. Ako je vidljivost dobra, pilot će pre svega, pokušati da popne jedrilicu na što veću visinu, jer se sa veće visine vidi veći broj orijentira. Prema jako uočljivim prvostepenim orijentirima pokušaće da uspostavi prvo opštu orijentaciju. Znači, pokušaće da ustanovi gde se nalazi, da li pored neke velike reke, veće planine, velikog grada koji se dobro vidi i slično. Kada je ugledao i prepoznao neki takav karakterističan orijentir, prelazi na detaljnu orijentaciju ceneći odoka svoje rastojanje od tog karakterističnog orijentira, kao i pravac u kome se nalazi u odnosu na taj orijentir. U određivanju pravca služi se kompasom. Kada je odredio približno mesto gde se nalazi, prelazi na traženje svoje pozicije upoređivanjem orijentira koji se nalaze ispod jedrilice sa orijentirima na karti. Kada mu je to uspelo i kada je odredio svoju poziciju, pilot će izmeriti svoje sadašnje rastojanje od linije puta i odlučiti da li da leti po staroj liniji puta ili je bolje da ucrta novu i po njoj nastavi let ka svom cilju.

Ponekad se desi da pilot, iako je ucrtao u kartu rejon gubitka orijentacije, nije u stanju da pronađe neki karakterističan orijentir po kome bi uspostavio bar opštu orijentaciju. U tom slučaju je situacija još teža a do najvećeg izražaja dolazi poznavanje geo-

grafije terena preko koga se leti. Pilot će se u tom slučaju, takođe, popeti na što veću visinu, tj. visinu sa koje ima najbolji pregled. Na osnovu svog znanja iz geografije i na osnovu proveravaja u svojoj geografskoj karti, pilot mora tada da odluči da krene ka nekom vrlo karakterističnom orijentiru koji je toliko veliki da je sigurno da će na njega naići. Najbolje je ako je moguće da do takvog orijentira doleti u kursu u kome je i do sada leteo. Ukoliko pilot zna da u tom kursu ne može naći takav orijentir, biće prinuđen da ga traži u nekom drugom kursu koji sam na osnovu svog znanja geografije odredi. Jedan od poznatih takvih orijentira kod nas je reka Dunav, koja je pomogla mnogima koji su leteli i gubili se iznad Vojvodine da stignu na svoj cilj. Promena kursa dovodi do teških posledica u smislu tehnike preleta. Ogromno gubljenje vremena u uspostavljanju orijentacije može da dovede do toga da jedriličar zakasni i zbog prestanka termičkih struja ne stigne na svoj cilj.

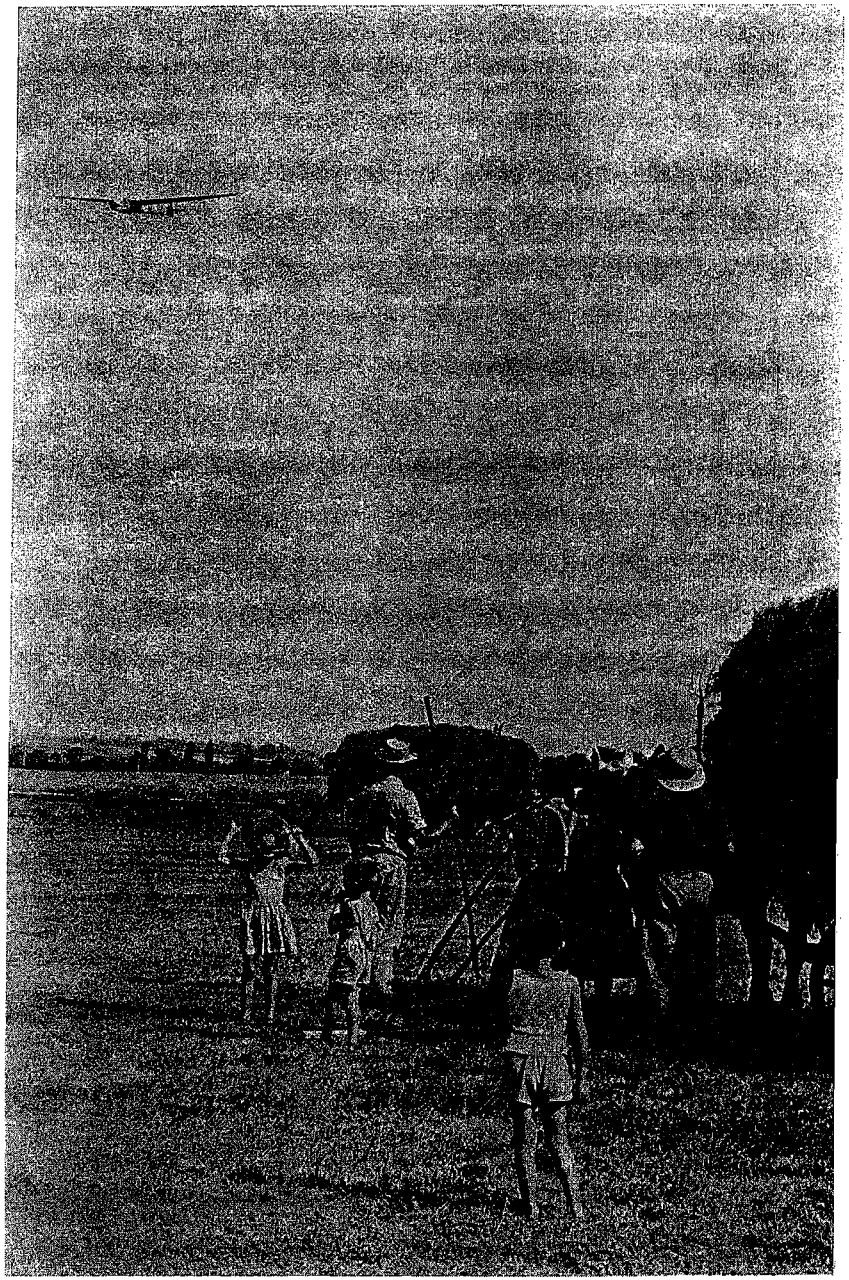
Ako jedriličar koji je izgubio orijentaciju ni na koji način ne može da je uspostavi, onda će da se odluči na ono što mu je u toj situaciji najsigurnije. Ako je teren ispod njega ravan i moguće je sletanje, on će leteti iznad njega u svom kursu, pokušavajući stalno da prepozna neki orijentir. Tako može da radi sve dotle dok ispod sebe može da pronalazi terene za sletanje. Ako u takvom letu uspe da uspostavi orijentaciju, tada je u ogromnom dobitku a ako ne, onda treba da se pripremi za sletanje na neki pogodan teren. Time je prelet propao, ali nisu propali pilot i jedrilica. To je još uvek daleko bolje i pametnije nego po svaku cenu pokušavati let u nekom pravcu, pa uleteti u predeo bez terena za sletanje i na taj način razbiti jedrilicu i sebe. Iz svakog neuspelog navigatorskog leta treba izvući pouku. Treba objektivno oceniti svoje greške i u zemaljskoj pripremi ih treba otkloniti. Ako je u pitanju bila nepažnja, onda sledećem letu treba prići sa više ozbiljnosti i više koncentracije na probleme navigacije. Navigacija je veština koja se stiče vežbanjem i zato dobar navigator uvek svoju veštinu održava učenjem, razmišljanjem, vežbanjem, pa makar sedeo u vozu a ne u jedrilici. Nema jedriličara koji iz voza nije tražio terene za sletanje ili nije računao koliko će još vremena putovati voz odredivši prethodno otprilike poziciju voza.

Često jedriličari među sobom razgovaraju u čemu se sastoji lepota jedriličarstva. Da li je lepota u posmatranju pejzaža sa visine, da li u letenju od oblaka do oblaka ili u nečem drugom?

Jedan od najprijatnijih jedriličarima dobro poznat trenutak jeste dolazak jedrilicom na određeni cilj. Svaki dobro izvršen navigacijski let stvara kod jedriličara veliko zadovoljstvo. Pokret komandi koji na kraju preleta učini jedriličar da bi napravio niski ranversman, izraz je njegovog velikog zadovoljstva a osmeh koji zapazimo kod njega kad otvori kabinu po sletanju, neizbežan je.

BOFOROVA SKALA
BRZINA VETRA

Stepen	Jačina	Efekat koji vetar proizvodi	m/s	km/h
0	Tišina	Potpuno tiho: dim se diže uspravno	1	0
1	Lahor	Dim se diže gotovo uspravno	0,9	3
2	Povetarac	Povremeno kreće lišće na drveću	2,4	9
3	Slab vetar	Kreće zastave i lišće šiblja i drveća u dosta neprekidnom kretanju	4,4	16
4	Umeren vetar	Lepršа zastave povija grančice	6,7	24
5	Jak vetar	Povija veće grane, postaje nelagodan za čula, baca talase na stajaćim vodama	9,3	34
6	Žestoki vetar	Čuje se kako huji iznad kuća i drugih čvrstih predmeta, kreće tanja drveta, baca talase na stajaćim vodama od kojih se neki zapenuše	12,3	44
7	Olujni vetar	Povija tanja stabla, prebacuje talase na stajaćim vodama koji se zapenuše	15,5	55
8	Oluja	Povija cela jača stabla, lomi grane, osetno zadržava čoveka koji korača u pravcu vetra	18,9	68
9	Jaka oluja	Lomi veće gole grane, nanosi štetutu krovovima	22,6	82
10	Žestoka oluja	Obara i lomi drveta, obara slabe dimnjake, nanosi znatne štete zgradama	26,4	96
11	Vihor	Teška razorna dejstva, skidanje krovova sa zgrada	30,5	110
12	Orkan	Uništavajuća dejstva	34,8	125



Nikad se sigurno ne zna gde će se završiti prelet

VI

POZNAVANJE I GRADNJA JEDRILICA

Ako posmatramo današenje jedrilice i one na slikama iz pionirskog perioda razvoja, odmah ćemo uočiti ogromnu razliku. Aerodinamika, struktura, tehnologija gradnje, materijali itd. doživeli su u periodu do danas veliku evoluciju ka kvalitetnom napretku. Bez preterivanja možemo reći da je ostala samo sličnost između osnovnih elemenata, tj. između krila, trupa i repnih površina. Veliki broj studija omogućio je da danas lako konstruišemo dobru jedrilicu, ali je veoma teško načiniti jedrilicu bolju od najbolje postojeće. Ogroman broj elemenata koje treba obuhvatiti u cilju daljeg usavršavanja jedrilice, zahteva studiozni i dugotrajni rad.

Konstrukcija i gradnja su, pored ostalih komponenata u stvaranju jedrilice, doživele veliki napredak, koji se, tako reći, svakog dana dopunjava novinama. Na žalost, veliki deo ove materije neće ovde biti prikazan zbog ograničenog prostora.

Do pre desetak godina naši konstruktori su u oblasti jedriličarstva zauzimali jedno od vodećih mesta, koje smo danas, nažalost, izgubili iz potpuno objektivnih razloga. Mnoge zemlje, koje su ranijih godina bile dakle iza nas, danas zauzimaju mesto bolje od našeg. Međutim, optimizam kojim smo uvek prožeti daje nam za pravo da verujemo da ćemo u narednim godinama uložiti sve naše mogućnosti da povratimo mesto koje nam po svim objektivnim mogućnostima pripada.

U izloženoj materiji, pored savremenih rešenja u konstrukciji, data su i rešenja starijeg datuma kako bi mogao da se uoči razvoj i kvalitetan skok. Danas se ne može zamisliti kompletan jedriličar, čije se ambicije protežu do reprezentativca, da u potpunosti ne vlada materijom koja je izložena, kako u ovom delu tako i u čitavom priručniku. Samo potpuna tehnička kultura omogućiće da se jedriličari-talenti izdignu iznad proseka.

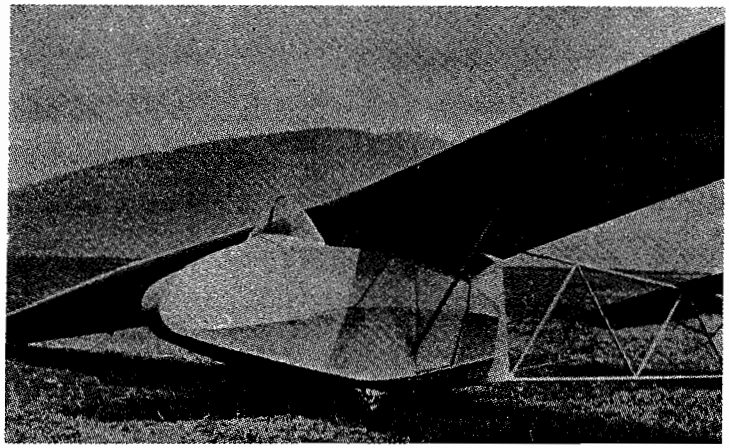
KLASIFIKACIJA JEDRILICA

Široka primena jedrilica u jedriličarstvu uslovila je potrebu da se stvori podela koja bi obuhvatila sve tipove jedrilica, kao i njihovu namenu. Prema propisu DCVP-a od 5.9. 1958. godine sve jedrilice koje su u eksploataciji u našim školama i aeroklubovima delimo na pet grupa:

— *školske,*
— *prelazno-trenažne,*
— *visokosposobne,*
— *poluakrobatske* i
— *specijalne.*

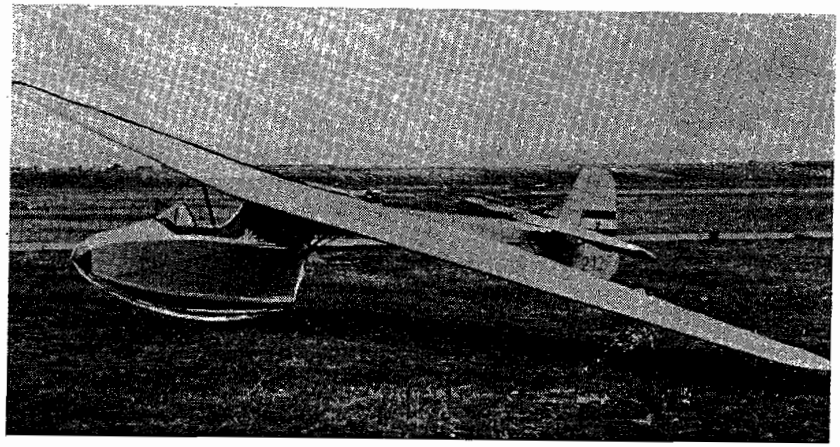
Svaka grupa dalje može da se podeli u podgrupe.

ŠKOLSKE JEDRILICE

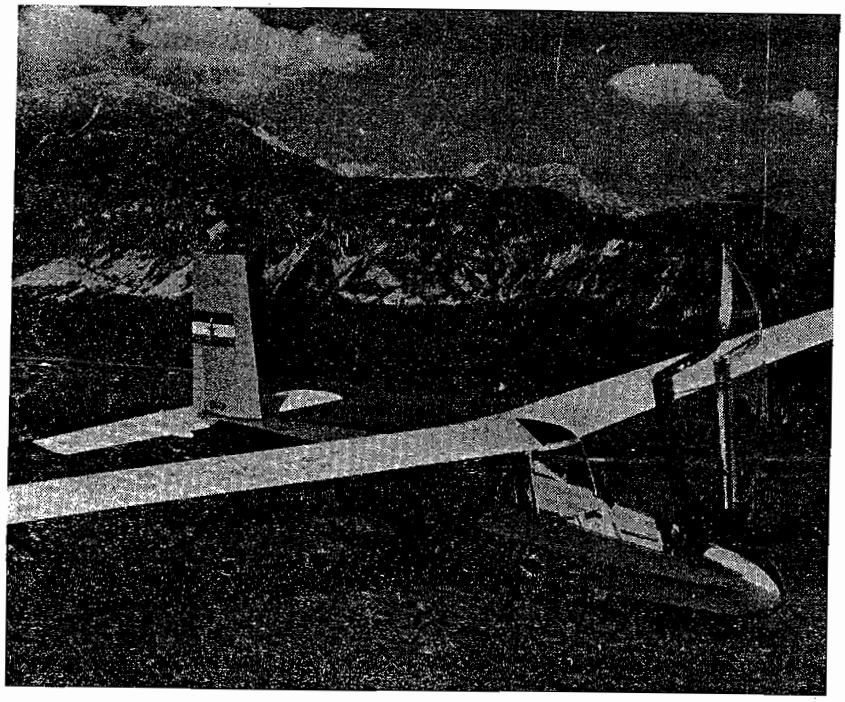


Slika 1. — Školska dvoseda jedrilica „Roda"

U ovu grupu spadaju jedrilice na kojima se vrši početnička obuka u letenju. Ako posmatramo razvoj ove grupe jedrilica, videćemo da njihova konstrukcija zavisi od metode školovanja. U posleratnom periodu, pa i ranije, to su bili jednosedi-klizači, veoma



Slika 2. — Školska jednoseda jedrilica „Čavka"



Slika 3. — Školsko-trenažna dvoseda jedrilica „Libis-17"

jeftini za gradnju i jednostavni po konstrukciji. Performanse nisu imale primarnu ulogu kod ovih tipova, već jednostavnost upravljanja i velika stabilnost — uslovi koji su neophodni na početku školovanja pilota. Sa daljim kvalitetnim razvojem obuke, prelaskom na jedrilice-dvosede i osobine u letu i konstrukcija dobijaju prefinjenije komponente.

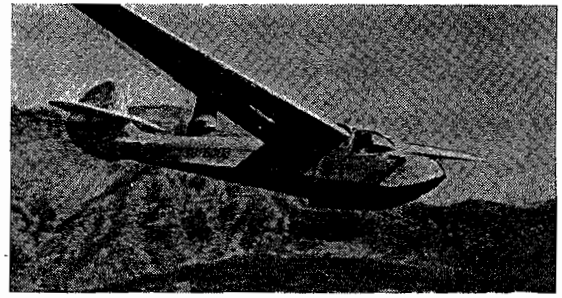
U tipične primere ove grupe jedrilica spadaju: *Musa, Vrabac, Roda, Čavka, Letov 22, Libis 17* — od naših konstrukcija, a od stranih *Salamandra, Čaplja, LF-109, Pionir, Ka-8* itd. Na slikama 1, 2 i 3 vidimo neke od ovih tipova.

PRELAZNO-TRENAŽNE JEDRILICE

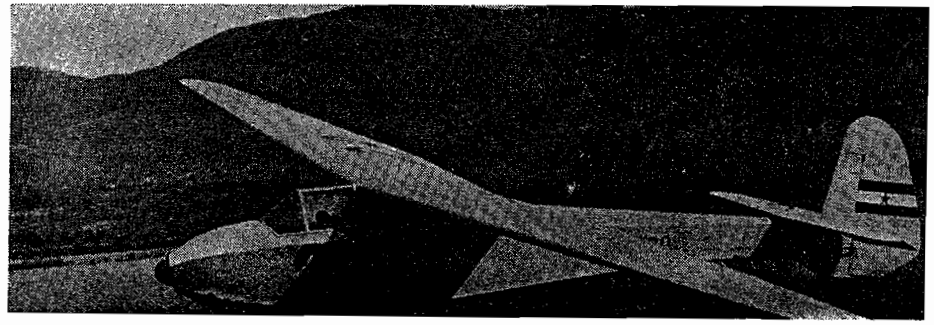
Dalji razvojni put pilota-jedriličara vodi preko trenažnih jedrilica na kojima se usavršava tehnika pilotiranja i izvršavaju manji preleti, koji su neophodni pilotima radi sticanja iskustva i osećanja sigurnosti.

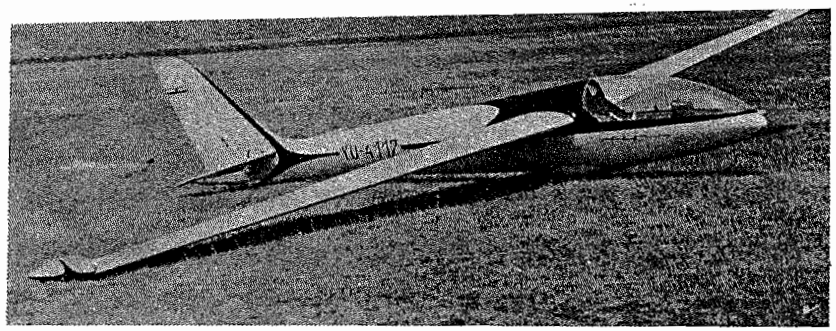
Ovi zahtevi uslovljavaju kvalitetnije letačke osobine, pa se stoga i samoj konstrukciji poklanja veća pažnja, kako u pogledu aerodinamičkih rešenja, tako i u ostalim uslovima jeftine i celishodne gradnje.

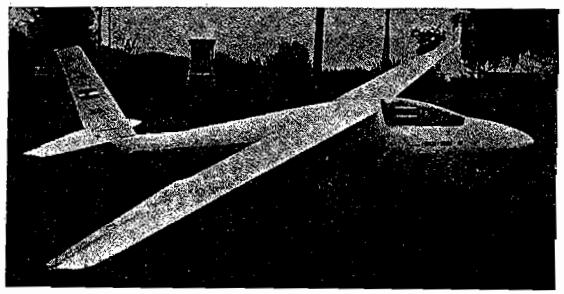
Slika 4. — Hidrojedrilica jednosed „Jadran"



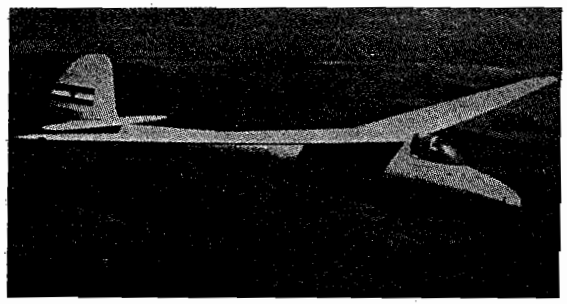
Slika 5. — Školsko-trenažna jednoseda jedrilica „Jastreb"



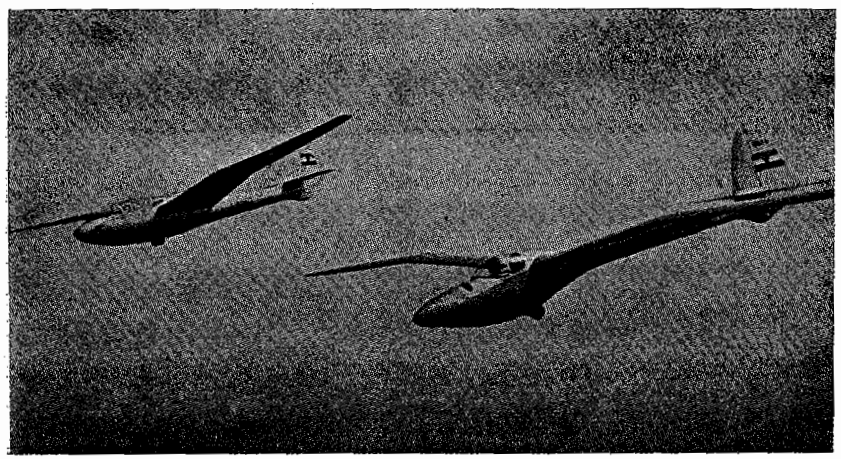




Slika 6. — Visokosposobna jedrilica standardne klase „Delfin"



Slika 7. — Jedrilica standardne klase „Libis 18" — prototip jedrilice „Trener"



Slika 8. — Visokosposobna jednoseda jedrilica „Vaja"

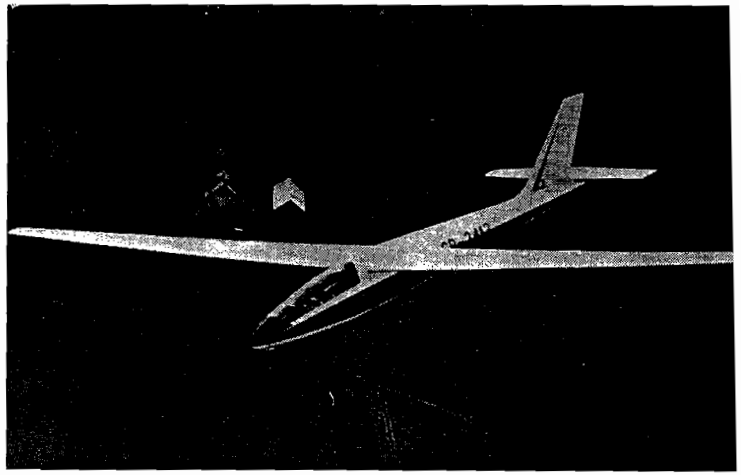
Slika 9. — Visokosposobna jedrilica otvorene klase „Orao" i visokosposobna dvoseda jedrilica „Košava"

Konstruktorska delatnost u posleratnom periodu je naročito bila plodna u stvaranju ove grupe jedrilica. Jastreb (sl. 5), Jadran (sl. 4), Galeb II, Letov 21 itd. samo su neke od uspelih konstrukcija naših konstruktora, a građene su u potpunosti od domaćeg materijala. Od stranih ostvarenja pomenućemo Komar, Grunau Bebi Gebić, PIK-5 itd.

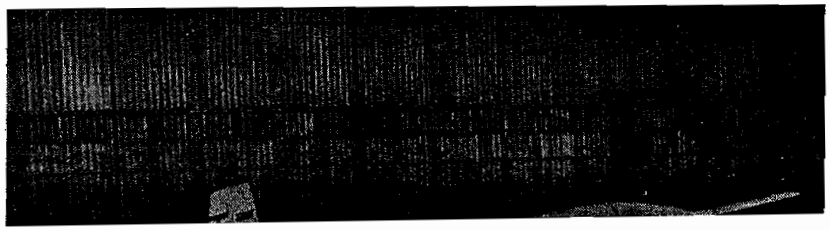
VISOKOSPOSOBNE JEDRILICE

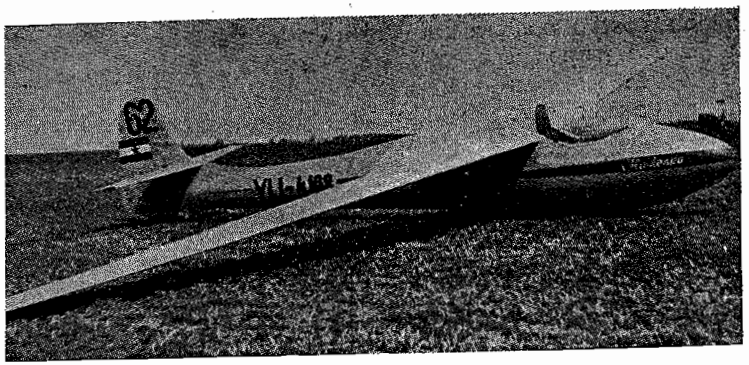
Bolji sportski rezultati mogu da se postignu samo traženjem sve novijih rešenja iz oblasti aerodinamike (primenom novih aeroprofila — laminarnih), poboljšanjem kvaliteta gradnje i savremenijim konstruktivnim rešenjima, čime se dobijaju jedrilice odličnih osobina kojima mogu da se postignu vrhunski sportski rezultati. Letenje na ovim jedrilicama pilotu-jedriličaru se i dalje omogućava usavršavanje. U posleratnom periodu naše konstrukcije su do-

Slika 10. — Poljska jedrilica standardne klase „Foka"



Slika 11. — Visokosposobna dvoseda jedrilica HS-64 „Cirus"





Slika 12. — Visokosposobna jednosed jedrilica standardne klase „Ilindenka 1T"

stigle, u svetskim razmerama, veoma visoke rezultate. Orao IIC, Ilindenka, Delfin, Trener itd., samo su neke od naših konstrukcija, a od stranih spomenimo: Vaju, Foku, Švajcer, Dart 15 i 17, Ka-6E, Demant itd., koje su doprinele usavršavanju kvaliteta pilota-jedriličara, pripremajući ih za postizanje vrhunskih rezultata (sl. 6, 7 i 8).

Međunarodna federacija vazduhoplovstva (FAI) podelila je jedrilice ove grupe na dve klase:

„Standard" klasu sa razmahom do 15 m i uslovom da nema uređaja za povećanje uzgona, kao ni stajni trap na uvlačenje;
„Otvorena" sa neograničenim razmahom i mogućnošću primene svih saznanja koja doprinose poboljšanju letačkih osobina.

Čini nam se da su danas, uz glavnu intenciju da „Standard" klasa bude pristupačna i najmanjim aeroklubovima, odnosno da bude jeftina — rezultati napora za postizanjem po performansama što kvalitetnije jedrilice, doveli do veoma skupe gradnje, čime je osnovna zamisao od koje se pošlo pri podeli ove grupe jedrilica na podgrupe postala deplasirana.

POLUAKROBATSKE JEDRILICE

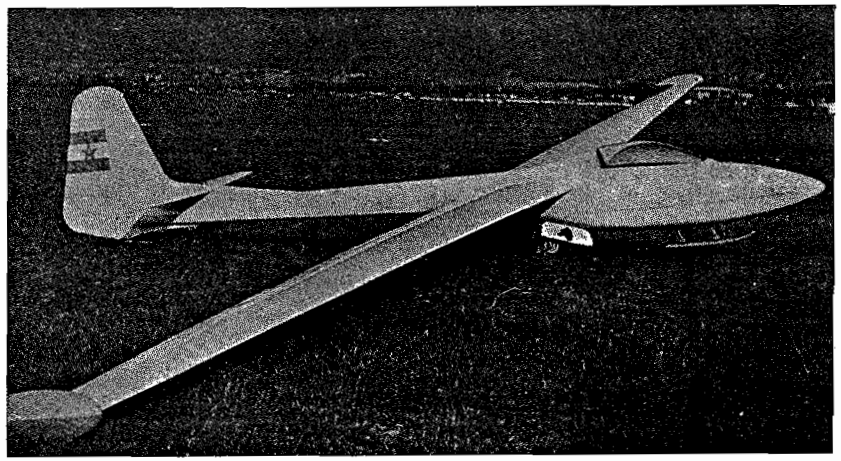
U ovu grupu spadaju prelazno-trenažne i visokosposobne jedrilice, kojima je dozvoljeno izvođenje osnovnih akrobacija (petlja, kovit, ranversman), čime dobijaju širu primenu i u izvesnom smislu mogućnost daljeg usavršavanja letačkog kadra. Od naših jedrilica ovde spadaju *Ilindenka, Delfin, Trener, Libis 17, Cirus*, a od stranih *Muha, Foka, Dart 15, Ka-6* itd. Na slikama 9, 10, 11 i 12 prikazane su neke od njih.

SPECIJALNE JEDRILICE

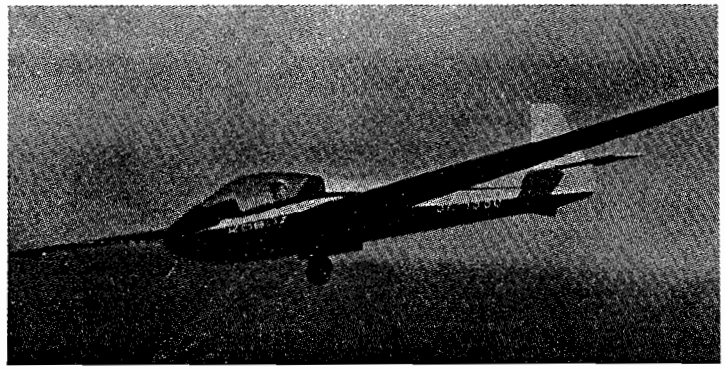
Ova grupa može da se podeli na više podgrupa, a u zavisnosti od namene:

— *amfibije,*
— *visokosposobni dvosedi,*
— *rekorderske,*
— *punoakrobatske* i
— *opitne.*

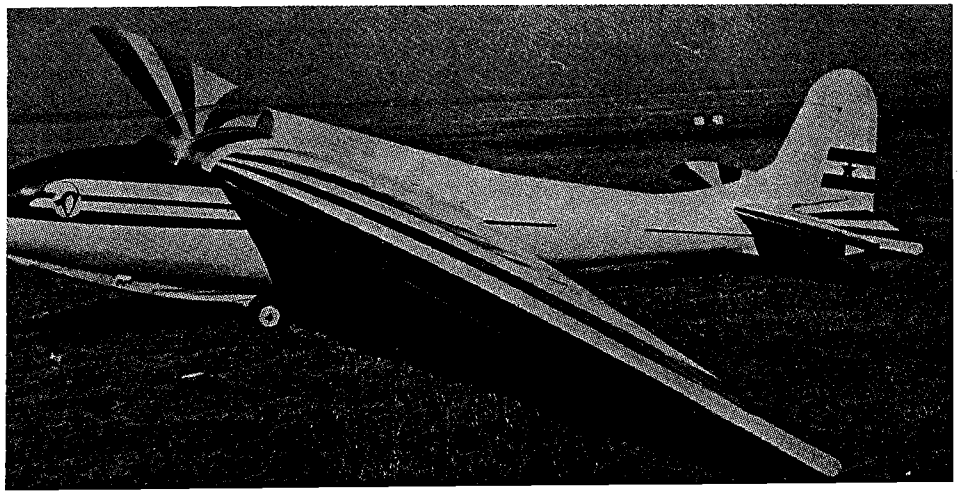
Najinteresantnije jedrilice ove grupe su, svakako, rekorderske i punoakrobatske.



Slika 13. — Rekordersko - takmičarska jedrilica otvorene klase „Meteor"



Slika 14. — Poljska punoakrobatska jedrilica „Kobus"



Slika 15. — Punoakrobatska jednoseda jedrilica „Mačka"

U cilju postizanja što boljih rezultata u sportskim disciplinama jedriličarstva, stvaraju se specijalne rekorderske jedrilice *„orhideje"*, uglavnom otvorene klase, kod kojih se na prvom mestu teži što boljim aerodinamičkim kvalitetima, što uvek ide uz znatno povećanje proizvodnih troškova, a time i cene koštanja. Primena posebne tehnologije gradnje, savremenih vrsta materijala (metal, armirana plastika itd.) omogućava postizanje visokokvalitetne obrade aerodinamičkih površina uz relativno malu težinu, što uz korišćenje dostignuća savremene aerodinamike dovodi do stvaranja jedrilica izuzetnih osobina u letu.

Pratećí razvoj rekorderskih jedrilica u svetu i kod nas, uočićemo veliki skok koji je naročito rapidan poslednjih godina. U našoj zemlji, a i u svetu veoma je poznata jedrilica „Meteor" (sl. 13) koja može da se smatra prvom „orhidejom" u svetu, a od ostalih svetskih ostvarenja pomenućemo samo neke — Zefir 2 i 3, AS-12, KAI-19, D-36 itd. (osobine ovih jedrilica mogu da se vide u tabeli VI i VII).

Punoakrobatske jedrilice omogućavaju trenažu u visokoakrobatskom letenju. Posebni zahtevi u pogledu čvrstoće konstrukcije, kao i specifičnosti osobina u letu izdvojili su ovu klasu jedrilica u posebnu podgrupu. Međutim, poslednjih godina od ovih jedrilica se zahteva da pored mogućnosti visokoakrobatskog letenja budu aerodinamički što kvalitetnije, odnosno da se po performansama približuju klasi visokosposobnih jedrilica, što, sa jedne strane, omogućuje izvođenje većeg broja evolucija sa određene visine, dok, sa druge daje mogućnost normalnog jedrenja pri srednjim meteo--uslovima. Od naših konstrukcija pomenućemo jedrilicu Mačka, a od stranih Lo-100, A-13, IS-4, Jastreb, Kobus-3 itd., od kojih se neke vide na slikama 14 i 15.

MATERIJALI U GRADNJI JEDRILICA

UVOD

U gradnji jedrilica primenjuje se široki asortiman materijala. Metal, drvo, armirana plastika, kao i njihove razne kombinacije čine osnovu svake gradnje jedrilica. Već prema mogućnostima proizvođača i zamisli stvaraoca konstrukcije, jedna od navedenih vrsta materijala je primenjena u većoj meri (recimo drvo od koga je načinjen trup, krila, repne površine), dok se ostali pojavljuju u manjoj količini (metal: za okove krila i trupa, repnih površina, razne šarke itd. ili armirana plastika za razne kapotaže itd.). Jasno je da ovi odnosi mogu biti potpuno izmenjeni, odnosno da se, na primer, isključivo koristi metal ili armirana plastika.

Primarni uslovi izbora vrste materijala u gradnji su: mogućnost nabavke, tradicija proizvođača da proizvodi u usvojenoj vrsti materijala (ovde prvenstveno spada obučenost radnika, kao i tehnološke mogućnosti fabrike), pristupačna cena gotovog proizvoda, jednostavnost u eksploataciji, zahtevi konstrukcije itd.

PODELA MATERIJALA

Materijale koji se primenjuju u gradnji jedrilica možemo da podelimo na:

— *metal,*
— *drvo,*
— *armirana plastika,*
— *tkanine,*
— *lepila,*
— *boje i lakovi,* i
— ostali materijal.

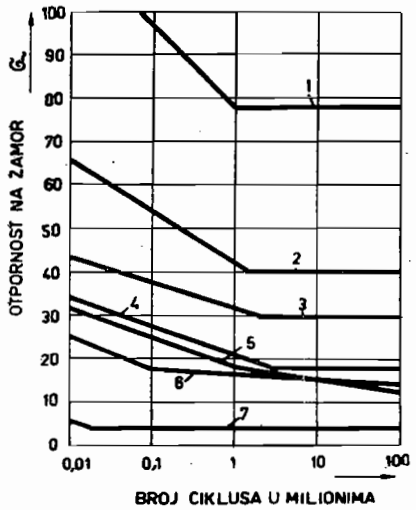
Kao konstruktivni materijal za noseće elemente koriste se prve tri grupe, odnosno metal, drvo i armirana plastika. Njihove osobine, odnosno karakteristike date su u tabeli I.

U gradnji jedrilica uglavnom se upotrebljavaju u svojstvu metala:

— *čelici,*
— *lake legure,* i
— *teški metali.*

Najvažniji zahtev u gradnji je da se postigne određena otpornost uz minimalnu moguću težinu. Ovaj se uslov karakteriše odnosom veličina $\delta(\tau)/\gamma$ (napon/specifična težina) i naziva se „specifično naprezanje" i predstavlja pogodnost primene odgovarajućeg materijala. U uporednoj tabeli I dati su ovi odnosi za materijale koji se danas najčešće primenjuju u vazduhoplovstvu. U zavisnosti od vrste naprezanja ovaj odnos ima razne vrednosti, ali možemo reći da za homogene i izotropne materijale (u koje spadaju metali) razlike nisu velike. Suprotno ovome, a to se, takođe, vidi iz tabele, za nehomogeni mateijal (drvo itd.) razlike ovih odnosa za razne vrste opterećenja su znatne i o njima se strogo mora voditi računa pri proračunavanju.

Još jedan od veoma značajnih zahteva koji se postavlja pred metale i uopšte pred materijale jeste otpornost na zamor. Razna ispitivanja su pokazala da posle izvesnog broja naizmeničnih opterećenja kod čelika i drveta nastupa jedna određena granica, odnosno otpornost na zamor, koja se ne menja ma koliko dalje povećavali učestanost naizmeničnih opterećenja. Ova granica, koja zavisi od vrste čelika i drveta, može da bude manja i za 50% od čvrstoće



Slika 16. — Otpornost na zamor u funkciji broja naizmeničnih opterećenja:

1 — Cr-Ni-W čelik σ_{Me} = 160 kp/mm²; 2 — ugljenični čelik $\sigma_{Me} \approx 80$ kp/mm²; 3 — ugljenični čelik $\sigma_{Me} \approx 60$ kp/mm²; 4 — ugljenični čelik $\sigma_{Me} \approx 35$ kp/mm²; 5 — dural; 6 — elektron; 7 — drvo (bor)

Tabela I

	VRSTA MATRIJALA	γ	σ_{Me}	σ_{Mc}	σ_{Mf}	τ_{Ms}	σ_{Me}/γ	τ_{Ms}/γ	E	Udeo stakla u lamin.
		kp/dm³	kp/mm²	kp/mm²	kp/mm²	kp/mm²	10^3 cm	10^3 cm	kp/mm²	%
1	Neoplemenjen legirani čelik	7,85	46	46	46	28	586	357	20400	
2	Oplemenjeni legirani čelik	7,85	105	105	105	63	1340	803	20400	
3	Specijalno legirani čelik	7,85	160	160	160	90	2040	1148	20400	
4	Dural	2,8	40	40	42	24	1430	857	7300	
5	Specijalni dural	2,8	46	46	46	27	1644	964	7300	
6	Legure magnezijuma	1,8	28	~28	~28	14	1560	777	4250	
7	Omorika	0,5	7,5	3,5	7,5	0,55	1500	110	1100	
8	Armir. plastika poliester + Rovine	1,9	84	49	105	3,0	4400	158	4200	70
9	Armir. plastika. poliester + asura	1,7÷1,9	18÷35	21÷25	21÷35	7,0	1100÷2100	412÷368	1400÷2100	60
10	Armir. plastika. poliester + mat-asura	1,5÷1,6	14÷21	18	19÷22	5,0	800÷1500	333÷312	840÷1190	35

γ — specifična težina
σ_{Me} — maksimalni normalni napon usled istezanja
σ_{Mc} — maksimalni normalni napon usled pritiska
σ_{Mf} — maksimalni normalni napon usled savijanja
τ_{Ms} — maksimalni tangencijalni napon usled smicanja
E — modul elastičnosti

pri stacionarnom opterećenju. Kod lakih legura ne postoji granična vrednost otpornosti na zamor, koja bi pri daljem delovanju naizmeničnih opterećenja ostala stalna, već se sa povećanjem učestanosti naizmeničnog opterećenja uočava stalni pad čvrstoće. Pri konstruisanju i gradnji treba posvetiti naročitu pažnju mestima gde je moguća pojava zareza ili gde već ovi konstruktivno postoje, odnosno na mestima koncentracije naprezanja. Ispitivanja su pokazala da je čelik znatno osetljiviji na zareze, odnosno koncentraciju naprezanja nego lake legure ili drvo (sl. 16).

LEGURE ČELIKA

U osnovi, čelik je legura gvožđa i ugljenika. Osim ugljenika, gvožđe u čeliku uvek prate silicijum, mangan, fosfor i sumpor. Pored navedenih elemenata, u svojstvu legirajućih metala mogu da se dodaju: hrom, nikl, molibden, vanadijum, volfram, aluminijum, a u cilju dobijanja osobina čelika potrebnih za primenu na mestima koja prirodom opterećenja zahtevaju neke spocifične osobine, kao npr. povećanu otpornost na habanje, povećanu jačinu na kidanje, povećanu tvrdoću, žilavost itd.

Kao materijal čelik je najsigurniji i najpouzdaniji, jer poseduje najkvalitetnije mehaničke osobine. Od mnogih dobrih strana čelika — mogućnost autogenog zavarivanja (sem nekih vrsta) i mogućnost primene termičkih procesa obrada (kaljenje, nitriranje, cementiranje itd.), doprinose velikom korišćenju čelika na mestima najvećih opterećenja, kao npr. glavni okovi krila, okovi repnih površina, okovi stajnog trapa itd. Najveći nedostatak čelika je njegova visoka specifična težina (γ je oko 7,8 kp/dm³).

U zavisnosti od elemenata koji su sadržani u čeliku, ove možemo da podelimo na:

— *ugljenične čelike,*
— *obično legirane čelike,*
— *višestruko legirane čelike* i
— *čelični liv.*

Ugljenični čelici sadrže ugljenik (do 0,4%), silicijum (do 0,5%), mangan (do 0,6%) i minimalni procenat sumpora i fosfora (manje od 0,09%). Koriste se za izradu manje opterećenih elemenata, kao i na mestima gde legirani čelici nisu neophodni. Osim toga, iz ovog čelika izrađuju se čelična užad kao i opruge. Kod ovih elemenata specijalnim vučenjem i termičkom obradom postiže se jačina na kidanje od 160 do 250 kp/mm². Inače, normalna jačina na kidanje ove grupe čelika kreće se od 40 do 60 kp/mm². Zavrtnji,

osovinice, svornjaci, navrtke, podmetači, razni vareni delovi, zakivci, cevi itd. su elementi koji se izrađuju od ugljeničnog čelika.

Obično legirani čelici u svom sastavu mogu da imaju, pored napred navedenih pratećih elemenata, gvožđe ili hrom ili nikl, ili mangan, ili silicijum, ili vanadijum u različitim procentima. Dodavanjem ovih elemenata postižu se različiti efekti, a u zavisnosti od procenta njihovog učešća. Ovi su čelici pogodni za zavarivanje, termičku obradu, a pored toga imaju povećanu tvrdoću, kao i visoku nosivost. Mogu da se primene u najrazličitije svrhe, a naročito na mestima koja su pod visokim opterećenjima. Od obično legiranih čelika izrađuju se kuglični ležajevi, opruge, zavrtnjevi, osovine itd. Posle termičke obrade mogu da imaju veoma visoku jačinu na kidanje (do 160 kp/mm²).

Višestruko legirani čelici su obično poboljšani sa više komponenta legirajućih metala. Hrom-nikl, hrom-molibden, hrom-molibden-vanadijum, hrom-mangan-vanadijum, hrom-molibden-aluminijum, itd., samo su neke od mogućih kombinacija ove grupe čelika. Čak i u pojedinim grupama moguće su razne varijante, a u zavisnosti od procentualnih odnosa pojedinih elemenata. Uglavnom, ovi čelici imaju osobine velike žilavosti, visoke otpornosti na kidanje, velike tvrdoće, dobre osobine zavarivanja i termičkog oplemenjivanja, otpornost na koroziju i visoku temperaturu. Primenjaju se za izradu osovina, upornica, cevi, okova itd.

Ova grupa čelika danas predstavlja jedan od primarnih konstruktivnih materijala u vazduhoplovstvu. Jačina na kidanje termički obrađenih elemenata izrađenih od čelika ove grupe dostiže veličinu i preko 160 kp/mm².

Čelični liv je našao svoju primenu u gradnji tek poslednjih godina, jer sa svojim odličnim mehaničkim osobinama zamenjuje normalni visokolegirani čelik, uz preimućstvo da se pored ostalih osobina može i liti. Koristi se za izradu okova koji trpe visoka naprezanja.

Čelični liv se obično legira manganom, vanadijumom, molibdenom i hromom, te prema učešću pojedinih elemenata dobija osobine dobre termičke obradivosti i mogućnosti zavarivanja. Pojedine grupe čeličnog liva posle termičkih obrada mogu da dostignu jačinu na kidanje od 110 do 130 kp/mm².

LAKE LEGURE

Kako je osnovna težnja u gradnji vazduhoplova — što manja težina uz zadovoljavajuću propisanu nosivost — korišćenje lakih legura je našlo svoju punu opravdanost naročito u gradnji jedrilica i lakih aviona.

U zavisnosti od baznih elemenata, lake legure koje koristimo u gradnji delimo na:

— *legure alumnijuma* i
— *legure magnezijuma.*

Legure aluminijuma su kao konstruktivni materijal počele da se koriste tek posle 1920. godine. Zbog svoje male jačine čist aluminijum ne može da se koristi pri izradi nosećih elemenata konstrukcije. Zato ga treba legirati, odnosno dodavati razne druge metale koji će poboljšati mehaničke osobine osnovnog elementa, tj. aluminijuma. Kao elementi za legiranje uglavnom se dodaju: bakar, cink, silicijum, magnezijum, nikl, hrom, gvožđe itd. Najčešći elementi kojima se legira aluminijum su bakar i magnezijum. Kao čist elemenat aluminijum može da se upotrebi za cevovode instrumenata (danas se koriste polivinil creva) i razne kapotaže. Aluminijumske legure su kao materijal veoma interesantne. Posle termičke obrade konačne osobine legure ne dobijamo odmah već nakon nekoliko dana, a u zavisnosti od tipa legure. Na slikama 17 i 18 prikazan je ovaj proces. Vidimo da jačina na kidanje raste sa vremenom i sa temperaturom žarenja. Ova osobina aluminijumske legure naziva se „starenje".

U vazduhoplovstvu najčešće se primenjuju ove legure aluminijuma: *Al—Cu—Mg (duraluminijum); Al—Mg i Al—Mg—Si (antikorodal).* Navedene aluminijumske legure mogu da se izrađuju u najrazličitijim oblicima — cevi, šipke, limovi, trake itd. Čvrstoća na kidanje posle „starenja", a u zavisnosti od tipa legure i načina termičke obrade dostiže veličinu do 50 kp/mm². Po osobinama obradivosti, ove su legure vrlo zahvalan materijal. Mogu da se liju, presuju, kale, mašinski obrađuju, zavaruju, valjaju, izvlače itd.

Upotrebljavaju se za izradu kompletnih ramenjača, presovanih profila, rebara, okvira, oplate, cevi, zakivaka (obični i cevasti) itd.

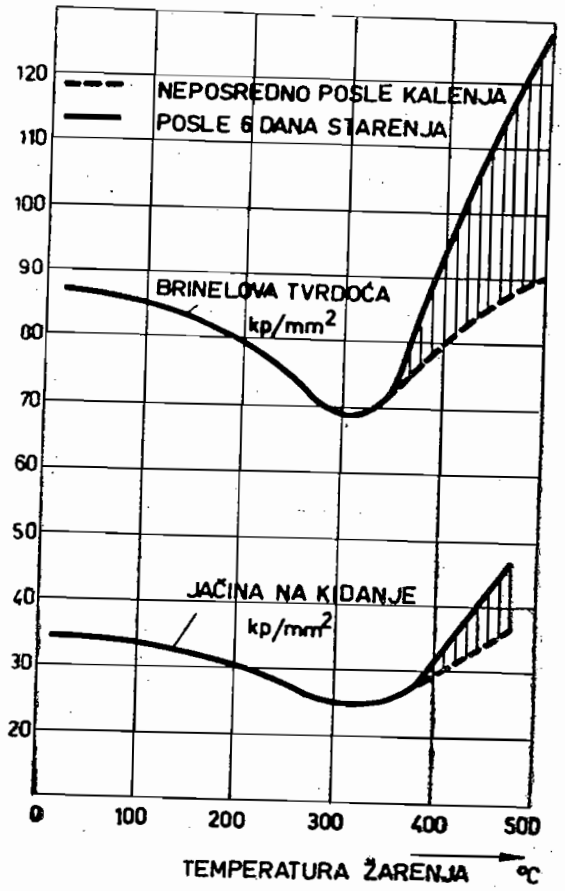
Legure magnezijuma su najlakši i najmlađi konstruktivni materijal. Upotrebljavaju se za izradu elemenata komandi, sedišta, instrument-table, okvira trupa, rebara, oplate trupa itd. Zbog od-



Slika 17. — Promena otpornosti i istegljivosti prilikom „starenja" durala

ličnih osobina livenja ove legure su našle primenu u zameni složenih elemenata konstrukcija, koje su ranije bile ostvarivane zakivanjem ili varenjem iz više delova. Time se znatno smanjilo radno vreme, pa, prema tome, i troškovi, kao i težina. Pored navedene osobine dobrog livenja, ove legure je moguće presovati, valjati, kao i liti pod pritiskom. Nedostatak im je mala otpornost na koroziju. Međutim, ovo je moguće suzbiti premazivanjem elemenata izrađenih od legura magnezijuma — bojom.

Slika 18. — Promena tvrdoće i otpornosti durala sa temperaturom



Najznačajnije legure magnezijuma (tzv. elektron legure) legirane su manganom i aluminijumom. Jačina na kidanje se kreće od 8 do 32 kp/mm².

TEŠKI METALI

U teške metale koji se primenjuju u vazduhoplostvu spadaju jedino legure bakra. Bakar se kao čist element (99,4% Cu) koristi u jedriličarstvu za električnu instalaciju i za metalizaciju. Znatno više se koristi sa dodatkom drugih elemenata, npr. sa cinkom, kalajem, olovom, aluminijumom itd. Prema količini i vrsti elemenata koji legiraju bakar, legure bakra se dele na: crveni liv (sa cinkom i kalajem), mesing (sa olovom i bakrom), naročiti mesing (sa manganom, aluminijumom, silicijumom, gvožđem, cinkom), bronza (sa kalajem, olovom, antimonom, gvožđem, cinkom) i naročita bronza.

Legure bakra se koriste za izradu armatura, ležaja, čaura i opruga. Izrađuju se kao žica, šipka, cev, lim, a čvrstoća na kidanje je oko 20 kp/mm². Najčešća upotreba je za ležajeve, pošto pojedine vrste ovih legura imaju odlična antifrikciona svojstva.

ZAŠTITA METALNIH POVRŠINA

Kao i ostali, i metalni elementi jedrilice su podvrgnuti atmosferskim uticajima. Ukoliko ove elemente ne bi prethodno zaštitili njihove površine bi pod uticajem vlage, kiselina itd. korodirale, a vremenom bi došlo i do smanjenja čvrstoće. U zavisnosti od vrste metala, zaštitna sredstva delimo na:

— *sredstva za zaštitu čelika,*
— *sredstva za zaštitu lakih legura,* i
— *premaze lakom ili bojom.*

Kao načini *zaštite čeličnih elemenata* koristimo cinkovanje, kadmiumiziranje, hromiranje i bruniranje. Navedeni načini zaštite vrše se u specijalnim kupatilima, a na principu elektrolize. Pre vršenja navedenih postupaka površine metalnih elemenata treba dobro očistiti od prljavštine, masnoće itd. mehaničkim putem i potapanjem u za to posebno pripremljene tečnosti. Debljina zaštinog sloja obično se kreće od 10 do 50 mikrona.

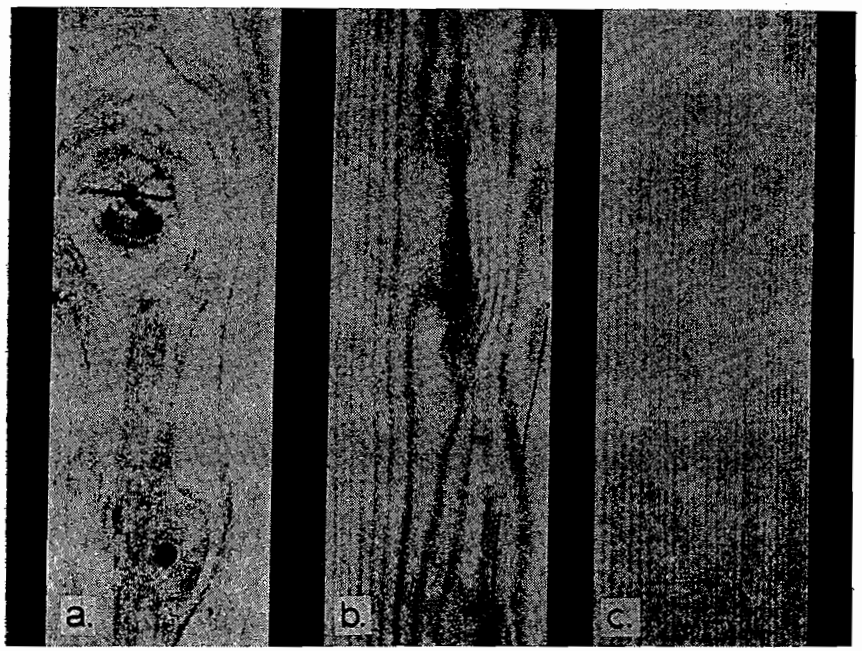
Pri *zaštiti elemenata izrađenih od lakih legura* vršimo nabacivanje čistog aluminijuma na površine (eloksiranje). Obično se rastvor u kupatilu oboji žuto-zelenom bojom. Debljina zaštitnog sloja iznosi od 10 do 20 mikrona.

Pri nanošenju *premaza na metalne elemente* koristimo sintetičke ili nitrocelulozne emajle (bezbojne ili obojene). Pre premazivanja površine treba dobro očistiti i premazati posebnom zaštitnom podlogom. Nakon ovoga dolazi završni premaz emajlom.

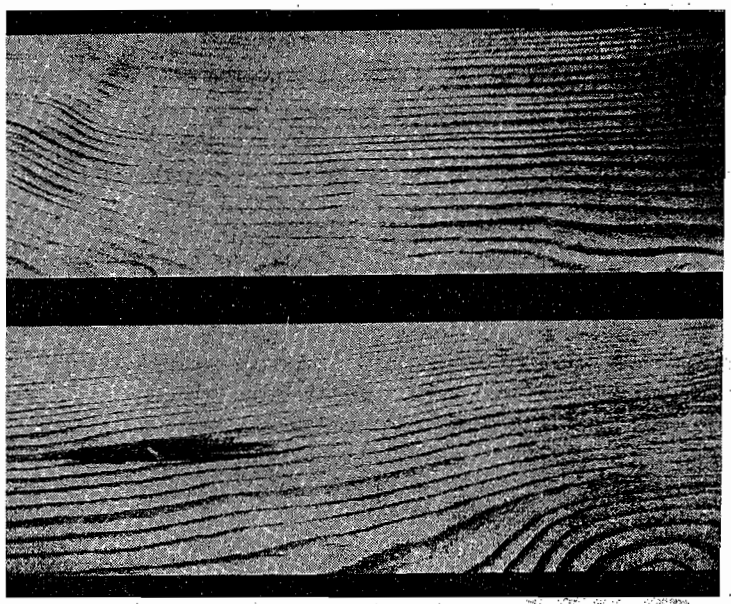
DRVO

U periodu razvoja vazduhoplovstva do I svetskog rata drvo je bilo isključivo materijal za gradnju. Danas se, pak, sve manje koristi, jer je zamenjeno lakim legurama i armiranom plastikom. Međutim kod nas drvo još uvek ostaje glavni konstruktivni materijal iako postoji želja da se pređe na primenu savremenih vrsta materijala. Zbog objektivnih razloga danas to još nije moguće, ali nadamo se da ćemo uskoro početi da koristimo i ostale vrste materijala.

Kao konstruktivni materijal drvo ima mnoga preimućstva nad ostalim materijalima — mala specifična težina, niska cena, pogodnost za najrazličitiju i veoma jeftinu i brzu obradu, lako održavanje konstrukcije i mogućnost brze opravke, visoka otpornost na zamor, visoka granica proporcionalnosti, kao i praktično neiscrpni izvor sirovina.



Slika 19. — Nepravilnost rasta: a — čvorovi i različita širina rasta godova; b — smolne kesice i pukotine; c — pravilan rast drveta



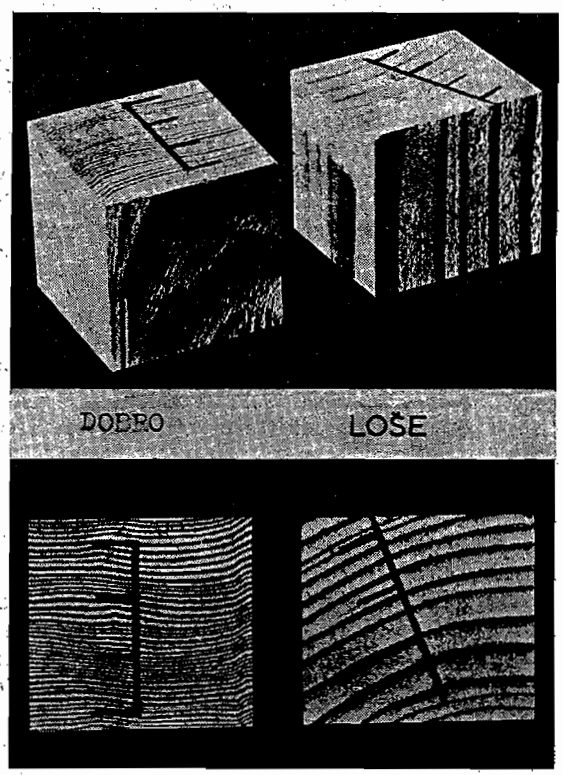
Slika 20. — Smolne kesice i loš pravac rasta godova

Međutim, drvo ima i velike mane i nedostatke. Na prvom mestu je nehomogenost i anizotropnost materijala. Ovo dovodi do toga da mehaničke osobine drveta zavise od pravca delovanja opterećenja u odnosu na prostiranje vlakana. Varijacije mogu da budu i do 30—40%. Pored ovoga, drvo je podložno uticaju insekata, mikroorganizama i atmosferskih promena. Greške, odnosno nepravilnosti u strukturi drveta — čvorovi, smolne kesice, usukanost linija godova i tok vlakana, pukotine od sušenja, trulež itd. — moraju da se eliminišu pre korišćenja u gradnji, pošto ova mesta izazivaju smanjenje nosivosti elemenata. Na slikama 19 i 20 vidimo neke od navedenih nepravilnosti drveta.

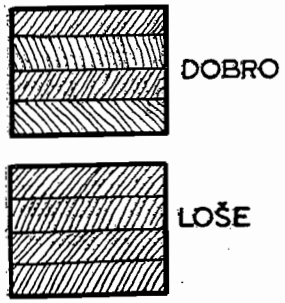
Kako je već napomenuto, otpornost drveta nije ista u svim pravcima. Razlikujemo tri glavne vrste opterećenja, odnosno naprezanja: u pravcu vlakana, normalno na vlakna u radijalnom pravcu i normalno na vlakna u tangencijalnom pravcu. Jačina drveta na istezanje u pravcu vlakana je dva puta veća od jačine na pritisak. Jačina na pritisak u pravcu vlakana je 4 puta veća od jačine na pritisak upravno na vlakna. Slični odnosi postoje i za ostale pravce opterećenja, a u odnosu na pravac vlakana. Veoma značajan faktor je i vlažnost drveta. Vlažnost drveta koje se primenjuje u vazduhoplovstvu mora da bude u granicama od 12 do 15%. Sadržaj vlage u znatnoj meri utiče na mehaničke osobine drveta. Povećanje vlažnosti za jedan procenat izaziva pad jačine na kidanje za tri procenta, na pritisak za pet procenata, na savijanje četiri procenta, na smicanje tri procenta, tvrdoću za tri procenta, a modula elastičnosti za dva procenta. Najveća jačina na kidanje drveta dobija se pri vlažnosti od oko 7,5%.

Pre upotrebe drveta za gradnju potrebno je brižljivo izabrati i kontrolisati kvalitet materijala. Pored uslova da drvo nema nepravilnosti u strukturi, moraju da se zadovolje i uslovi vlažnosti (12—15%), pravilnost godova i njegove gustine (5 do 10 godova na 1 cm, sl. 21), kao i otpornosti na opterećenje.

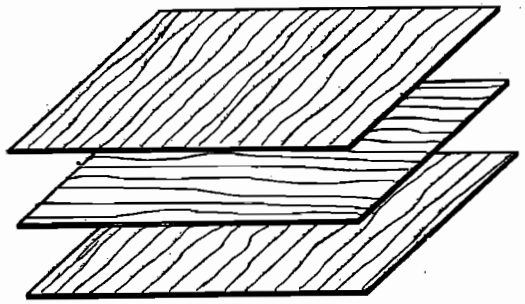
Drvo delimo na dve grupe: četinare i listopade. Pored ove podele, možemo da ga razvrstamo i prema tvrdoći, i to na: meko, srednje tvrdo i tvrdo. Ako uporedimo četinare i listopade utvrđujemo da su četinari homogeniji i jednostavniji po strukturi, što doprinosi većoj pogodnosti u primeni za gradnju. U četinare spadaju: bor, omorika, smreka, sprus, a u listopade: breza, bukva, jasen, joha, lipa, hrast itd.



Slika 21. — Broj godišnjih prstenova (godova) na jedan santimetar



Slika 22. — Poprečni presek lameliranih elemenata



Slika 23. — Način postavljanja furnira pri izradi lepenke

Kod nas se najčešće primenjuje omorika i smreka (ima je puno u Sloveniji i Bosni), koje predstavljaju visokokvalitetnu građu i služe za izradu nosećih elemenata, kao što su ramenjače, uzdužnice, okviri itd. Pri većim naprezanjima koristi se bor, jasen (pogodan za smučke zbog velike elastičnosti i žilavosti). Pri naročito visokim naprezanjima koristimo tvrdo drvo (javor, hrast, hikori, orah itd.).

Veoma često, a u težnji da dobijemo što homogeniji materijal, vršimo tzv. lameliranje. Sečenjem drveta u tanke lamele (dimenzija 4,5 itd. mm) i ponovnim lepljenjem dobijamo znatno povećanu homogenost i otpornost (sl. 22). Ovaj način poboljšanja kvaliteta drveta koristi se na mestima visokoopterećenih elemenata konstrukcija (ramenjače, uzdužnice itd.).

Jedan od najvažnijih materijala koji se upotrebljava u gradnji je lepenka (šper-ploča). Koristi se za oplatu krila, oplatu repnih površina, oplatu trupa, zidove ramenjače itd. Poznavajući glavne nedostatke drveta odn. nehomogenost i različite nosivosti u zavisnosti od pravca delovanja opterećenja stvaranjem lepenke, postignuto je ublažavanje ovih nedostataka.

Drvena lepenka se izrađuje od neparnog sloja furnira (najmanje tri) međusobno slepljenih pod pravim uglom, (sl. 23).

Mehanička svojstva lepenke, odnosno jačina i elastičnost, zavise od otpornosti primenjenog materijala, dimenzija i broja slojeva. Najčešće korišćene debljine su 0,8; 1; 1,2; 1,5; 1,75; 2; 2,5 i 3 mm, a sa tri ili pet slojeva furnira. Breza, bukva i topola, kao i njihove kombinacije, najčešće su primenjivani materijali u izradi lepenke. Pošto je i lepenka podložna uticaju vlage, slojevi iz kojih se izrađuje lepenke potapaju se pre slepljivanja u specijalna sredstva za impregnaciju ili se već gotova lepenka premazuje specijalnim lakovima.

Tabela II

	VRSTA DRVETA	Vlažnost	γ	*Istezanje*	*Pritisak*			*Savijanje*		E ∥	τ_{MS} ∥
		%	kp/dm³	σ_{Me} ∥ kp/cm²	$\sigma_{c\,elast}$ ∥ kp/cm²	σ_{Mc} ∥ kp/cm²	σ_{Mc} ⊥ kp/cm²	$\sigma_{f\,elast}$ ∥ kp/cm²	σ_{Mf} ∥ kp/cm²	kp/cm²	kp/cm²
1	**Balza**	**14÷15**	0,2	200	—	180	18	—	250	35.000	—
2	**Breza**	**14÷15**	0,58÷0,68	~1000	340÷380	450÷515	110÷120	670	1100	125.000	90÷100
3	**Bukva**	**14÷15**	0,60÷0,66	1000	335	455	100÷120	575	1000	100.000	90
4	**Jasen — beli**	**14÷15**	0,56÷0,62	1000	370	490	160	625	1000	105.000	95
5	**Jasen — crni**	**14÷15**	0,48÷0,53	~850	285	380	90	450	835	95.000	75
6	**Lipa**	**14÷15**	0,36÷0,50	700	235÷260	315÷350	45÷50	395	600	88÷95000	50
7	**Omorika (bosanska) Smrča (slovenačka)**	**14÷15**	0,44÷0,50	750÷800	280	350÷400	80÷100	~505	700÷800	~120.000	55
8	**Sprus (smreka)**	**14÷15**	0,36÷0,46	700÷800	280	350÷400	50÷60	435	650÷700	~100.000	55÷70
9	**Topola**	**14÷15**	0,38÷0,43	700	260	350	60	420	640	92.000	55
10	**Hrast**	**14÷15**	0,62÷0,69	—	350	465	130	550	970	105.000	90

Tabela III

Debljina mm	Broj slojeva	Specif. težina γ	Vlažnost %	σ_{Me}	kp/cm²	E kp/cm²	τ_{Ms} kp/cm²
1,0	3	0,76	7,9	uzduž	906	107500	226
				popreko	515	61000	256
				dijagon.	380	34000	458
1,5		0,77	8,1	uzduž	717	91000	210
				popreko	555	62500	219
				dijagon.	332	29250	496
2,0		0,73	7,6	uzduž	1011	122000	191
				popreko	488	60000	248
				dijagon.	314	31500	470
1,5	5	0,90	8,1	uzduž	1002	117000	—
				popreko	818	94000	
				dijagon.	525	46000	
2,0		0,84	7,3	uzduž	1118	120000	285
				popreko	846	83000	347
				dijagon.	464	46500	593

Prema kvalitetu izrade i kvalitetu primenjenog materijala, lepenku klasiramo u dve kategorije:

Prva kategorija *(aviatik, segler)* koristi se pri izradi nosećih elemenata (ramenjača, torziona kutija, trup itd);

Druga kategorija *(normal, glaiter)* sme da se upotrebljava samo na slabo opterećenim elementima (obična rebra, pomoćni okviri itd.).

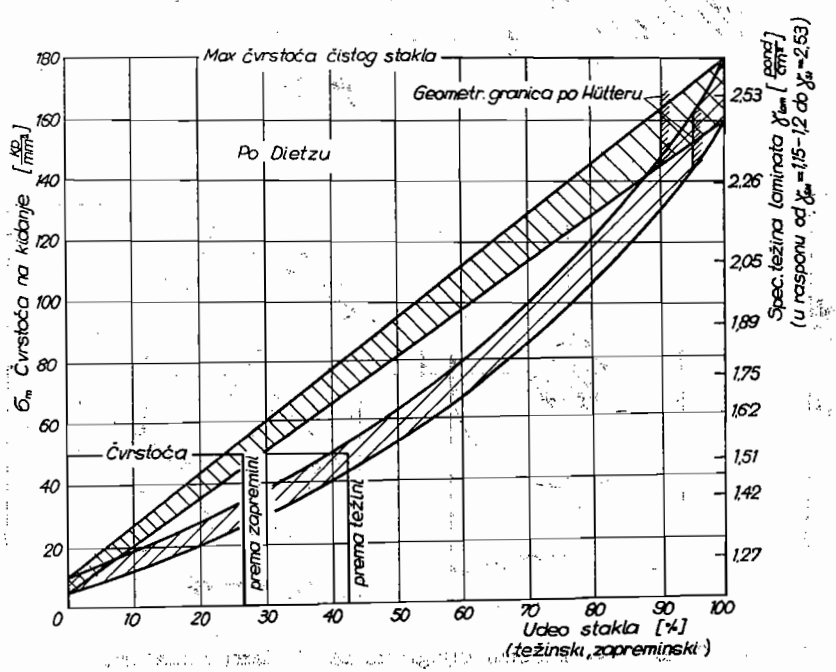
Da bi pravilno razvrstali lepenku u navedene kategorije, treba izvršiti pregled iste (količina čvorova u m², rapavost, pukotine, mehurovi od lepka itd.) prema propisima, kao i mehaničko ispitivanje (na kidanje, na lepljenje i savijanje). Prema zadovoljenju uslova datih propisima, lepenka se razvrstava u navedene kategorije.

U tabelama II i III dat je prikaz mehaničkih osobina drveta i lepenke.

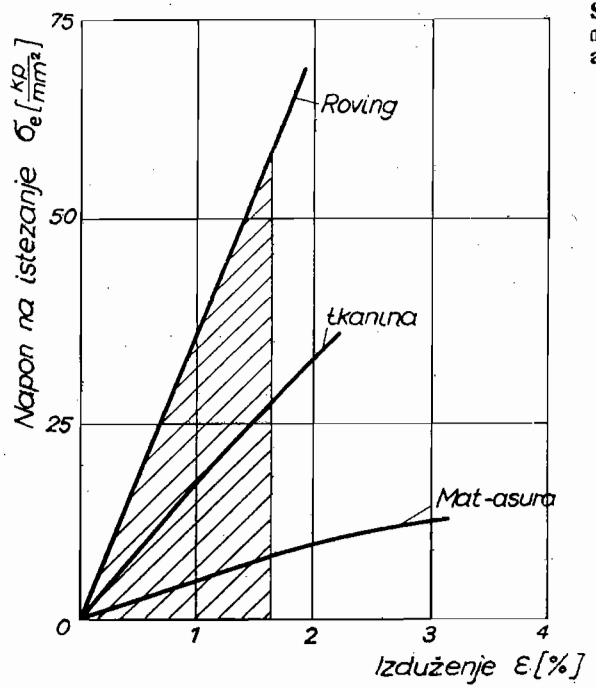
ARMIRANI PLASTIČNI MATERIJALI

U poslednjih desetak godina došlo je do velikog korišćenja armiranih plastičnih laminata, koji su danas u primeni u mnogim oblastima tehnike. Zahvaljujući maloj težini a velikoj čvrstoći, armirani laminati su uspeli da u gradnji lakih konstrukcija istisnu dosad upotrebljavane materijale (aluminijum, drvo, čelik itd.). U gradnji jedrilica ovaj materijal je našao svoju punu satisfakciju, jer omogućava izradu lakih a čvrstih jedrilica sa neverovatno glatkim površinama. Današnja tehnologija gradnje u armiranoj plastici dostigla je veoma visoki stepen, tako da omogućava potpunu izradu jedrilica od ovih materijala. Jedino se okovi i neki drugi elementi izrađuju od čelika ili durala. S obzirom da nemamo mogućnosti da se detaljno upoznamo sa ovim „materijalom" budućnosti, osvrnućemo se u kratkim crtama samo na neke njegove osobine.

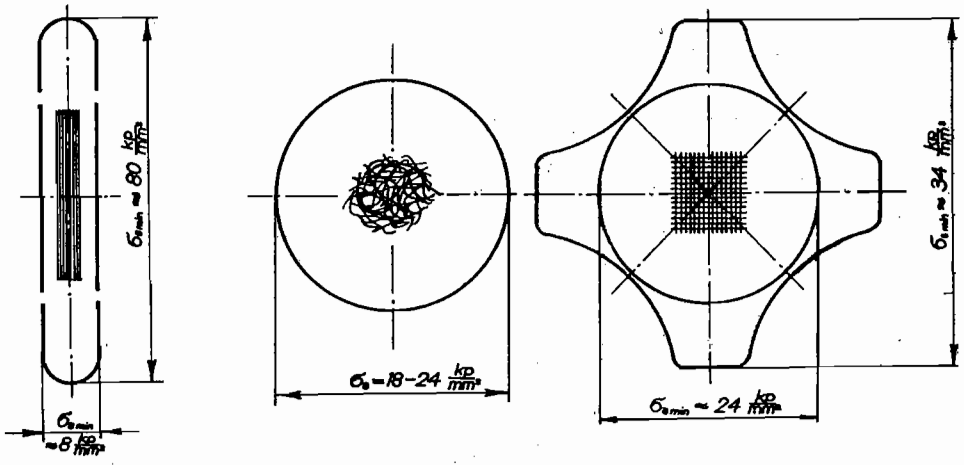
Čista plastična masa, koja može da bude prirodna i sintetička, ne može da se upotrebi kao noseći konstruktivni materijal za gradnju i pored visoke specifične čvrstoće (veća od nekih čelika),



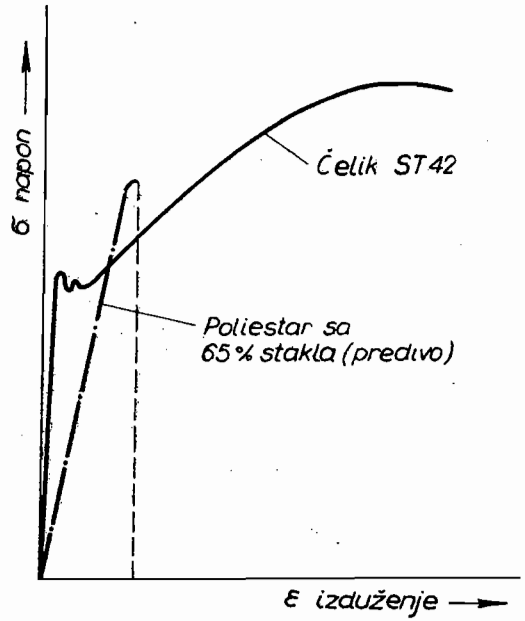
Slika 24. — Čvrstoća na kidanje armiranog laminata u funkciji udela (težinski i zapreminski) stakla



Slika 25. — Čvrstoća na istezanje različito armiranih laminata

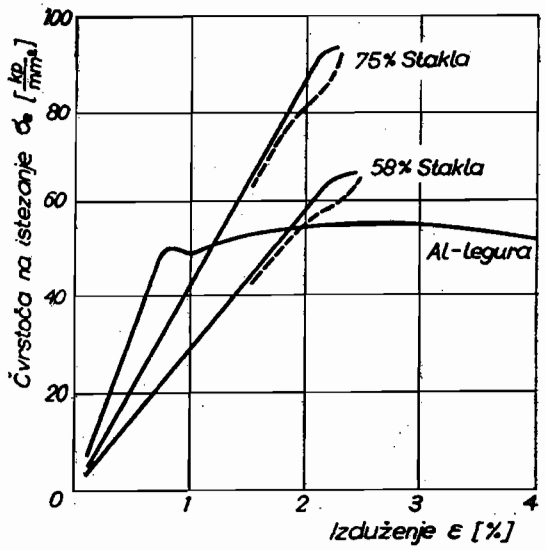


Slika 26. — Polarni dijagrami za staklenu armaturu



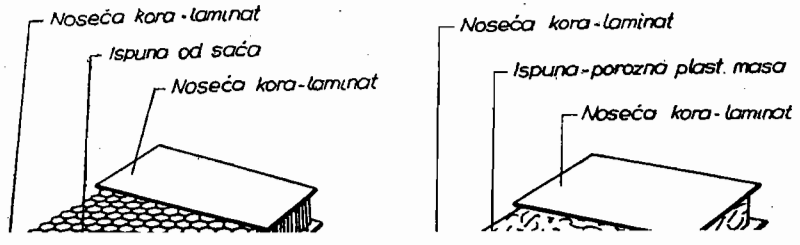
Slika 27. — Poređenje čvrstoće na istezanje za armirani laminat i čelik

Slika 28. — Poređenje čvrstoće na istezanje za armirani laminat i Al-leguru



Slika 29. — Dva tipa „sendvić - konstrukcija" sa primenom armiranog laminata:

a) sa papirnim saćem; b) sa poroznom plastičnom masom



pošto je čistoća na kidanje mala (5—8 kp/mm²), nedovoljno je žilava, kao i nepostojana na povišenim temperaturama. Da bi se ove osobine poboljšale i dovele do razmera koje omogućuju korišćenje kao konstruktivni noseći materijal, vrši se armiranje pomoću sredstava za armiranje. Na taj način je dobijen sasvim novi materijal, koji ima mehaničke osobine nivoa legiranih čelika.

Danas se primenjuje više vrsta plastičnih masa i sredstava za armiranje. Najčešće se koriste nezasićene poliesterske smole, epoksidne smole, silikonske smole, fenolne smole i najloni, a od armirajućih sredstava koristimo prirodna (organska — pamuk, svila itd.; mineralna — staklo, azbest, kvarc) i sintetička (poliamidi i poliesteri). Kad uporedimo armirane plastične mase sa ostalim materijalima, dolazimo do zaključka koliko je velika njihova prednost nad njima, a koja se ogleda u sledećem: mala težina uz veliku čvrstoću, stabilnost oblika, postojanost prema toploti, hemijska postojanost, postojanost prema atmosferskim uticajima, visoka dinamička otpornost, lakoća obrade, sposobnost prigušenja zvuka itd.

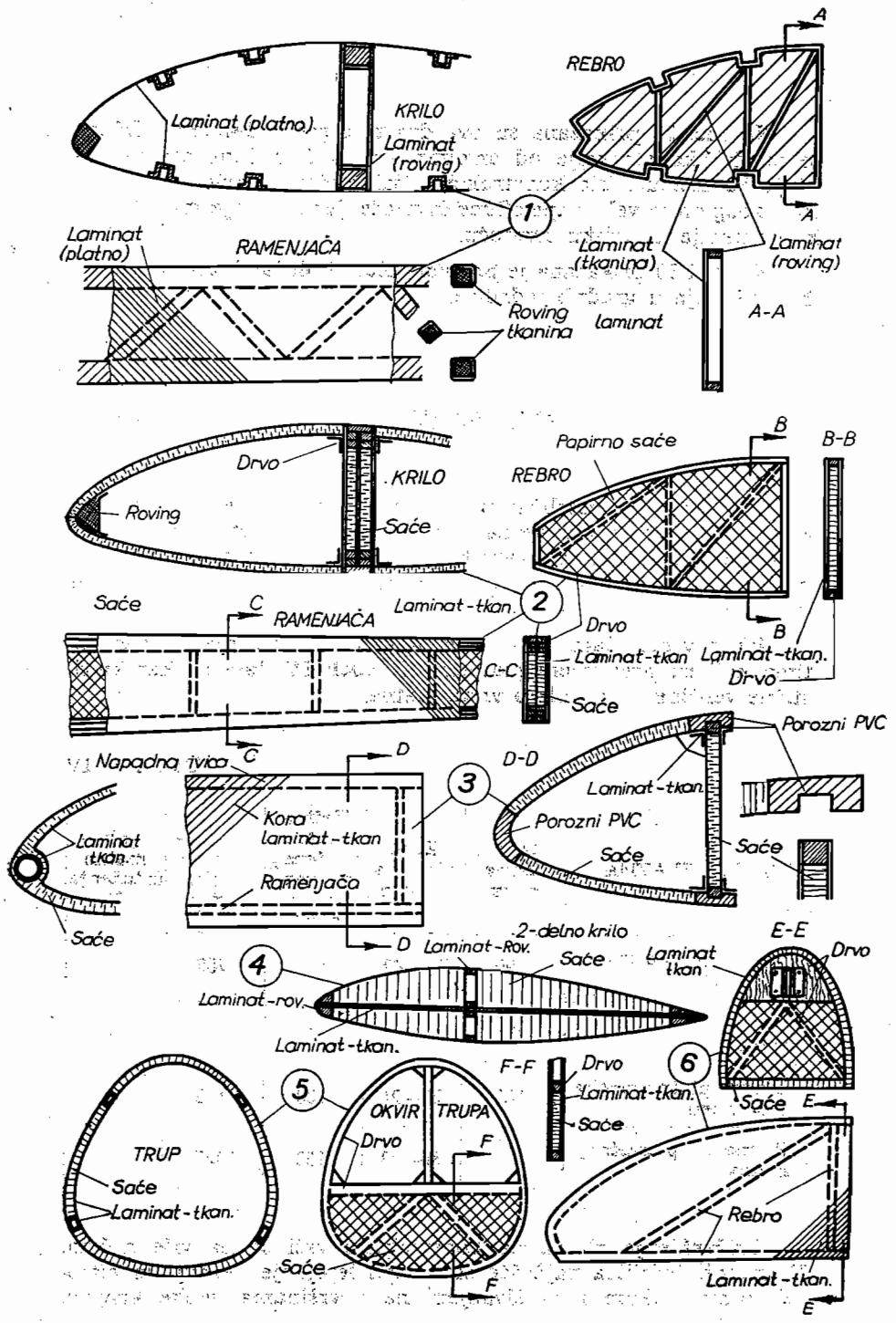
Mehanička čvrstoća laminata zavisi od čvrstoće smole, vrste armirajućeg materijala, udela staklenog materijala i stepena očvršćenja same smole. Maksimalnu čvrstoću laminata dobijamo pri 60—70% težinskom sadržaju materijala za armiranje (sl. 24). Materijal za armiranje može da se izrađuje u više varijanti, i to: roving, mat-asura. Mehaničke osobine laminata zavise od primenjene varijante armirajućeg materijala i vrste opterećenja. Na slici 25 dat je dijagram istezanja za laminat sa rovingom, asurom i mat-asurom, dok su na slici 26 prikazani polarni dijagrami čvrstoće za tri tipične vrste materijala za armiranje. Iz polarnih dijagrama jasno vidimo da pravac vlakana bitno utiče na čvrstoću i izotropnost laminata. U tabeli I date su neke karakteristike staklo-laminata od poliesterskih smola.

Pored primene armiranih laminata kao noseće kore (što je najracionalnije), veliku primenu su našle konstrukcije u tzv. sendvič-sistemu. Ovaj tip konstrukcije sastoji se od dve ili više kora (nosećih oplata), koje su međusobno rastavljene ispunom, odnosno materijalom male specifične težine, koji je slepljen sa korom (odn. korama). Zadatak ispune je da omogući sinhroni rad kora, tj. da prenese opterećenje sa jedne na drugu koru, dok sama oplata, tj. oplate primaju celokupno opterećenje. Puni značaj sendvič-sistema dobijamo pri opterećenju na pritisak sa izvijanjem i pri dejstvu tangencijalnih napona (torzija, smicanje).

Ispuna kod sendvič-konstrukcija može da bude dvojaka:

— *hartija u obliku saća ili balza* i

— *visokoporozni plastični materijal male specifične težine* (PVC, kleželsel itd.).



Slika 30. — Elementi konstrukcije jedrilica

Na slici 29 prikazana su ova dva tipa sendvič-sistema. Danas se sendvič-konstrukcije od armiranih plastičnih laminata primenjuju za izradu lakih konstrukcija (jahte, čamci, avioni, jedrilice itd.) zbog svoje velike specifične čvrstoće, jer ovo daje malu težinu konstrukcije uz veliku čvrstoću.

Na slici 30 prikazana je primena plastičnih laminata i sendvič-konstrukcija u gradnji jedrilica.

TKANINE

Od tkanina u jedriličarstvu upotrebljavamo laneno i pamučno platno. Tkanine se koriste za presvlačenje elemenata konstrukcije — krme pravca, krilaca, zakrilaca, dela krila koje nije šperovano itd. Kod starijih konstrukcija platnom se presvlačio čitav skelet jedrilice.

Izbor vrste platna zavisi od veličine opterećenja na elementima koji su presvučeni platnom. U tabeli IV date su karakteristične veličine za nekoliko vrsta platna.

Tabela IV

VRSTA PLATNA	Minim. širina u cm	Broj vlakana po cm	Težina platna osušenog na vazduhu g/m²	Otpornost u kg/m širine	Maksimalno izduženje %
Laneno platno male otpornosti	90	36—42	100	700	9
Laneno platno osrednje	130	28—34	140	1300	8
Laneno platno visoke otpornosti	130	20—26	180	1800	7
Platno od pamučnog konca		30—33	153	1425	

Pričvršćenje platna na konstrukciju vrši se na više načina. U gradnji jedrilica najčešće se koristi lepljenje bezbojnim nitroceluloznim lakom i prošivanjem na površinama velike krivine.

U procesu dalje proizvodnje cela površina platna se podvrgava celoniranju da bi se dobila zategnutost. Završna operacija je bojenje nitro ili sintetičkom bojom. Najveći nedostatak platnene oplate je njena zapaljivost i osetljivost na ultravioletne zrake.

Veoma se često platnom presvlače i površine koje su prethodno obuhvaćene lepenkom. Cilj ovog postupka je povećanje otpornosti lepenke, kao i zaštita drvenih površina od atmosferskih uticaja. Površine koje su dvojako presvučene, tj. lepenkom i platnom omogućuju postizavanje većeg kvaliteta glatkoće, što je veoma značajno sa aerodinamičkog stanovišta.

LEPILA

Lepila možemo da podelimo na dve osnovne grupe:
— *lepila za metal i lepila za drvo.*

LEPILA ZA METAL

Lepila su našla veoma veliku primenu u vazduhoplovstvu zbog niza preimućstava u odnosu na klasične načine spajanja. Naravno, imaju i nedostataka koji se, uglavnom, svode na malu termičku otpornost i na promenu karakteristika spoja usled starenja. Od preimućstava pomenimo samo neke — vezivanje bez oštećenja i promene strukture elemenata koje spajamo, bolji raspored postojećeg opterećenja, mogućnost spajanja tankih i sitnih elemenata, ušteda u težini, niska cena itd.

Ova lepila u svojoj osnovi sadrže organske smole, te se prema njihovom sastavu dele na:

— *duroplaste,*
— *termoplaste,*
— *elastomerne* i
— *mešavine prethodnih grupa lepila.*

Pri izboru vrste lepila moramo da vodimo računa o sledećem: kakav materijal treba lepiti, kakvom opterećenju su podvrgnuti slepljeni elementi, vreme trajanja opterećenja, radna temperatura slepljenih elemenata i postupak koji treba primeniti pri lepljenju.

Većina lepila za metal zahteva termičko očvršćavanje uz pritisak, dok veličina temperature i pritiska zavisi od vrste lepila. Moramo u potpunosti da se pridržavamo ovih propisanih normi, pošto od njih direktno zavisi čvrstoća slepljenog spoja. Od lepila

za metal najpoznatija su: EK 26 (tečnost), EGK 19 (tečnost), araldit 121 (smola) i očvršćivač 951 (tečnost) itd.

Pored lepljenja metala sa metalom, može se lepiti i metal sa staklom, armiranim laminatima, stiroporom, drvetom itd., zatim nemetala sa nemetalima, kao npr. armirani laminat sa PVC (ili stiroporom, ili hartijom u obliku saća), kod sendvič-konstrukcija itd.

Radi ilustracije na slici 31 dato je nekoliko primera vezivanja lepljenjem profilisanih nosača od durala i čelika (ramenjače) i čvora rešetkaste konstrukcije.

LEPILA ZA DRVO

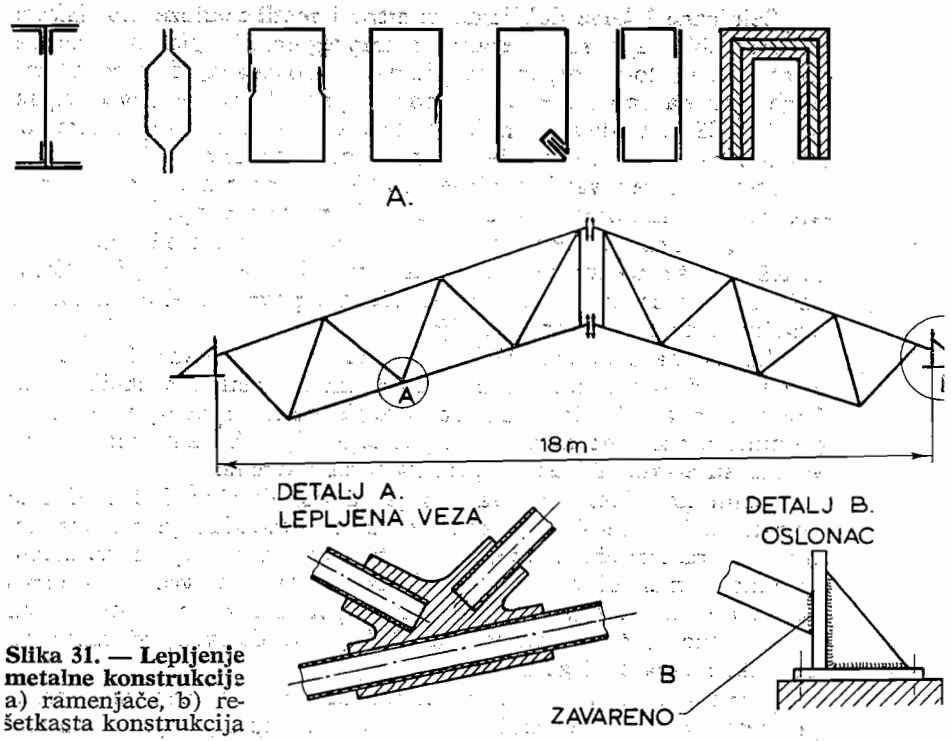
Lepila za drvo se prema poreklu dele na: *prirodna i sintetička.*

Od prirodnih lepila u gradnji jedrilica najviše se koristi *kazein i krvni albumin,* a od **sintetičkih** *tegofilm, kaurit lepak, aeroduks 185, melakol, araldit, rezorcin* itd.

Kazeinsko lepilo *se dobija iz mleka uz dodatak mineralnih elemenata.* Proizvodi se u obliku praha, a rastvara se u vodi (odnos: 1:2). Spremljen može da se koristi 8—12 sati. Pri lepljenju dovoljan je pritisak stega (6—8 kp/cm²), a u toku 8—10 h. Punu otpornost lepljeni spoj sa kazeinom postiže tek posle 2—3 dana. S obzirom na prilično visoku otpornost na smicanje (45 do 65 kp/cm²), lepljenje treba vršiti na dovoljno velikoj površini i na taj način iskoristiti punu otpornost drveta, odnosno lepenke. Ovo se postiže tzv. „šeftovanjem". Pri lepljenju treba obezbediti odgovarajuće radne uslove u prostoriji, što je propisano u uputstvu za primenu kazein-lepila.

Sintetička lepila *se izrađuju od smola i neosetljiva su na vlagu (ne sva), bakterije, gljive i ostale atmosferske promene.* Veliki broj ovih lepila koja su danas u upotrebi potpuno su potisla prirodna lepila (kazein). U našim radionicama danas se isključivo primenjuju lepila ove grupe (melakol, rezorcin, araldit itd.). Njihova čvrstoća na kidanje je znatno viša od čvrstoće na kidanje kazeina. Tako je za araldit 123 B sa očvršćivačem 951 čvrstoća na kidanje do 200 kp/cm², a u zavisnosti od temperature očvršćavanja. Kod rezorcinskih i sličnih lepila ova čvrstoća ide i do 130 kp/cm².

Sva navedena lepila su sastavljena iz dve komponente: osnovnog lepila (melakol, araldit, rezorcin itd.) — smole i očvršćivača (Härter). Najvažniji uslov pri spremanju ovih lepila je striktno pridržavanje uputstava (odnos dve komponente, temperature pro-



Slika 31. — Lepljenje metalne konstrukcije a) ramenjače, b) rešetkasta konstrukcija

storije, vlažnosti itd.), jer svako odstupanje može da dovede do stvaranja lepila koji ne odgovara ni po čvrstoći ni po sastavu (što se ne zna), a mi ga koristimo za lepljenje odgovornih elemenata vazduhoplova.

BOJE I LAKOVI

Kao zaštitno sredstvo drvenih elemenata jedrilica koji dolaze u dodir sa spoljnjim atmosferskim uticajima koriste se razni lakovi i boje. Na ovaj način vrši se impregnacija drveta, odnosno sprečava se uticaj delovanja gljivica i vlage na strukturu, čime se produžava vek života konstrukcije.

U vazduhoplovstvu se upotrebljavaju *celulozni lakovi, uljni lakovi* i *lakovi na bazi veštačkih smola.*

Celulozne lakove dobijamo iz nitro i acetil-celuloze. Ovi lakovi se upotrebljavaju za zatezanje i impregniranje platna i ostale oplate. Osim toga, otpornost platna se povećava, dok se uticaj vlage i sunca smanjuje. Tako, npr. jačina platna se povećava za oko 20—25%. Dodavanjem boje sprečava se prodiranje ultravioletnih zraka koji štetno deluju na strukturu drveta, a povećava se estetski izgled vazduhoplova. Ovi lakovi se rastvaraju u amil-alkoholu ili acetonu, koji izvetre posle premazivanja.

Uljani lakovi za bazu imaju smolu, ulje i rastvarač. Ovi lakovi se teško suše, pa im se zato dodaju metalni oksidi. Sa dodatkom boje koriste se za završno premazivanje površina. Ovi lakovi su prilično otporni na benzin i ulja.

Lakovi na bazi veštačkih smola su, u stvari, napred navedeni lakovi, kod kojih umesto prirodnih smola imamo veštačke, kao što su npr. alkid i fenolaldehid. Karakteristično za njih je da su potpuno otporni na atmosferske uticaje, ulja i benzin. Pored toga, veoma su elastični i dobro prianjaju na površine.

Osim navedenih lakova i boja, a naročito za hidrojedrilice koristi se bitumen-lak ili kaučuk-lak. Bitumen-lak je rastvor katrana u rastvaraču i veoma je otporan na uticaje razblaženih kiselina i morske vode. Kaučuk-lak je, takođe, veoma otporan na dejstvo morske vode i kiselina, a pored toga je otporan i na dejstvo mehaničkih naprezanja. Dobija se delovanjem hlora na kaučuk, rastvarač i gumu.

Pre no što se lak ili boja nanesu na površinu, ona mora da se pripremi. Neravnine, šupljine, rupice itd. ispunjavaju se raznim vrstama kitova (na bazi celuloze ili veštačkih smola). Veoma je važno da vodimo računa da se sastav kita slaže sa sastavom premaza, odnosno boje ili laka.

Premazivanje kitom i lakom ili bojom mora da bude u tankom sloju da u eksploataciji ne bi došlo do prskanja premaza (usled dejstva atmosferskih uticaja i opterećenja) i da težina bude minimalna. Obično možemo računati da premazima povećavamo te žinu za 250 do 300 gr/m².

OSTALI MATERIJALI

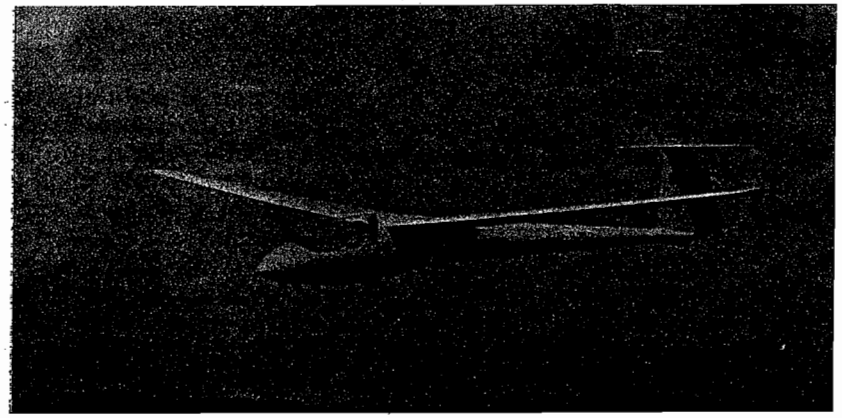
Pored navedenih materijala u gradnji jedrilica koriste se i druge vrste: pleksi-staklo, guma, koža i razni materijali za presvlaku unutrašnjosti kabine.

Pleksi-staklo koristimo uglavnom za izradu poklopca kabine. Naičešće koristimo debljine od 2 i 3 mm, a ređe 1 i 4 mm. Pri

izboru debljine, moramo da vodimo računa o nameni jedrilice (za trenažne letove, akrobacije, visinske letove itd.) s obzirom na opterećenja kojima će biti podvrgnut poklopac u letu. Pleksi-staklo može da bude bezbojno ili strukturno obojeno (radi zaštite pilota od sunčevih zraka). Značajna je i težina pleksi-stakla, te se u tabeli V daje za nekoliko debljina.

Tabela V

Debljina	[mm]	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Težina	[kp/m²]	1,2	1,8	2,4	3,0	3,7	4,9



Zapadnonemačka jedrilica „Febus C" sa jednodelnom kabinom

Guma se u izradi jedrilica koristi za amortizaciju, postavljanje na otvor kuke za vuču, za izradu rezervoara za vodu, na spojevima krila sa trupom, za zatvaranje raznih otvora, za dekoraciju, za izolaciju električnih provodnika itd. U zavisnosti od mesta primene i uslova pod kojima radi, guma može da bude razne otpornosti na temperaturu i raznih tvrdoća (od 30° do 90° Šora). Za lepljenje koristimo razna lepila (boropor itd.), dok su uslovi lepljenja dati za svaku vrstu gume i lepila. Posle lepljenja mora da bude ispunjen zahtev — puna elastičnost slepljenog elementa.

Kožu i razne tkanine obično koristimo kao dekorativne elemente unutrašnjosti kabine pilota. Naravno, pri tome treba voditi računa o težini, ceni i mogućnosti lakog održavanja u eksploataciji.

ELEMENTI I OPTEREĆENJA ELEMENATA JEDRILICE

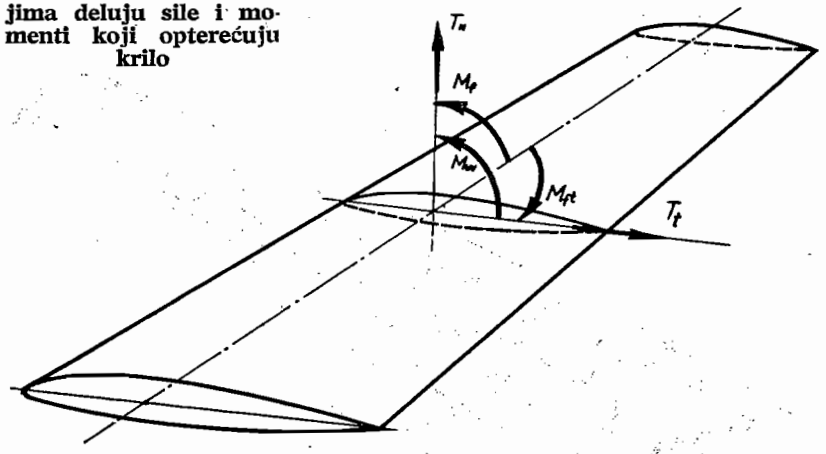
Osnovni elementi odnosno delovi jedrilice su sledeći:

— *krilo,*
— *trup,*
— *repne površine,*
— *kabina i oprema kabine pilota,*
— *uređaj za poletanje i sletanje,*
— *komande leta,*
— *specijalna oprema.*

Svaki od ovih elemenata je tokom eksploatacije pod dejstvom promenljivih opterećenja. U ovom poglavlju upoznaćemo se načelno, bez izračunavanja, sa vrstama opterećenja koja deluju na svaki od navedenih a glavnih elemenata jedrilica. Svaki pilot je dužan da poznaje ove vrste opterećenja kako bi pravilno koristio jedrilicu u eksploataciji. Nepridržavanje ograničenja koja su uvedena u knjigu plovidbenosti dovodi, ako ne prvih letova a ono sledećih, do neželjenih posledica, odnosno do loma pojedinih elemenata konstrukcije, koji mogu da se završe katastrofom. Pilot mora da zna i vodi računa o tome da se konstruktor pri izračunavanju dimenzija elemenata rukovodio namenom jedrilice, pa je prema tome vršio proračune i postavio ograničenja za koje zahteva njihovo strogo pridržavanje. Treba biti svestan toga da se sa jednim tipom jedrilice ne mogu sve želje pilota ispuniti. Samo disciplinovano letenje, u smislu pridržavanja normi ograničenja, a svakako i pravila letenja, doprineće punoj bezbednosti i punom uspehu bilo obuke, bilo trenaže ili postizanje vrsnih rezultata.

KRILO

Zadatak krila je stvaranje sile uzgona, o čemu je detaljnije govoreno u drugom delu — „Teorija letenja". U istom delu su razmatrani i razni oblici krila u planu, zatim aeroprofili itd. Ovaj deo priručnika ograničava se samo na razmatranje strukture krila.



Slika 32. — Ravni u kojima deluju sile i momenti koji opterećuju krilo

I u letu i na zemlji krilo je podvrgnuto aerodinamičkim i inercijalnim opterećenjima, koja se na njemu manifestuju kao:

— *normalni momenat savijanja — pozitivni i negativni (M_f),*
— *normalna tangencijalna sila (T_n),*
— *tangencijalni momenat savijanja (M_{ft}),*
— *tangencijalna sila (T_t),*
— *momenat uvijanja (M_{uv}) i*
— *vibraciona opterećenja.*

Na slici 32 prikazane su ravni u kojima deluju navedena opterećenja, čije maksimalne vrednosti koristimo u proračunu pojedinih elemenata.

Prema tipu strukture konstrukciju krila možemo da podelimo na sledeće vrste:

— *krilo sa ramenjačom (jednom ili više),*
— *poluljuskasta i*
— *ljuskasta konstrukcija.*

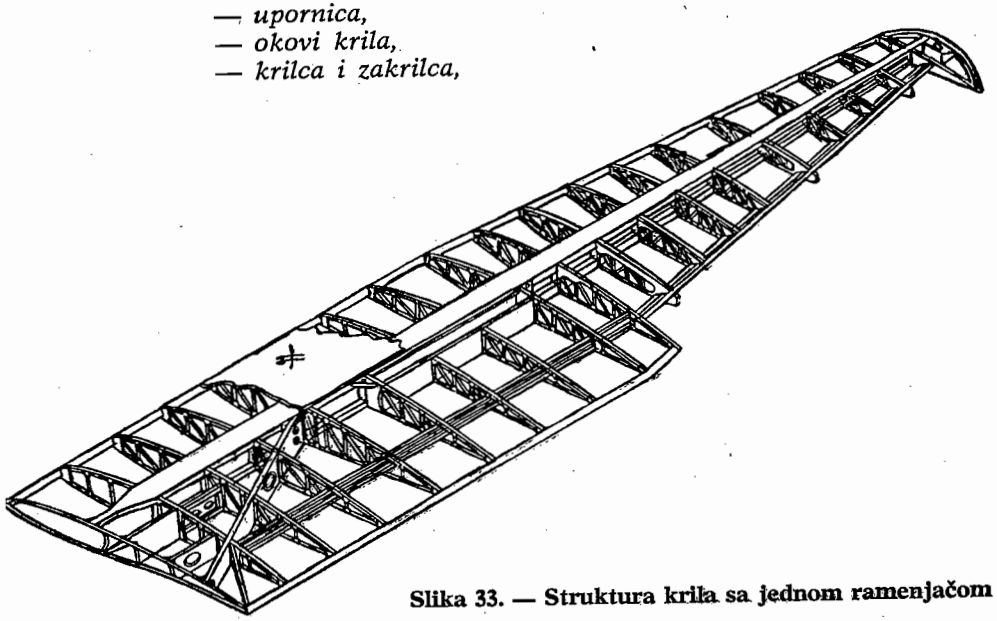
Svaka od navedenih konstrukcija sastoji se od elemenata o kojima će biti reči u daljem tekstu.

KRILO SA RAMENJAČOM

Osnovni elementi ovog tipa konstrukcije krila su:

— *glavna ramenjača,*
— *torziona ramenjača,*
— *pomoćna ramenjača,*
— *dijagonala,*
— *torziona kutija,*
— *rebra,*

— *napadna i izlazna ivica,*
— *završetak krila,*
— *upornica,*
— *okovi krila,*
— *krilca i zakrilca,*
— *aerodinamičke kočnice,*
— *platnena oplata.*



Slika 33. — Struktura krila sa jednom ramenjačom

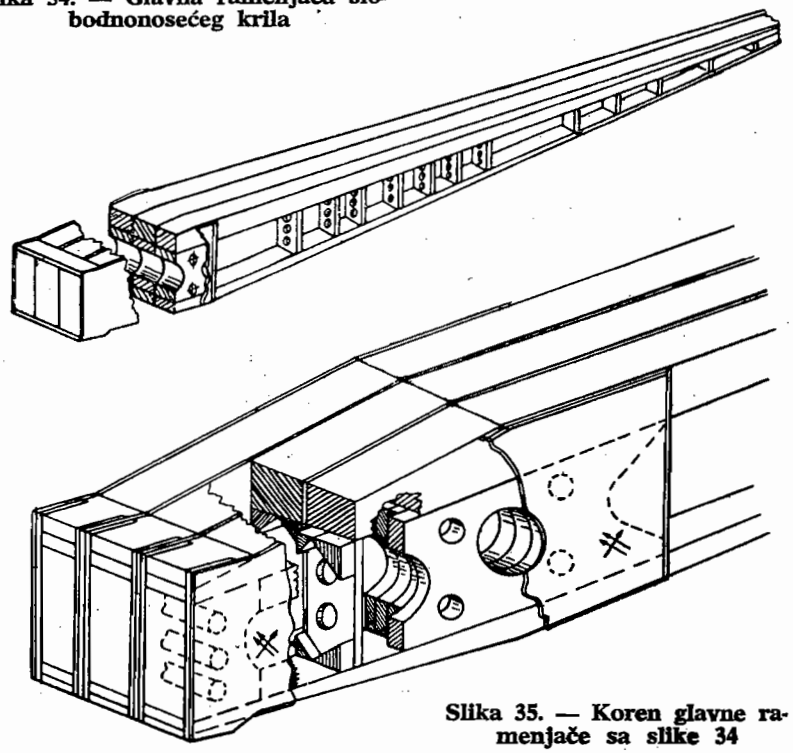
Na slici 33 prikazana je tipična konstrukcija krila sa jednom ramenjačom, gde se, osim zakrilaca, vide svi nabrojani elementi. Krilo sa jednom ramenjačom je najčešće primenjivana konstrukcija kod jedrilica, mada postoje konstrukcije kod kojih krilo ima dve ramenjače. Svakako da postoji više mogućnosti u komponovanju strukture krila sa jednom ili dve ramenjače u kojima mogu da budu izostavljeni pojedini od navedenih elemenata (torziona ramenjača, platnena oplata itd.) a da se potpuno očuva nosivost.

Kako svaki od navedenih elemenata krila ima svoju specifičnu ulogu u primanju i prenošenju opterećenja, upoznaćemo se posebno sa svakim elementom, uz napomenu da im se uloga ne menja u drugom tipu strukture.

Glavna ramenjača

Glavna ramenjača, kao osnovni deo konstrukcije, sastavljena je iz pojaseva spojenih vertikalnim zidom (jedan ili više) i vertikala, a uloga joj je da primi normalni momenat savijanja i normalnu tangencijalnu silu. Na mestima postavljanja okova i prenosnih poluga u ramenjaču, a između pojaseva, postavljaju se

Slika 34. — Glavna ramenjača slobodnonosećeg krila



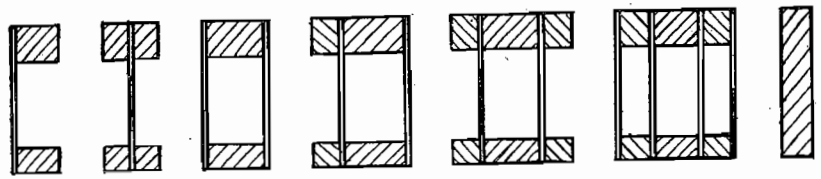
Slika 35. — Koren glavne ramenjače sa slike 34

posebni umeci, čija je uloga da budu oslonac i elemenat za primanje i prenošenje sila na strukturu ramenjače. Na slikama 34 i 35 vidi se opšta konstrukcija i uvećan detalj korena na mestu postavljanja glavnih okova.

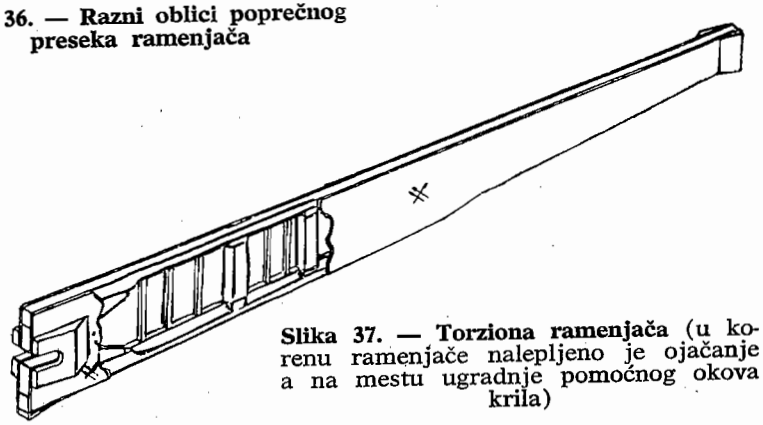
Oblik poprečnog preseka ramenjače može da bude različit, što se vidi iz slike 36, odnosno U, duplo T, kutijast, kutijast sa jednostranim U, kutijast sa obostrano U, sa više kutija i puni. Ne postoji neko određeno pravilo za izbor oblika poprečnog preseka, ali možemo reći da veličina opterećenja i težnja za što lakšom konstrukcijom imaju presudnu ulogu. Do danas najčešće primenjivani oblici poprečnih preseka ramenjača su kutijasti i duplo T.

Torziona ramenjača

Torziona ramenjača ima ulogu da primi silu koja nastaje kao rezultat opterećenja na savijanje u tangencijalnoj ravni, odnosno



Slika 36. — Razni oblici poprečnog preseka ramenjača



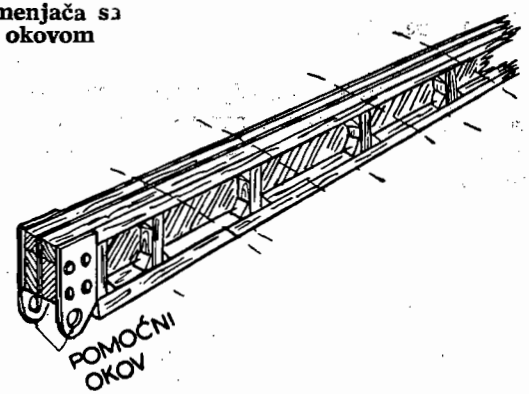
Slika 37. — Torziona ramenjača (u korenu ramenjače nalepljeno je ojačanje a na mestu ugradnje pomoćnog okova krila)

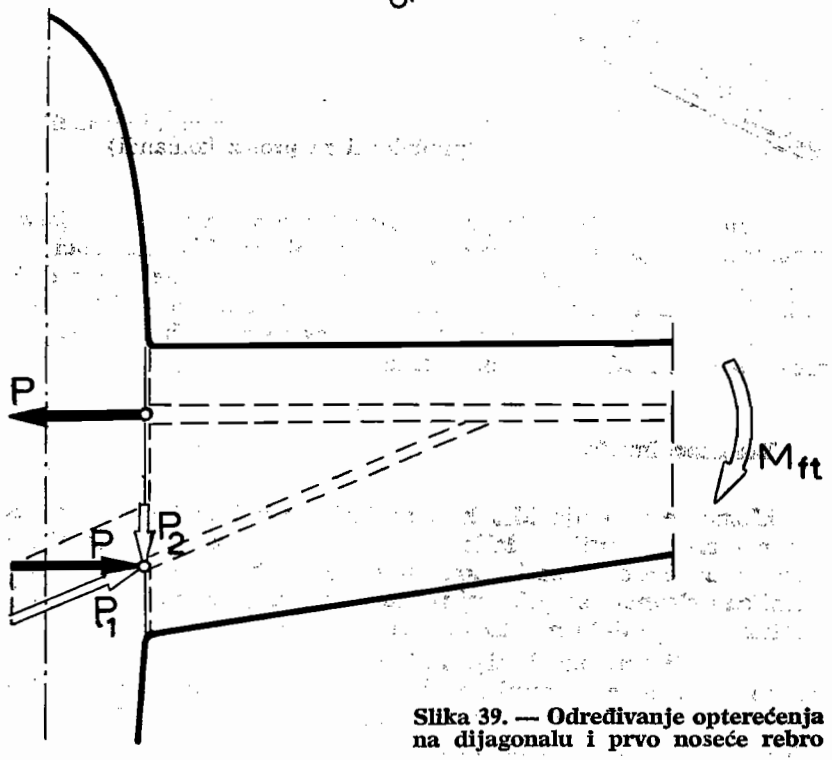
usled momenta M_{ft}. Ova ramenjača može da se nalazi iza glavne ramenjače (npr. kod Delfina, Ilindenka itd.) ili ispred glavne ramenjače (kod Vaje, Libis-18 itd.), a može da bude i produžetak pomoćne ramenjače. Ukoliko se u strukturi krila predviđa ova ramenjača, na istu se obično ugrađuje pomoćni priključak krila. Poprečni presek torzione ramenjače je obično kutijast, mada može da bude svaki od navedenih preseka glavne ramenjače. Na slici 37 vidi se torziona ramenjača.

Pomoćna ramenjača

Uglavnom, mogu da se izdvoje dva osnovna tipa strukturalne primene pomoćne ramenjače kod krila. Prvi, gde se pomoćna ramenjača nalazi samo u predelu krilaca i u osnovi služi kao elemenat za primanje opterećenja koja su nastala na krilcima — i drugi, kada se pomoćna ramenjača prostire duž čitavog razmaha krila. U ovom drugom slučaju prostor između glavne i pomoćne ramenjače, kao i prostor ispred glavne ramenjače, zatvoren je lepenkom tako da čitav ovaj kompleks predstavlja kutiju (poznatu i kao keson), koja prima sva napred navedena opterećenja, tj. M_f, M_{ft}, M_{uv}, T_n i T_t.

Slika 38. — Pomoćna ramenjača sa ugrađenim pomoćnim okovom





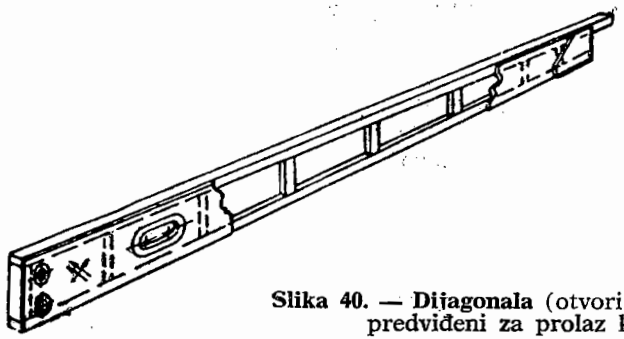
Slika 39. — Određivanje opterećenja na dijagonalu i prvo noseće rebro

Pomoćni priključak se sada ugrađuje na pomoćnu ramenjaču, te sva svoja opterećenja prenosi na trup.

I u prvom i u drugom slučaju poprečni presek pomoćne ramenjače (sl. 38.) može da ima jedan od napred navedenih oblika.

Dijagonala

U strukturi krila dijagonala (sl. 40) može da bude ugrađena zajedno sa torzionom ramenjačom ili, pak, bez nje. Ukoliko nemamo torzionu ramenjaču, pomoćni okov se ugrađuje na dijagonalu.



Slika 40. — Dijagonala (otvori na dijagonali su predviđeni za prolaz komandi)

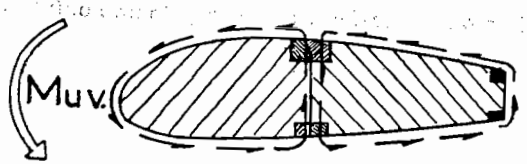
Uloga dijagonale je da primi opterećenje nastalo usled dejstva momenta savijanja u tangencijalnoj ravni, tj. M_{ft}. Na slici 39 prikazano je određivanje sile P_1 koja izaziva naprezanje na pritisak ili istezanja, a u zavisnosti od pravca dejstva momenata. Kao i kod ranijih vrsta ramenjača, i dijagonala u svom poprečnom preseku može da ima ranije navedene oblike.

Torziona kutija

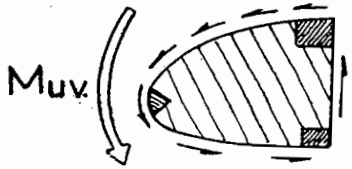
Momente uvijanja M_{uv} koji se javljaju u letu krilo prihvata preko torzione kutije i dalje ga prenosi na priključak. Torziona kutija može da bude sa jednom ili više kontura. Kod konstrukcija jedrilica uglavnom se primenjuju torzione kutije sa jednom ili dve konture, što je dato na slikama 41, 42, 43 i 44.

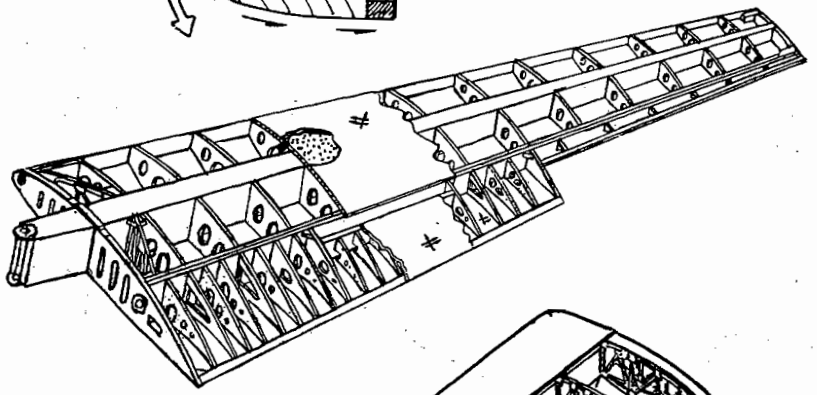
Elementi torzione kutije koji primaju momenat uvijanja su oplata od lepenke postavljene po konturi aeroprofila (prednji deo ili deo između ramenjača ili po čitavoj konturi do zadnje ramenjače) i zid, odnosno zidovi ramenjača.

U težnji da površina krila bude sa što manje talasa koji nastaju između rebara, umesto jednostruke debele oplate od lepenke često se primenjuje sendvič-oplata, odnosno između dve ploče lepenke ubacuje se pogodna i stabilna plastična penasta masa (stiropor, kleželsel, PVC, saće itd.) kako se to vidi na slikama 29 i 45. Pored ovog načina, za dobijanje ravne površine krila primenjuje se i

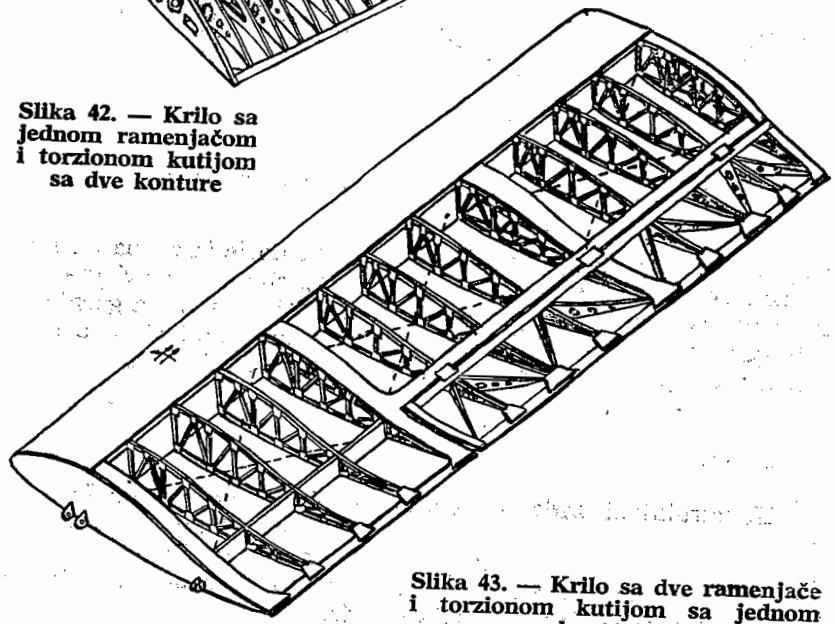


Slika 41. — Torziona kutija sa dve i jednom konturom



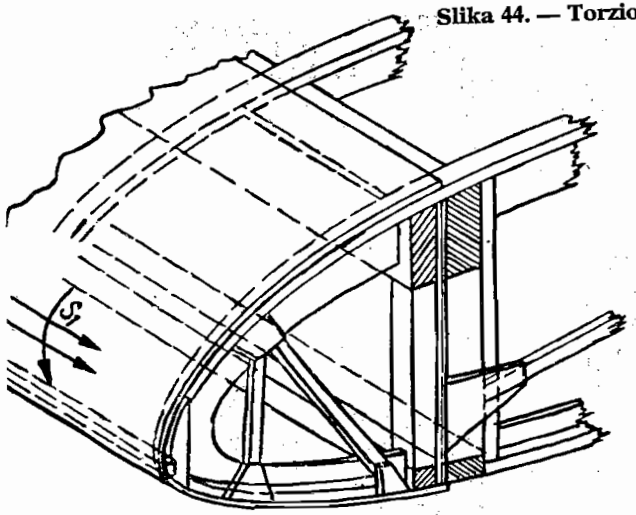


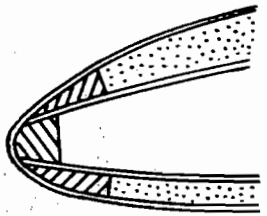
Slika 42. — Krilo sa jednom ramenjačom i torzionom kutijom sa dve konture



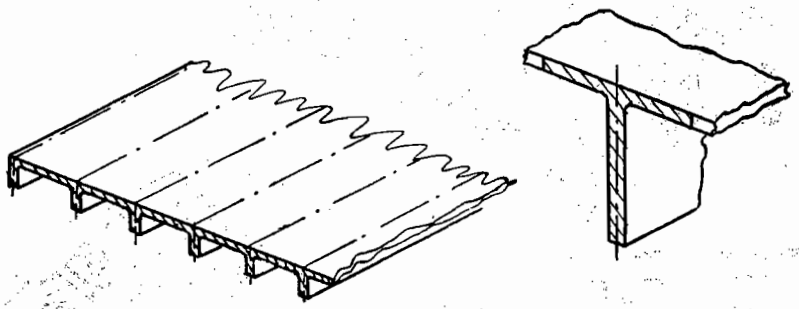
Slika 43. — Krilo sa dve ramenjače i torzionom kutijom sa jednom konturom

Slika 44. — Torziona kutija sa jednom konturom





Slika 45. — Sendvič sa plastičnom penastom masom



Slika 46. — Potkora u obliku povezanih uzdužnica

potkora, koja se stavlja ispod oplate, a obično je izrađena od lipe ili omorike. Oblik potkore je prikazan na slici 46, a pri gradnji krila postavlja se u vidu ploča veličine 150×1 000 mm na gornjaku i donjaku rebara. Pored dobijanja odlične površine krila i sendvič i potkora doprinose povećanoj nosivosti i krutosti krila.

Rebra

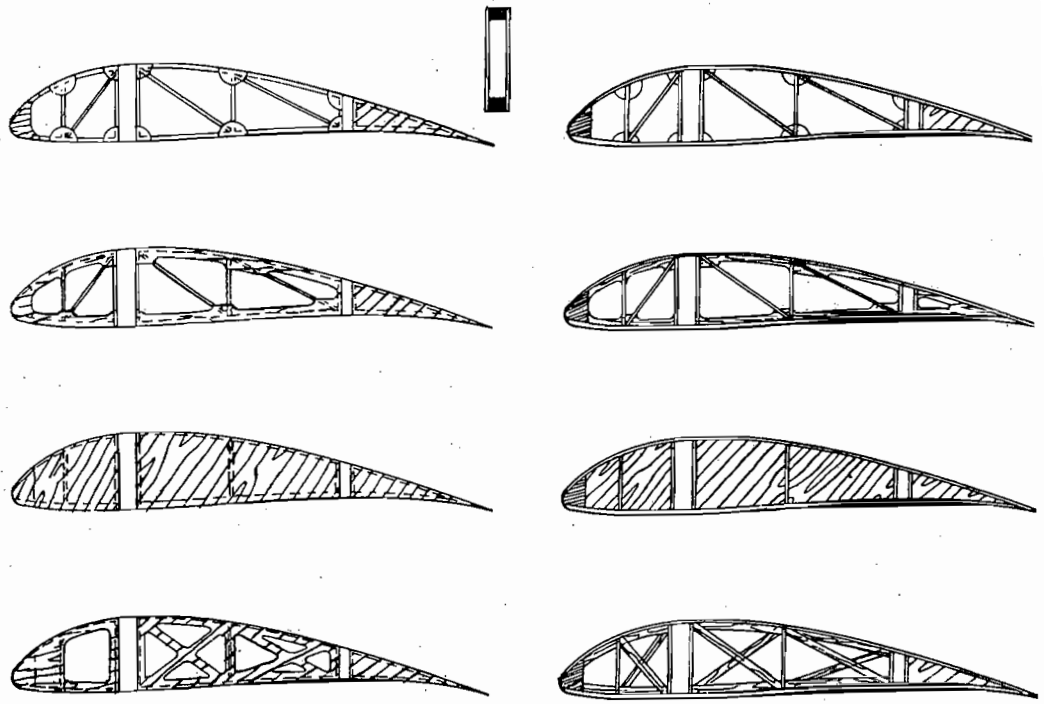
Konstruktivni zadatak rebara je obrazovanje i održavanje oblika aeroprofila krila. Da bi ispunili ove zadatke rebra se na krilo postavljaju gušće ili ređe, a u zavisnosti od krutosti oplate na savijanje. Ukoliko imamo deblju oplatu ili krilo sa uzdužnicama, rebra se obično postavljaju ređe.

Rebra kao elementi strukture krila su opterećena silama različitog porekla:

— *aerodinamičko opterećenje koje dejstvuje neposredno na oplatu, a odatle se prenosi na ramenjaču i na rebra;*
— *usled savijanja krila osne sile oplate i uzdužnica (ukoliko postoje) usled iskrivljenja krila, izazivaju opterećenja pritiska na rebrima;*
— *na pojedina rebra, osim navedenih opterećenja, deluju i koncentrisane sile koje nastaju kao posledica specifičnosti rada konstruktivne šeme.*

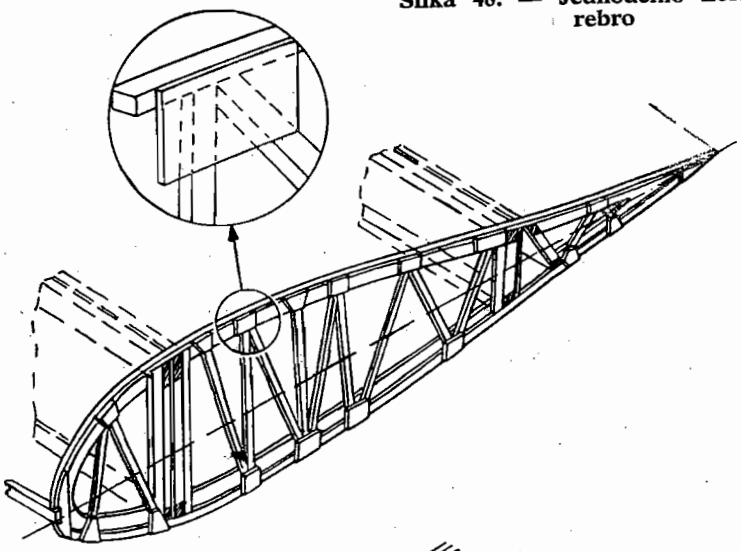
Prema vrsti opterećenja i ulozi, rebra možemo da podelimo na: *normalna* — koja primaju aerodinamičko opterećenje, kao i opterećenja nastala usled savijanja krila i *noseća* — koja su opterećena koncentrisanim silama (npr. sila P_2 na sl. 39).

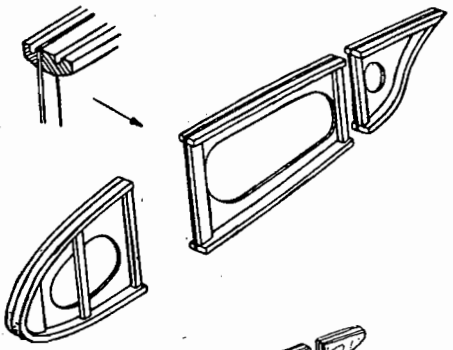
Po konstrukciji rebra mogu da budu rešetkasta, zatim u obliku rama ili u obliku grede. Kao osnovni elementi rebara javljaju se pojasevi, zid (ili zidovi), vertikale i dijagonale. Na slici 47 data



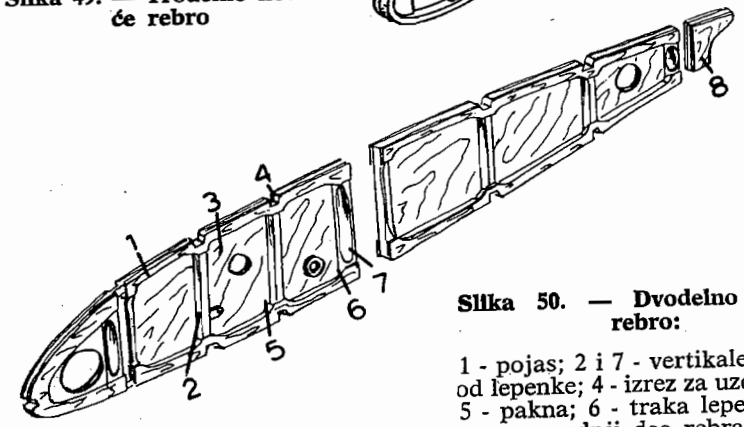
Slika 47. — Različiti konstruktivni oblici rebara

Slika 48. — Jednodelno normalno rebro





Slika 49. — Trodelno noseće rebro



Slika 50. — Dvodelno noseće rebro:

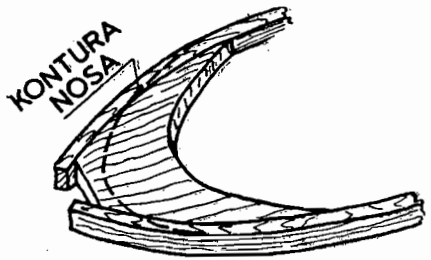
1 - pojas; 2 i 7 - vertikale; 3 - zid od lepenke; 4 - izrez za uzdužnicu; 5 - pakna; 6 - traka lepenke; 8 - zadnji deo rebra

su dva osnovna tipa rebara: kutijasti i duplo T u napred navedenim tipovima konstrukcije. Osim ovoga, rebra mogu da se grade kao jednodelna ili višedelna, kako se to vidi na slikama 48, 49 i 50, pri čemu je prvo rebro normalno, a drugo i treće noseće.

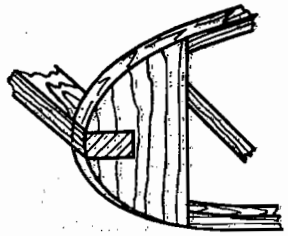
Kod jedrilica noseća rebra obično postoje na početku krila i u tom slučaju su opterećena od momenta uvijanja krila i komponente sile momenta savijanja u tangencijalnoj ravni — sila P_2, što važi za slučaj da krilo nema torzionu ramenjaču, već samo dijagonalu (sl. 39), dok u slučaju kad postoji torziona ramenjača i dijagonala, pored nosećeg rebra na početku krila, postavlja se i drugo noseće rebro, a na mestu gde se dijagonala spaja sa torzionom ramenjačom.

Napadna i izlazna ivica

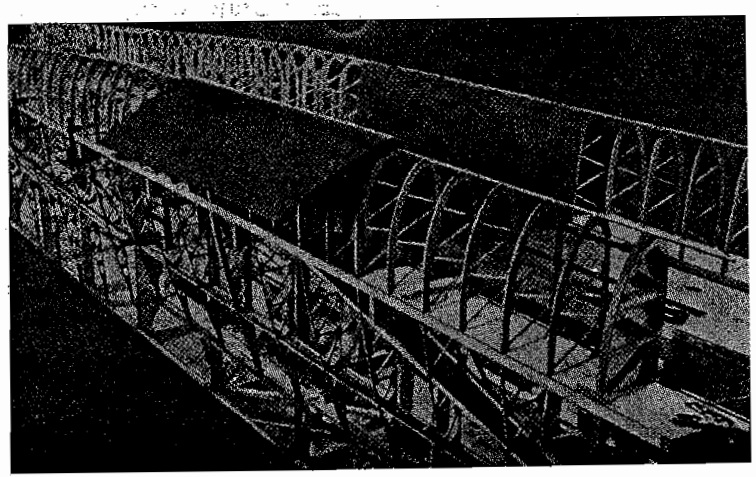
Sa prednje strane krila ugrađuje se letva čiji poprečni presek može da ima različite oblike — pravougaoni, trapezni, trouglast itd. Ova letva — napadna ivica — omogućuje povezivanje svih prednjih delova rebara, ukrućujući ih i na taj način sprečava njihovo krivljenje prilikom formiranja oplate torzione kutije. Da bi



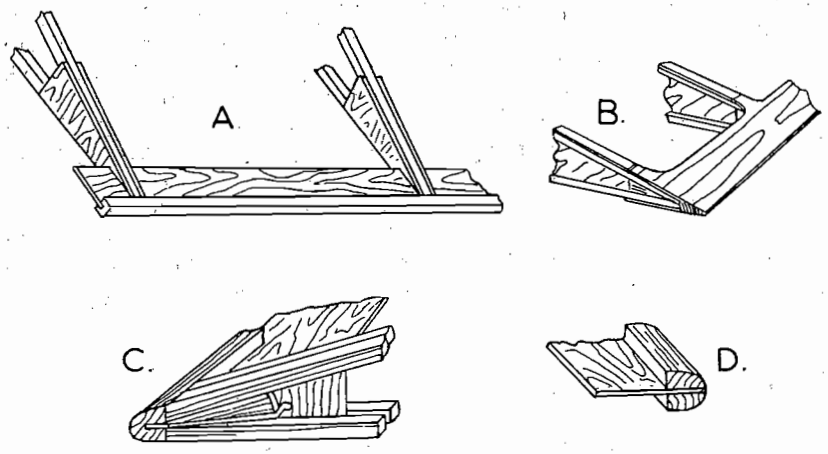
Slika 51. — Puni umetak u nosu rebra



Slika 52. — Napadna ivica pravougaonog preseka



Slika 53. — Ugradnja napadne ivice na krilo (vide se i ostali elementi krila)



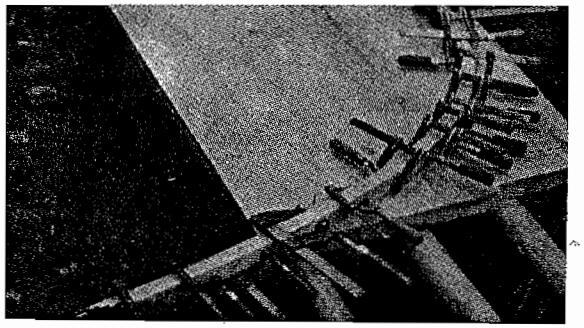
Slika 54. — Razni oblici izlazne ivice

se omogućilo dobro vezivanje napadne ivice sa prednjim delom rebara, u ova se, tj. u njihov prednji deo između pojaseva, ugrađuje umetak od punog drveta. Na slici 51 prikazan je puni drveni umetak u nosu rebra, dok se na slikama 52 i 53 vidi napadna ivica pravougaonog preseka i njena ugradnja na prednje delove rebara krila.

Tanki krajevi rebara zbog velike dužine zadnjih delova rebara su veoma nestabilni i ne pružaju mogućnost bez dopunskog elementa, presvlačenja krila lepenkom ili platnom. Da bi se ovo omogućilo, postavlja se tzv. izlazna ivica čije različite oblike vidimo na slici 54. Izlazna ivica po svojoj konstrukciji mora da bude čvrsta i stabilna, kako bi bez deformacija primila sile koje nastaju kao posledica sušenja celoniranog platna. Danas se najčešće primenjuje izlazna ivica čija je konstrukcija prikazana na slici 54 c, a koja, pored lepenke sa gornje i donje strane, ima i lepenku u sedini, pošto ova konstrukcija u najvećoj meri zadovoljava postavljeni uslov.

Završetak krila

Na krajeve krila gde je zahtevana debljina jednaka nuli, a oblik u planu može biti raznolik, ugrađuje se završetak — luk ili aerodinamičko telo. Ukoliko se ugrađuju aerodinamička tela, krilo se završava nosećim rebrom, čija debljina odgovara izabranom aeroprofilu i tetivi krila. Aerodinamičko telo se učvršćuje na rebro čime bi rešenje kraja krila bilo potpuno. Međutim, ako kraj krila do-



Slika 55. — Završetak krila stegnut u kalupu stegama

vodimo, posmatrano u vertikalnoj projekciji, do tačke, potrebno je od poslednjeg normalnog rebra do kraja načiniti završetak — luk — koji će odgovarati datom obliku krila u planu. Učvršćenje luka na strukturu krila obično se vrši lepljenjem (ređe zavrtnjima), a zatim se ovaj deo u potpunosti šperuje. Ako je rastojanje od zadnjeg normalnog rebra do kraja luka iznad 150 do 200 mm, ubacuje se u taj prostor dopunska rebra. Završetak — luk, zbog svoje velike krivine obično se izrađuje lepljenjem iz tanjih letvica, a u odgovarajućem kalupu (sl. 55).

Upornica

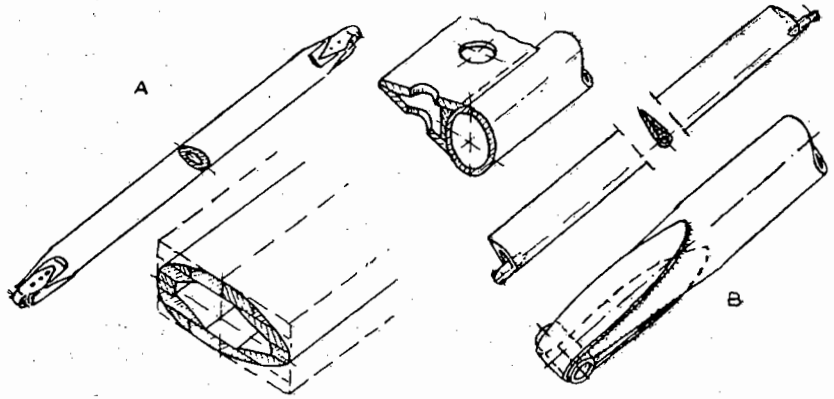
Krila sa upornicama, koje ih povezuju sa trupom, su znatno manje opterećena usled momenta savijanja, što doprinosi smanjenju težine krila i pored dodatne težine upornice. Međutim, posmatrano sa aerodinamičkog stanovišta, upornica predstavlja povećanje štetnog otpora jedrilice, pa time i pogoršanje performansi, što se nikako ne sme dozvoliti kod visokosposobnih i takmičarskih jedrilica. Zbog toga se upornice primenjuju jedino kod školskih i trenažnih jedrilica, gde se performanse ne smatraju najbitnijim faktorom.

Upornica izaziva dopunsku silu pritiska ili istezanja ramenjače. U normalnom letu upornica je opterećena na istezanje.

Oblik upornice treba da je takav da pruža u letu što manji otpor. Zbog toga je poprečni presek upornice obično kapljast bez obzira da li se ova gradi od metala ili drveta, što se vidi i na slici 56.

Okovi — glavni i pomoćni

Da bi omogućili normalni transport jedrilice u slučaju vanterenskog sletanja ili odlaska na razna takmičenja, konstrukcija pojedinih elemenata omogućava rastavljanje jedrilice na osnovne sklopove: krila, trup i repne površine. Ovo je ostvareno rastavnim vezama čiji su osnovni elementi — okovi. Opterećenja koja deluju na krila ili repne površine moraju preko okova da se prenesu



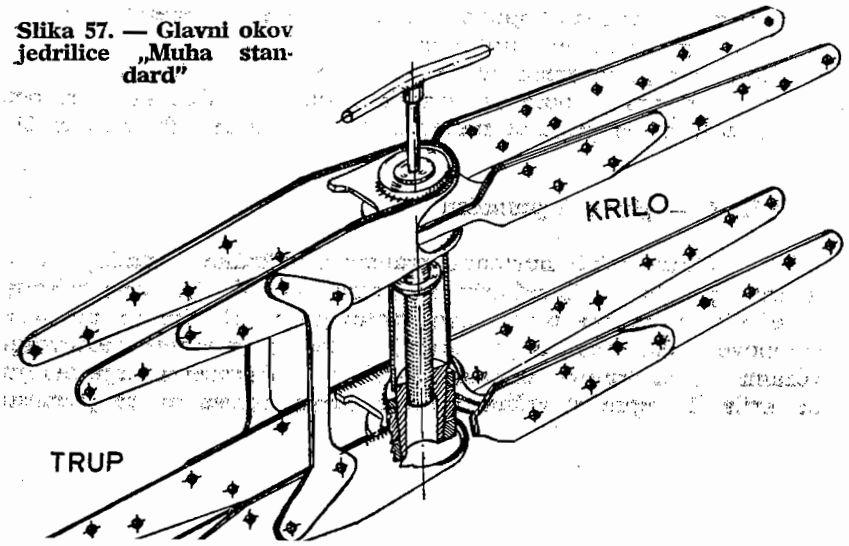
Slika 56. — Upornica A) drvena i B) metalna

i neutrališu u konstrukciji trupa. U zavisnosti od strukture konstrukcije krila zavisi i vrsta opterećenja koje okovi prenose.

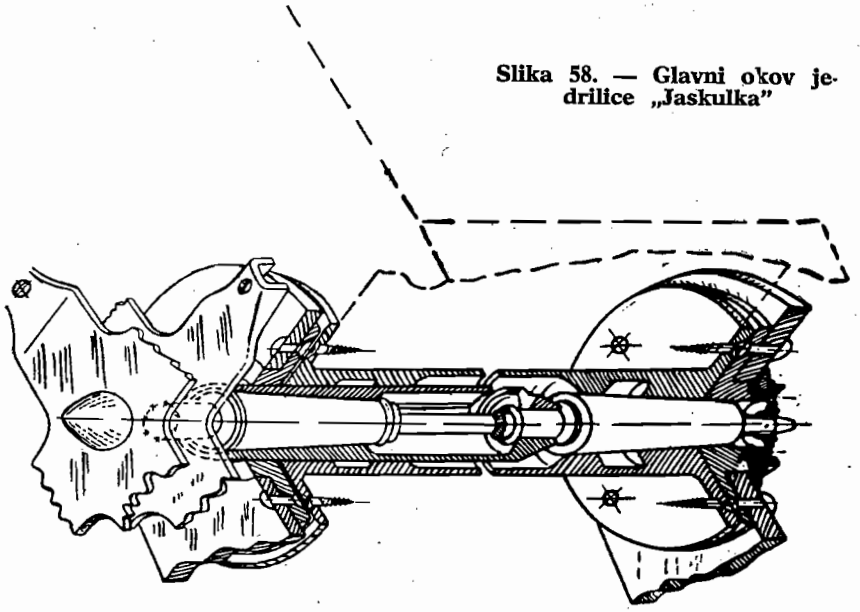
Kod krila sa ramenjačom, ramenjačama ili upornicom normalni momenat savijanja i normalna transverzalna sila prenosi se preko okova glavne ramenjače (glavni okov), a momenat savijanja u tangencijalnoj ravni i momenat torzije prihvata pomoćni, a delimično i glavni okov. Pomoćni okov je obično ugrađen na torzionu ramenjaču ili dijagonalu.

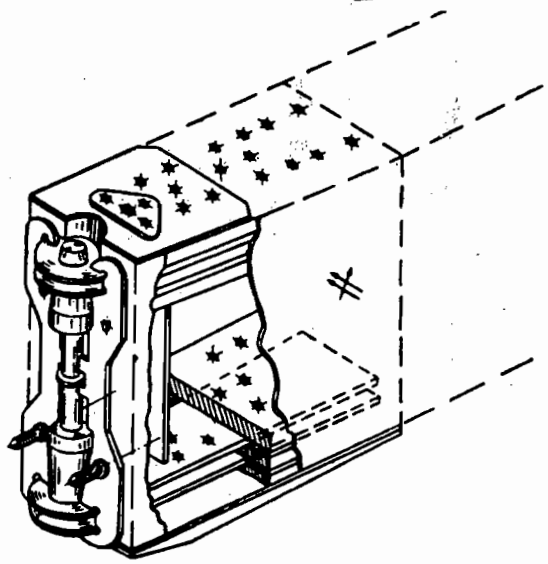
Poseban problem se javlja kod poluljuskastih i ljuskastih konstrukcija krila gde se sva opterećenja primaju kroz strukturu ljuske i gde je širina kesona veća od njegove visine, te je zadatak glavnih okova da naprezanja u ljusci krila svedu kroz okov na trup ili drugo krilo.

Slika 57. — Glavni okov jedrilice „Muha standard"



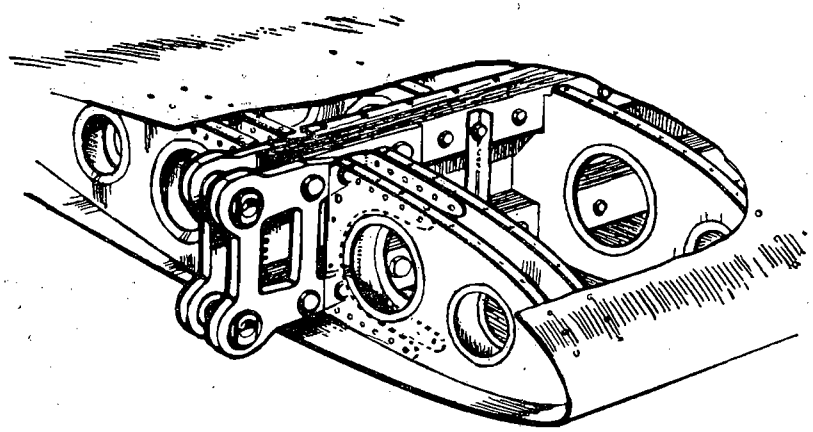
Slika 58. — Glavni okov jedrilice „Jaskulka"



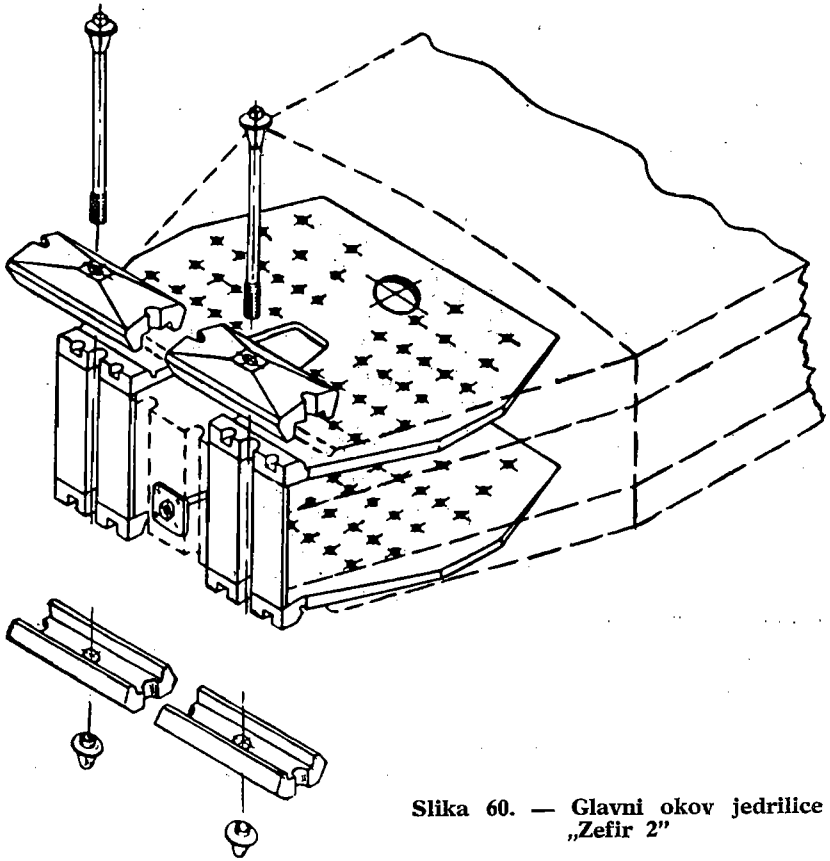


Slika 59. — Glavni okov jedrilice „Foka"

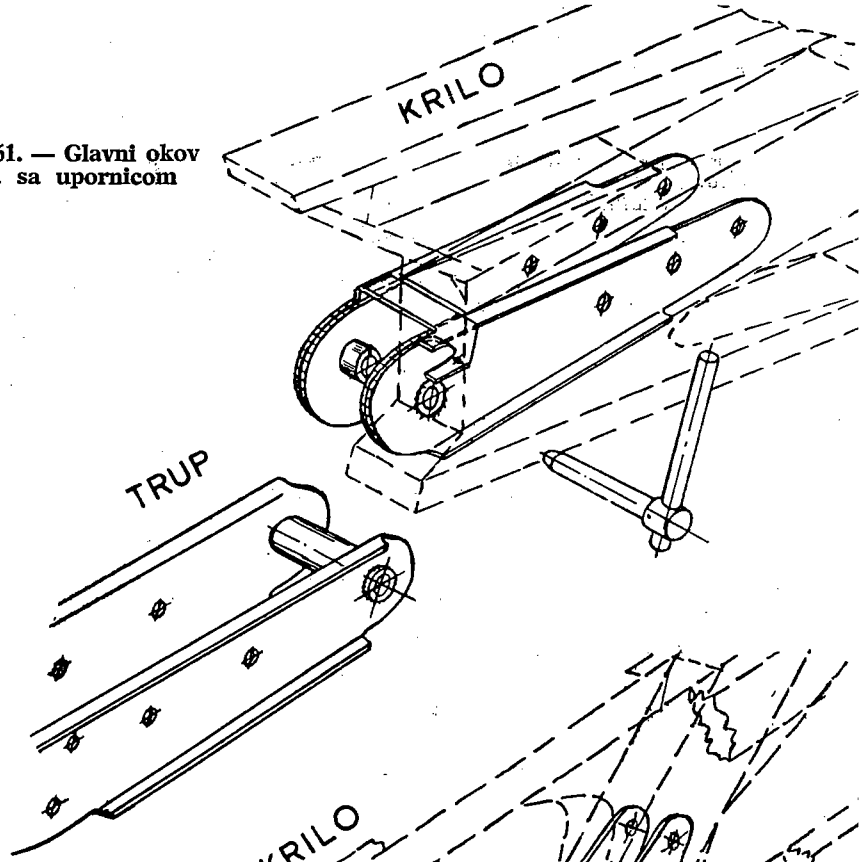
Na nekoliko slika prikazano je više tipova glavnih i pomoćnih okova kod slobodnonosećih krila i krila sa upornicom. Na slici 57 prikazan je glavni okov koji se sastoji iz dva dela: okov na krilu i okov u trupu, koji su spojeni konusnim svornjakom. Glavni okovi prikazani su na slikama 58, 59 i 59 a, a primenjeni su kod



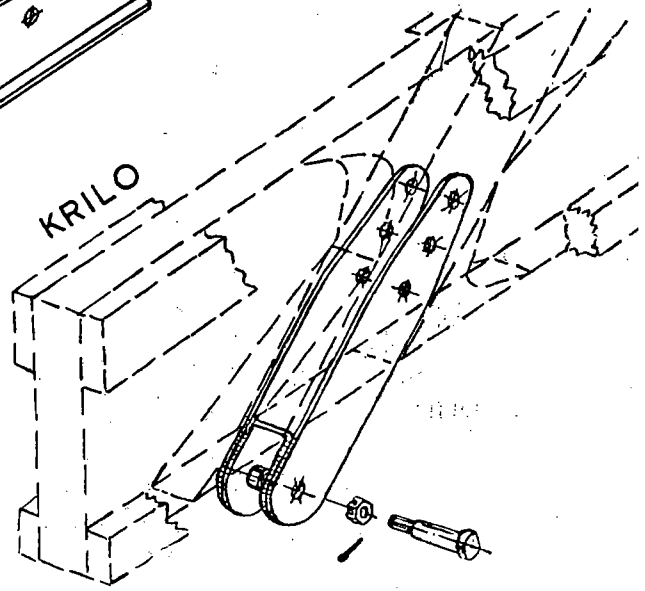
Slika 59a. — Glavni okov metalne jedrilice „Sings bi T-53"

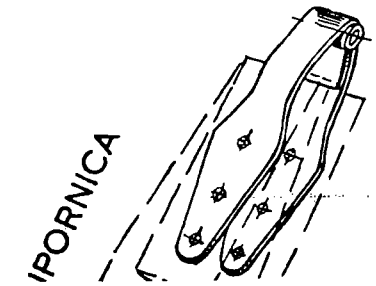


Slika 60. — Glavni okov jedrilice „Zefir 2"



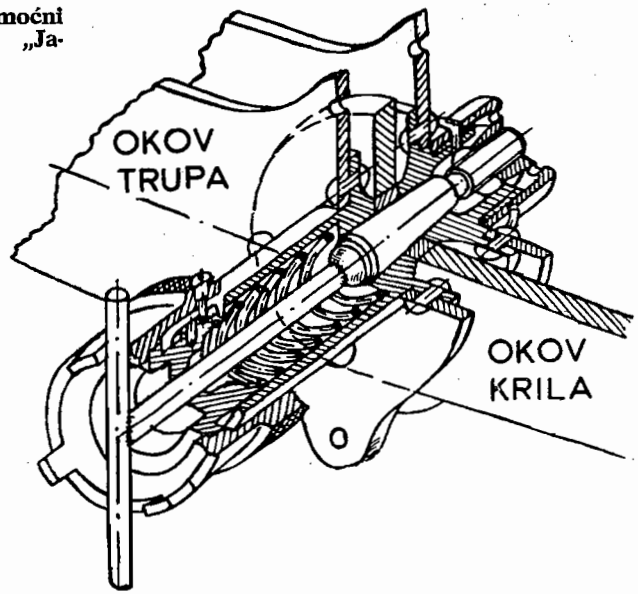
Slika 61. — Glavni okov krila sa upornicom

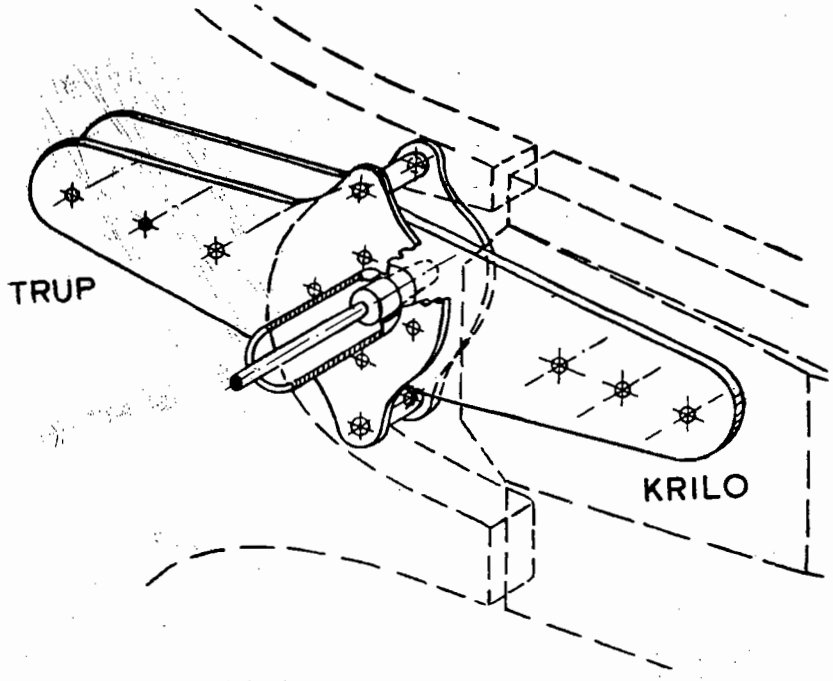




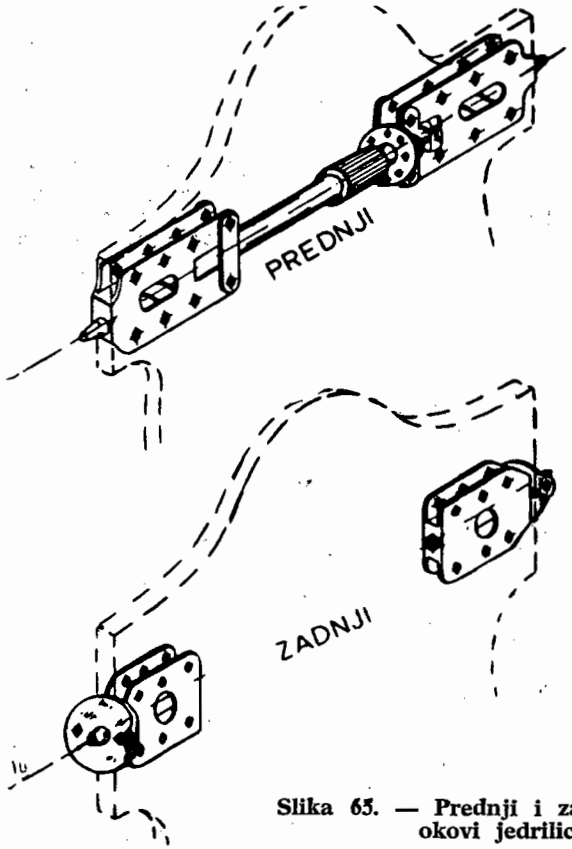
Slika 62. — Okov upornice na krilu

Slika 63. — Pomoćni okov jedrilice „Jaskulka"

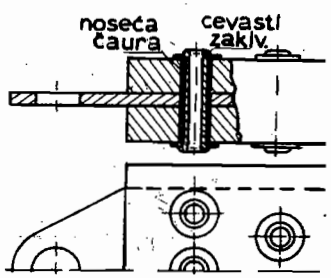




Slika 64. — Pomoćni okov



Slika 65. — Prednji i zadnji osloni pomoćni okovi jedrilice „Foka"



Slika 66. — Način učvršćenja okova na ramenjaču pomoću cevastih zakivaka

krila sa ramenjačom. Prikaz glavnog okova kod ljuskastog krila dat je na slici 60. Glavni okov krila sa upornicom dat je na slici 61, a na slici 62 okov upornice na krilu.

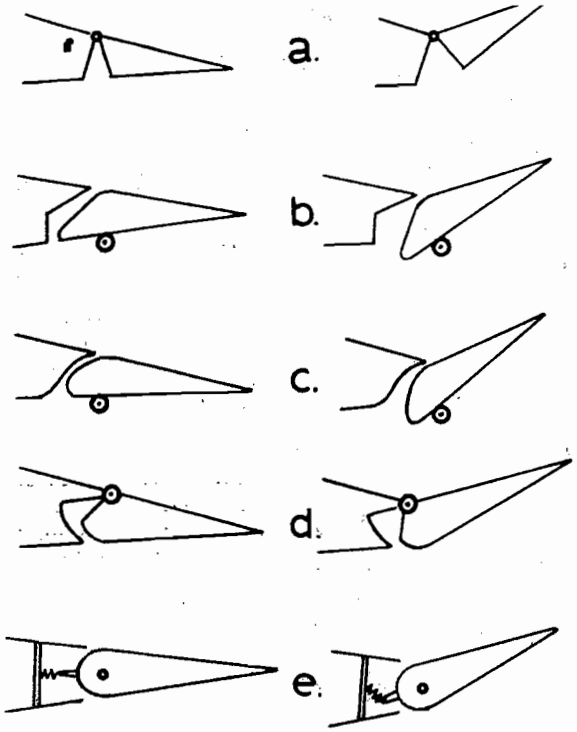
Primeri pomoćnih okova dati su na slikama 63 i 64, kao i na slici 65.

Glavni i pomoćni okovi su na pojas ramenjače ili ljuske krila učvršćeni zavrtnjima ili cevastim zakivcima, koji prolaze kroz noseće čaure (sl. 66). Uloga čaura je da primi proračunska opterećenja usled momenta savijanja i transverzalnih sila a preko svoje nosivosti u drvetu, dok zavrtnji ili zakivci imaju ulogu da onemoguće ispadanje čaura iz ramenjače.

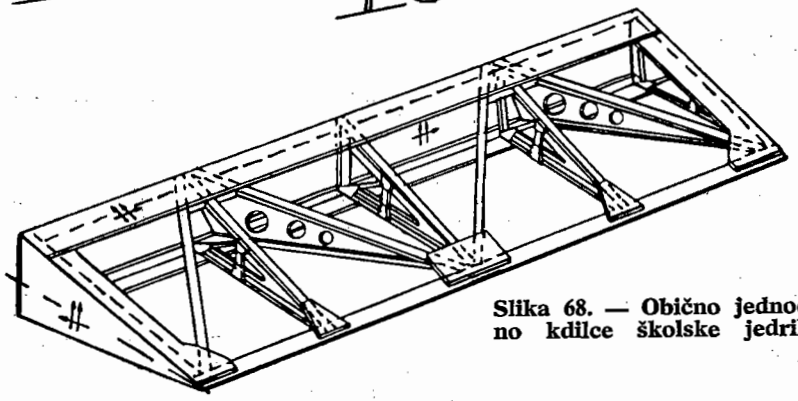
Debljina okova ili širina ramenjače na mestu okova može da se smanjuje i to samo do mesta gde se proračunska sila u potpunosti prima pojasom ramenjače.

Krilca i zakrilca

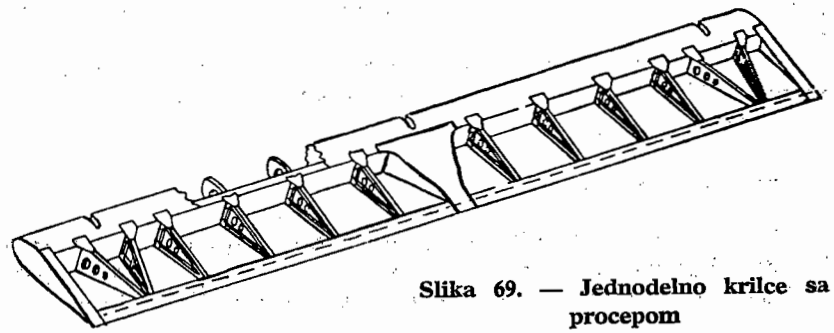
U jedriličarstvu se primenjuje nekoliko tipova krilaca (sl. 67). Krilce (a) je najjednostavnije, a najčešće se primenjuje kod školskih jedrilica. Krilce (b) se naziva „frajs", a zamišljeno je u cilju



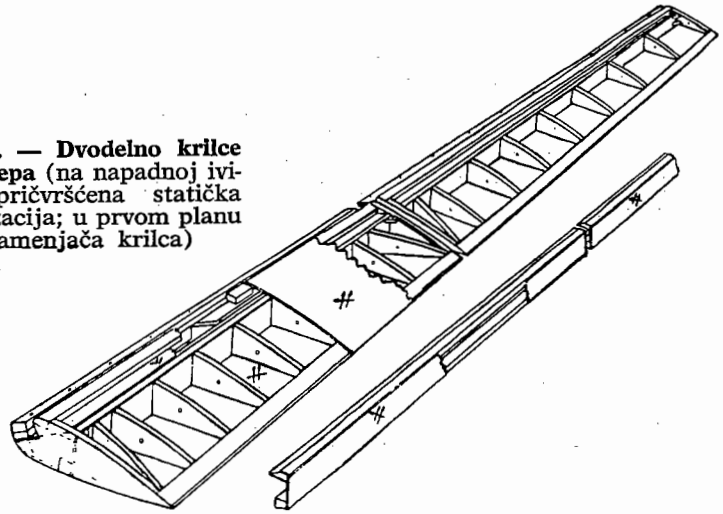
Slika 67. — Tipovi krilaca koja se najčešće primenjuju u konstrukciji jedrilica



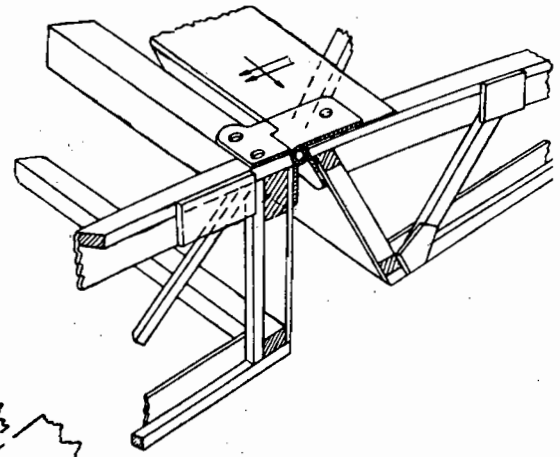
Slika 68. — Obično jednodelno kdilce školske jedrilice



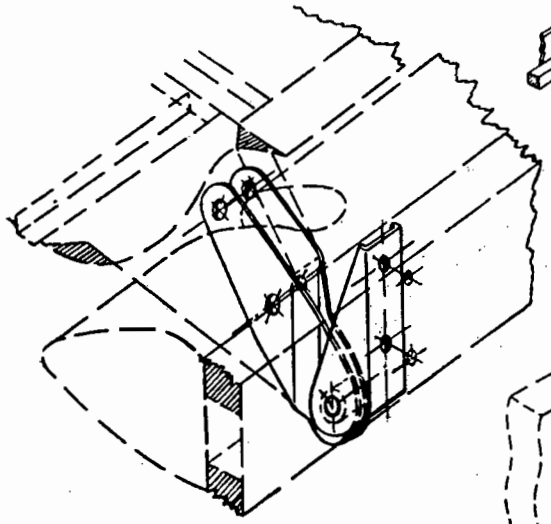
Slika 69. — Jednodelno krilce sa procepom



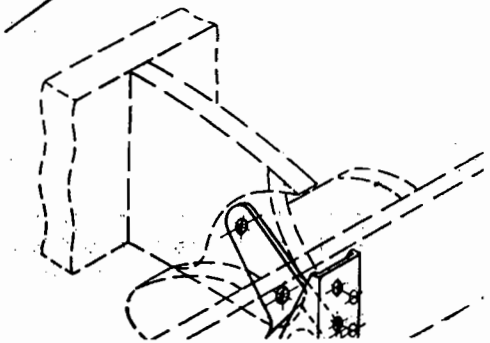
Slika 70. — Dvodelno krilce bez procepa (na napadnoj ivici je pričvršćena statička kompenzacija; u prvom planu — ramenjača krilca)



Slika 71. — Okov krilca koje je prikazano na slici 68

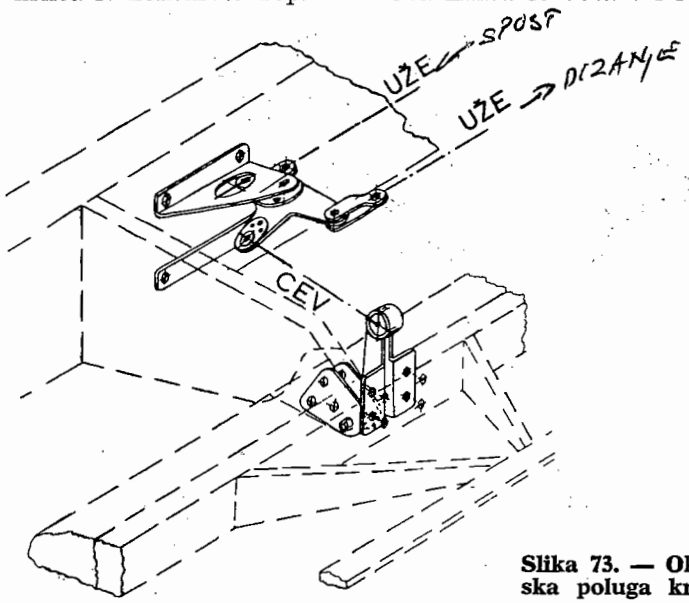


Slika 72. — Okov krilca sa procepom

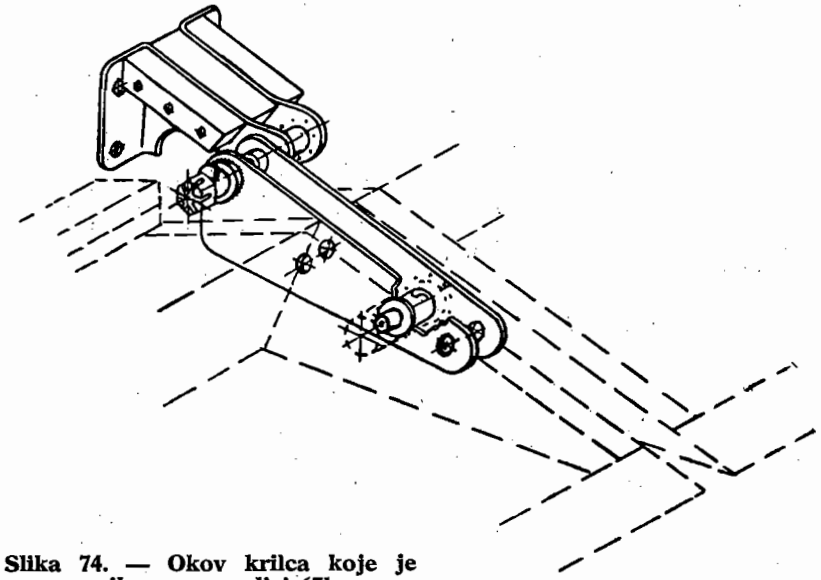


Slika 72a. — Okov krilca sa procepom

kompenziranja momenta oko vertikalne ose koji nastaje pri otklonu krilaca, a silom stvorenom usled izlaska vrha — nosa krilca iz konture aeroprofila. Ova krilca se obično i statički kom-

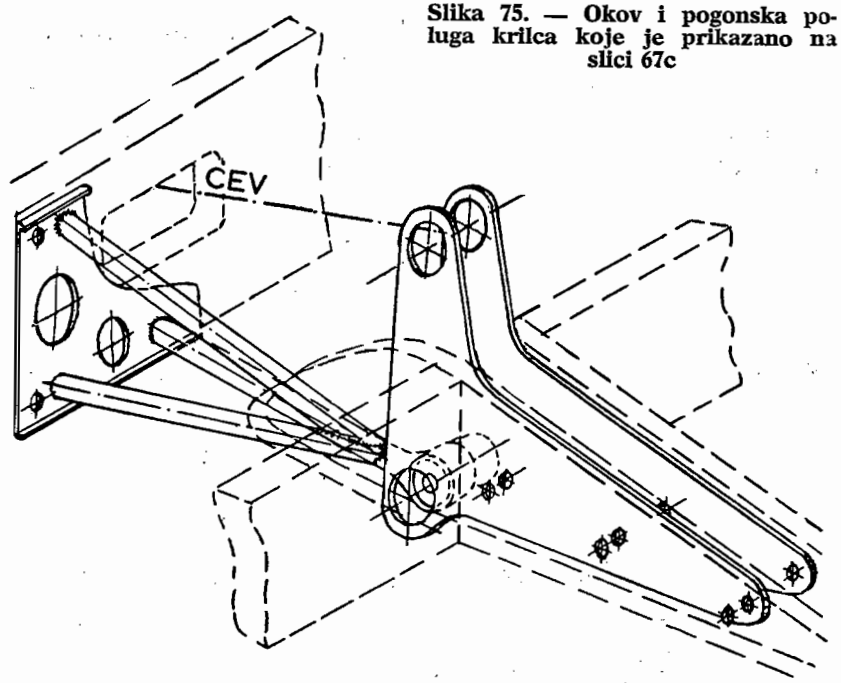


Slika 73. — Okov i pogonska poluga krilca krivine



Slika 74. — Okov krilca koje je prikazano na slici 67b

Slika 75. — Okov i pogonska poluga krilca koje je prikazano na slici 67c

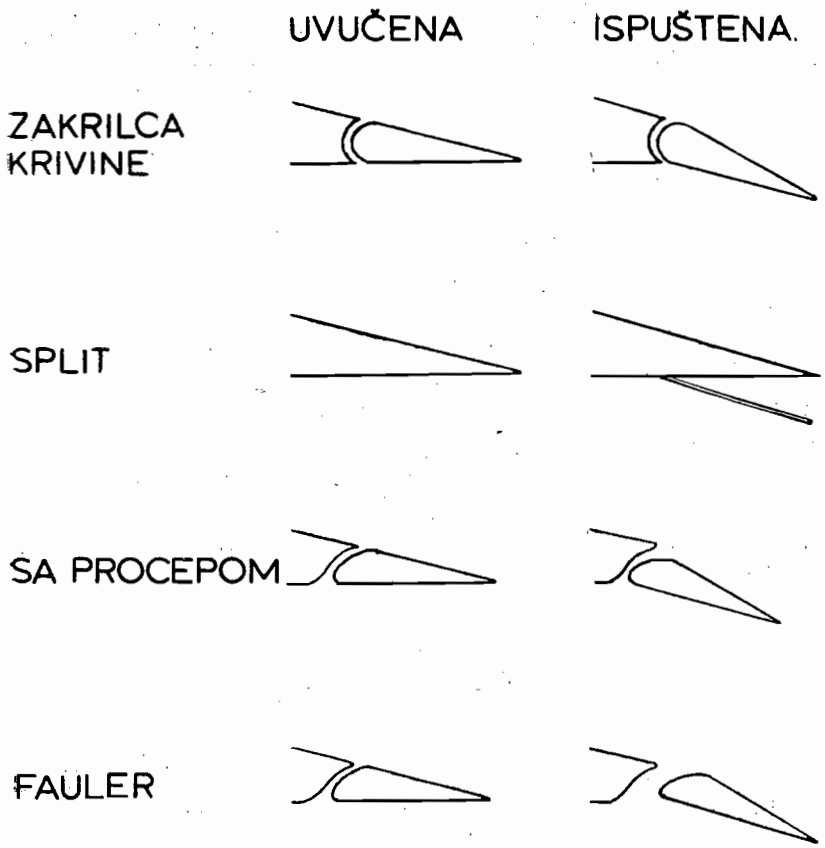


penziraju. Krilca sa procepom (c) se često koriste jer pri otklonu dolazi do kompenziranja sile na palici, a kao posledica približavanja sile na krilcu osi obrtanja pri otklonu nadole, odnosno pojavljuje se efekat aerodinamičke kompenzacije. U cilju smanjenja otpora jedrilice koriste se krilca bez procepa i sa obrtnom osom na gornjaci (d) ili donjaci. Sile na palici su veće nego što je to u slučaju (c), ali rešenjem (e), odnosno aerodinamičkom kompenzacijom moguće ih je u većoj meri smanjiti.

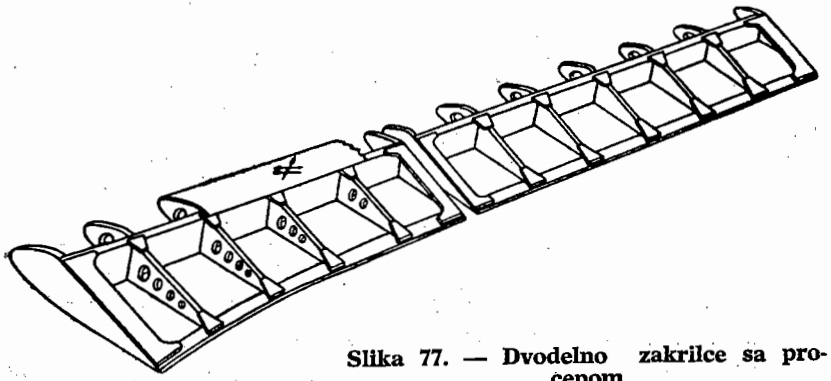
Konstrukcija krilca je sastavljeena iz: ramenjače, rebara, torzionog nosa, oplate od lepenke, kao nosećih elemenata i platnene presvlake (ne uvek). Pored toga, krilce može biti jednodelno ili dvodelno. Na slici 68 prikazana je jednodelna konstrukcija krilca školske jedrilice, tipa na slici 67a, a na slikama 69 i 70 jednodelno krilce sa procepom i dvodelno krilce bez procepa tipa na slici 67d.

Vezivanje krilca sa krilom ostvaruje se okovima. U zavisnosti od razmaha krilca određuje se i broj okova. Pogon krilca se obično nalazi na prvom okovu ili na dva mesta ukoliko je krilce većeg razmaha. Na slikama 71, 72, 73, 74 i 75 prikazano je nekoliko tipova okova za pričvršćenje krilaca na krilo.

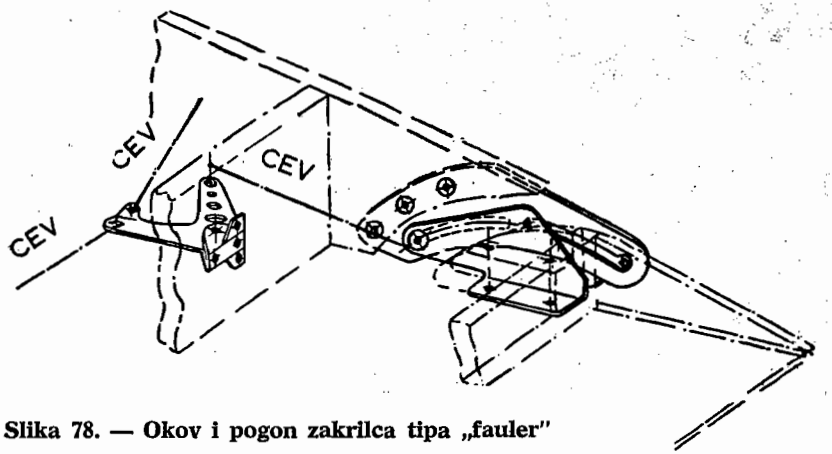
Zakrilca koja se primenjuju kod jedrilica prikazana su na slici 76 u dva položaja: uvučena i izvučena. Po konstrukciji su



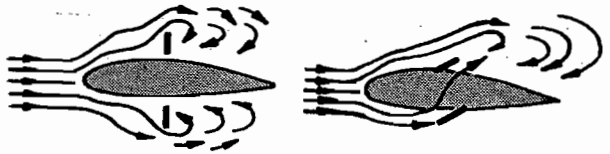
Slika 76. — Tipovi zakrilaca koji se primenjuju na jedrilicama



Slika 77. — Dvodelno zakrilce sa procepom



Slika 78. — Okov i pogon zakrilca tipa „fauler"



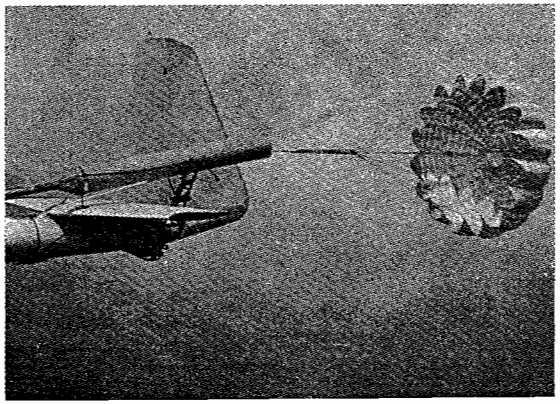
Slika 79. — Dva najčešće primenjivana tipa aerodinamičkih kočnica

potpuno identična krilcima, a način pričvršćenja na krilo je veoma sličan pričvršćenju krilaca. Jedina razlika postoji kod zakrilaca tipa „fauler", gde pri izvlačenju dolazi do povećanja površine krila. Na slikama 77 i 78 date su konstrukcije dvodelnog zakrilca i okovi, kao i pogon zakrilca tipa „fauler".

Aerodinamičke kočnice

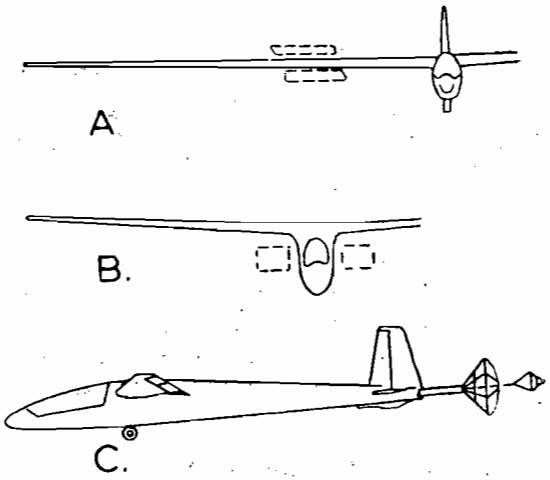
Uloga aerodinamičkih kočnica je da se poveća otpor kretanju jedrilice čime se postiže povećanje vertikalne brzine propodanja, uz istovremeno smanjenje brzine na putanji. Do potrebe za upotrebom aerodinamičkih kočnica dolazi i u slučaju gubitka kontrole jedrilice od strane pilota u oblaku, kada oblak uz povećanu brzinu (kočnice ne dozvoljavaju da se pređe maksimalno dozvoljena brzina) treba što pre napustiti. Pored toga, aerodinamičke kočnice skoro se uvek koriste pri sletanju, a naročito kod kratkih terena, kao i za vreme vuče avionom, kada se za to ukaže potreba.

Aerodinamičke kočnice se u najviše slučajeva nalaze na krilu, a ređe na trupu (sl. 79). Najefikasnije su kočnice na krilu gde i mali poremećaji u opstrujavanju dvode do znatnog povećanja otpora. U težnji da na krilu bude što manje elemenata koji mogu izazvati pogoršanje opstrujavanja u normalnom letu, na nekim jedrilicama je na kraju trupa ugrađen padobran, koji se aktivira u slučaju potrebe (Zefir 2, BJ-2, SHK itd, sl. 80).

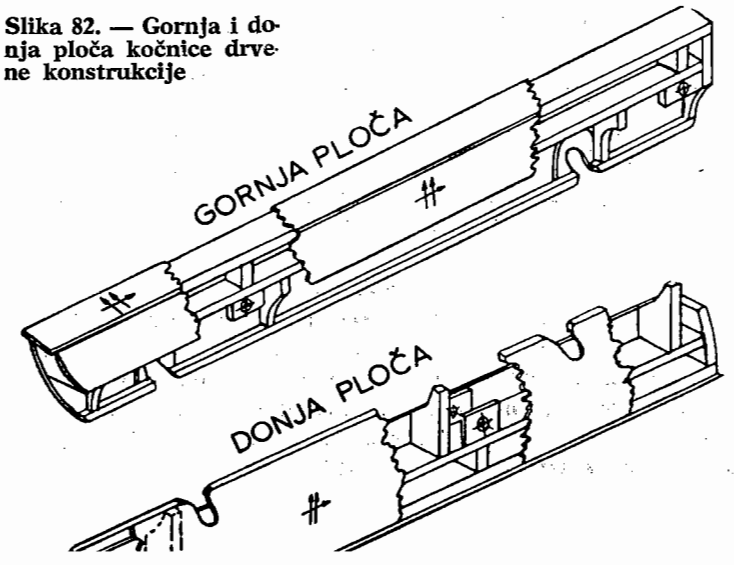


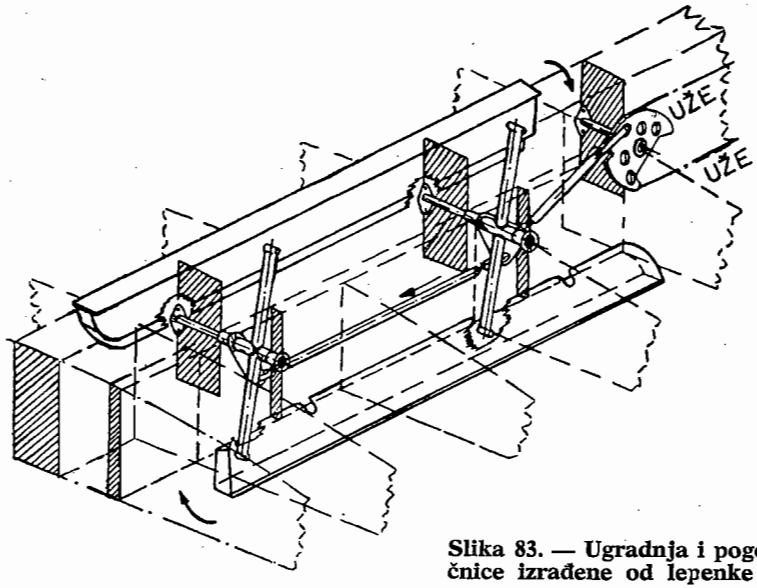
Slika 80. — Ispitivanje efikasnosti padobrana u letu (ovaj tip padobrana je kasnije primenjen na jedrilici „Zefir 2")

Slika 81. — Tipovi aerodinamičkih kočnica: A — na krilu — DFS, B — na trupu, C — padobran na kraju trupa.



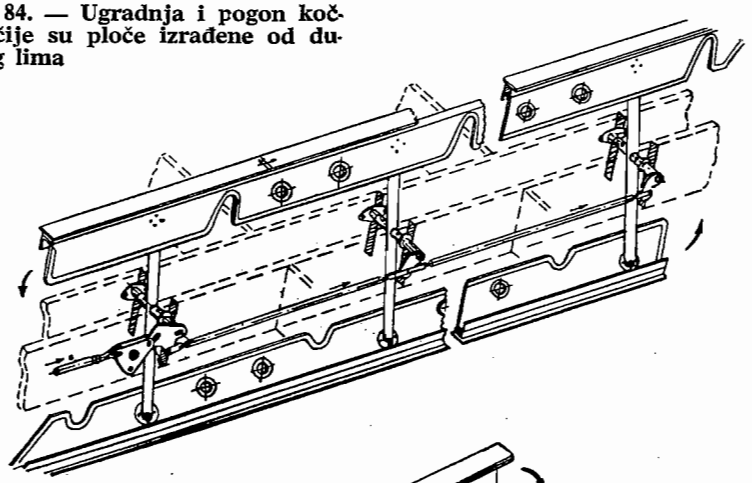
Slika 82. — Gornja i donja ploča kočnice drvene konstrukcije

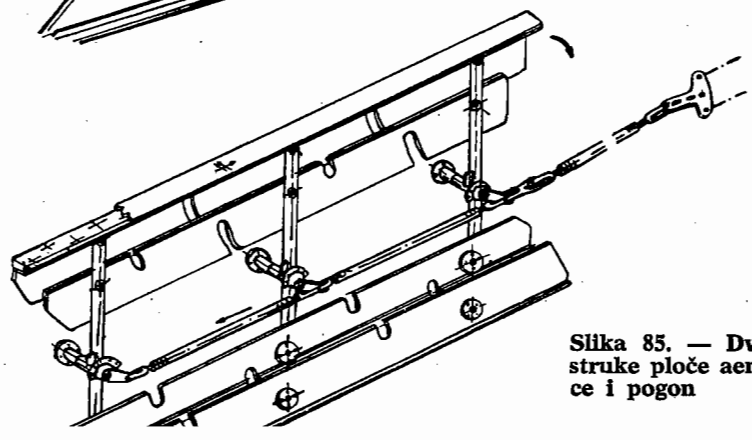




Slika 83. — Ugradnja i pogon kočnice izrađene od lepenke

Slika 84. — Ugradnja i pogon kočnice čije su ploče izrađene od duralnog lima





Slika 85. — Dvostruke ploče aerocе i pogon

Danas se primenjuje nekoliko tipova aerodinamičkih kočnica, kao što je to prikazano na slici 81.

Konstrukcija ploča kočnica može biti drvena ili metalna. Obično su kočnice na jednom krilu sastavljene iz dve ploče (jedna na gornjoj, a druga na donjoj strani krila, slika 82, 83 i 84), a ukoliko je debljina aeroprofila krila mala, često se kočnice izrađuju iz dve ploče (Meteor, Foka), kao što se vidi na slici 85.

Ploče kočnica su svornjakom vezane za nosač, čija je osa obrtanja paralelna uzdužnoj osi trupa. Broj oslonaca ploča kočnice zavisi od razmaha ploče, a najčešće imamo dva ili tri.

Platnena oplata

Nenoseći delovi krila, ukoliko nisu presvučeni lepenkom, prekrivaju se platnom, o čemu je već bilo reči.

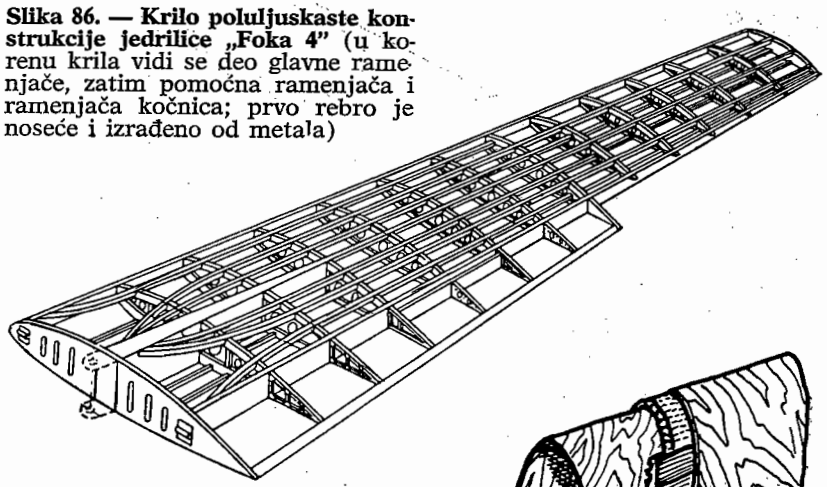
Danas se najčešće teži da celokupna površina krila bude presvučena lepenkom, čime se može dobiti veoma kvalitetna površina, naravno uz nešto povećanu težinu. Pored platna koja su ranije spomenuta, koristi se i najlon. Najlonsko platno se danas najčešće koristi kao presvlaka šperovanog krila, repnih površina ili trupa, a u cilju dobijanja boljeg kvaliteta površine i povećanja nosivosti elemenata.

Poluljuskasto i ljuskasto krilo

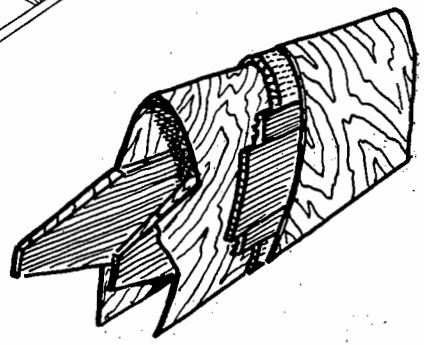
U želji da dobijemo što manju težinu krila (kao i ostalih elemenata jedrilice — trup, repne površine), konstrukcija treba da bude takva da konstruktivni materijal bude najbolje iskorišćen za rad pri opterećenju na savijanje i uvijanje, tj. da materijal radi pri višim naprezanjima.

Ovom zahtevu u najvećoj meri odgovaraju poluljuskaste i ljuskaste konstrukcije, kod kojih je konstruktivni materijal ravnomernije raspoređen po konturi, čime se dobija mnogo veći otporni momenat na savijanje i uvijanje, a ovim se povećavaju kritični naponi.

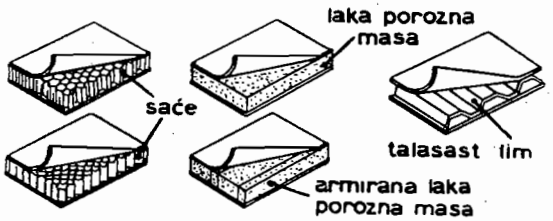
Konstruktivno je moguće da se samo pomoću spoljne kore određene debljine ili uzdužnica i kore potpuno odstrani unutarnja noseća struktura pa će u tom slučaju kora primiti sva opterećenja, tj. opterećenje na savijanje i uvijanje. Međutim, nemoguće je primeniti čistu poluljuskastu ili ljuskastu konstrukciju iz sledećih razloga: nestabilnosti oblika pod dejstvom spoljnjih opterećenja (stoga su potrebna rebra i vertikalni zidovi) i zbog potrebe ugradnje raznih okova kad na tim mestima mora da se izvrši lokalno pojačanje.



Slika 86. — Krilo poluljuskaste konstrukcije jedrilice „Foka 4" (u korenu krila vidi se deo glavne ramenjače, zatim pomoćna ramenjača i ramenjača kočnica; prvo rebro je noseće i izrađeno od metala)



Slika 87. — Struktura krila u sendvič-konstrukciji (između dve oplate od lepenke stavljena je ispuna koja je prikazana na slici 46)

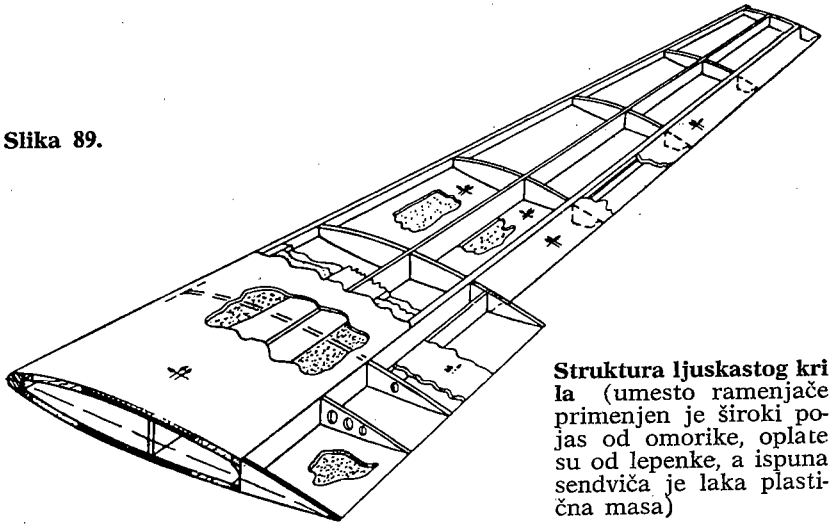


Slika 88. — Vrste ispuna koje se primenjuju kod sendvič-konstrukcija

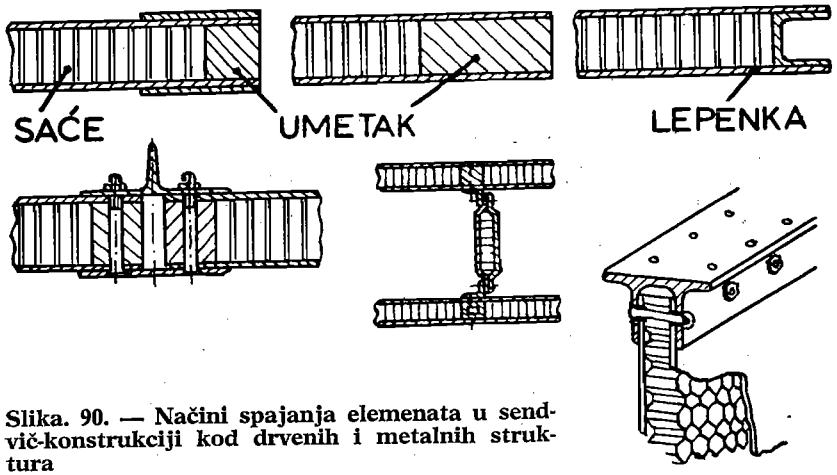
Pri rešavanju strukture konstrukcije krila posebnu pažnju treba posvetiti veličini slobodnih polja oplate, a u vezi sa veličinom kritičnih napona. Da bismo veličinu polja doveli na pravu meru, koristimo se ugradnjom rebara i uzdužnica.

Na slici 86 prikazano je krilo poluljuskaste konstrukcije čija se struktura sastoji iz uzdužnica (stringera), rebara, zadnje pomoćne ramenjače, prednje vertikalne letve i nepotpune kutijaste glavne ramenjače koja preko okova prenosi opterećenja na strukturu trupa. Kod ove konstrukcije prvo noseće rebro je izrađeno od duralnog lima.

Slika 89.



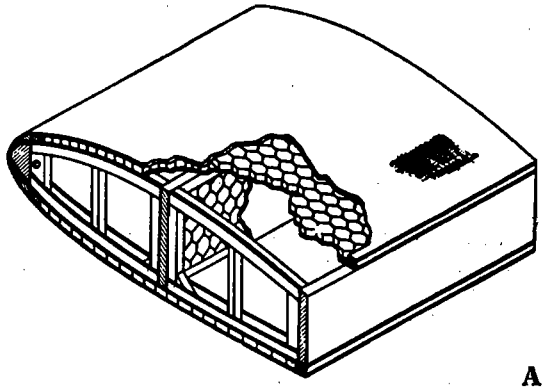
Struktura ljuskastog krila (umesto ramenjače primenjen je široki pojas od omorike, oplate su od lepenke, a ispuna sendviča je laka plastična masa)



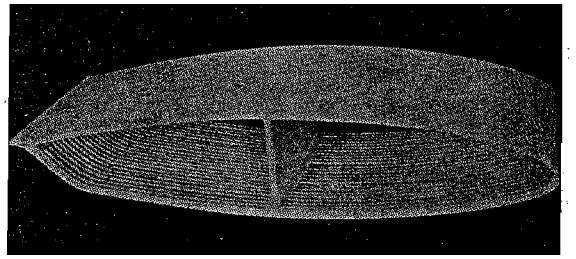
Slika. 90. — Načini spajanja elemenata u sendvič-konstrukciji kod drvenih i metalnih struktura

U daljem razvoju strukture krila učinjen je korak napred, kada je u potpunosti izbačen klasičan tip ramenjače, a umesto uzdužnica primenjen sendvič. Na slici 87 prikazan je sendvič gde se između dva sloja lepenke ubacuje puni drveni materijal (omorika ili balza), a na mestu spoja sa trupom ojačani široki pojas. Pored ove mogućnosti danas se najčešće između dva sloja lepenke stavlja papirno saće, porozna lagana plastična masa ili talasast lim (ako se radi sa metalnom oplatom, slika 88). Na slici 89 prikazana je, u celosti, konstrukcija ljuskastog krila u sendvič-strukturi. Ovde je u cilju smanjenja polja ubačen vertikalni zid. Na mestima spajanja pojedinih elemenata sendvič-strukture ubacuju se umeci (profili ili čaure) koji obezbeđuju potrebnu čvrstoću i krutost ovih delova strukture, što se vidi na slici 90.

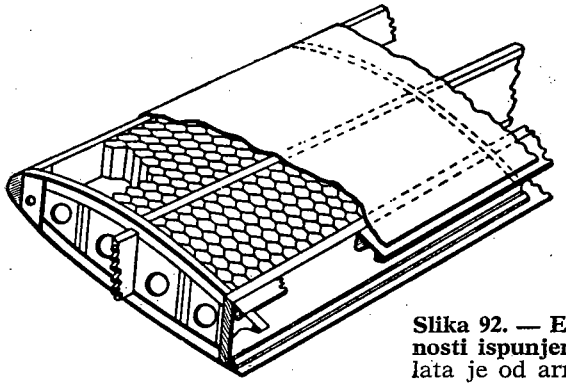
Slika 91A i 91B. — Sendvič - konstrukcija krila kod koje je oplata izrađena od armirane plastike ispuna je za prvi tip papirno saće, a kod drugog laka porozna masa — PVC)



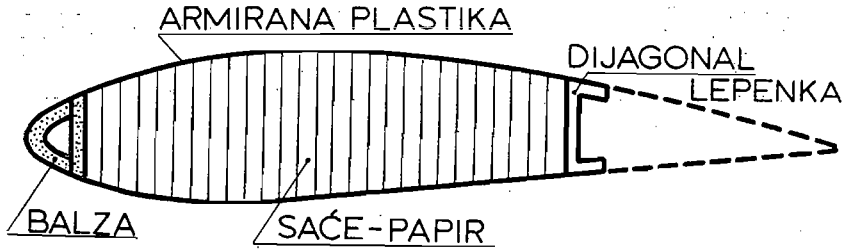
A



B

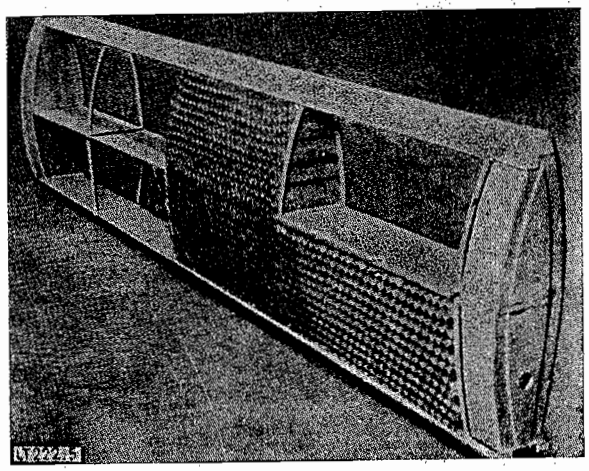


Slika 92. — Elemenat krila u potpunosti ispunjen papirnim saćem (oplata je od armiranog laminata)



Slika 93. — Strukturalni poprečni presek krila

Poslednjih godina umesto oplate od lepenke koristi se armirana plastika — laminat — čime se u znatnoj meri smanjuje težina konstrukcije uz potpuno održanje čvrstoće. Ovde se pojavljuju dva pravca konstruisanja — prvi, koji je identičan prthodnom, odnosno u sendvič-konstrukciji krila oplata od lepenke je zamenjena armiranim laminatom (sl. 91) i, drugi, gde se čitav prostor poprečnog preseka ispunjava papirnim saćem (ili lakim poroznim plastičnim materijalom), a oplata je armirani laminat (slike 92, 93 i 94). Kod obe konstrukcije ugrađen je vertikalni zid radi smanjenja veličine polja oplate.



Slika 94. Ljuskasto krilo ispunjeno saćem (vide se rebra tri vertikalna zida i napadna ivica; slika principijelno odgovara preseku sa slike 93)

Na slici 30 dato je nekoliko primera primene armiranog laminata i sendviča u konstrukciji krila i trupa. Na navedenoj slici oznake predstavljaju:

1 — konstrukcija krila od laminata; 2 — konstrukcija krila u sendvič-sistemu i kombinacija laminat — saće — drvo; 3 — rezervoar za vodu u krilu u sendvič-sistemu; 4 — dvodelno krilo sendvič-sistema sa vertikalno postavljenim saćem; 5 — konstrukcija trupa u sendvič-sistemu sa drvenim pojasevima, i 6 — prednji i zadnji deo trupa u sendvič-sistemu sa drvenim pojasevima.

TRUP

U konstrukciji jedrilica, kao i uopšte kod vazduhoplova, trup služi za smeštaj kabine za posadu, instrumenata, komandi leta i specijalne opreme. Pored toga, trup služi kao veza sa krilom i repnim površinama.

Trup mora da ispuni sledeće zahteve da bi u punoj meri odgovorio svojoj nameni. Ove zahteve možemo da formulišemo na sledeći način:

— oblik konture trupa treba da bude aerodinamičan i sa što manjim čeonim presekom;
— da zadovolji minimalan komfor u letu;
— da prelazi na mestima spajanja trupa sa krilom i repnim površinama budu takvi da stvaraju što manje otpore interferencije;
— da krutost na savijanje i uvijanje bude dovoljna kako bi se obezbedila efikasnost repnih površina;
— da konstrukcija trupa omogući lak ulazak posade u kabinu, a naročito mogućnost brzog napuštanja kabine u slučaju opasnosti;
— dobru vidljivost u svim pravcima, i
— potpuno iskorišćenje unutrašnjeg prostora.

Trup može da se podeli na tri dela. Prednji — u kome se nalazi kabina pilota; srednji (centralni) — koji služi za spajanje krila sa trupom i zadnji — za pričvršćenje repnih površina.

Po tipu konstrukcije trupove možemo da podelimo na tri osnovne vrste:

— *rešetkasti* — bez noseće kore,
— *kutijasti* — sa delimično nosećom korom, i
— *poluljuskasti i ljuskasti.*

Prvi tip se uglavnom gradi od čeličnih cevi, dok se u drvetu, duralu ili plastici mogu graditi sva tri tipa, ali se najčešće grade drugi i treći tip.

Koji će tip konstrukcije biti izabran prvenstveno zavisi od namene jedrilice, o čemu će biti više reči u daljem tekstu.

Na trup u letu ili na zemlji dejstvuju sledeća opterećenja:

— *sila na horizontalnom i vertikalnom repu;*
— *koncentrisane inercijalne sile na mestima pričvršćenja ugrađenih elemenata u trup (instrumentalna tabla, radio-uređaj, kiseoničke boce itd.);*

— *pri poletanju i sletanju, koncentrisane sile na mestu ugradnje stajnih organa (smučka, točak i drljača);*

— *koncentrisane sile koje nastaju pri vuči avionom ili auto-vitlom;*

— *inercijalne sile strukture trupa (ove sile su male pa se zanemaruju);*

— *reakcije krila na trup, kao osnovno opterećenje.*

Krilo koje stvara silu uzgona svakog trenutka leta ili manevra uravnotežava sva vertikalna opterećenja na trup, kao i njihove momente u odnosu na težište jedrilice. Horizontalna opterećenja i momenti se, takođe, uravnotežavaju krilom pošto je krilo kao elemnat velike mase i inertnosti u mogućnosti da stvori dovoljne uravnotežavajuće dinamičke inercijalne sile i momente.

Navedena opterećenja izazivaju sledeća naprezanja konstrukcije trupa:

— *na savijanje i smicanje u vertikalnoj ravni,*

— *savijanje i smicanje u horizontalnoj ravni,*

— *na uvijanje.*

Osnovni elementi strukture trupa i njihova uloga su sledeći.

Oplata ima ulogu da obrazuje površinu povoljnu za opstrujavanje. Isto tako, oplata prima poprečne sile i momenat uvijanja, tj. radi na smicanje.

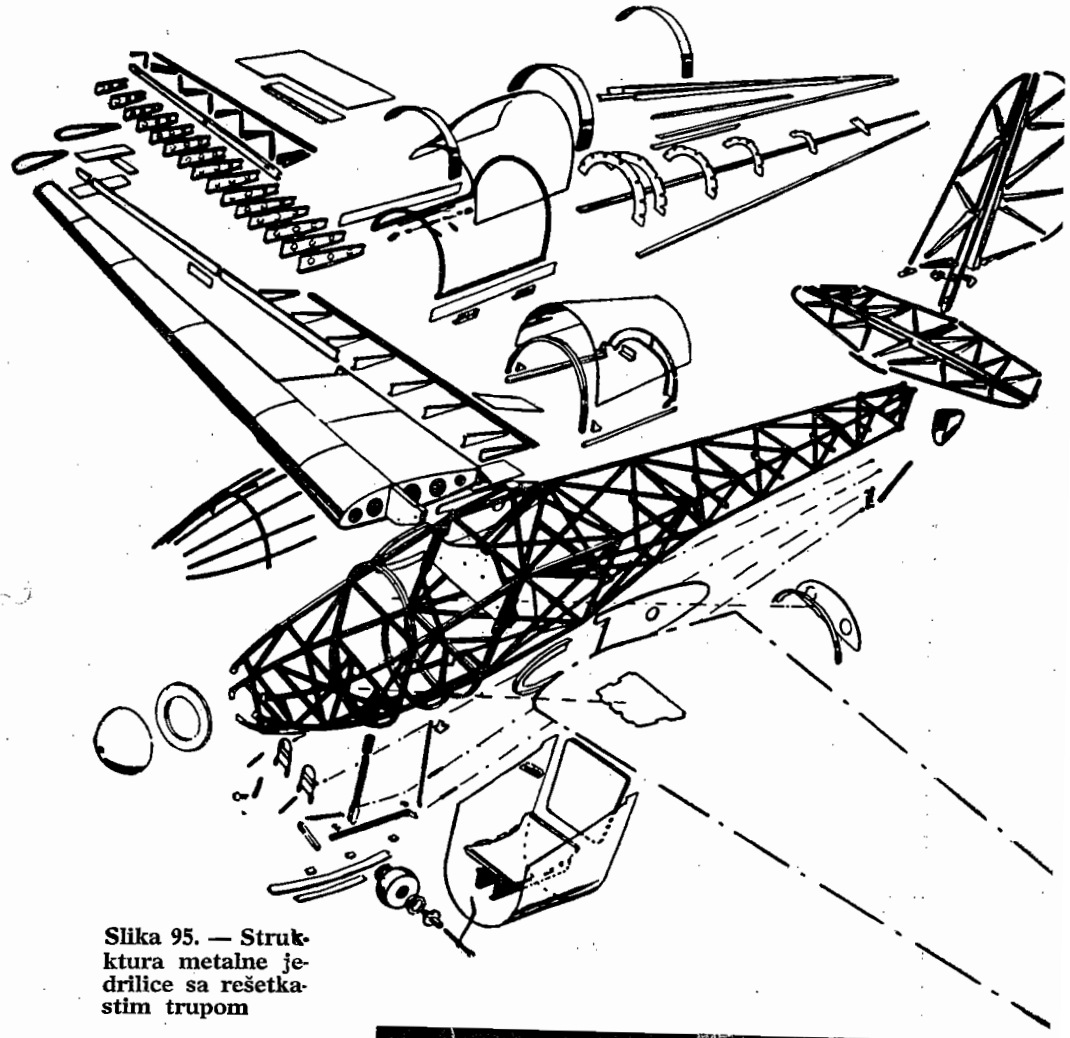
Okviri imaju identičnu ulogu kao i rebra kod krila. Dele se na: *normalne* — čiji je zadatak da daju trupu potreban oblik i da ga sačuvaju tokom delovanja opterećenja, i *noseće* koji primaju opterećenja od drugih elemenata konstrukcije jedrilice.

Uzdužnice mogu da budu noseći elementi trupa i njihova je uloga da prime osne — aksijalne sile, te rade na istezanje ili pritisak, a mogu da budu i nenoseće — kada služe kao oslonac oplate i za prenos opterećenja na okvire.

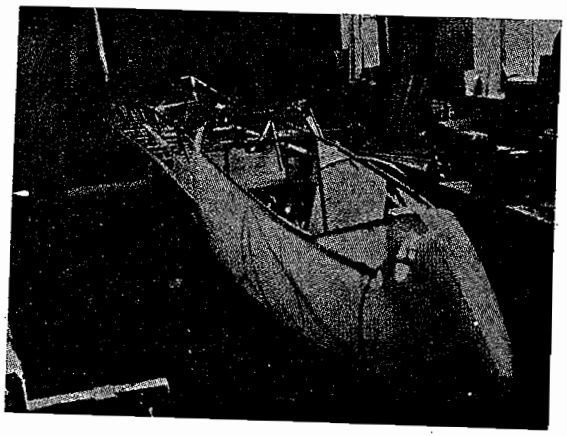
Ramenjače rade na istezanje ili pritisak, a delimično primaju momente koji savijaju trup. U suštini, ramenjače su po uslovima rada slične uzdužnicama, s tom razlikom što su one većih dimenzija.

REŠETKASTI TRUPOVI

Rešetkaste konstrukcije trupova našle su svoju primenu kod školskih i trenažnih jedrilica (Letov 21 i 22, Ilindenka 2 itd.). U poslednje vreme izgrađeno je nekoliko tipova visokosposobnih



Slika 95. — Struktura metalne jedrilice sa rešetkastim trupom



Slika 96. — Metalni rešetkasti trup (u prednjem delu presvučen armiranim laminatom)

jedrilica u kombinovanoj konstrukciji, tj. prednji deo trupa rešetka, a zadnji deo ljuska ili poluljuska. U ovim slučajevima je prednji deo trupa sa spoljnje strane profilisan u ovalan poprečni presek oplatom od armiranog laminata (Brege 905, Šlajher itd.). Rešetkaste konstrukcije kod jedrilica se isključivo rade varenjem, a primenjeni materijal je Cr-Mo čelik. U vertikalnoj ravni čvorovi su ojačani limovima zbog većih opterećenja, što nije slučaj za čvorove u horizontalnoj ravni.

Varene konstrukcije imaju pored niza dobrih i loše osobine. U dobre osobine se ubrajaju: mala težina, prosta i jeftina fabrikacija i veće obezbeđenje pilota u slučaju loma. Loše osobine se ogledaju u zahtevu za prvoklasne varioce, veću kontrolu, skuplje alate i veće probleme ako se zahteva termička obrada (zbog veličine), pa čak i nemogućnost primene ovih obrada, te prema tome materijal iz koga je izrađena rešetka nije racionalno iskorišćen.

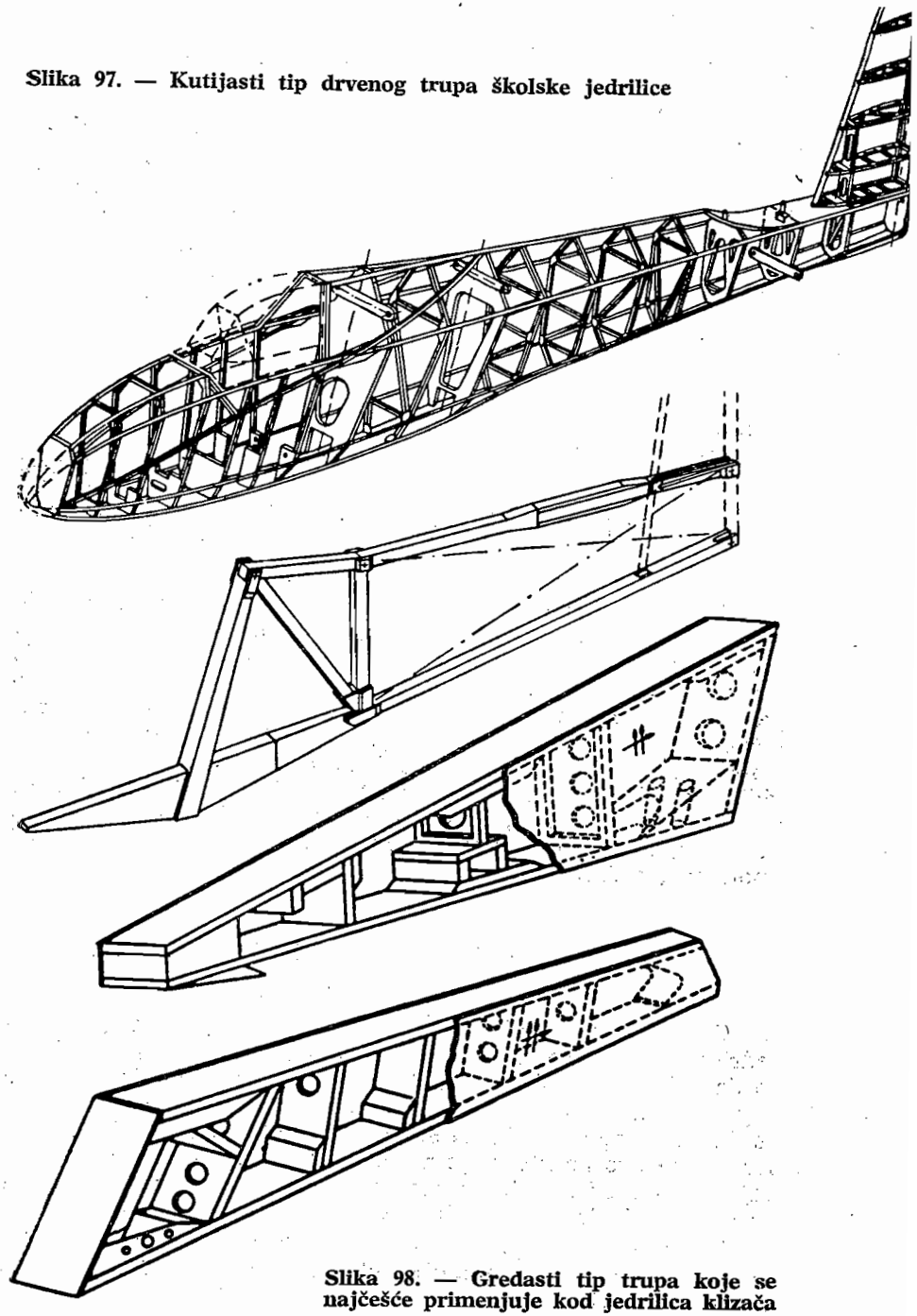
Kako je već napomenuto, kod visokosposobnih jedrilica na rešetku se postavlja profilacija preko koje se postavlja oplata i na taj način dobija aerodinamički oblik. Ova oplata može biti od platna, lepenke, lima ili plastike. Profilacija koja se postavlja na rešetku obično se sastoji od okvira ili poluokvira, koji se pomoću stega pičvršćuju za rešetku, i tankih uzdužnica. Okviri i uzdužnice mogu da se izrađuju od drveta ili metala. Pošto je profilacija u suštini samo nekoristan teret — balast, uobičajeno je da se profiliše samo prednji deo trupa, dok se zadnji presvlači platnom bez ikakve profilacije.

Na slici 95 vidi se kompletna struktura jedrilice „Švajcer 1-26". Rešetkasti trup u svom prednjem i zadnjem gornjem delu je profilisan limom uz pomoć dopunskih poluokvira. Na slici 96 prikazan je trup jedrilice „Šajbe SF-27", kod koje je prednji deo profilisan armiranim laminatom, dok je zadnji deo presvučen platnom.

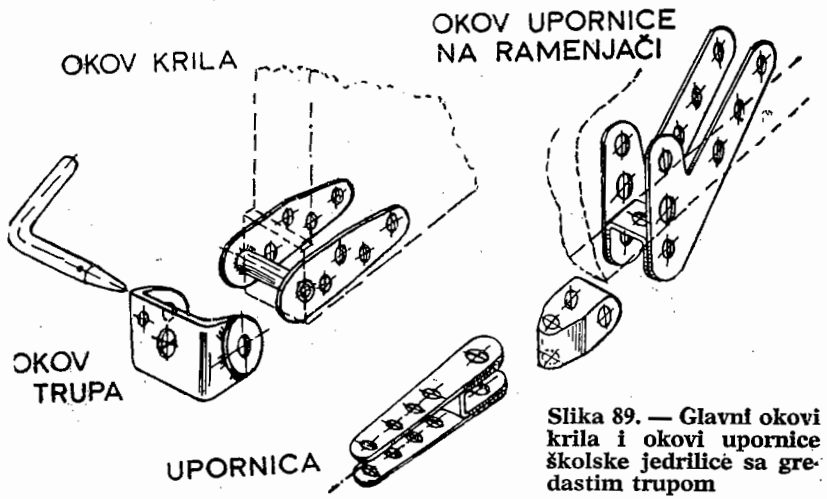
KUTIJASTI TRUPOVI

Kao osnovni elementi kutijastih trupova su jake ramenjače, okviri i delimično noseća oplata. Osnovni noseći elementi koji primaju momente savijanja su ramenjače. Okviri služe radi održavanja konture poprečnog preseka i smanjenja polja oplate, dok oplata radi samo na smicanje i uvijanje. Osim ovoga, između okvira, a naročito na jako opterećenim mestima, postavljaju se dijagonale. U gradnji jedrilica čiji su trupovi kutijastog tipa ovi se najčešće grade od drveta. Poprečni presek trupa je uglavnom mnogougaonik, te se stoga ovaj tip najčešće koristi kod trenažnih jedrilica (Jastreb, Grunau Bebi itd., sl. 97).

Slika 97. — Kutijasti tip drvenog trupa školske jedrilice



Slika 98. — Gredasti tip trupa koje se najčešće primenjuje kod jedrilica klizača



Slika 89. — Glavni okovi krila i okovi upornice školske jedrilice sa gredastim trupom

U kutijaste možemo da uvrstimo i tzv. gredaste trupove. Ovde je širina daleko manja od visine, pa trup dobija pločasti oblik. Gredasti trupovi su veoma lagani, ali im oblik stvara znatno veće aerodinamičke otpore u letu, pošto nisu potpuno zatvoreni lepenkom, već kombinovani sa vertikalama i dijagonalama ravne rešetke. Ovaj tip trupa najčešće se koristi kod školskih jedrilica, a materijal za gradnju može da bude drvo ili čelik. Na slici 98 vidi se opšti izgled gredastog tipa trupa, kao i prednji, odnosno zadnji deo uvećan. Kod ovog tipa trupa, krila jedrilice su obično poduprta, te se na odgovarajućim mestima nalaze okovi krila i upornice (sl. 99).

POLULJUSKASTI I LJUSKASTI TRUP

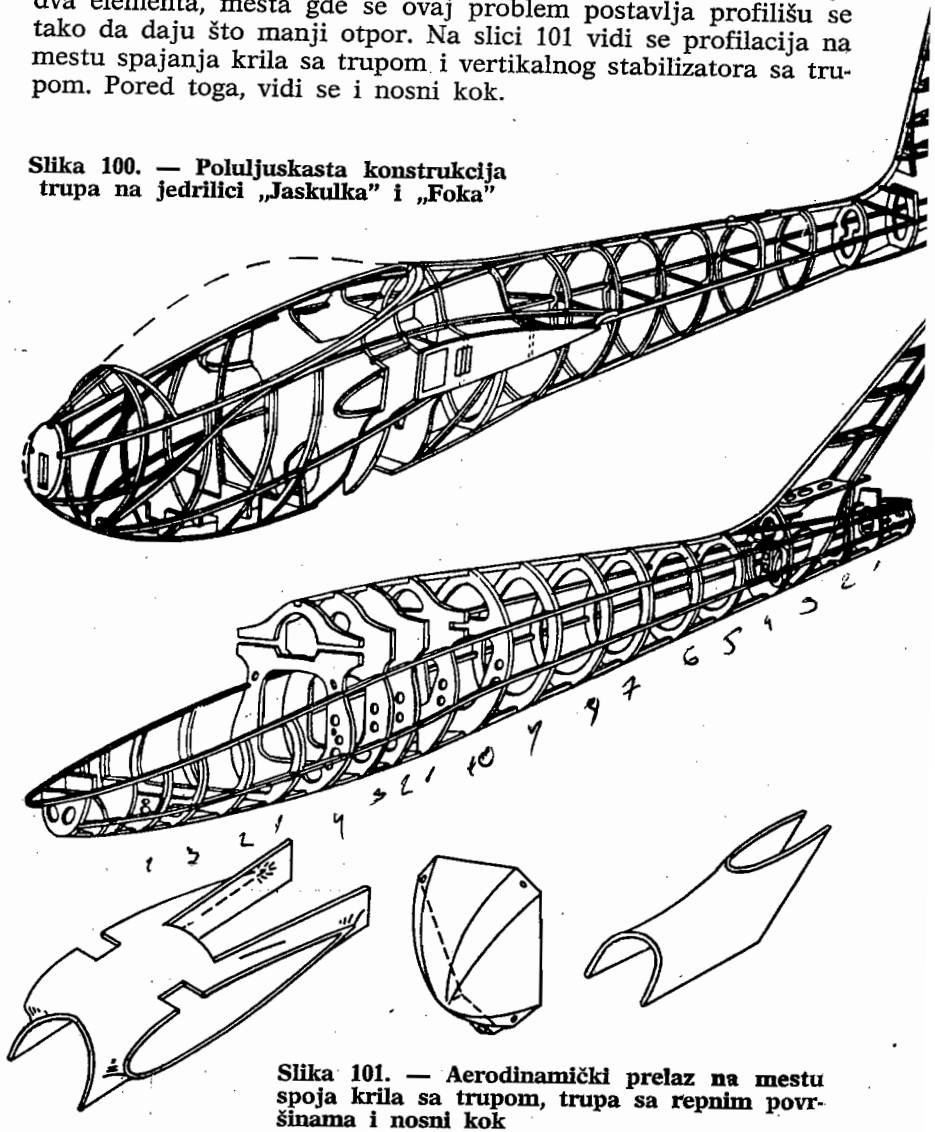
Ovakvi trupovi najčešće se primenjuju kod visokosposobnih jedrilica. Sastoje se iz okvira, uzdužnica i oplate. Uloga uzdužnica je da prime opterećenja usled momenta savijanja. Okviri održavaju oblik, a njihov položaj određuje veličinu polja. Zadatak oplate je da primi opterećenja na smicanje i uvijanje. Na slici 100 prikazane su dve konstrukcije poluljuskastog trupa. Jasno se uočavaju uzdužnice i okviri, kao i mesta za pilota, za pričvršćenje krila i za pričvršćenje horizontalne repne površine.

Poprečni presek je najčešće ovalan ili kružan, jer u najvećoj meri ispunjava zahteve aerodinamike i komfornost smeštaja pilota i ostalih uređaja.

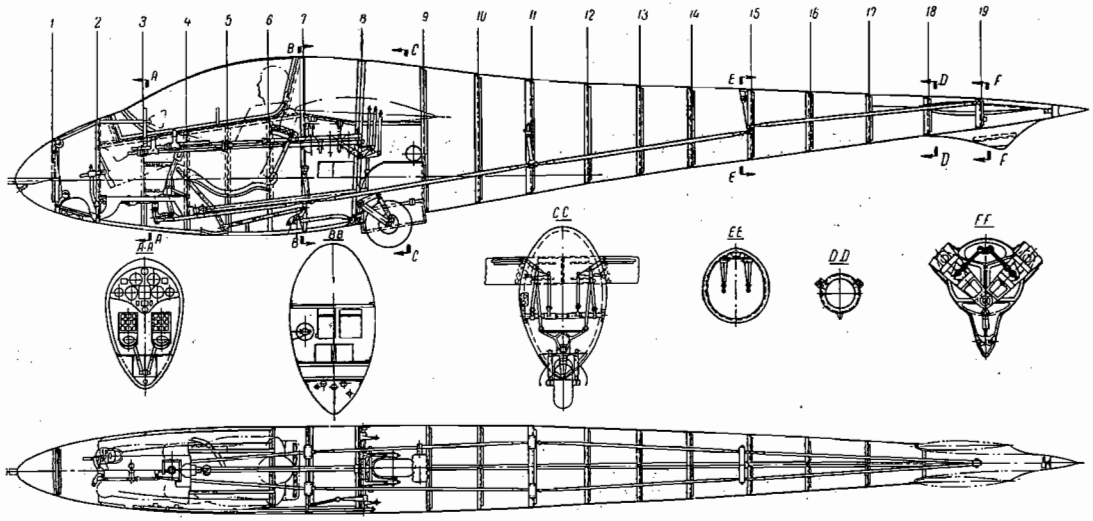
U prednjem donjem delu trupa ugrađuje se kil-lajsna koja služi da poveže prednje okvire i prenese opterećenja nastala pri poletanju i sletanju. Na mestima pričvršćenja kuka za vuču, skije ili točka, krila, repnih površina ili drugih elemenata koji izazivaju koncentrisana opterećenja, struktura trupa mora da se ojača.

U cilju smanjenja otpora interferencije, odnosno međuuticaja dva elementa, mesta gde se ovaj problem postavlja profilišu se tako da daju što manji otpor. Na slici 101 vidi se profilacija na mestu spajanja krila sa trupom i vertikalnog stabilizatora sa trupom. Pored toga, vidi se i nosni kok.

Slika 100. — Poluljuskasta konstrukcija trupa na jedrilici „Jaskulka" i „Foka"



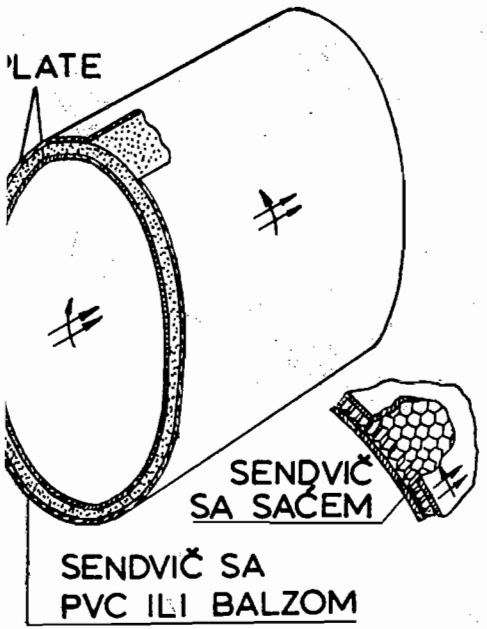
Slika 101. — Aerodinamički prelaz na mestu spoja krila sa trupom, trupa sa repnim površinama i nosni kok

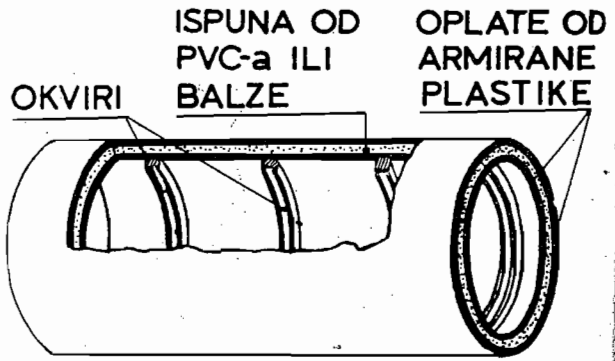


Slika 102. — Trup poluljuskaste konstrukcije jedrilice „A—15"

Slika 103. — Segment ljuskastog trupa bez uzdužnih i poprečnih elemenata ojačanja

Slika 104. — Elemenat trupa kod koga je oplata od armirane plastike, a ispuna od PVC-a ili balze (trup je ojačan poprečnim elementima, odnosno okvirima)





Često se kod ovih trupova prednji deo trupa sa spoljnje i unutrašnje strane konture pokriva armiranim laminatom (Foka, Zefir itd.), na sličan način kao kod rešetkastih trupova.

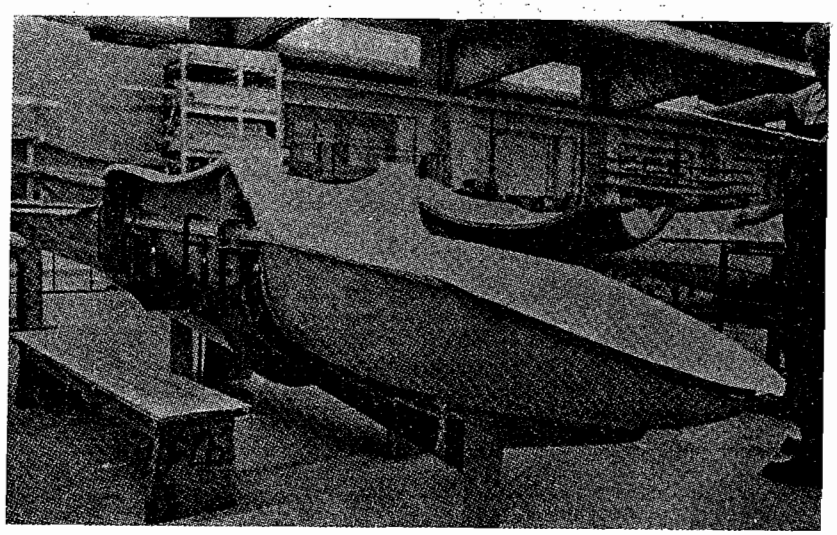
Na slici 102 vidi se trup jedrilice A-15 poluljuskaste konstrukcije, koja se sastoji iz niza okvira (1—19) i oplate koja je ojačana. Pored toga, vidi se i razmeštaj komandi leta, i mesto pričvršćenja „V" leptir repnih površina. Ovaj trup je ceo napravljen od metala.

Kod ljuskastih trupova nemamo uzdužnih elemenata, već sva opterećenja nastala u letu ili na zemlji prima oplata. Ljuskasti trupovi se najčešće izrađuju kao sendvič-konstrukcija (Orao II), pri čemu se između dva sloja lepenke ili armiranog laminata postavlja balza, papirno saće ili porozna penasta masa (sl. 103, 104 i 105). Da bi se smanjilo polje oplate, obično se u trup postavlja nekoliko okvira. Isto tako, na mestu ugradnje pojedinih elemenata komadi ili drugih uređaja u sendvič se postavlja umetak od punog drveta ili metala, ukoliko je ljuskasti trup metalni.



↓A ↑B

Slika 105. A. i B. — Izrada trupa jedrilice „Febus", čija je oplata od armirane plastike, a ispuna od balze

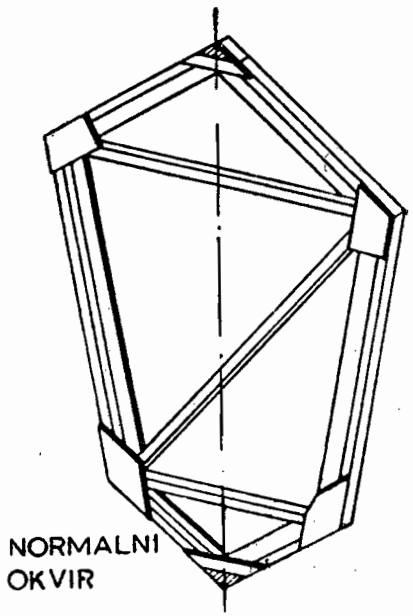


Okviri

Prema ulozi okvire delimo na: normalne, glavne (ili noseće) i poluokvire. Oblik okvira zavisi od zamisli konstruktora i namene jedrilice (školske i trenažne obično imaju mnogougaonik, a visokosposobne i takmičarske — ovalni).

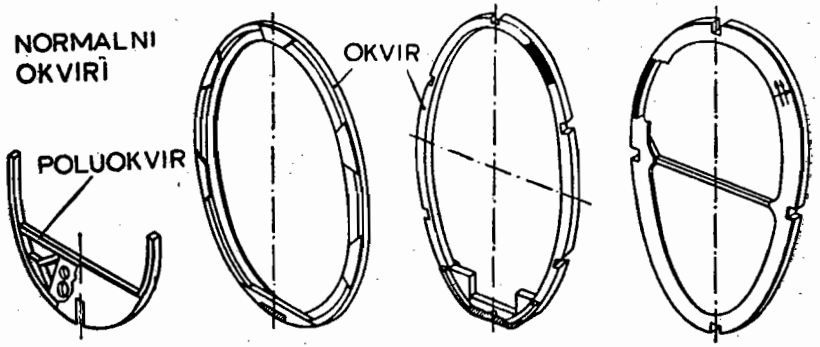
Elementi okvira su: pojas vertikale i dijagonale, ojačanja i oplata okvira. Za izradu su mnogo jednostavniji mnogougaoni okviri.

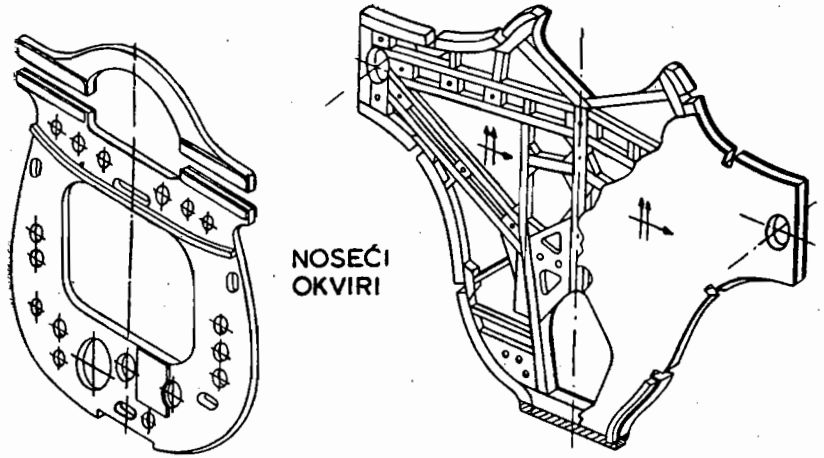
Kao što je rečeno, normalni okviri imaju ulogu da održavaju oblik poprečnog preseka pod dejstvom opterećenja i dovode veličinu polja na onu vrednost koja ispunjava uslov da stvarni naponi u oplati budu manji od kritičnih. Na slikama 106 i 107 prikazano je nekoliko tipova običnih okvira, kao i poluokvir. Poluokviri se nalaze na mesti-



Slika 106. — Normalni okviri i poluokvir (dva nosača okvira)

Slika 107. — Normalni okviri i poluokvir (dva nosača okvira)





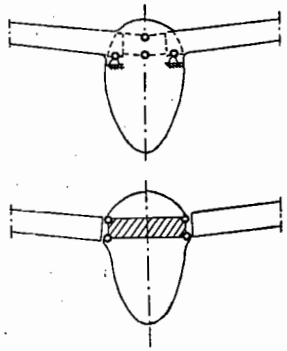
Slika 108. — Normalni okviri i poluokvir (dva nosača okvira)

ma izreza trupa (kabina itd.). Po konstrukciji okviri moraju da budu dovoljno kruti kako ne bi došlo do krivljenja u njihovoj ravni pod dejstvom sila.

Noseći okviri se nalaze na mestima uvođenja koncentrisanih sila u trup — kod glavnog i pomoćnog okova krila, na mestu horizontalnog repa, kuke za vuču avionom itd. Konstrukcija nosećih okvira vidi se na slici 108. Kako su sile koje uvodimo u trup često veoma velike, struktura nosećih okvira mora da bude snažna. To su najčešće kutije sa dva ili više zidova lepenke.

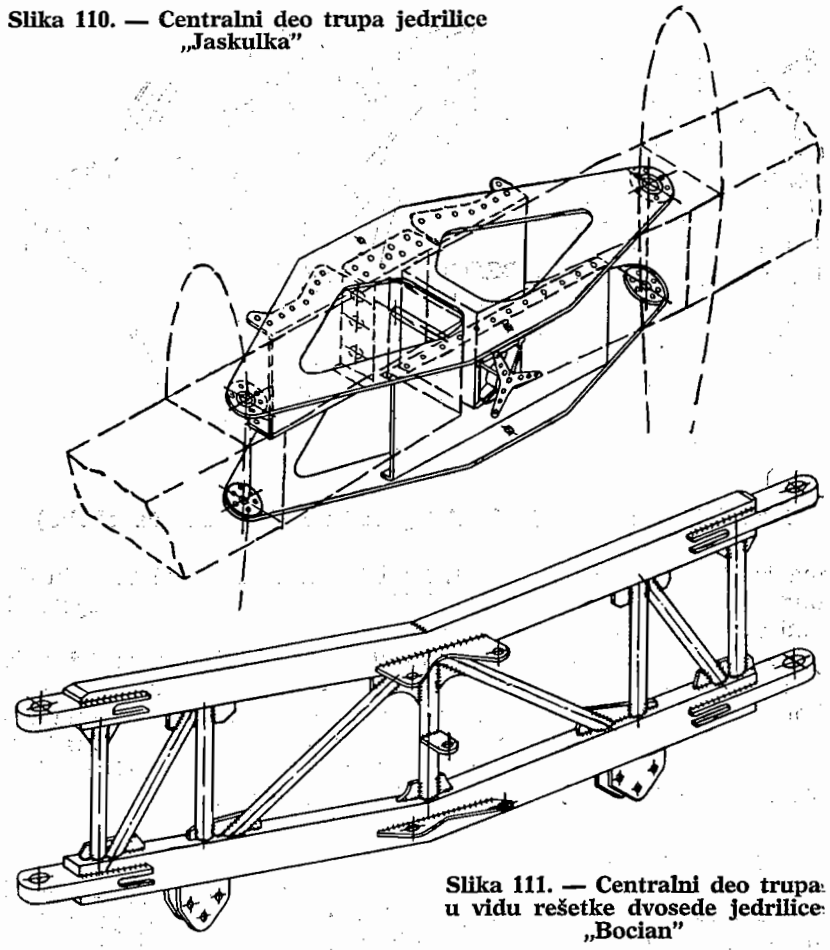
Centralni deo trupa

Služi za vezu krila sa trupom. Uglavnom postoje dva sistema spajanja (sl. 109 i 110). U oba slučaja posmatramo slobodnonoseće krilo. Na slici 109 sile koje se prenose preko glavnih okova, a koje su izazvane normalnim momentom savijanja, postavljaju se u samom krilu ispod koga je obešen trup ili, pak ove sile prima centralni deo trupa (šrafirana površina). Drugi način je prikazan na slici 110 gde je krilo učvršćeno sa trupom preko dva horizontalna svornjaka koja primaju poprečne sile, a nalaze se na ispustima centralne kutije koja je izrađena od čeličnog lima.



Slika 109. — Dva sistema spajanja krila sa trupom

Slika 110. — Centralni deo trupa jedrilice „Jaskulka"

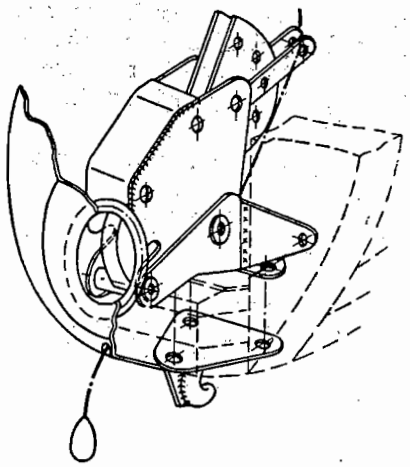


Slika 111. — Centralni deo trupa u vidu rešetke dvosede jedrilice „Bocian"

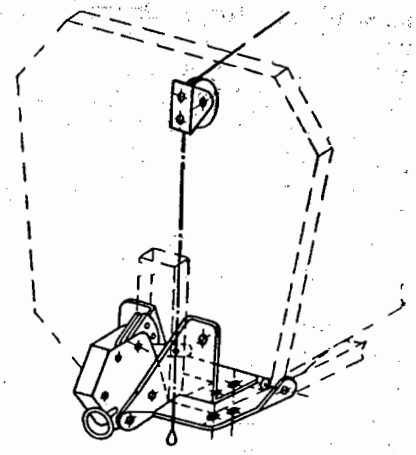
Centralni deo trupa prikazan je i na slici 111 u vidu rešetke i koristi se najčešće kod rešetkastih trupova. Na krajevima se nalaze okovi koji služe za vezu sa krilom, dok se sa donje strane nalaze okovi za vezu sa trupom.

Kuke za vuču

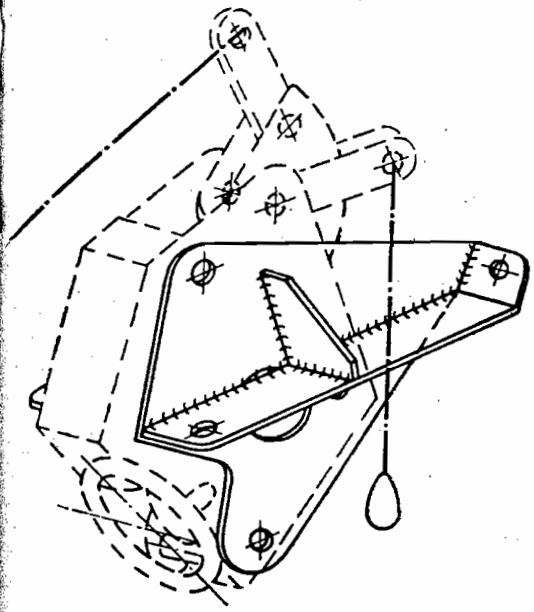
Kuke na jedrilici služe da omoguće poletanje, pri čemu koriste avion ili vitlo. Uobičajeno je da na jedrilici postoje dve kuke. Prednja kuka (sl. 112), koja je ugrađena na prvom okviru, koristi se za vuču avionom. Posebnim limenim okovom kuka se vezuje



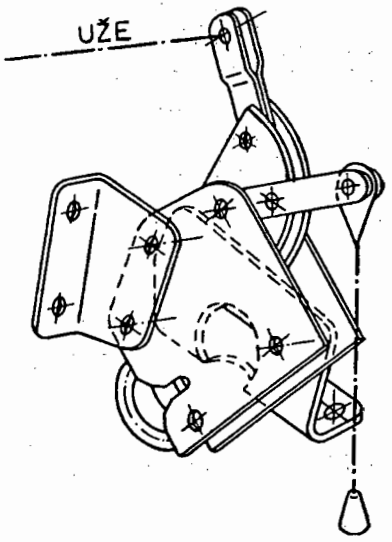
Slika 112A. — **Prednja kuka za vuču avionom i kuka za startovanje pomoću gume** (vide se i okovi za učvršćenje sa trupom i okvirom)



Slika 112B. — **Prednja kuka i komande za aktiviranje** (uočljivi su i okovi za vezivanje sa okvirom i trupom.



Slika 113. — **Poluležišna kuka**



Slika 114. — **Jedinstvena kuka za vuču avionom i startovanjem pomoću vitla**

za strukturu trupa. Druga kuka ili tzv. polutežišna kuka (sl. 113) ugrađuje se bliže težištu jedrilice i koristi se za startovanje pomoću autovitla. Često, a naročito kod dvosedih jedrilica, ugrađuju se po dve polutežišne kuke, i to sa obe strane trupa, da bi rezultanta vučne sile prolazila kroz težište jedrilice, čime je izbegnuta pojava momenta skretanja usled vučne sile.

Danas se veoma često kod visokosposobnih i takmičarskih jedrilica ugrađuje samo jedna kuka koja služi za vuču avionom ili vitlom. Ova kuka (sl. 114) najčešće se ugrađuje na donjoj desnoj strani trupa, a pored kil-lajsne i okvira ili na rešetki centralnog točka.

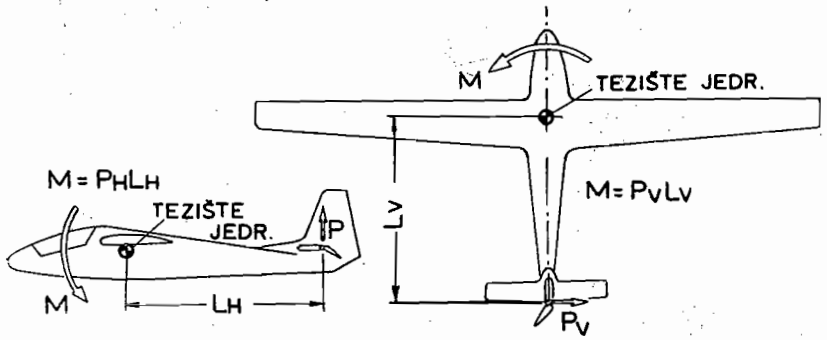
Aktiviranje kuka vrši se jedinstvenom komandom iz kabine pilota. Jedan kraj užeta je pričvršćen na kuku, a drugi preko rolnica na rukohvat ili kuglu koja se nalazi u kabini pilota (sl. 188) — bilo na instrumentalnoj tabli ili na bočnoj levoj unutrašnjoj strani trupa.

REPNE POVRŠINE

Uloga repnih površina je da stvore uravnotežavajuće momente oko težišta jedrilice i da omoguće upravljanje. Kod današnjih konstrukcija jedrilica, repne površine možemo da podelimo na:

— *horizontalne,*
— *vertikalne i*
— *„V" ili leptir rep.*

Prva dva tipa repnih površina smatraju se klasičnim tipom i uvek idu zajedno. Poslednji tip je celina za sebe, tj. ima ulogu i horizontalnih i vertikalnih površina.



Slika 115. — Uticaj otklona repnih površina na položaj jedrilice u prostoru

Poprečni presek repnih površina uvek je simetričan aeroprofil. Sila koja se javlja pri pokretanju repnih površina izaziva promenu položaja jedrilice u prostoru, što se vidi na slici 115.

HORIZONTALNE REPNE POVRŠINE

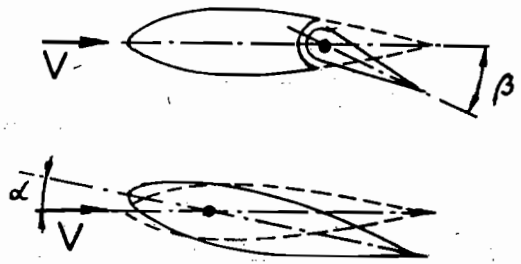
Pored uzdužne stabilnosti, horizontalne repne površine imaju i zadatak da u letu stvore potrebni momenat oko poprečne ose jedrilice, a u cilju promene položaja u prostoru. Kod jedrilica se primenjuju dva tipa horizontalnih repnih površina: dvodelne (stabilizator i kormilo) i jednodelne (samo kormilo; strani nazivi: ol muving ili pendl, sl. 116). Usled otklona kormila ($\pm\beta$), kod dvodelnih površina menja se efektivni napadni ugao, što izaziva porast ili opadanje aerodinamičke sile na repnoj površini. Kod jednodelnih horizontalnih repnih površina promena napadnog ugla ostvaruje se okretanjem ($\pm\alpha$) čitave repne površine oko obrtne ose.

Prema položaju postavljanja horizontalnih repnih površina u odnosu na trup, one mogu da budu: niske (Delfin, Trener, Cirus, Zefir 3 itd.), srednje (Jadran, Split, Vasama itd.) i visoke (D-36, KAI-19, Febus itd.) ugradnje.

S obzirom na aerodinamičke osobine i eksploatacione karakteristike, najpovoljnija je visoka ugradnja, uglavnom zbog postavljanja horizontalne repne površine van uticaja turbulentne struje vazduha iza krila i nemogućnosti da dođe do udara i loma pri sletanju u visoku travu ili neravnu površinu.

Horizontalne repne površine, bilo dvodelne ili jednodelne, mogu da se izrađuju iz dve polovine ili iscela. Šta će biti primenjeno zavisi od mesta ugradnje na trup i među odnosa sa vertikalnim površinama.

Osnovni elementi dvodelnih horizontalnih repnih površina su: horizontalni stabilizator, kormilo visine, trimer, okovi i šarniri, a kod jednodelnih horizontalnih repnih površina — kormilo, kontra trimer — fletner sa šarkama i okovi.

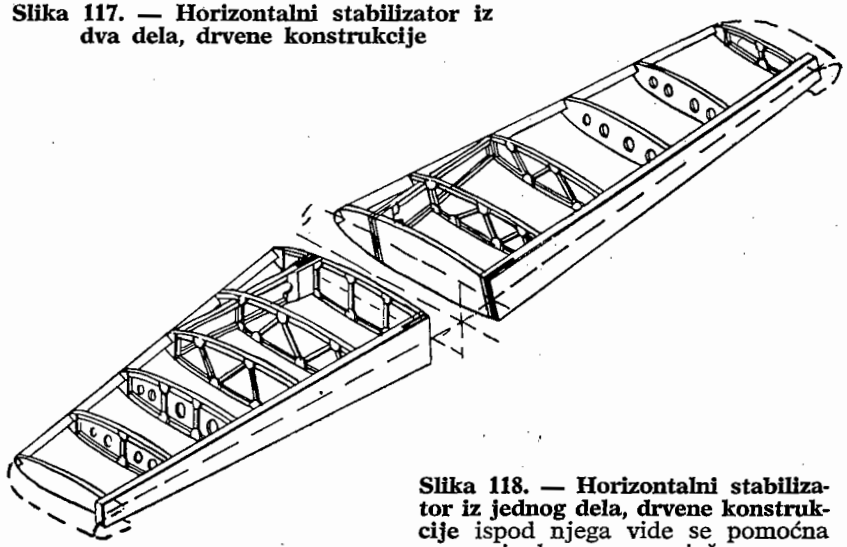


Slika 116. — Dva tipa horizontalnih repnih površina: dvodelne i jednodelne

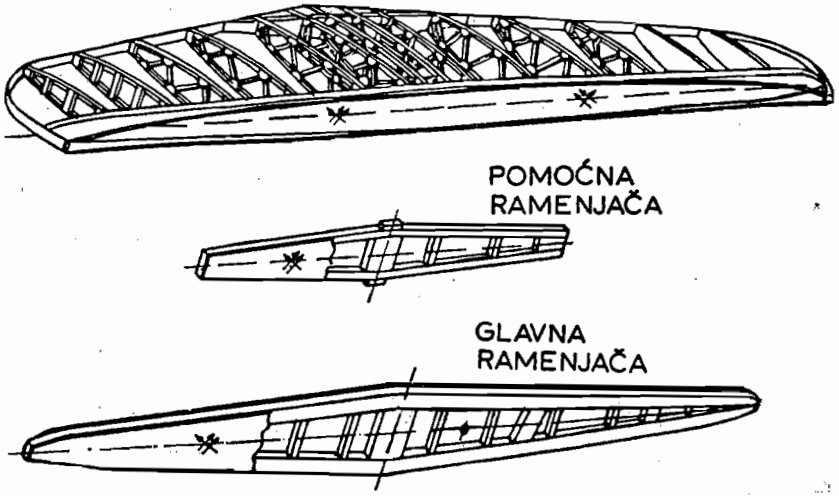
Horizontalni stabilizator i okovi

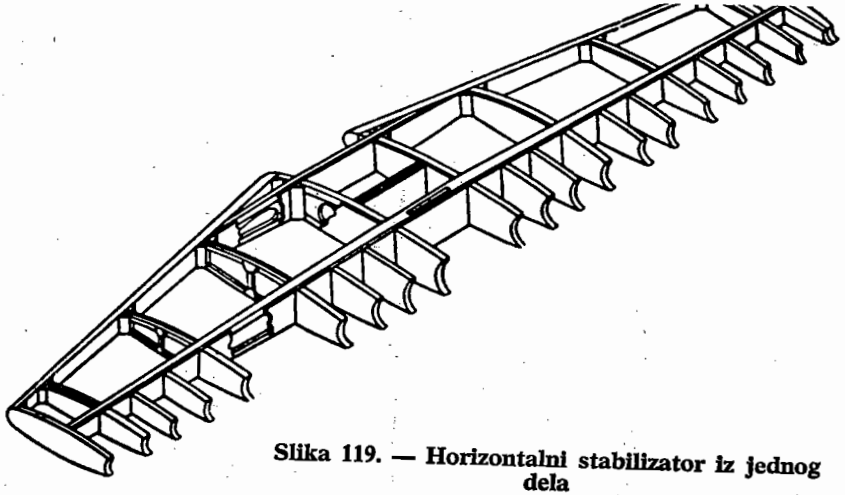
Struktura horizontalnog stabilizatora je slična strukturi krila. Osnovni elementi su: glavna i pomoćna ramenjača, rebra i oplata. Uloga elemenata je identična ulozi odgovarajućih elemenata u konstrukciji krila. Na slikama 117, 118 i 119 vidi se struktura horizontalnog stabilizatora, kao i elementi. Učvršćenje horizontal-

Slika 117. — Horizontalni stabilizator iz dva dela, drvene konstrukcije



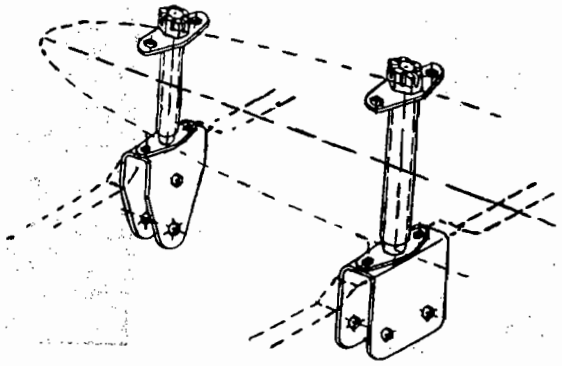
Slika 118. — Horizontalni stabilizator iz jednog dela, drvene konstrukcije ispod njega vide se pomoćna i glavna ramenjača



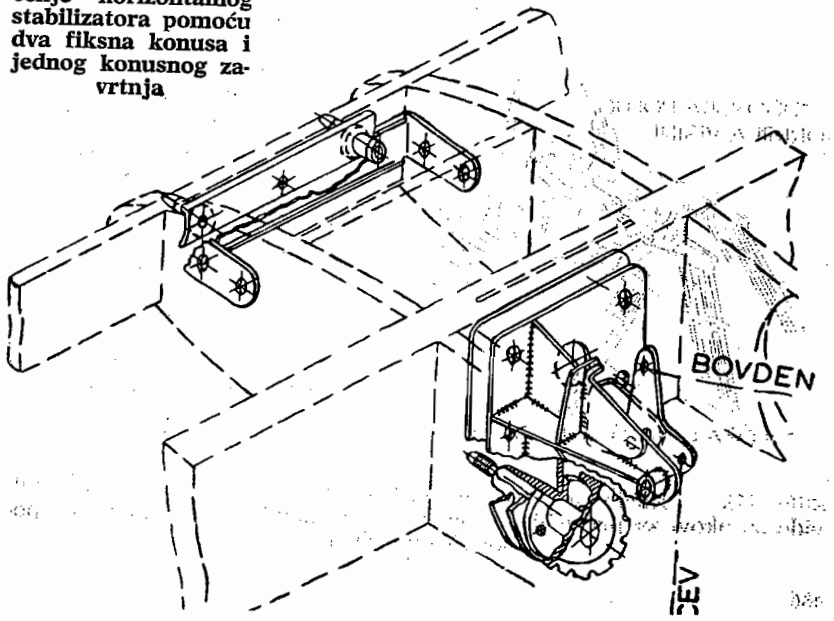


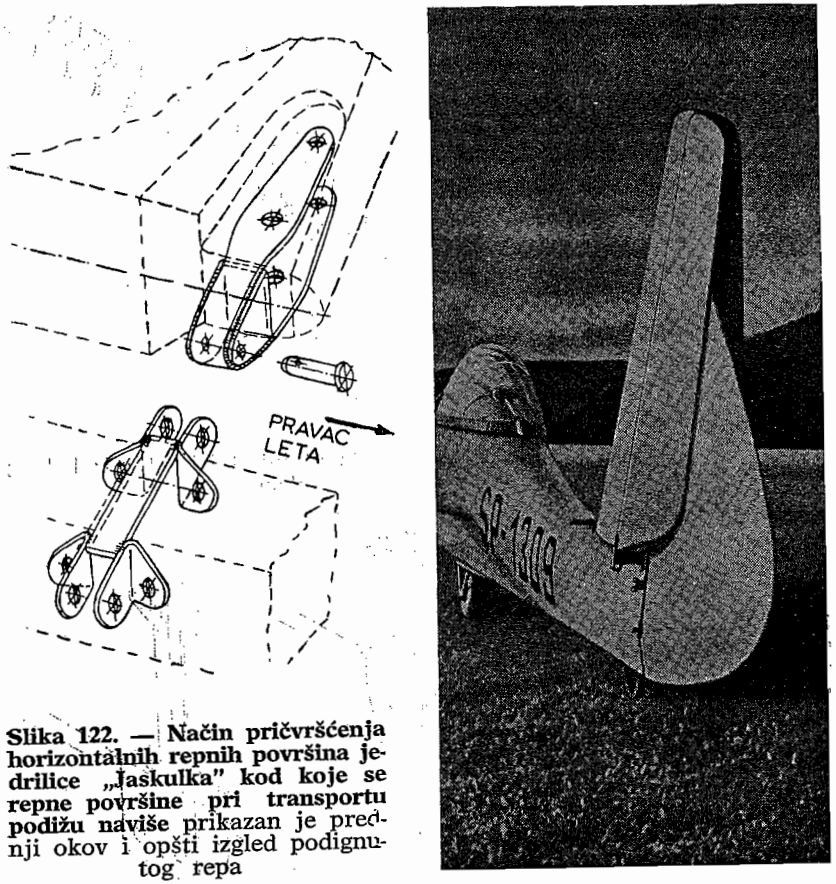
Slika 119. — Horizontalni stabilizator iz jednog dela

Slika 120. — Učvršćenje horizontalnog stabilizatora pomoću dva vertikalna zavrtnja

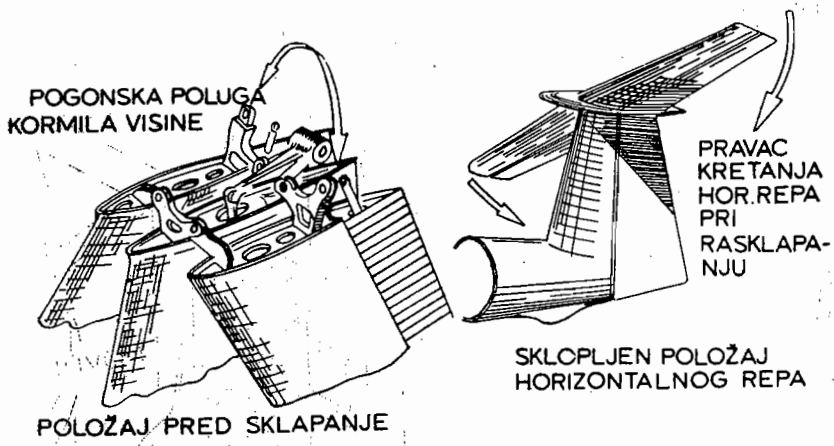


Slika 121. — Učvršćenje horizontalnog stabilizatora pomoću dva fiksna konusa i jednog konusnog zavrtnja





Slika 122. — Način pričvršćenja horizontalnih repnih površina jedrilice „Jaskulka" kod koje se repne površine pri transportu podižu naviše prikazan je prednji okov i opšti izgled podignutog repa



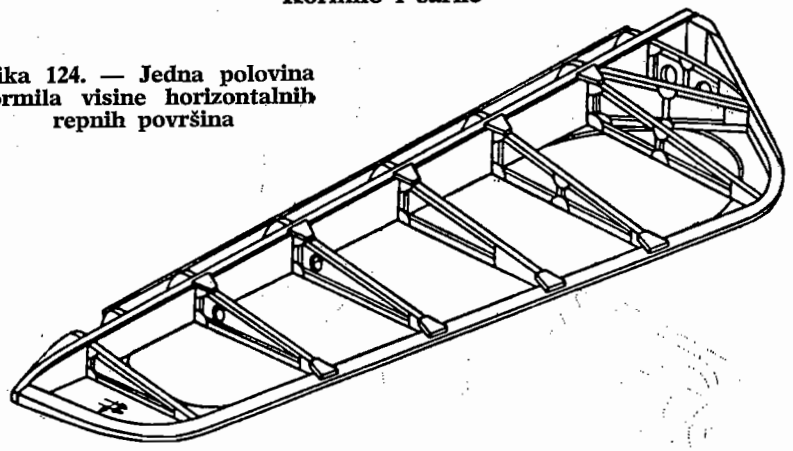
Slika 123. — Način pričvršćenja horizontalnog repa jedrilice „KaI-19" vide se okovi za pričvršćenje na vertikalni stabilizator i pogonska poluka krmne visine

nog stabilizatora prikazano je na slikama 120 i 121. Na glavnu ramenjaču postavlja se okov, koji obično ima dva oslonca, dok se na prednjem delu stabilizatora (na pomoćnoj ramenjači) nalazi okov koji predstavlja prednji oslonac. Pored ovoga, moguća je i obrnuta kombinacija oslonaca, tj. napred dva a pozadi jedan oslonac. Radi pojednostavljenja transporta ostvarena je konstrukcija gde se obe polovine horizontalnog stabilizatora podižu naviše ili naniže, a pričvršćuju se u tom položaju na vertikalni stabilizator (sl. 122 i 123).

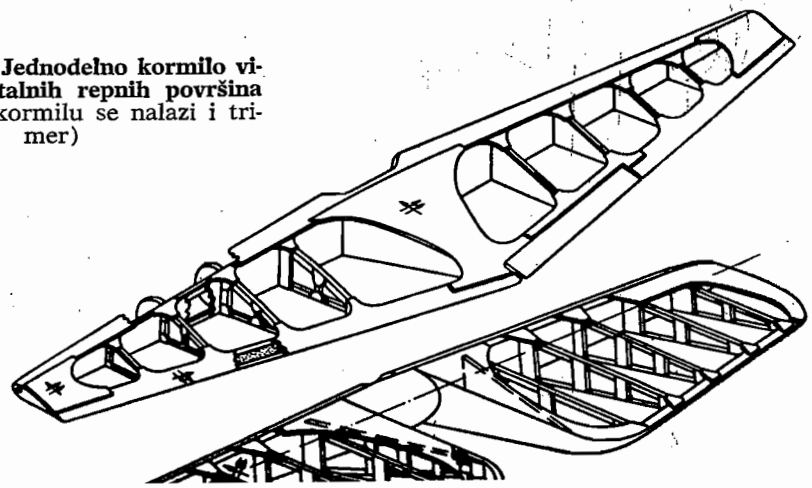
Kod pojedinih konstrukcija horizontalni stabilizator ima ulogu trimera (Orao, Meteor itd.). Da bi se omogućila ova uloga, okovi na glavnoj ramenjači izrađuju se tako da omogućuju okretanje stabilizatora oko svornjaka okova kao ose obrtanja, dok se na mestu prednjeg okova postavlja komanda trimera.

Kormilo i šarke

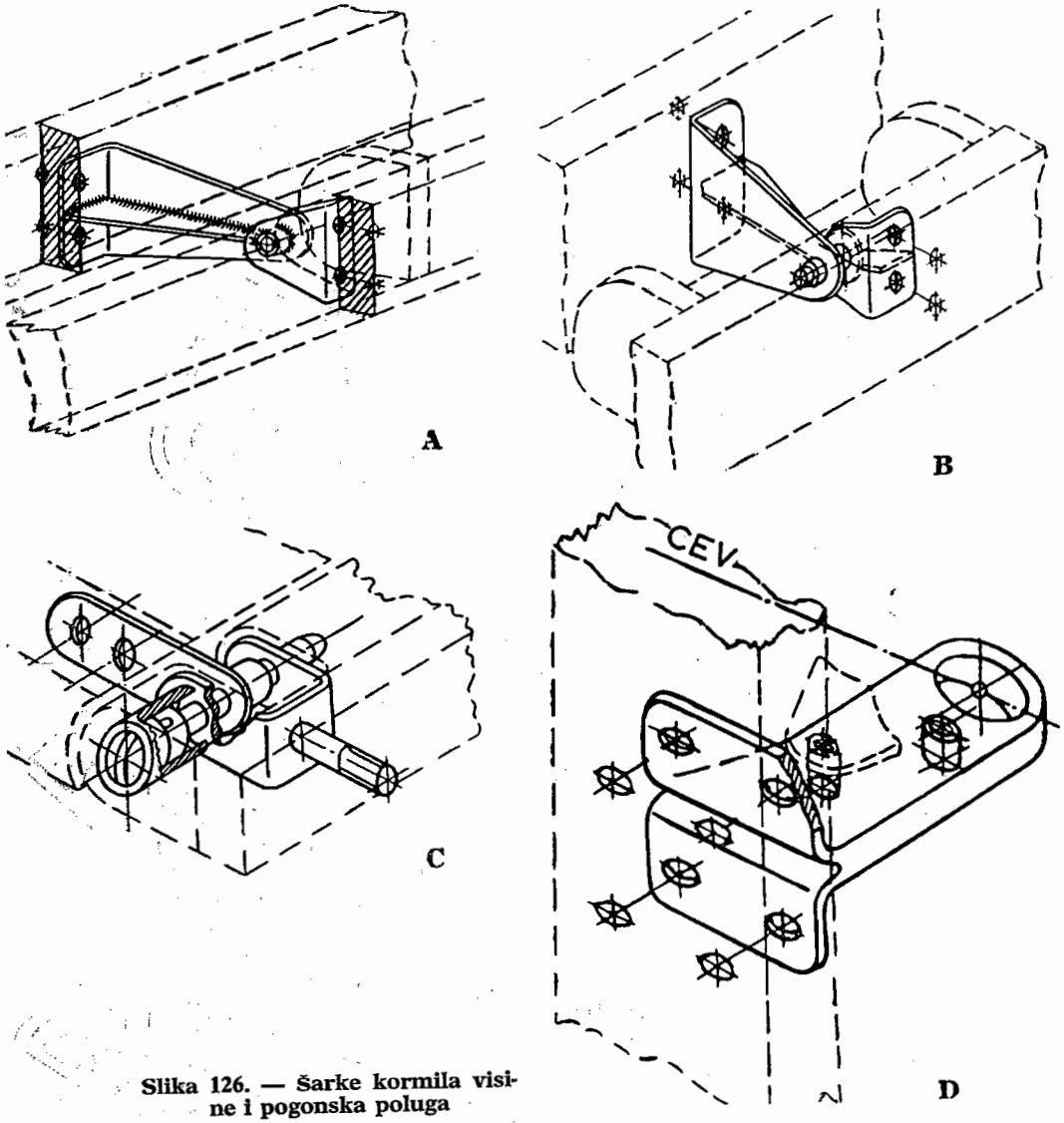
Slika 124. — Jedna polovina kormila visine horizontalnih repnih površina



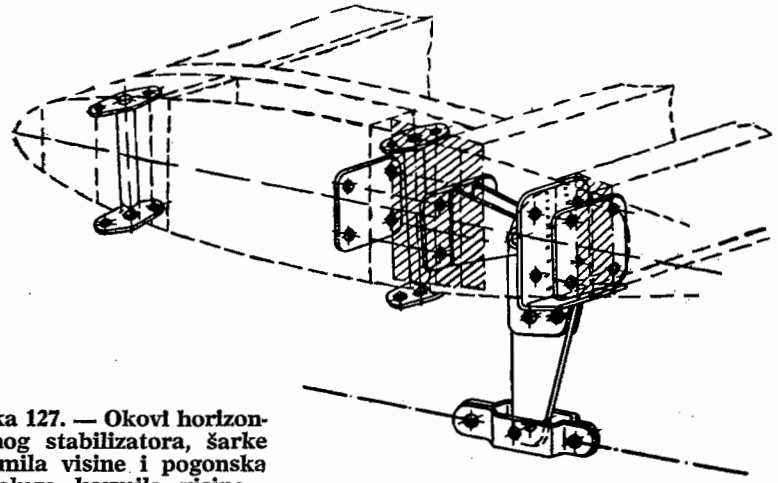
Slika 125. — Jednodelno kormilo visine horizontalnih repnih površina (Na prvom kormilu se nalazi trimer)



Kormilo je pokretan deo horizontalne repne površine, a sastoji se od: ramenjače, rebara, torzionog nosa, oplate i izlazne ivice. Torzioni nos prima torziona opterećenja, ramenjača momente savijanja, a ostali elementi imaju istu ulogu kao i kod krila. Kormilo visine može da bude izrađeno iz dve polovine ili iscela (sl. 124 i 125).



Slika 126. — Šarke kormila visine i pogonska poluga



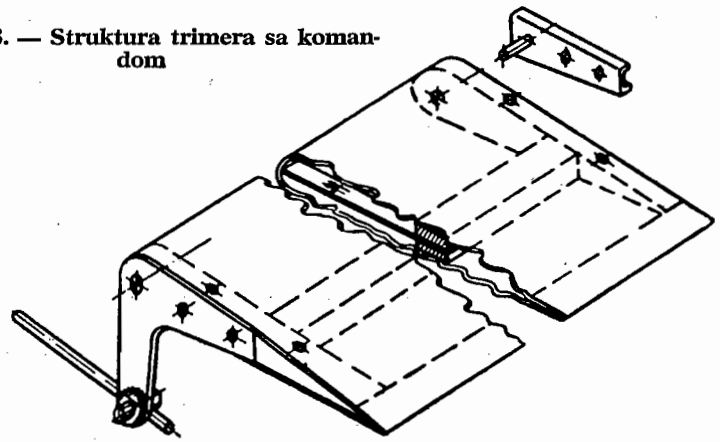
Slika 127. — Okovi horizontalnog stabilizatora, šarke kormila visine i pogonska poluga kormila visine

Kormilo visine se učvršćuje na horizontalni stabilizator pomoću šarki. Uobičajeno je da se postavlja tri ili pet šarki, što zavisi od vitkosti kormila i opterećenja. Osim toga, broj šarki zavisi i od krutosti kormila. Na srednjoj šarki obično se nalazi pogonska poluga koja je spojena sa komandom visine u trupu. Na slikama 126 i 127 prikazano je nekoliko tipova šarki i pogonska poluga.

Trimer

Zadatak trimera je da smanji silu na komandi visine i da na taj način rastereti pilota (trimovanje), naročito pri dužim letovima i pri jedrenju. Ugrađuje se na horizontalno kormilo, a najčešće između dva rebra. Obično se sastoji iz male ramenjače, nekoliko rebara i oplate (sl. 128). Na kormilo se pričvršćuje pomoću šarki, a pogonska poluga je na mestu jedne od šarki.

Slika 128. — Struktura trimera sa komandom

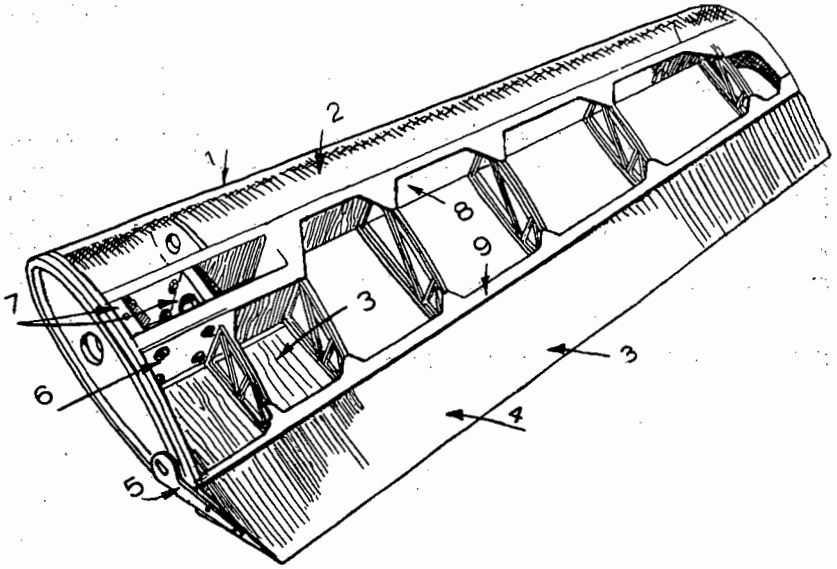


Jednodelne horizontalne repne površine

Da bi se smanjio otpor i težina visokosposobnih i takmičarskih jedrilica, primenjuju se horizontalne repne površine bez stabilizatora — samo kormilo čija osovina obrtanja prolazi kroz aerodinamički centar površine. Ova repna površina mora da bude snabdevena kontratrimerom (otklon u istom smeru kao i otklon kormila) radi stvaranja sile na komandi visine i trimovanja u toku leta.

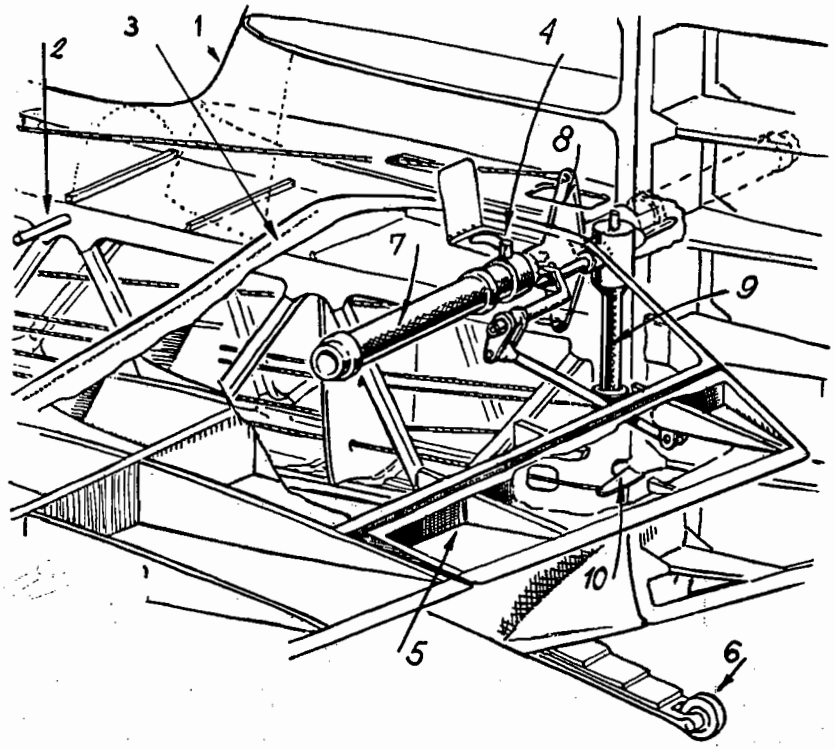
Struktura se sastoji iz ramenjače koja prima momenat savijanja i transverzalnu silu, oplate koja prima momenat torzije i rebara koja služe za održavanje konture i smanjenje dužine polja. Osim ovoga, u strukturi kormila može da se predvidi i pomoćna ramenjača.

Ove repne površine mogu da se grade iz dve polovine ili izjedna. Od ovih uslova zavisi i način pričvršćenja na strukturu trupa. Na slikama 129 i 130 vidi se struktura, trimer i okovi jednodelne horizontalne repne površine.



Slika 129. — Konstrukcija i struktura jednodelnih horizontalnih repnih površina:

1. — napadna ivica, 2. — torzioni nos od armiranog laminata, 3. — oplata od brezove lepenke, 4. — trimer, 5. — pogonska poluga trimera, 6. — dopunska ramenjača, 7. — oslonci repne površine, 8. — glavna ramenjača, 9. — pomoćna ramenjača.



Slika 130. — Ugradnja jednodelnih repnih površina:

1. — prelaz od armirane plastike, 2. — fiksni rukohvat, 3. — statička kompenzacija horizontalnih površina, 4. — svornjak za vezu repa sa nosačem cevi, 5. — trimer, 6. — drljača sa točkićem, 7. — noseća cev ugrađena u trup, 8. — pogonska poluga horizontalnog repa, 9. — mehanizam pogona trimera, 10. — pogon krme pravca.

ELIOT TIP 465

VERTIKALNE REPNE POVRŠINE

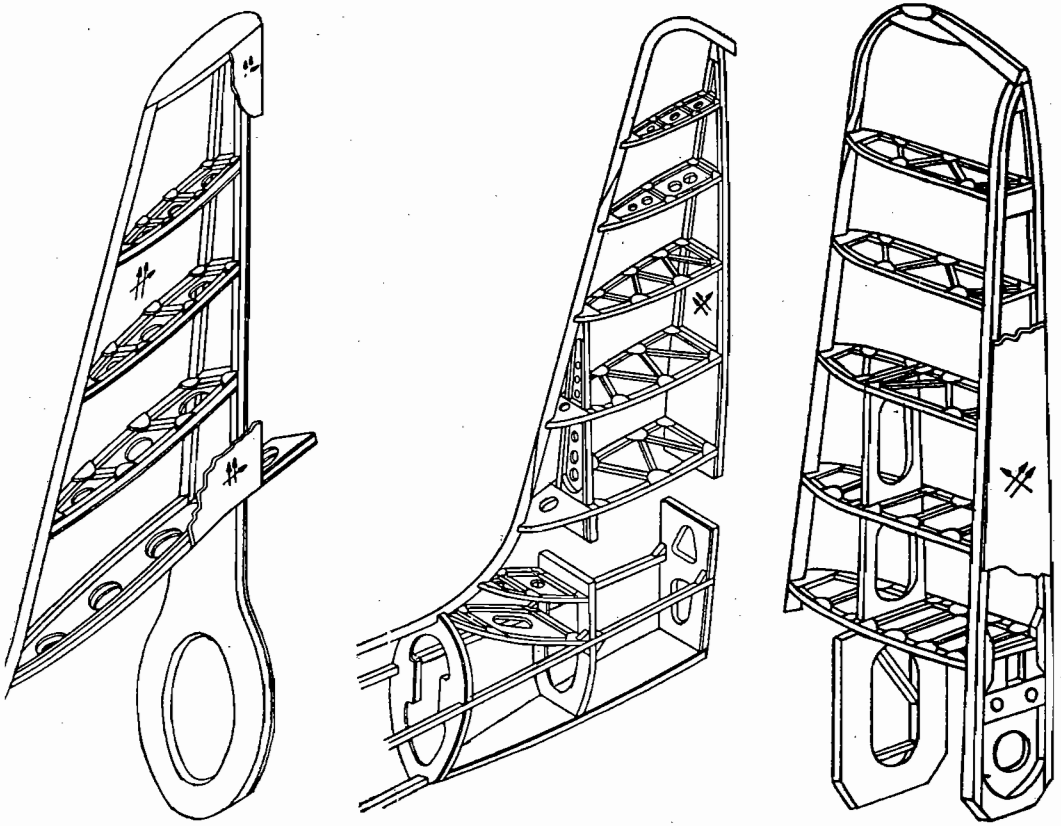
Zadatak ovih površina je da stvore momenat oko vertikalne ose jedrilice, a posledica tog stvorenog momenta jeste promena pravca leta. Komandovanje se vrši preko nožnih pedala koje se nalaze u kabini pilota. U bočnoj projekciji oblik vertikalnih površina može da bude različit.

Vertikalne repne površine se sastoje od vertikalnog stabilizatora i kormila pravca ako su dvodelne, ili od vertikalnog kormila i kontratrimera ako su jednodelne. Kod dvodelnih vertikalnih repnih površina kormilo pravca je spojeno sa stabilizatorom pomoću šarki.

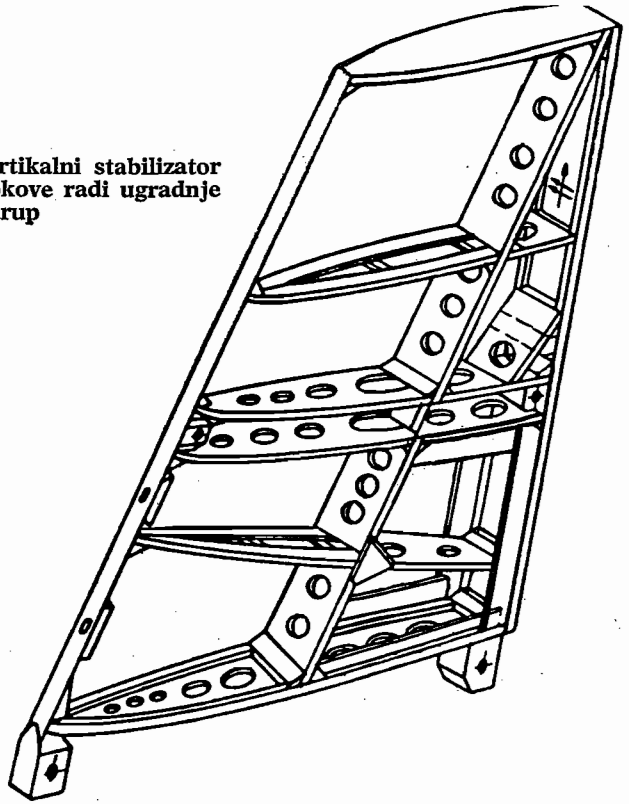
Stabilizator

Vertikalni stabilizator, kao nepokretni elemenat vertikalnih površina, obično je izrađen zajedno sa trupom (sl. 131 i 100). Ređe se izrađuje odvojeno, a ukoliko je takav slučaj, moramo imati priključne okove za vezu sa trupom (sl. 132).

Osnovni elemenat stabilizatora je ramenjača, koja prima momente savijanja i transverzalne sile. Vrlo često se poslednji okvir trupa produžava u ramenjaču. Oplata prima momenat uvijanja. Gornji, donji luk i napadna ivica upotpunjuju bočni oblik, a istovremeno zajedno sa rebrima i ramenjačom održavaju oblik aeroprofila i stvaraju zatvorenu kutiju koja sa oplatom prima momente uvijanja. Da bi se smanjilo polje, često se i pretposlednji okvir trupa produžava u pomoćnu ramenjaču (sl. 131).



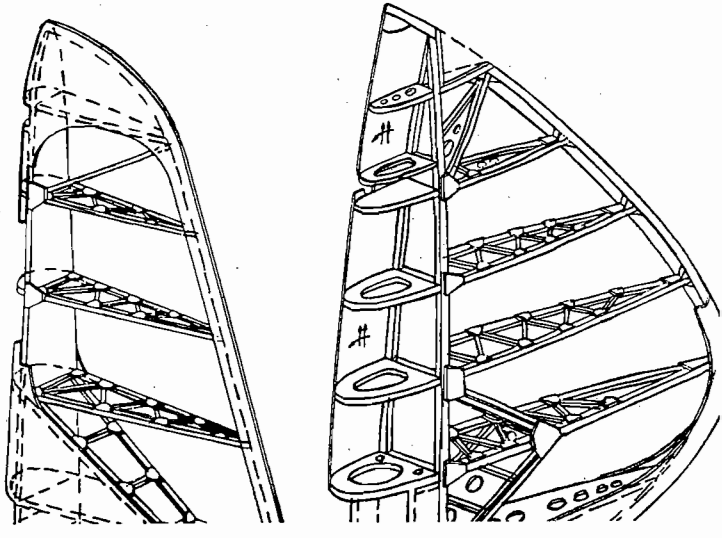
Slika 131. — Struktura vertikalnih stabilizatora



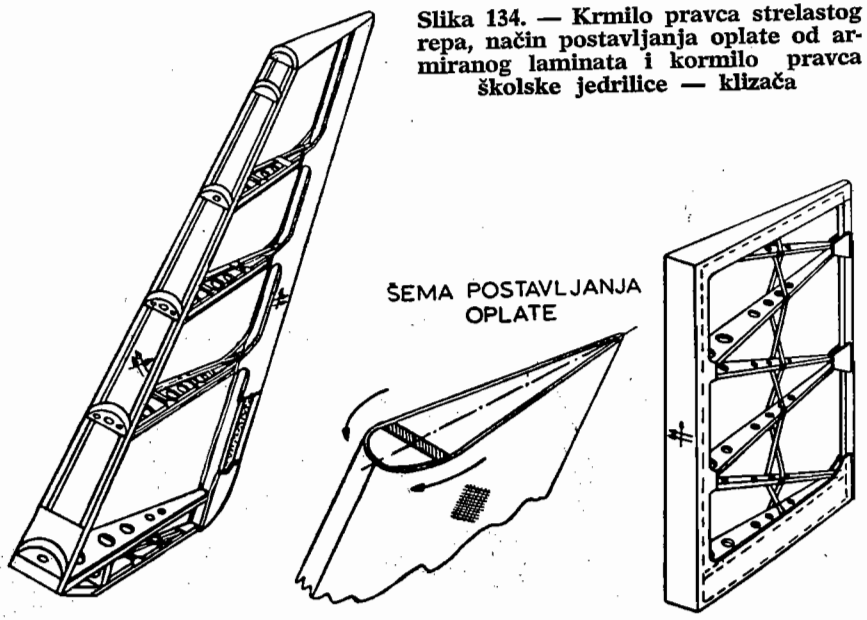
Slika 132. — Vertikalni stabilizator sa mestima za okove radi ugradnje trup

Kormilo i šarke

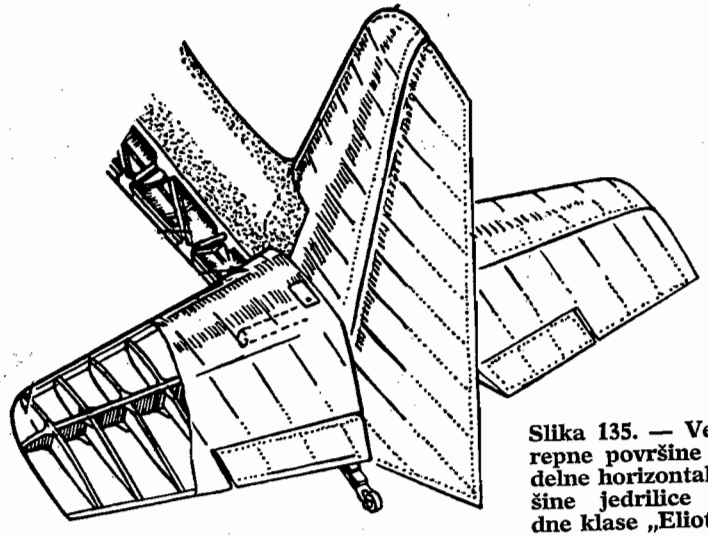
Elementi kormila su: ramenjača, rebra, torzioni nos, luk i platnena oplata. Na slikama 133, 134 i 135 dato je nekoliko kon-



Slika 133. — Dva tipa kormila pravca

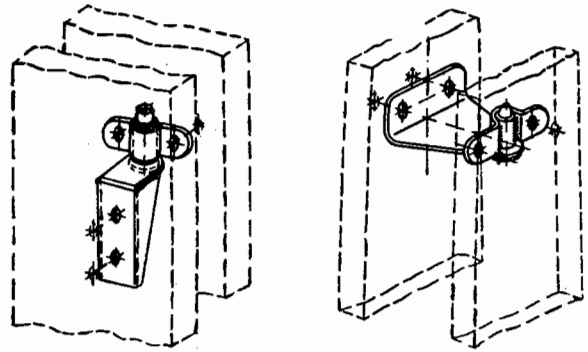


Slika 134. — Krmilo pravca strelastog repa, način postavljanja oplate od armiranog laminata i kormilo pravca školske jedrilice — klizača

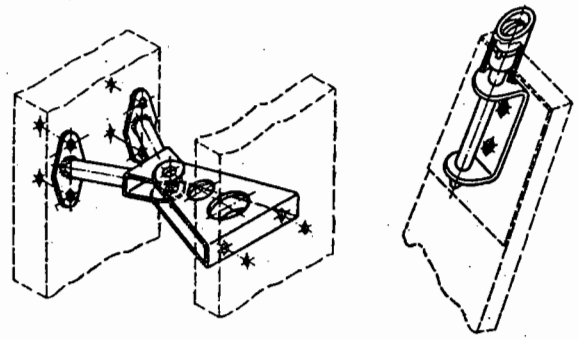


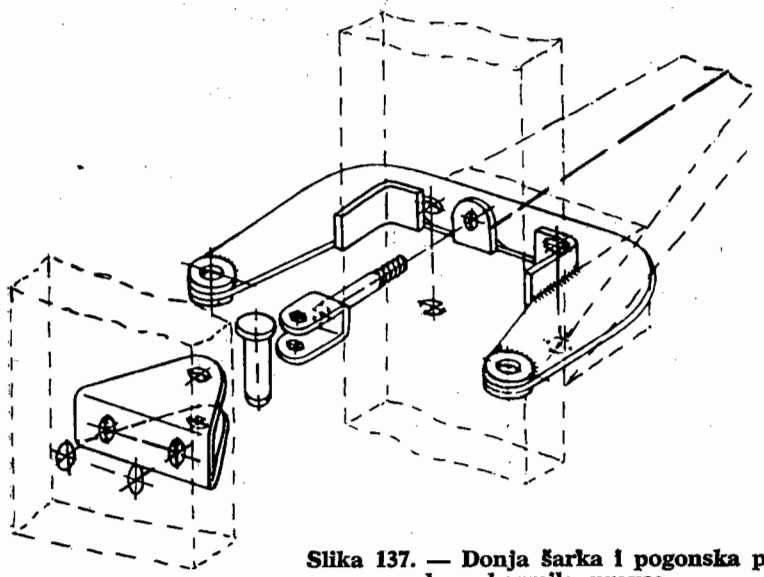
Slika 135. — Vertikalne repne površine i jednodelne horizontalne površine jedrilice standardne klase „Eliot" tip 465

strukcija kormila pravca. Momenat torzije prima torzioni nos, donje i eventualno gornje polje koje je šperovano. Ostali deo kor-

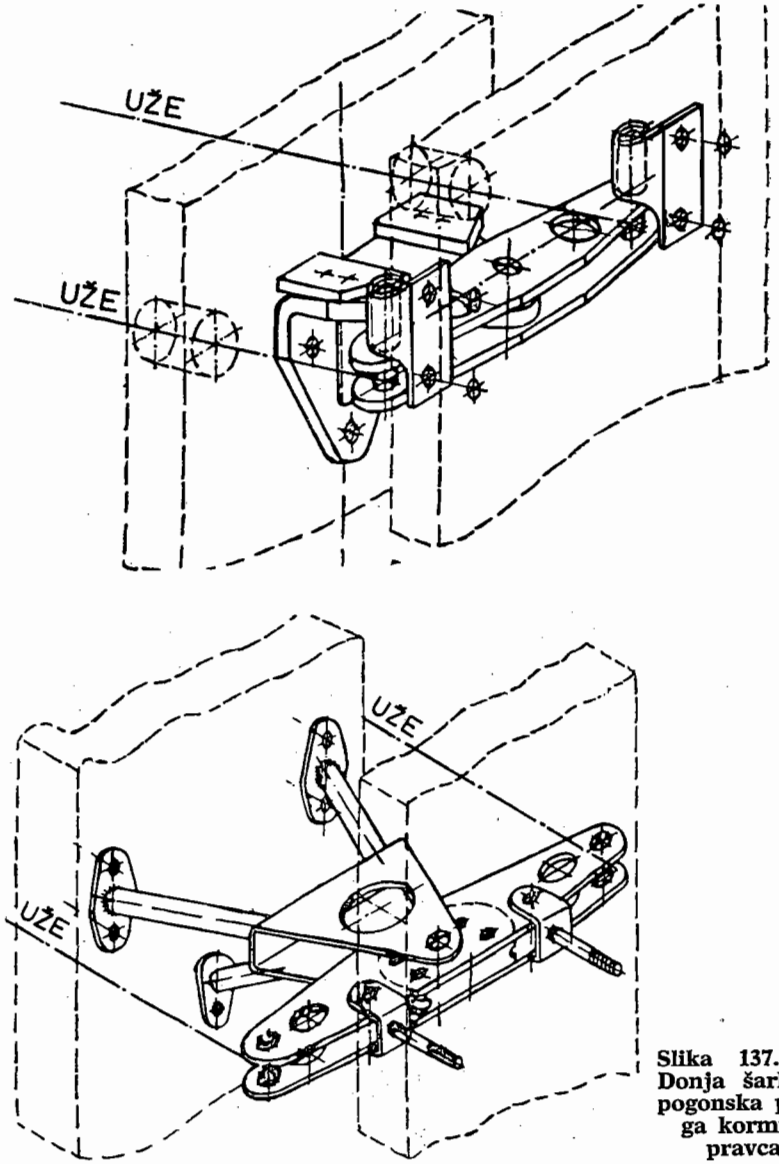


Slika 136. — Šarke za povezivanje kormila pravca sa vertikalnim stabilizatorom





Slika 137. — Donja šarka i pogonska poluga kormila pravca



Slika 137. — Donja šarka i pogonska poluga kormila pravca

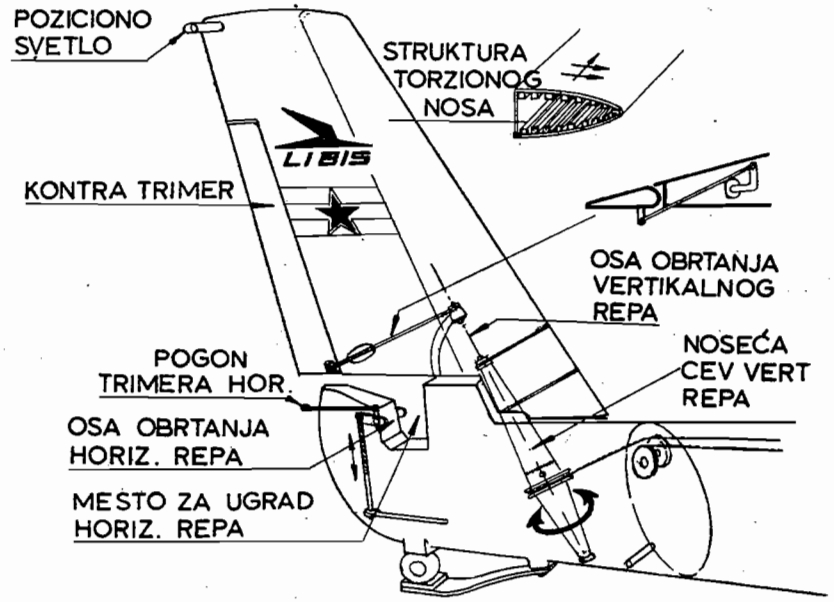
mila je obično presvučen platnom samo da bi dao potreban oblik i učvrstili krajevi rebara kormila.

Kako je već rečeno, pričvršćenje kormila na stabilizator ostvaruje se pomoću šarki. Obično imamo dve ili tri šarke, što zavisi od opterećenja i visine, odnosno vitkosti kormila (sl. 136).

Pogonska poluga kormila pravca obično se postavlja na najnižu šarku (sl. 137), na kojoj se najčešće nalazi i osiguranje protiv ispadanja kormila iz ležajeva.

Jednodelne vertikalne repne površine

Iz istih razloga iz kojih i jednodelne horizontalne repne površine, primenjuju se i vertikalne. Strukturalno su slične klasičnim.

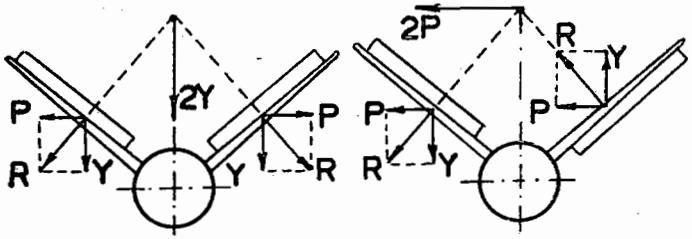


Slika 138. — Jednodelna vertikalna repna površina jedrilice „Libis-18" noseća cev je vezana za krmu pravca a u donjem delu se nalazi pogonski segment i mesto pričvršćenja za trup; torziona kutija je urađena sa podkorom; drljača je od armirane plastike; na slici se vidi mesto za ugradnju horizontalnog repa, kao i mehanizam za pogon trimera horizontalnog repa

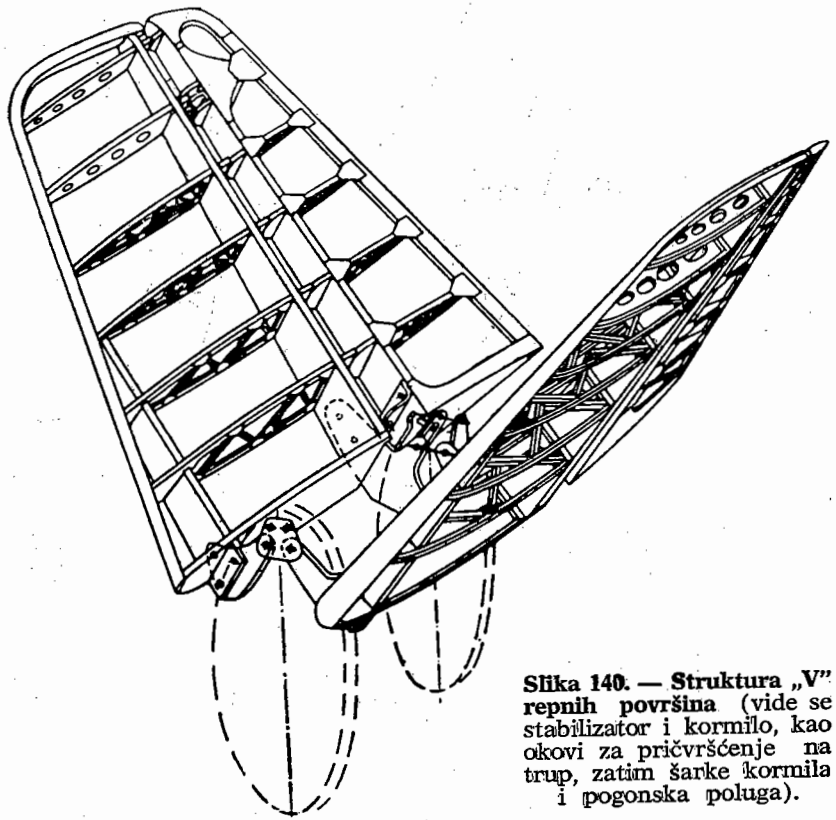
Oslonci se nalaze u trupu, pri čemu se donji osigurava (sl. 138). Noseća cev je strukturalno vezana za vertikalnu površinu, a na njenom donjem delu postavljena je pogonska poluga.

LEPTIR — „V" — REPNE POVRŠINE

„V" repne površine ugrađuju se na trup pod uglom — najčešće 90° — a imaju ulogu horizontalne i vertikalne repne površine klasičnog tipa.



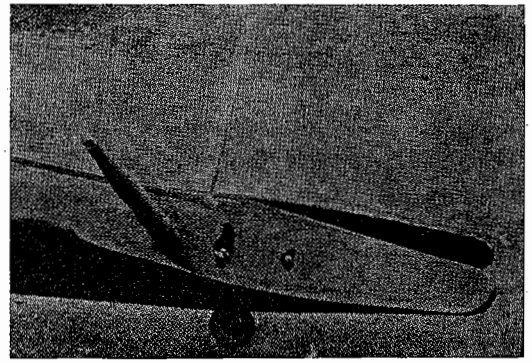
Slika 139. — Princip dejstva leptir —„V" repnih površina



Slika 140. — Struktura „V" repnih površina (vide se stabilizator i kormilo, kao okovi za pričvršćenje na trup, zatim šarke kormila i pogonska poluga).

Kao i prethodne, i „V" repne površine mogu da budu dvodelne i jednodelne, a uvek su izrađene iz dve polovine. Ako su dvodelne, sastoje se iz stabilizatora, kormila i trimera, a ako su jednodelne, iz kormila i kontratrimera.

Slika 141. — Završetak trupa sa bajonetnim nosačima leptir repnih površina tipa ol-muving (uočljiv je otvor sa komandom trimera a vidi se i repni točkić koji zamenjuje klasičan tip drljače)



Pri komandovanju, ako se kormila obe polovine otklone u istu stranu, dejstvuju kao kormilo visine, a ako je otklon u suprotnu stranu, dejstvuju kao kormilo pravca (sl. 139).

Po strukturi potpuno su identične ranije razmatranim repnim površinama (sl. 140), te o elementima strukture neće biti detaljnijeg razmatranja, s obzirom da je o njima već ranije rečeno. Pričvršćenje na trup ostvaruje se na dva noseća okvira, a preko okova ako je konstrukcija dvodelna, a ukoliko je jednodelna, preko bajonetnih nosača koji su pričvršćeni na jedan noseći okvir (sl. 141).

SPECIJALNE REPNE POVRŠINE

Pored navedenih klasičnih tipova i rasporeda repnih površina u razvoju jedriličarstva pojavile su se neuobičajene konstrukcije.

U ove neuobičajene konstrukcije spadaju „leteća krila" (koja nemaju klasičan tip repnih površina — vertikalne i horizontalne, i tzv. „patka" raspored nosećih i repnih površina.

Kod „letećih krila" na krilima se nalaze površine tzv. *elevoni* čiji otklon u istu stranu odgovara ulozi kormila visine, a otklon u suprotnu stranu — ima ulogu krilaca. Za komandovanje po pravcu kod letećih krila obično se postavljaju klasične vertikalne repne površine (stabilizator i kormilo), a na obe polovine krila ili u osi simetrije. Od poznatih konstrukcija spomenimo jedrilice: Horten, Nortrop, AV-22, Nietoperz itd. (sl. 142.).

Kod jedrilica tipa „patka" horizontalne repne površine nalaze se ispred težišta jedrilice. U ovom slučaju krilo se nalazi iza težišta. Vertikalne repne površine najčešće se postavljaju na obe polovine krila simetrično.



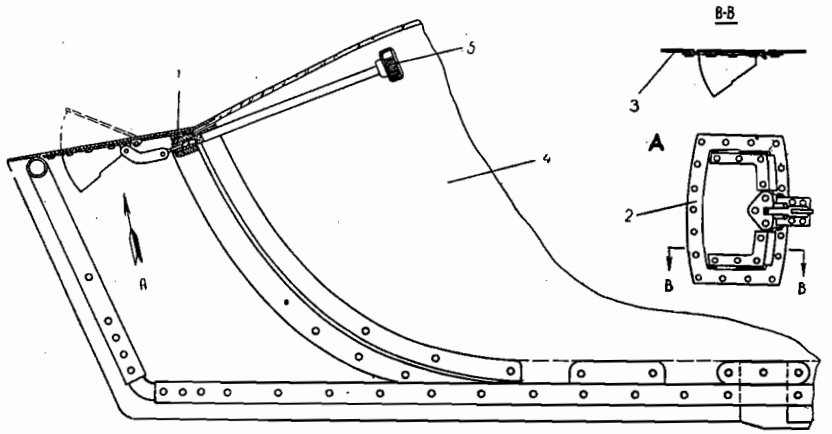
Slika 142. — Jedrilica — leteće krilo poljske konstrukcije SZD „Nietoperz"

Struktura ove specijalne grupe repnih površina identična je strukturi klasičnog tipa repnih površina, te ono što je ranije rečeno potpuno važi i za ovu grupu.

KABINA I OPREMA
KABINE PILOTA

Kabina je predviđena za smeštaj pilota i opreme, a svojim konstruktivnim rešenjima mora da zadovolji niz zahteva koji će omogućiti njeno udobno, lako i jednostavno korišćenje. Zahteve koji se postavljaju možemo da formulišemo na sledeći način:

— racionalnost komponovanja kabine, što mora da omogući minimalnu udobnost;
— mogućnost regulisanja položaja pedala i naslona sedišta (ili samo pedala) u letu;
— predvideti uređaj za ventilaciju (sl. 143), kao i protivsunčanu zavesu (ili pleksi u boji), (sl. 158/4);
— lakoću ulaska u kabinu, kao i napuštanja u slučaju potrebe;
— predvideti mesta za dodatnu opremu pilota (karte, barograf, navigacijske instrumente, prtljag itd.);
— da vidljivost u svim pravcima bude dobra, što je naročito važno kod dvosedih jedrilica za zadnje sedište;
— da raspored komandi omogući njihovo lako korišćenje i opsluživanje u eksploataciji, i
— predvideti ugradnju sanitarija.



Slika 143. — Uređaj za ventilaciju:

1, — konzola; 2. — ojačanje; 3.— oplata; 4. — pleksi-staklo; 5. — rukohvat za otvaranje — zatvaranje poklopca otvora za ventilaciju

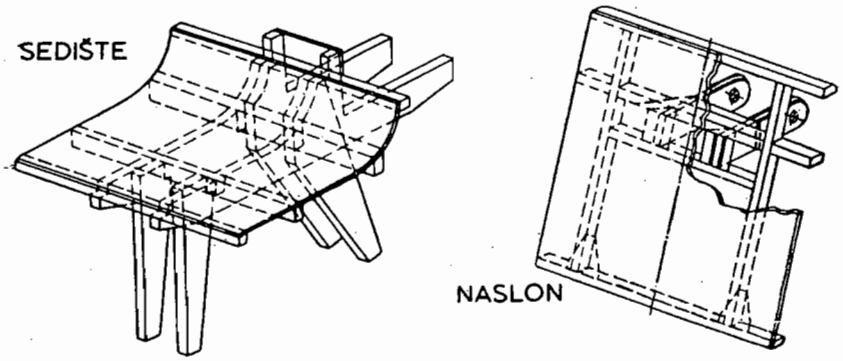
U težnji da poprečni presek bude što manji, kabine savremenih visokosposobnih i takmičarskih jedrilica ne mogu potpuno da zadovolje gorenavedene zahteve, ali se teži da oni budu zadovoljeni bar minimalno.

U daljem tekstu upoznaćemo se sa elementima kabine, dok ćemo elemente komandi u kabini razmatrati kasnije.

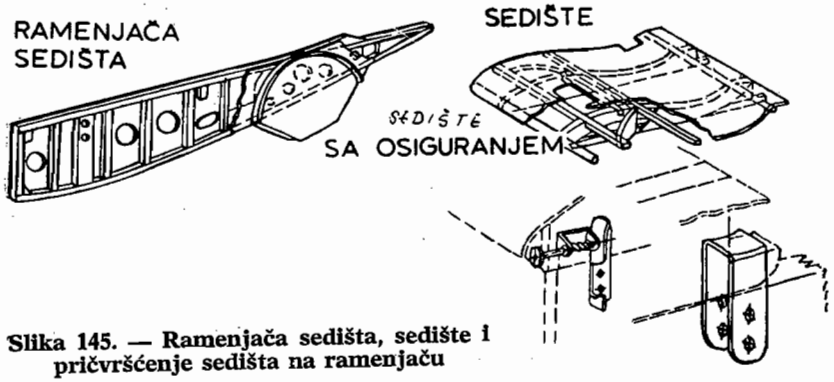
SEDIŠTE, NASLON I VEZE

Sedište i naslon svojim oblikom moraju da omoguće udoban smeštaj pilota u kabini. Konstruktivno se izvode od drveta i lepenke, lima ili armirane plastike. Sedišta su obično tapacirana i podložena spužvastom gumom kako bi se pilot tokom leta što manje zamarao. Naslon može da se izradi i od platna, a ukoliko je izrađen od drveta ili lima, potrebno je da ima takav oblik da se u njega lako smešta leđni padobran.

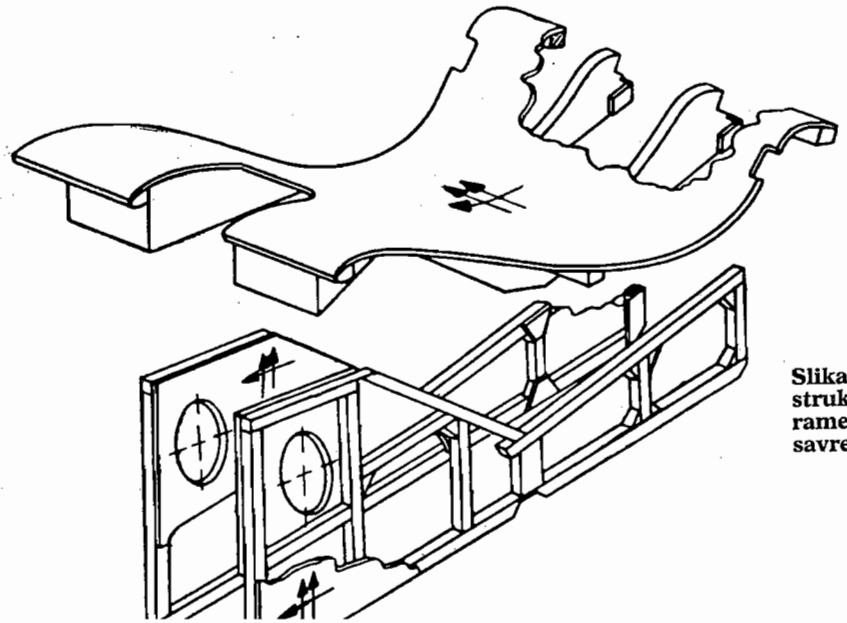
Na školskim jedrilicama konstrukcija sedišta i naslona je veoma jednostavna, što se vidi i na slici 144. Kod jedrilica sa kutijastim ili poluljuskastim, odnosno ljuskastim trupom sedišta obično imaju nosače — ramenjače, koji čine strukturalni deo trupa (sl. 145 i 146). Učvršćenje sedišta na nosače vrši se na neki pogodan način, što se takođe vidi na navedenoj slici.



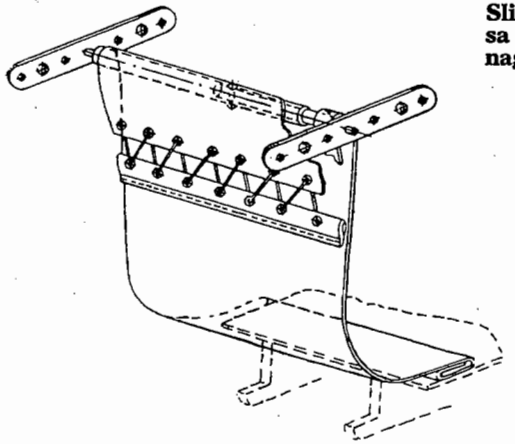
Slika 144. — Sedište i naslon na školskoj jedrilici



Slika 145. — Ramenjača sedišta, sedište i pričvršćenje sedišta na ramenjaču

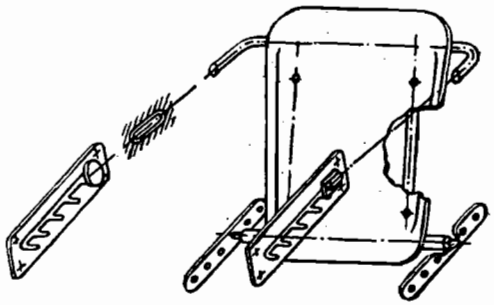


Slika 146. — Konstrukcija sedišta i ramenjače sedišta savremene jedrilice

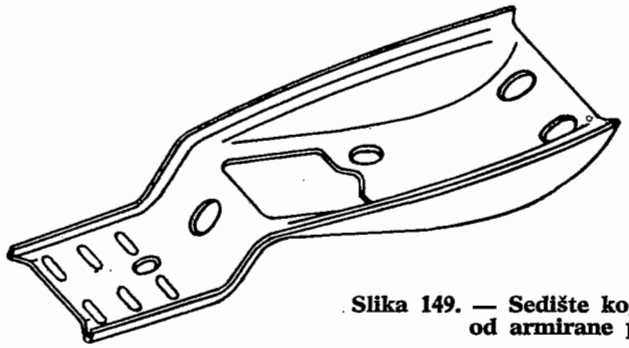


Slika 147. — Platneni naslon sa mogućnošću regulisanja nagiba u zavisnosti od visine pilota

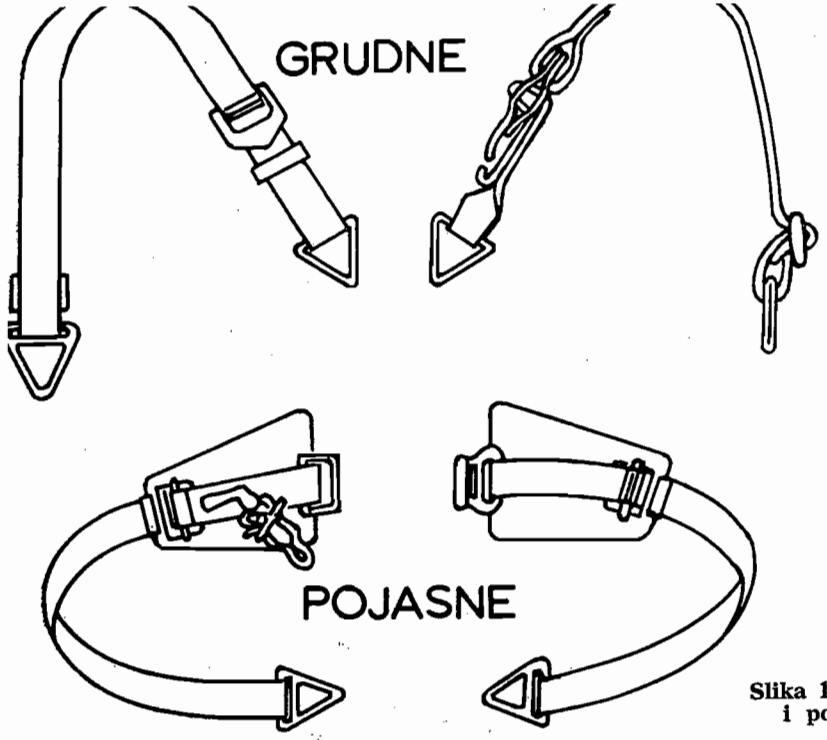




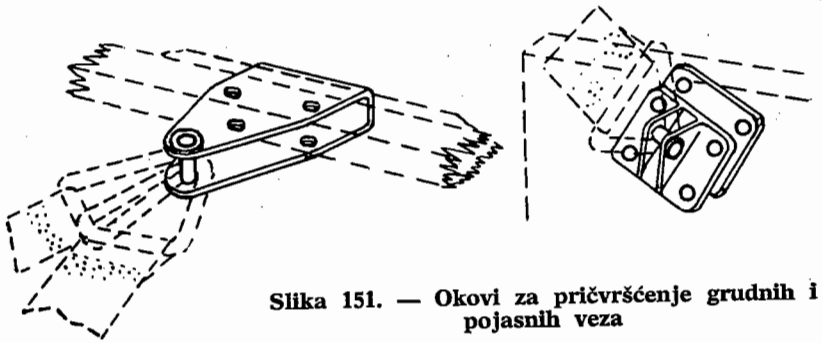
Slika 148. — Naslon od lima koji može da se reguliše u toku leta. Vidi se i naslon za glavu, koji se, takođe, može regulisati za vreme leta



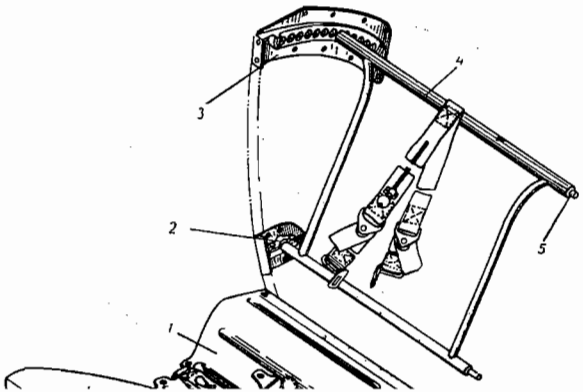
Slika 149. — Sedište koje je napravljeno od armirane plastike



Slika 150. — Grudne i pojasne veze



Slika 151. — Okovi za pričvršćenje grudnih i pojasnih veza



Slika 152. — Sedište i naslon jedrilice „A — 15".

1. — sedište,
2. — konzole — nosači,
3. — kostur naslona,
4. — fiksator.

Naslon od platna prikazan je na slici 147, a naslon od lima na slici 148. Na poslednjoj slici prikazan je i naslon za glavu, koji može da se reguliše u letu. Kod jedrilica koje su izrađene od plastike sedišta se, takođe, izrađuju od laminata, tačno po obliku pilota (sl. 149). Kod ovih sedišta nemamo ispunu od penaste gume.

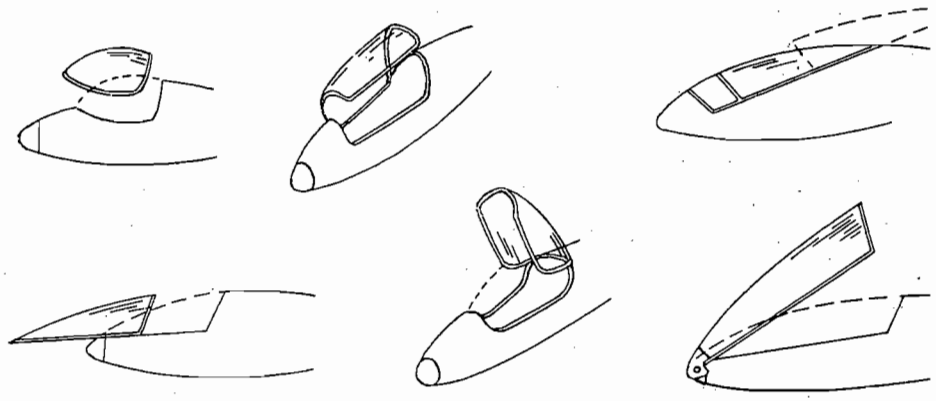
Veze-opasači služe za vezivanje pilota i njegovo obezbeđenje od ispadanja iz jedrilice u nenormalnim položajima leta ili evolucijama. Postoje dve grupe veza: pojasne i grudne (sl. 150). Učvršćuju se za strukturu trupa okovima, i to pojasni ispod sedišta, a grudni iza leđa pilota (sl. 151). Na slici 152 vidimo kompletno sedište sa naslonom i vezama.

POKLOPAC KABINE

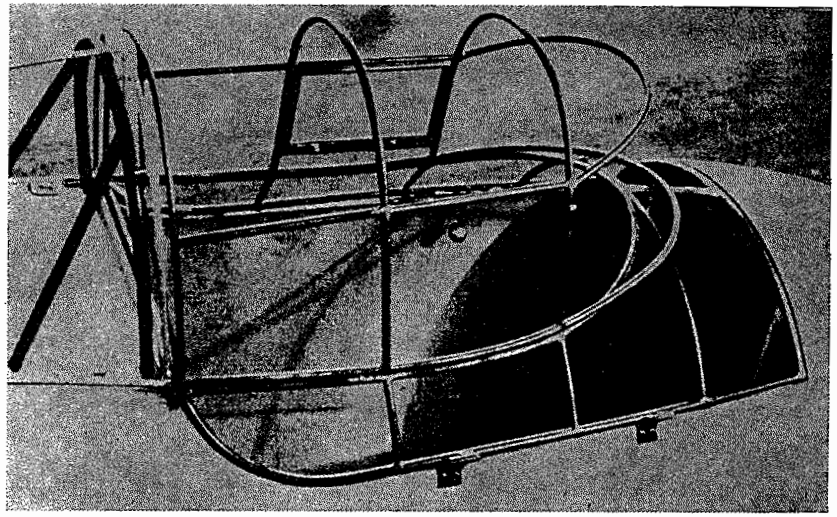
Poklopac kabine je izrađen od providnog organskog stakla — pleksi-staklo, i svojim oblikom upotpunjuje bočnu konturu jedrilice i omogućava pilotu vidljivost. Oblik poklopca kabine dat je bočnom projekcijom jedrilice, a način otvaranja zavisi od usvojenog sistema. Na slici 153 vide se načini otvaranja poklopca kabine.

Strukturu poklopca kabine sačinjavaju: kostur, obično izrađen od čeličnih Cr-Mo cevi ili lake legure (sl. 154); šarke i brava, (sl. 155 i 156) i pleksi-staklo. Načini pričvršćenja pleksi-stakla na kostur poklopca prikazani su na slici 157.

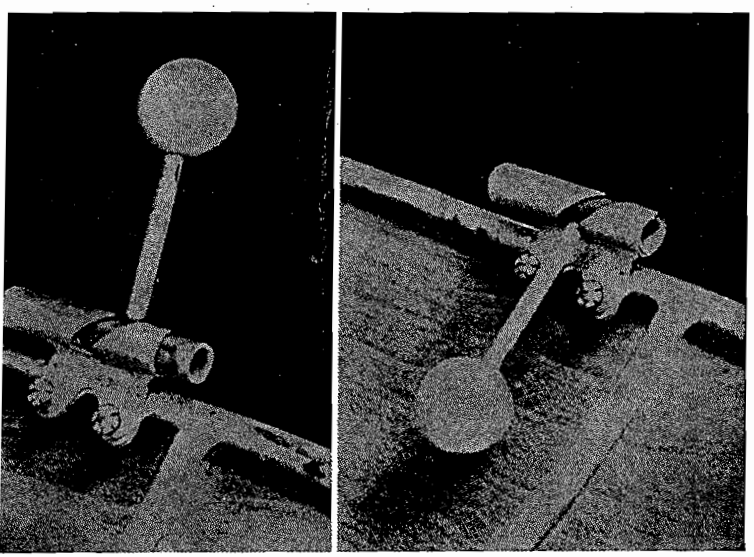
Opšti oblik poklopca prikazan je na slici 158, a oznake znače: 1 i 6 — šarke; 2 i 5 — okviri; 3 — pleksi-staklo; 4 — zavesa protiv sunca; 7 — brava i 8 — otvor za ventilaciju. Na slikama 159 i 160 prikazane su dve konstrukcije poklopca savremenih visokosposob-



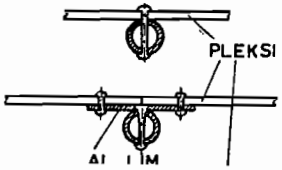
Slika. 153. — Načini otvaranje poklopca kabine primenjeni kod jedrilica



Slika 154. — Kostur poklopca kabine jednosede jedrilice

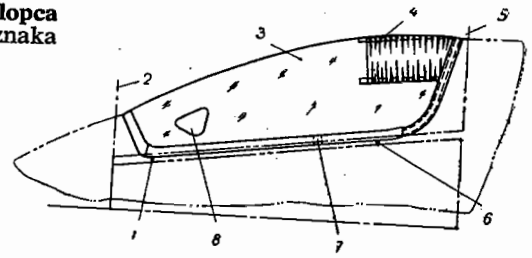


Slika 155/156. — Otvoren i zatvoren položaj brave poklopca kabine

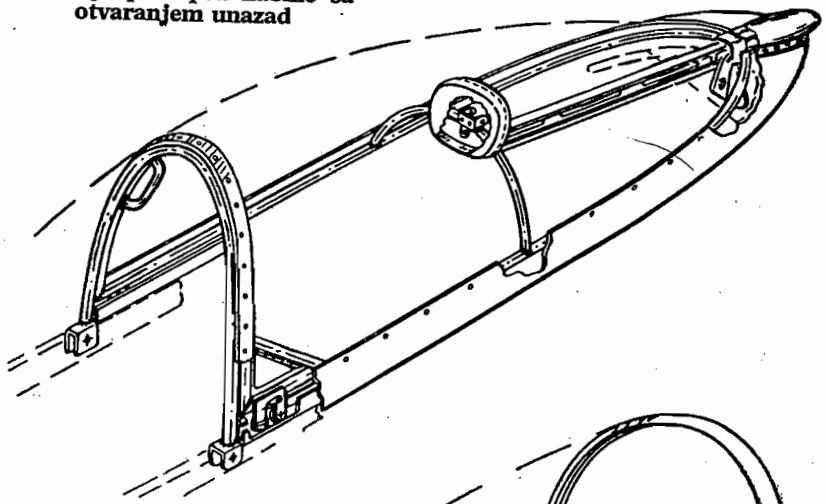


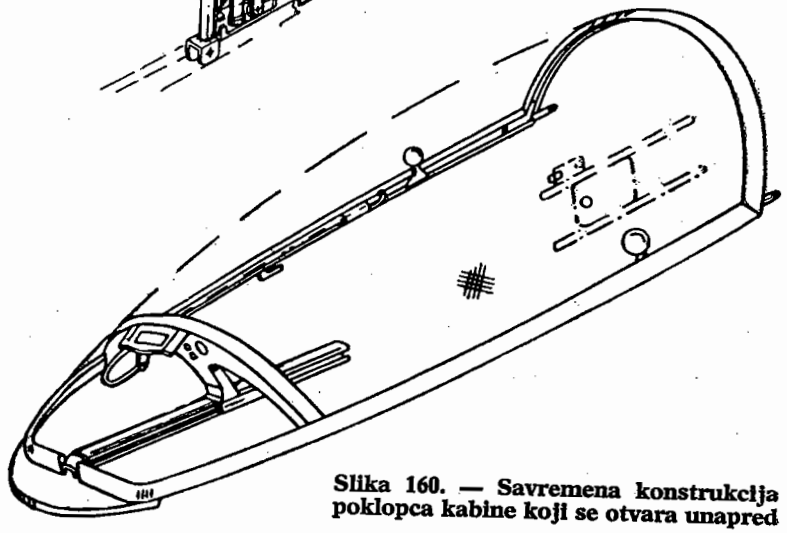
Slika 157. — Mogućnosti pričvršćenja pleksi-stakla na kostur poklopca kabine

Slika 158. — Najčeće primenjena konstrukcija poklopca kabine. Objašnjenje oznaka dato je u tekstu

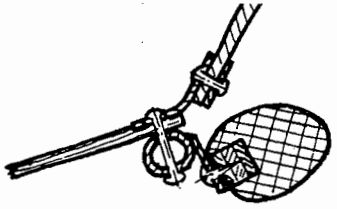


Slika 159. — Savremena konstrukcija poklopca kabine sa otvaranjem unazad



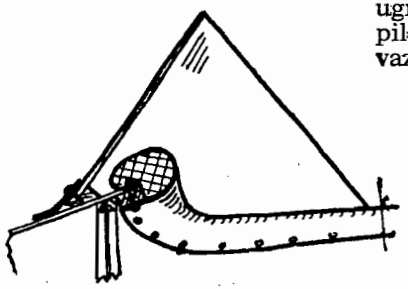


Slika 160. — Savremena konstrukcija poklopca kabine koji se otvara unapred



nih jedrilica pri čemu se poklopac na prvoj slici otvara unazad a na drugoj unapred.

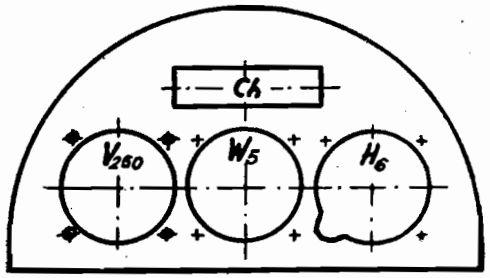
Kod školsko-trenažnih jedrilica često se umesto poklopca kabine ugrađuje samo prednje staklo, koje pilota štiti od direktnog dejstva vazdušne struje (sl. 161).



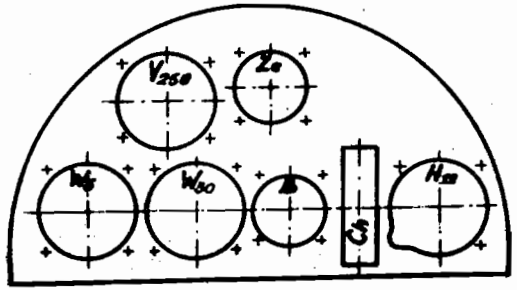
Slika 161. — Vetrobran kod metalne i drvene konstrukcije školskih jedrilica

INSTRUMENTALNA TABLA

Kao poseban elemenat, instrumentalna tabla služi za smeštaj instrumenata. Uloga instrumenata je napred objašnjena — u partiji „Instrumenti", a ovde će biti reči samo o nosaču instrumenata i njihovom razmeštaju.

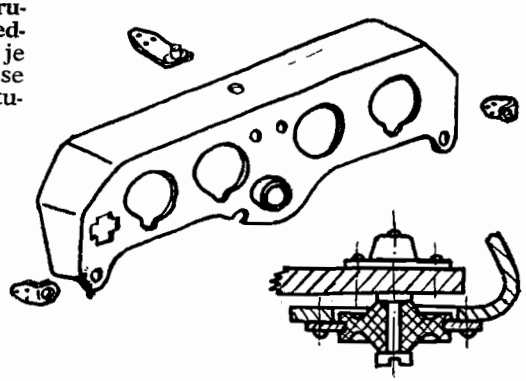


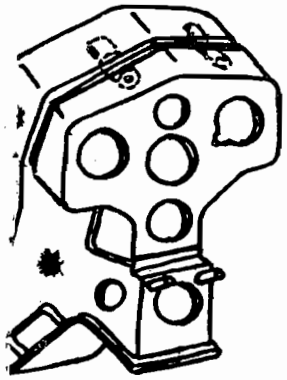
Slika 162. — Razmeštaj pilotsko - navigacijskih instrumenata kod školsko-trenažnih jedrilica

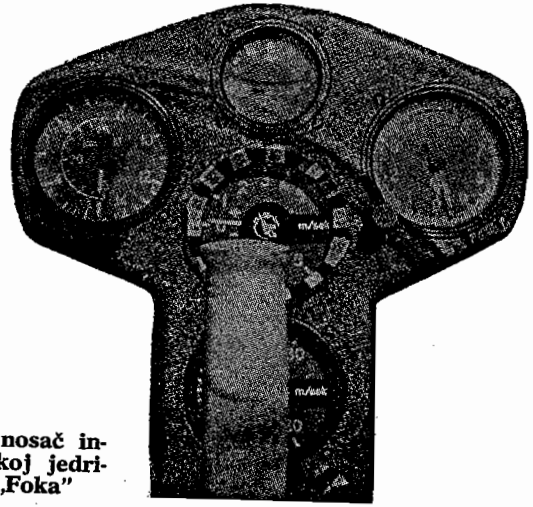


Slika 163. — Razmeštaj pilotsko - navigacijskih instrumenata kod visokosposobnih i takmičarskih jedrilica

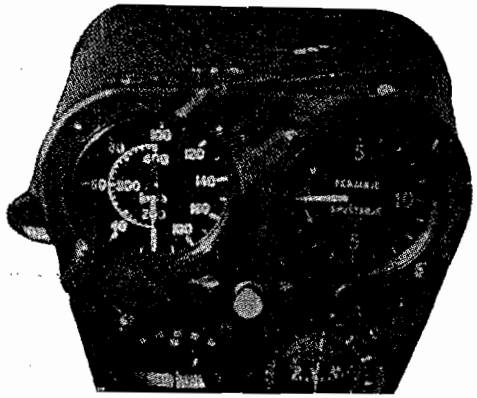
Slika 164. — Nosač instrumenata kod trenažnih jedrilica. Uveličan detalj je amortizer preko koga se nosač vezuje sa strukturom jedrilice







Slika 165. — Standardni nosač instrumenata na takmičarskoj jedrilici standardne klase „Foka"



Slika 166. — Nosač instrumenata na jedrilici „Delfin"

Osnovni letačko-navigacijski instrumenti moraju da budu tako razmešteni na instrumentalnoj tabli da pilot u svakom trenutku leta bez napora može da pročita njihova pokazivanja. Ovo naročito važi za visokosposobne i takmičarske jedrilice.

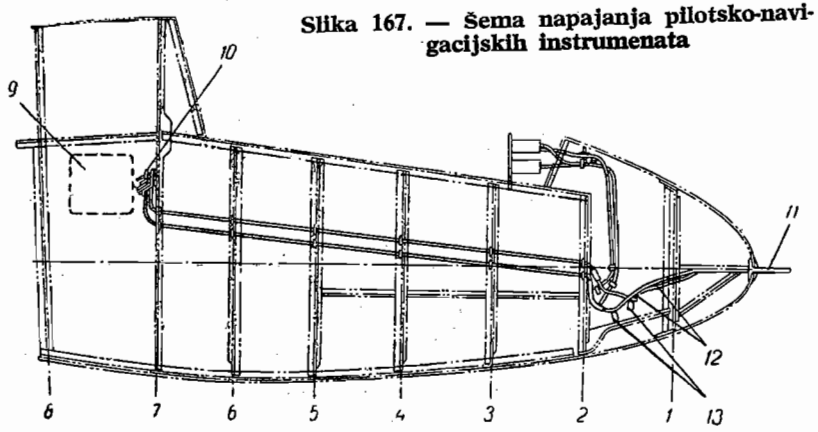
Zahtevi kod školsko-trenažnih jedrilica su znatno manji te je i instrumentalna tabla snabdevena samo osnovnim instrumentima, dok razmeštaj ovih instrumenata vidimo na slici 162 (V_{250} — brzinomer do 250 km/h, W_5 — variometar do 5 m/s, H_6 — visinomer do 6000 m i Ch — poprečna libela).

Kod visokosposobnih i takmičarskih jedrilica zahteva se bolja opremljenost instrumentima zbog vršenja preleta, letenja u oblacima itd. Na slici 163 vidi se instrumentalna tabla jedne ovakve jedrilice, kao i njihov pravilan razmeštaj (V_{250} — brzinomer do 250 km/h, Le — električni kontrolnik leta, W_5 — variometar do 5 m/s, W_{30} — variometar do 30 m/s, B — kompas, Ch — libela uzdužnog nagiba, H_{12} — visinomer do 12.000 m; kompas mora da bude u uzdužnoj osi jedrilice ili blizu nje).

Kod punoakrobatskih jedrilica gornji instrumenti se dopunjuju pokazivačem ubrzanja, brzinomer do 250 km/h se zamenjuje brzinomerom do 500 km/h, dvostrukim pokazivačem nagiba (eventualno), a izostavlja se variometar do 5 m/s.

Instrumenti se ugrađuju na poseban nosač, koji se preko amortizera učvršćuje na strukturu trupa jedrilice. Konstrukcije nosača mogu da budu različite, a na slikama 164, 165 i 166 vide se nosači za trenažne i visokosposobne jedrilice. Nosači instrumentalne table obično se izrađuju od lima ili čeličnih cevi, a u poslednje vreme koristi se armirana plastika.

Osim letačko navigacijskih instrumenata, u kabini ili na instrumentalnoj tabli treba predvideti mesta za ugradnju instrumenata kiseoničke instalacije, radio-uređaja, kontrolnih svetala stajnog organa i prekidača pojedinih uređaja.



Slika 167. — Šema napajanja pilotsko-navigacijskih instrumenata

Pogon pojedinih instrumenata vrši se pomoću električne energije ili pomoću struje vazduha. Da bi se ovo omogućilo, treba predvideti mesta za akumulator ili baterije kao i mesta za prihvatanje pritiska za vreme leta (ukupni i statički vod), (sl. 167: 1—8 okviri, 9 — pisač brzine, 10 i 12 — gumena cevčica, 11 — pito-cev, 13 — taložnici).

UREĐAJ ZA POLETANJE I SLETANJE

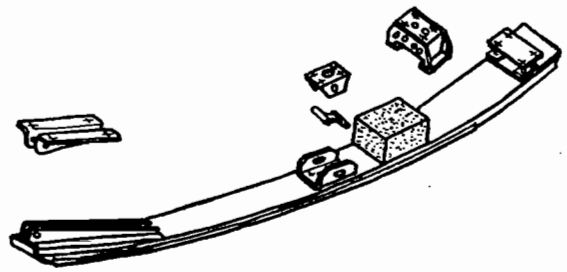
Da bi se ostvarilo poletanje, sletanje kao i transport po terenu, jedrilica je snabdevena uređajem za poletanje i sletanje. Ove uređaje možemo da podelimo na:

— *uređaj sa klizajućim elementima* (smučka i drljača),
— *uređaj sa kotrljajućim elementima* (centralni točak i repni točak),
— *kombinovani uređaj* (smučka, centralni točak i drljača ili centralni točak i drljača itd.).

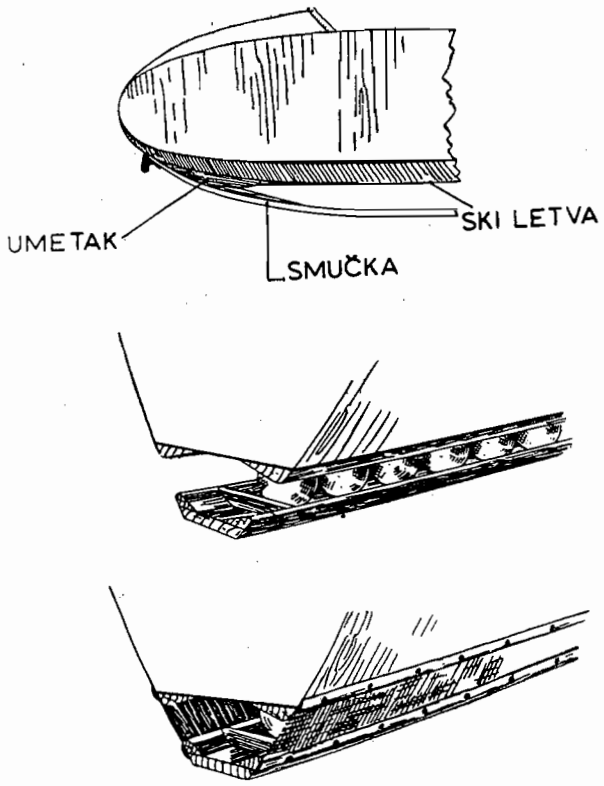
Najčešće kombinacije koje se pojavljuju kod današnjih konstrukcija obuhvataju centralni točak i drljaču (ili repni točak) ili centralni točak, smučka i drljača.

SMUČKA

Smučka se nalazi na prednjem donjem delu trupa, izrađena je od tvrdog drveta (najčešće jasena), a pogodnim okovima učvršćena je na trup. Između smučke i trupa nalaze se gumeni amorti-



Slika 168. — Smučka sa okovima i amortizerom od trde spužvaste gume



Slika 169. — Smučka sa amortizerima u obliku lopte.
Radi boljeg naleganja, na prednji deo trupa se ubacuje drveni umetak, a kao zaštita od prljavštine postavlja se ciradno platno

zeri koji primaju energiju udara pri poletanju i sletanju. Na slikama 168 i 169 prikazane su dve konstrukcije smučke sa različitim amortizerima — gumene lopte i tvrda spužvasta guma.

Sa donje strane smučke postavlja se limena traka koja štiti drvo od prevelikog habanja. Bočni prostor između donjeg dela trupa i smučke zatvara se ciradnim platnom da bi se sprečio ulazak prljavštine i vlage u prostor gde su smešteni amortizeri.

Često se mesto drvene smučke izrađuje čelična, a u poslednje vreme i od armirane plastike, a u cilju poboljšanja elastičnih osobina. Pored toga, vek ovih smučki je duži.

DRLJAČA

Na zadnjem delu trupa postavlja se kratki elemenat sa amortizerom — drljača, koja prima opterećenja nastala pri sletanju na rep i opterećenja koja su posledica dela težine kada jedrilica stoji na zemlji. Kod pojedinih konstrukcija umesto drljače ugrađuje se repni točkić (sl. 141), (Standard Austrija), što umnogome olakšava manevrisanje jedrilicom po terenu.

Drljača može da bude drvena, metalna ili od armirane plastike, a amortizeri od gume, tvrde spužvaste gume ili opruga. Na slici 170 vidi se konstrukcija i elementi drljače.

TOČAK

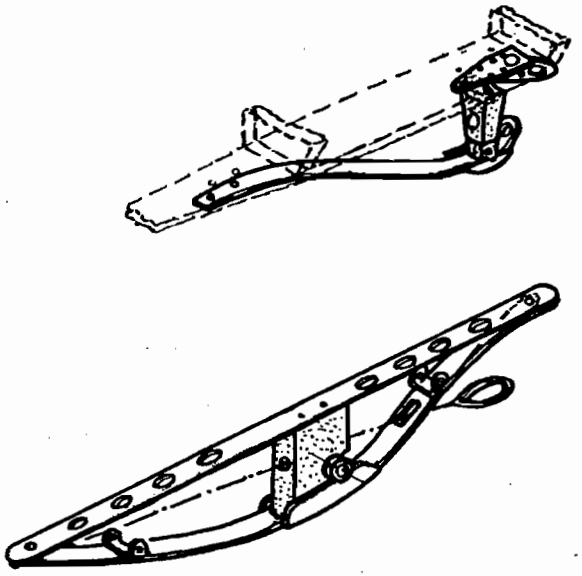
Točak omogućava lako manevrisanje jedrilicom po terenu, uz povoljnu amortizaciju. Stajni trap u obliku točka možemo da podelimo na više načina:

— *neuvlačeći,*
— *uvlačeći u letu* i
— *poluuvlačeći.*

Zatim
— *bez amortizera* i
— *sa amortizerima.*

Elementi strukture stajnog trapa **neuvlačećeg tipa** su:
— *točak sa bandažem,*
— *okov,*
— *ramenjača* (deo strukture trupa) odnosno,

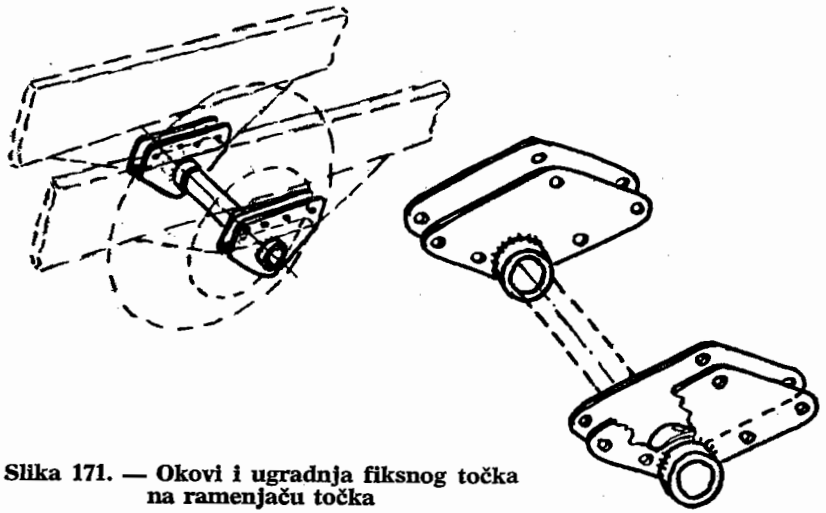
kod uvlačećeg tipa:
— *točak sa bandažem.*
— *rešetkast nosač,*
— *okov za spajanje sa strukturom trupa* i
— *komanda za uvlačenje.*



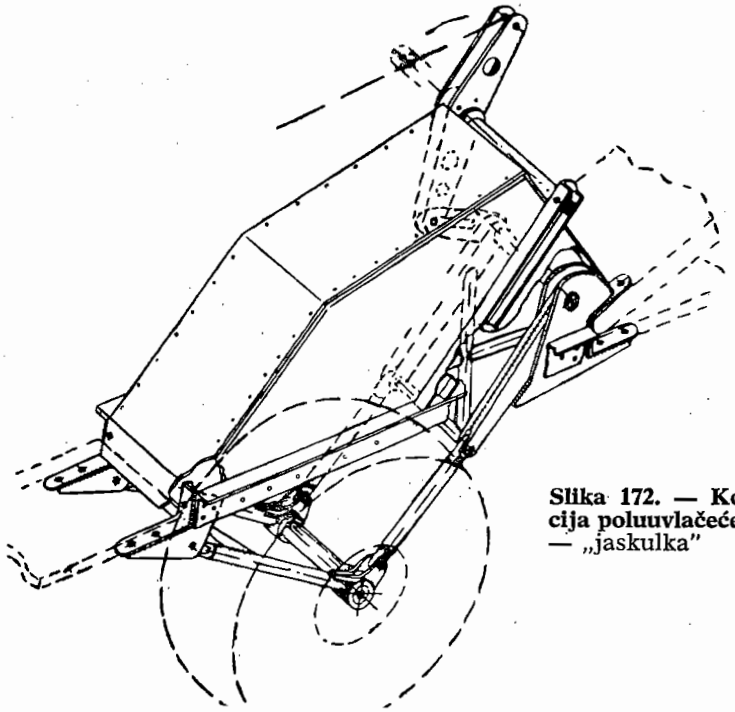
Slika 170. — Dve konstrukcije metalnih drljača

Ugradnja fiksnog točka na ramenjače i okovi točka prikazani su na slici 171, dok se konstrukcija poluuvlačećeg točka vidi na slici 172. Kod ove poslednje konstrukcije imamo dva položaja:

— *prvi,* potpuno izvučen, koji služi pri poletanju i sletanju i
— *drugi,* poluuvučeni kada je točak delimično (1/2 radijusa) van konture trupa, u letu.

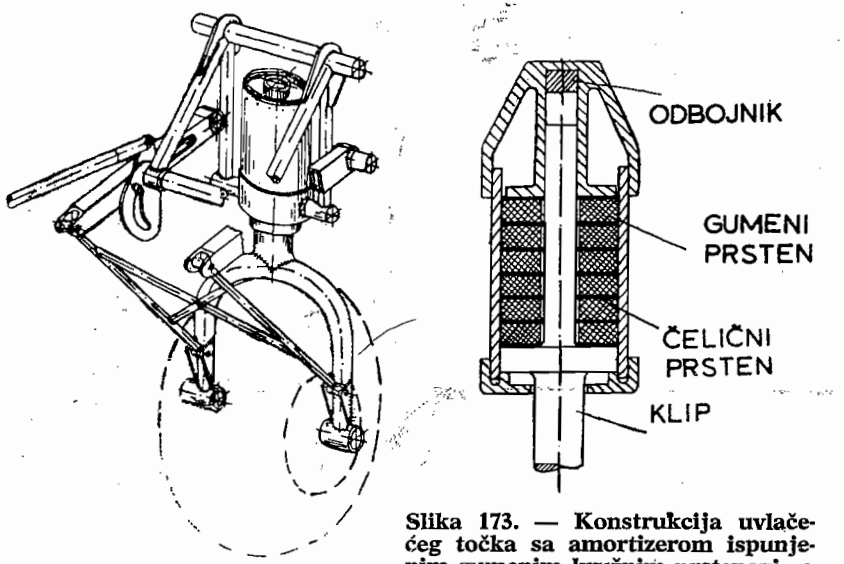


Slika 171. — Okovi i ugradnja fiksnog točka na ramenjaču točka



Slika 172. — Konstrukcija poluuvlačećeg točka — „jaskulka"

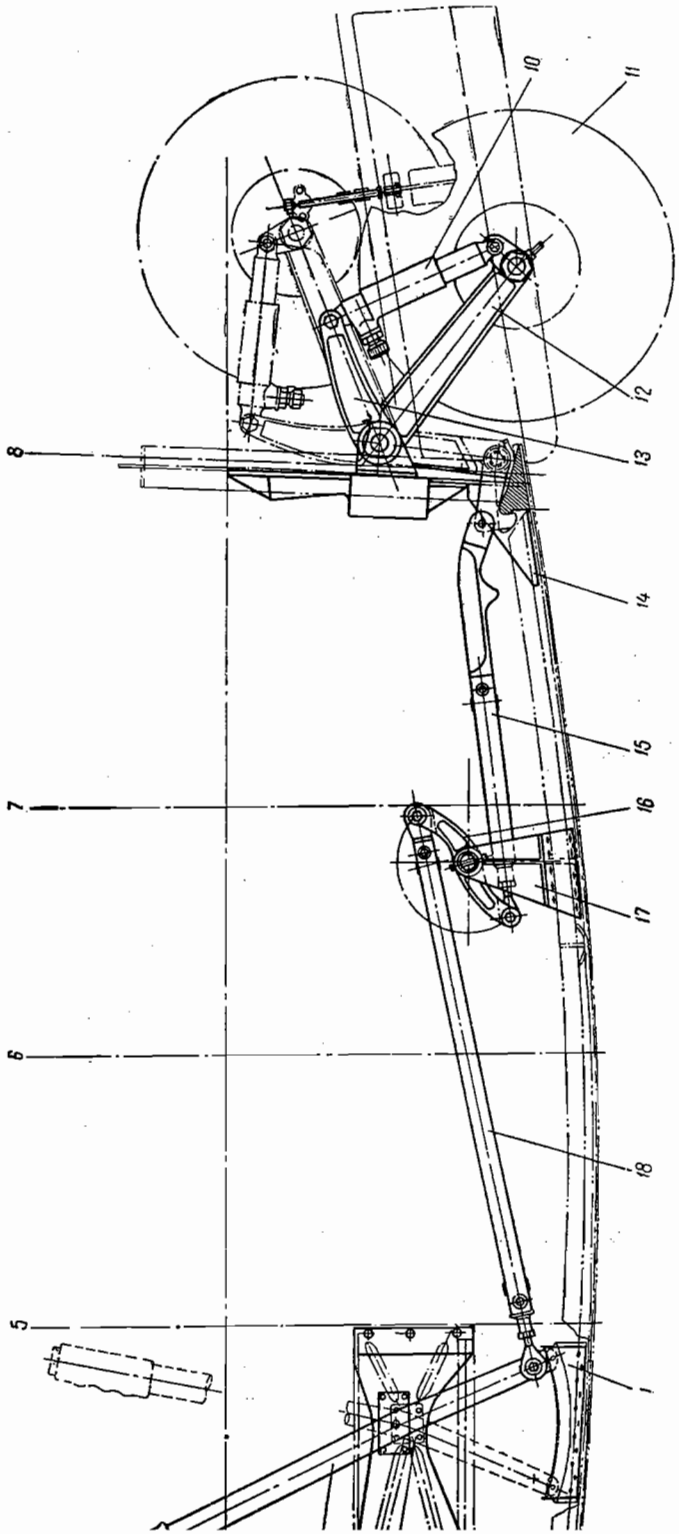
U želji da poletanje i sletanje, a naročito na lošijim terenima, bude mekše, ugrađuje se točak sa amortizerom. Ovo je uglavnom primenjeno kod težih jedrilica, a kombinovano sa uvlačenjem u letu na visokosposobnim i takmičarskim jedrilicama. Amortizeri koji se danas primenjuju obično su ili sa gumenim kolutovima ili oleo-pneumatski. Na slikama 173, 174 i 174a vidimo konstrukciju sa jednim i sa dva amortizera i bez amortizera, kao i uređaj za uvlačenje i osiguranje. Osim amortizera ovoga tipa, u istu svrhu mogu da se upotrebe i gumeni sandovi.



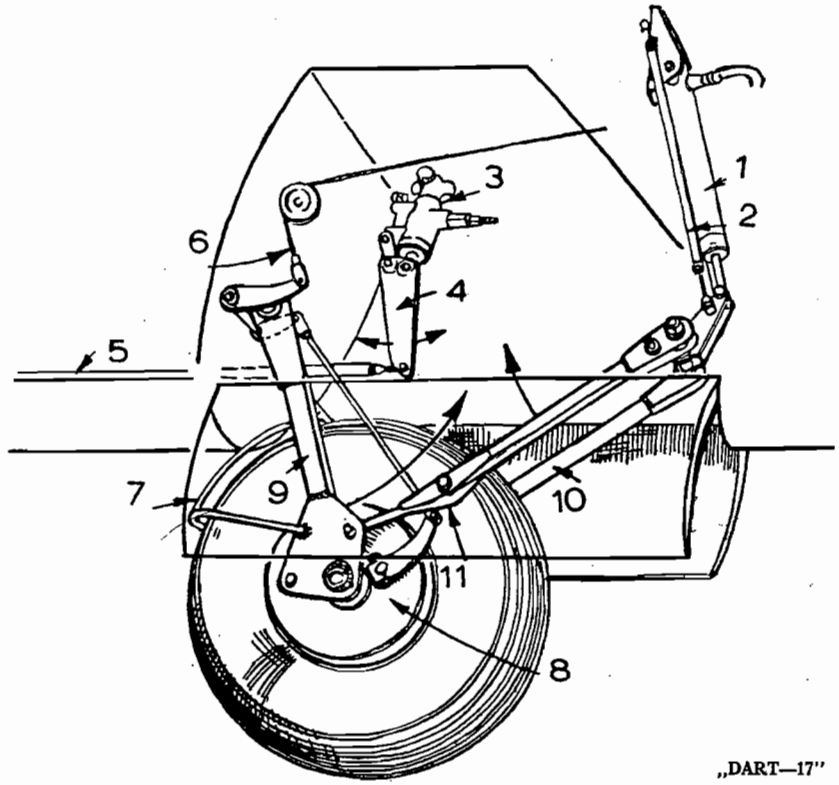
Slika 173. — Konstrukcija uvlačećeg točka sa amortizerom ispunjenim gumenim kružnim prstenovima

Kod današnjih konstrukcija jedrilica standardne klase najčešće se koristi kombinacija smučka — točak — drljača, a kod visokosposobnih i takmičarskih jedrilica otvorene klase uvlačeći točak i drljača. Na našoj jedrilici „Meteor" i mađarskoj jedrilici „Širalji" na prednjem delu trupa nalazi se kratka smučka i centralni točak. Smučka se u letu uvlači kako bi se smanjio štetni otpor.

Točak je obično snabdeven kočnicom koja može da bude sa diskom (sl. 175, M-100) ili sa papučama, dok je komanda kočnice točka najčešće vezana sa komandom aerodinamičkih kočnica ili se izrađuje odvojeno kada se komandna ručica nalazi na palici komande visine ili na nekom drugom mestu.

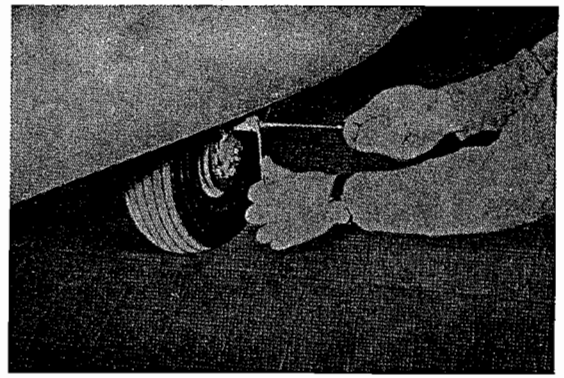


Slika 174 A — Stajni trap sa amortizerom i mehaničkim uvlačenjem: 1 — klizač; 2 — konzolni oslonac; 3 — ručica komande sa rukohvatom; 4—7 — okviri trupa; 8 — osa ramenjače; 9 — okvir trupa; 10 — amortizer; 11 — točak 300×125; 12 — viljuška; 13 — držač amortizera; 14 — konzola; 15 — cev komande; 16 — dvostrana poluga; 17 — konzolni nosač; 18 — cev komande.

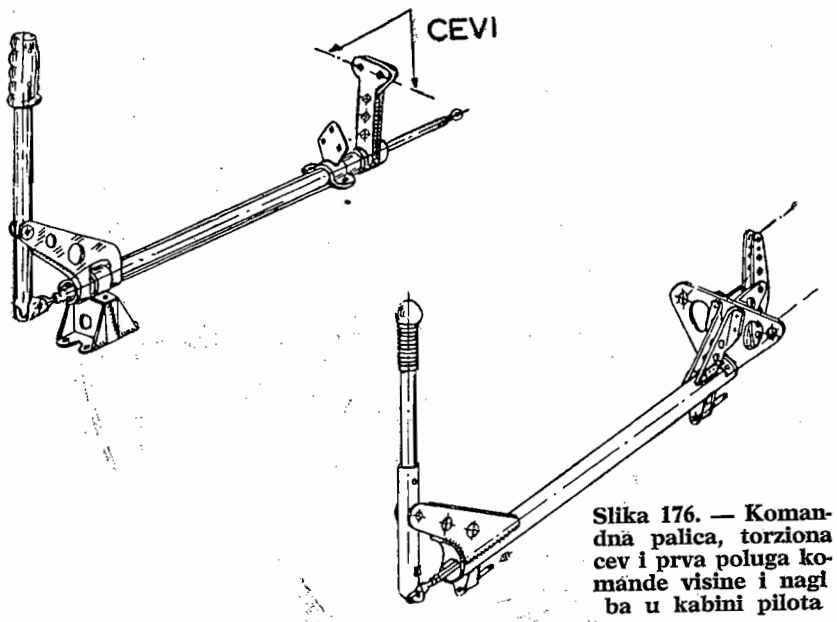


„DART—17"

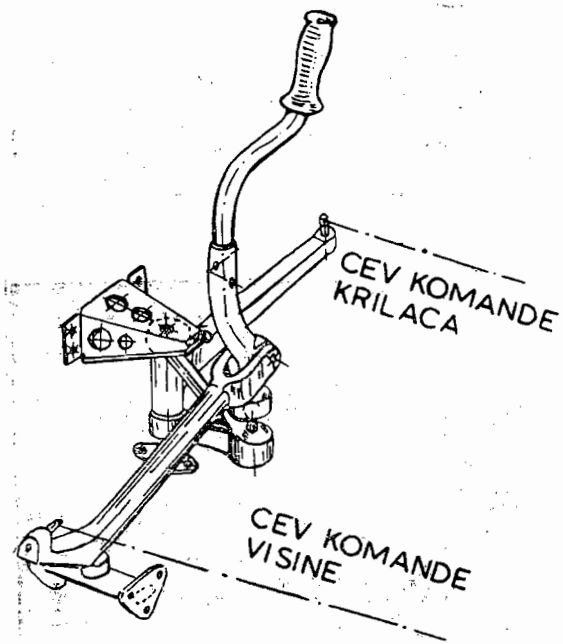
Slika 174B. — Stajni trap bez amortizera i sa hidrauličnim uvlačenjem: 1. — Hidraulični servo-cilindar za uvlačenje — izvlačenje; 2. — dvostrani gumeni sand; 3. — hidraulična pumpa; 4. — poluga hidraulične pumpe sa rukohvatom u kabini; 5. — Cev komade hidraulične pumpe; 6. — čelično uže kočnice točka vezano sa aerodinamičkim kočnicama; 7. — prsten povezan sa vratancima; 8. — kočnica točka; 9. — koga stajnog trapa; 10. — pogonski štap stajnog trapa; 11. — prelomno mesto osiguranja stajnog trapa u izvučenom položaju.



Slika 175. — Disko-kočnica točka — „M-100S"



Slika 176. — Komandna palica, torziona cev i prva poluga komande visine i nagiba u kabini pilota



Slika 177. — Komandna palica u kabini jedrilice „Foka„

KOMANDE LETA

Komandne površine jedrilice najčešće se nalaze na krajevima krila i na kraju trupa. Da bi se omogućilo njihovo pokretanje od strane pilota, i to iz kabine, odgovarajućim elementima mora da se obezbedi njihov rad. Ovi elementi poznati su pod opštim nazivom — komande leta.

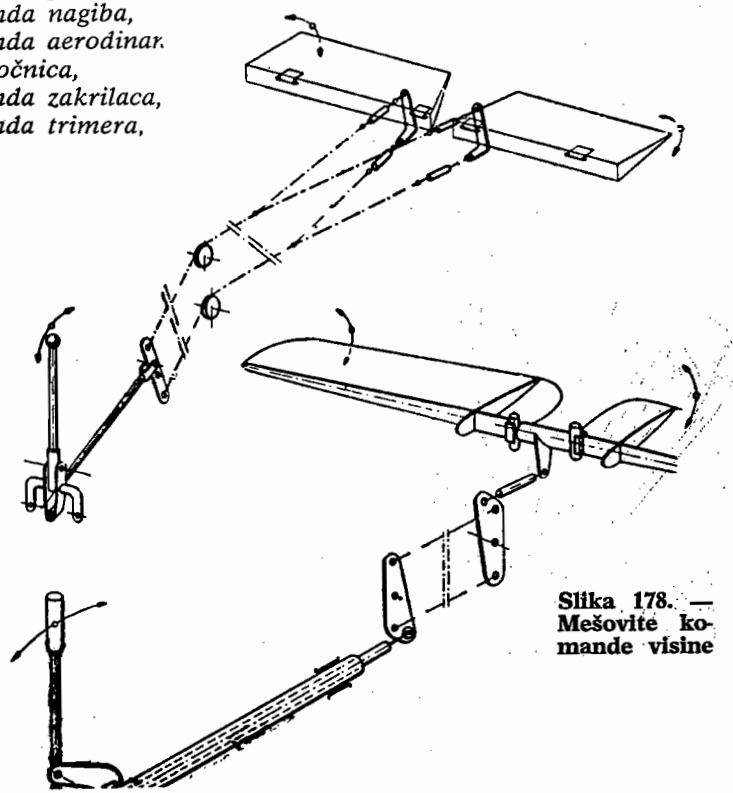
U elemente komandi leta spadaju: cevi (čelične i duralne), čelična užad, prenosne poluge, rolnice, segmenti itd. Prema vrsti elementa koji su primenjeni u komandama, ove delimo na:

— *meke, sa čeličnim užadima*
— *krute, sa cevima i*
— *mešovite.*

Najčešće se primenjuju mešovite konstrukcije, mada imamo primera gde su komande čisto meke ili krute. Danas je uobičajeno da se na školsko-trenažnim jedrilicama primenjuju meke, a na ostalim tipovima jedrilica — krute ili mešovite komande.

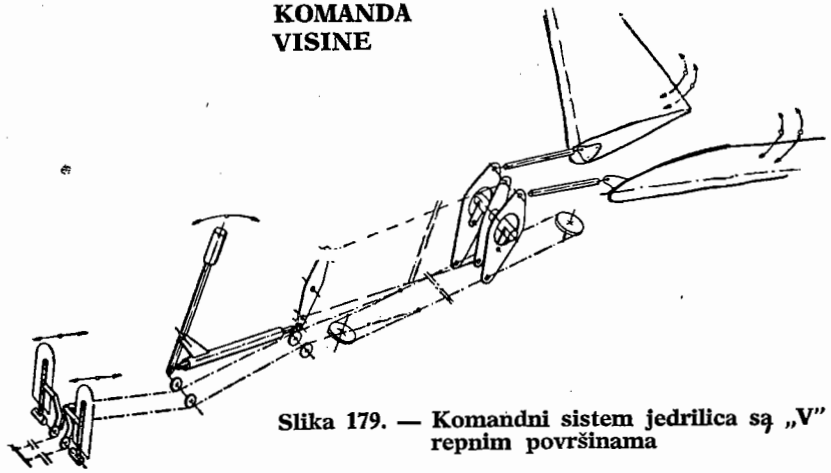
Prema ulozi, odnosno zadatku, komande možemo da podelimo na ove grupe:

— *komanda visine,*
— *komanda pravca,*
— *komanda nagiba,*
— *komanda aerodinamičkih kočnica,*
— *komanda zakrilaca,*
— *komanda trimera,*
— *komanda kuka i*
— *komanda uvlačenja točka.*



Slika 178. — Mešovite komande visine

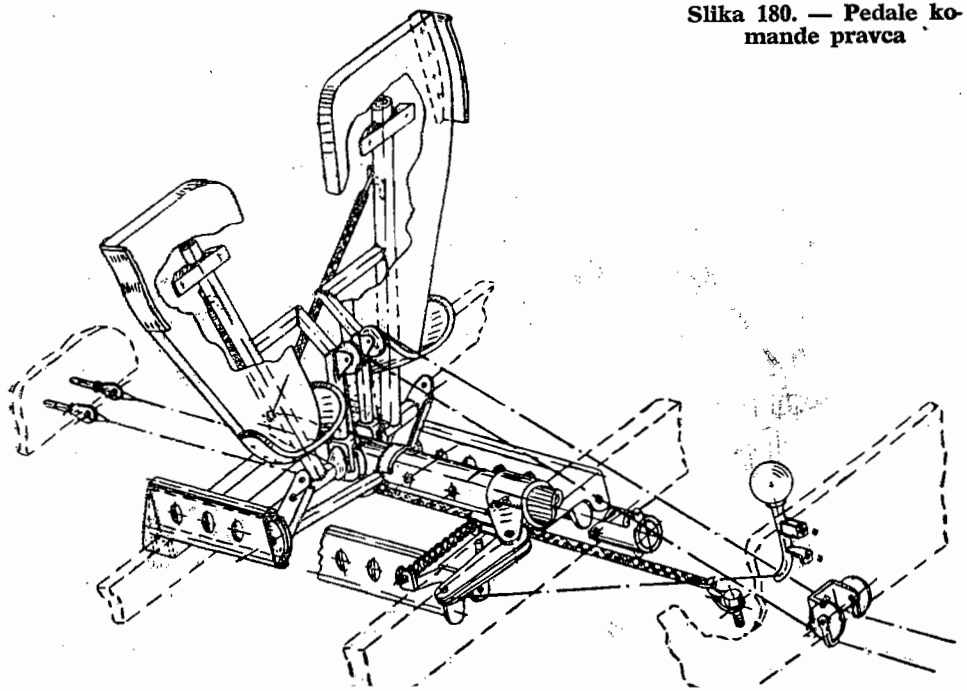
KOMANDA VISINE



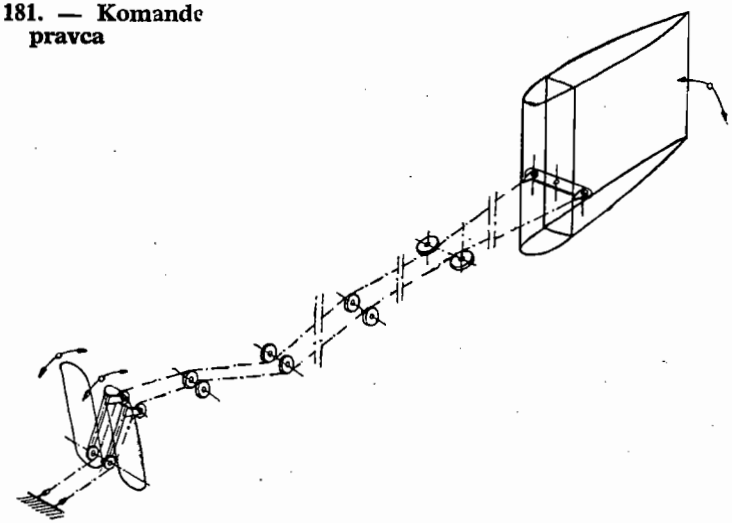
Slika 179. — Komandni sistem jedrilica sa „V" repnim površinama

Elementi komande visine sastoje se iz: palice, torzione cevi, ležajeva torzione cevi, poluga, cevi ili čeličnih užadi. Na slikama 176 i 177 prikazan je sklop palice, torzione cevi, oslonaca i prve poluge — ovo se nalazi u kabini pilota, dok su na slici 178 prikazane kompletne komande visine. Kod jedrilica sa „V", tj. leptir repnim površinama, komande visine i pravca su među sobom povezane kako se to vidi na slici 179. Tip ovih poslednjih komandi je najčešće krut ili mešovit.

Slika 180. — Pedale komande pravca



Slika 181. — Komande pravca



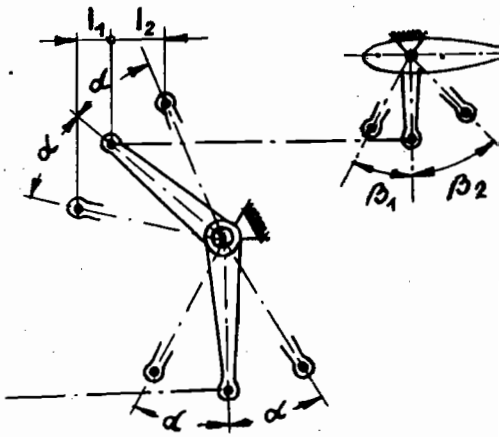
KOMANDA PRAVCA

U elemente ovih komandi spadaju: pedale, poluge i čelična užad (ili cevi). Međutim, ove komande su najčešće meke. Poželjno je da pedale mogu da se regulišu, a ukoliko to nije predviđeno, treba obezbediti pomeranje naslona. Na slici 180 prikazane su pedale koje mogu da se regulišu u letu, a na slici 181 vide se kompletne komande pravca.

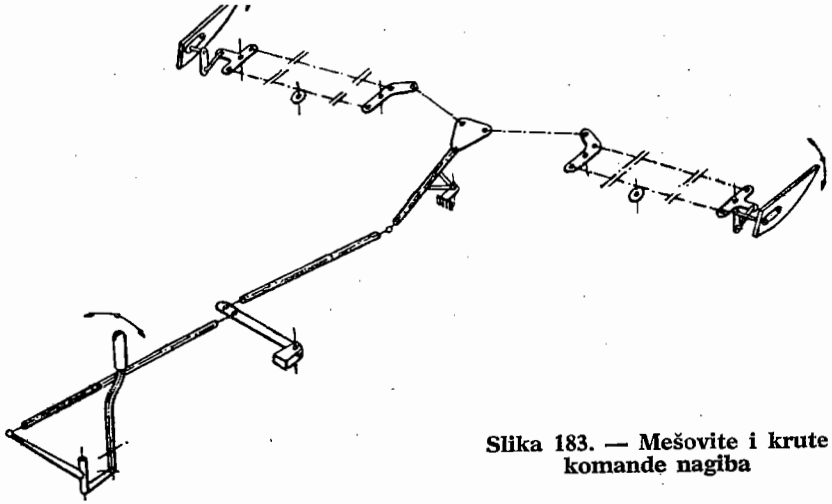
KOMANDA NAGIBA

Ovim komandama pokrećemo krilca koja se nalaze na kraju krila. S obzirom da je otklon (nagore i nadole) nejednak, tj. postoji diferencija, ovo treba obezbediti pogodnim prenosima, odnosno polugama koje nisu pod uglom od 90° (sl. 182). Na taj način omogućeno je da istim otklonom palice u kabini pilota dobijemo različite otklone krilaca nagore i nadole.

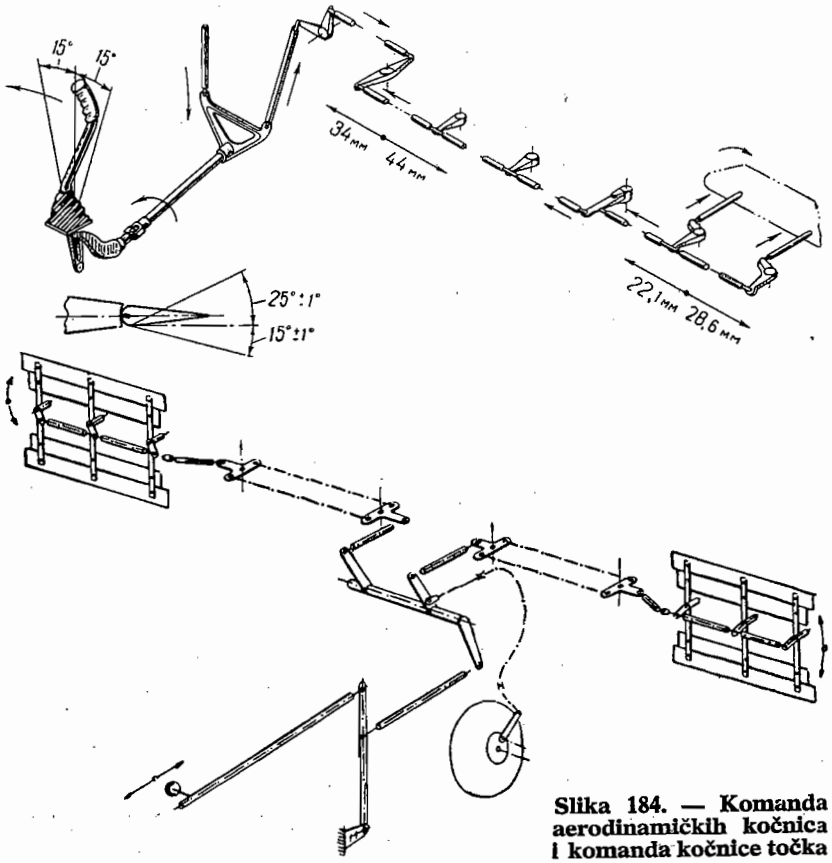
Ove komande mogu biti: meke, krute ili mešovite kako se to vidi i na slici 183.



Slika 182. — Diferencijalna poluga



Slika 183. — Mešovite i krute komande nagiba

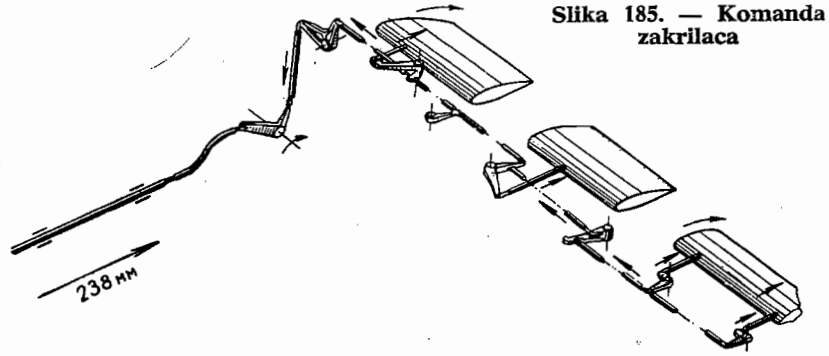


Slika 184. — Komanda aerodinamičkih kočnica i komanda kočnice točka

KOMANDA AERODINAMIČKIH KOČNICA

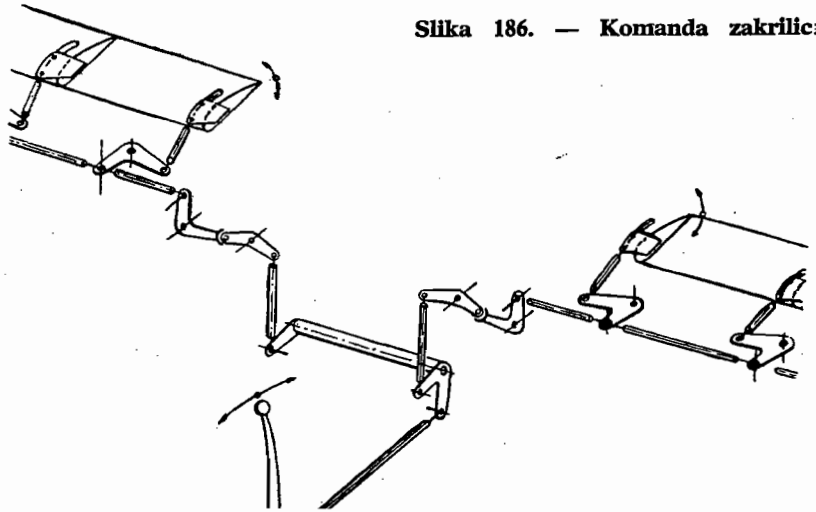
Najčešće su krute, mada je u primeni i mešoviti tip ovih komandi. Preko komandne poluge u kabini i prenosnih poluga vrši se otvaranje, odnosno zatvaranje aerodinamičkih kočnica. Na nekoj prenosnoj međupoluzi obično se postavlja komanda kočnice točka. Aktiviranje ove komande, odnosno početak kočenja, nastaje u poslednjem delu hoda komandne poluge aerodinamičkih kočnica. Na slici 184 vidi se kruta i mešovita komanda aerodinamičkih kočnica.

KOMANDA ZAKRILACA



Slika 185. — Komanda zakrilaca

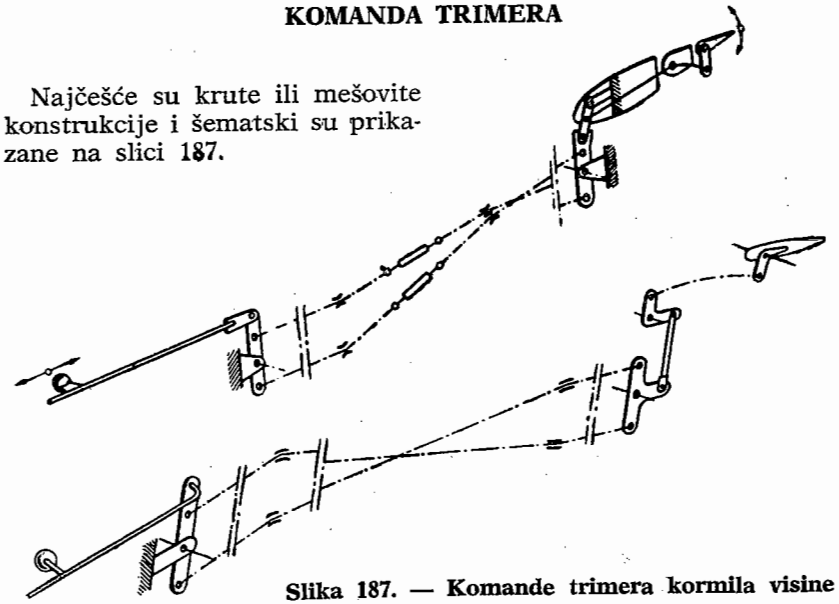
Ove komande su najčešće krute, tj. sa cevima, dok su elementi identični ranije napomenutim. Na slikama 185 i 186 vide se komande zakrilaca. Komandna poluga u kabini pilota može da bude klizna ili poluga s obrtnom osom na donjem delu.



Slika 186. — Komanda zakrilica

KOMANDA TRIMERA

Najčešće su krute ili mešovite konstrukcije i šematski su prikazane na slici 187.

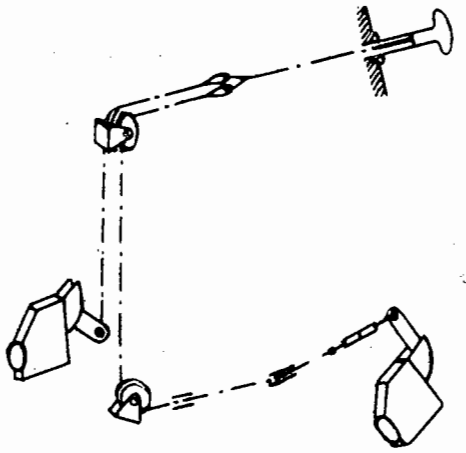


Slika 187. — Komande trimera kormila visine

KOMANDA KUKA

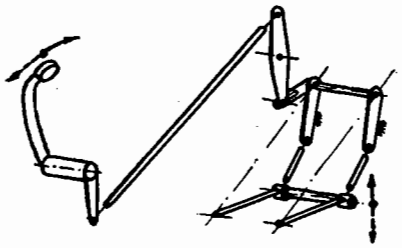
Na jedrilici obično imamo dve kuke — za vuču avionom i vuču vitlom — a komandna poluga u kabini mora da bude jedinstvena, tj. povlačenjem aktiviraju se obe kuke. Ova komanda je obično meka, mada može biti i kruta. Na slici 188 dat je šematski prikaz komande kuka.

Rukohvat ovih komandi u kabini pilota može da bude izrađen u obliku kugle ili polužice, a postavlja se na mesto koje pilot može u letu lako da dohvati i pored toga što je čvrsto vezan za sedište.



Slika 188. — Jedinstvena komanda kuka za vuču avionom i vitlom

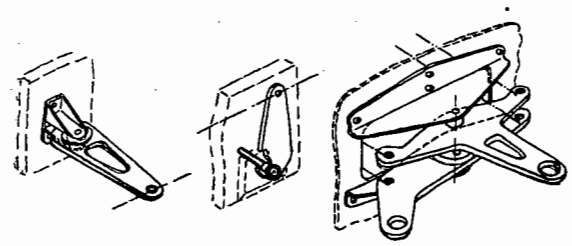
KOMANDA ZA UVLAČENJE TOČKA



Slika 189. — Komanda uvlačenja stajnog trapa

Jedrilice koje su snabdevene centralnim točkom na uvalčenje moraju u kabini pilota da imaju odgovarajuću polugu za njegovo uvlačenje, odnosno izvlačenje. Kinematika komandi mora da bude takva da se uvlačenje, odnosno izvlačenje točka obavlja brzo i lako. Ovo se najjednostavnije rešava polužnim sistemom gde je potreban jedan potez ruke da bi se izvukao, odnosno uvukao točak. Pored toga, kinematika komandi mora da obezbedi osiguranje točka u uvučenom i izvučenom položaju kako točak ne bi bio uvučen (pri sletanju) ili izvučen (u letu) pod dejstvom opterećenja. Ovo se rešava na sličan način kao kod aerodinamičkih kočnica, tj. postojanjem mrtvog ugla u kinematici. Na slici 189 i 174 prikazana su dva tipa ovih komandi. Pozicije na slici 174 označavaju: 1 i 2 — konzola, 3 — komandna poluga, 4 do 7 — odgovarajući okviri, 8 — osa ramenjače, 9 — okvir, 10 — amortizer, 11 — točak, 12 — viljuška, 13 — poluga amortizera, 14 — konzola, 15 — cev, 16 — dvostrana poluga, 17 — konzola i 18 — cev.

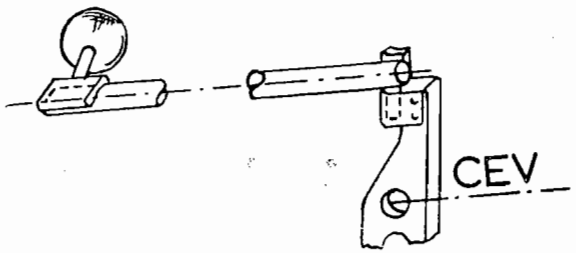
ELEMENTI KOMANDI



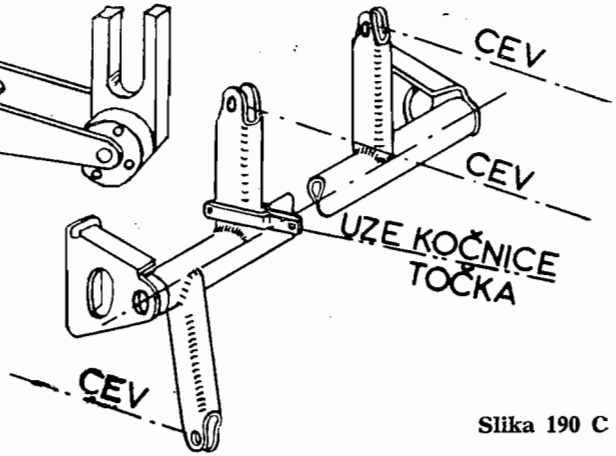
Slika 190 A — Elemenati komandi: poluge i nosači poluga

Kako je već napred rečeno komandni sistemi se sastoje iz poluga, oslonaca poluga, cevi, užadi, segmenata, rolnica itd. Neki od ovih elemenata vide se na slikama 190, 191, 192 i 193.

Jedan od krajeva cevi načinjen je tako da se njegova dužina može regulisati što je potrebno pri reglaži komandnih sistema. Kod mekih komandi postavljaju se zatezači, koji omogućavaju

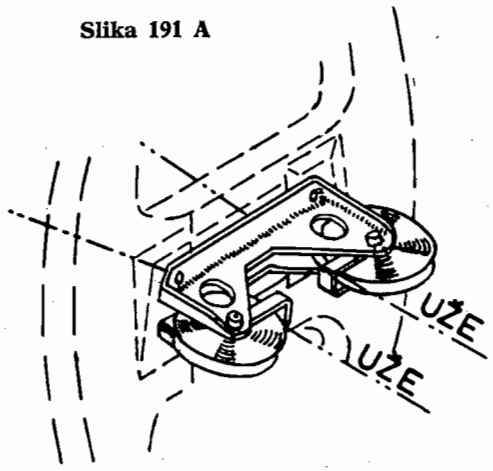


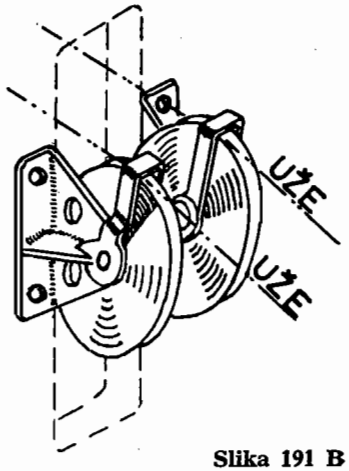
Slika 190 B



Slika 190 C

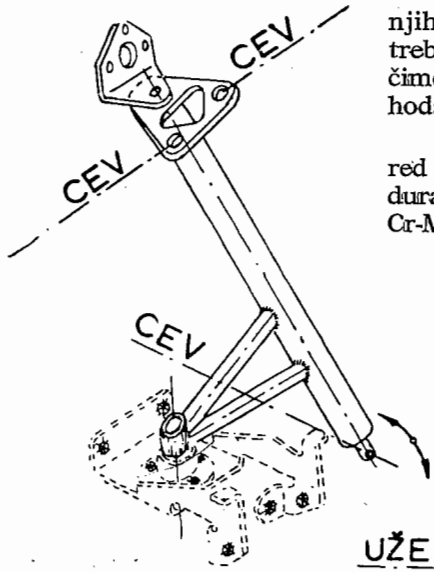
Slika 191 A

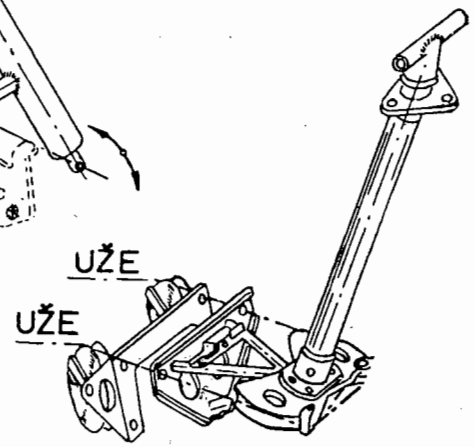




Slika 191 B

Slika 190 i 191. — Elementi komandi: poluge, nosači poluga, rolnice

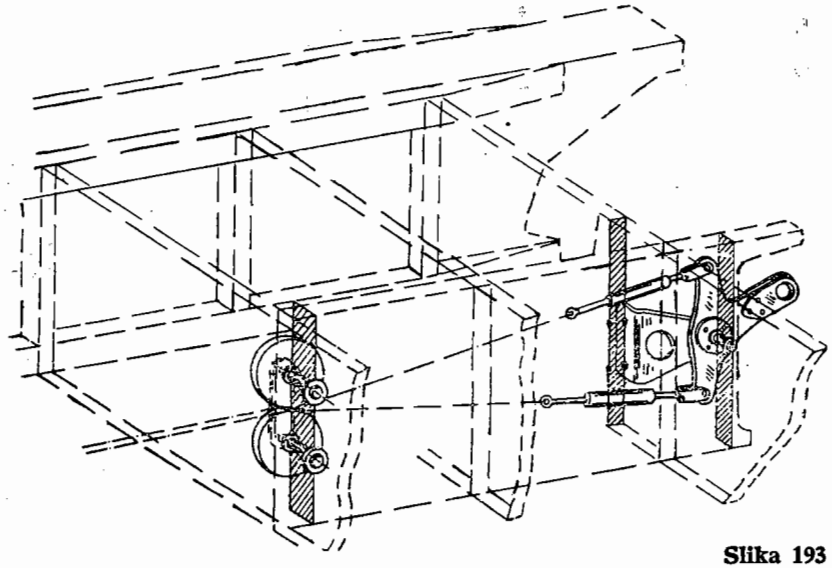




Slika 192/193. — Elementi komandi — kosi prenos, segment i način vođenja čeličnog užeta preko rolnica

njihovu montažu i stvaranje potrebnog prethodnog zatezanja, čime se izbegava pojava praznog hoda kinematike.

Elementi komandi su napred navedeni izrađuju se od: durala, čelika ili spljoštenih Cr-Mo cevi. Pored ovoga, pojedini



Slika 193

elementi mogu da se kombinuju, tj. čelik i dural, a veza između njih se ostvaruje zakivanjem. Ukoliko se elementi komande izrađuju samo od čelika, obično se povezuju zavarivanjem.

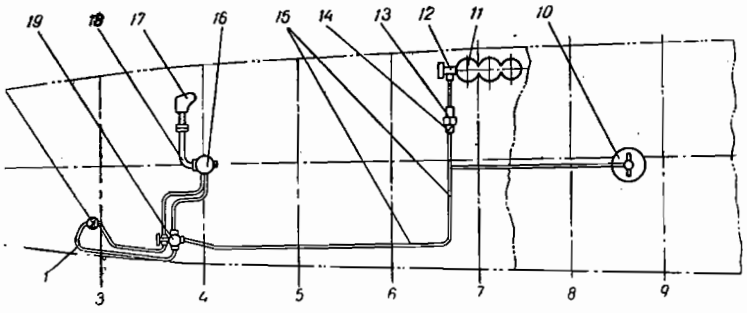
SPECIJALNA OPREMA

Jedrilice koje su namenjene za postizanje vrsnih rezultata snabdevene su specijalnom opremom koja omogućava izvršenje tih zadataka. Ovde bi spadali visinski rekordi, noćno letenje itd.

U specijalnu opremu, pored dopunskih instrumenata na instrmentalnoj tabli, spadaju i:

— *kiseonička oprema,*
— *radio-oprema,*
— *elektrooprema i*
— *vodobalast.*

KISEONIČKA OPREMA



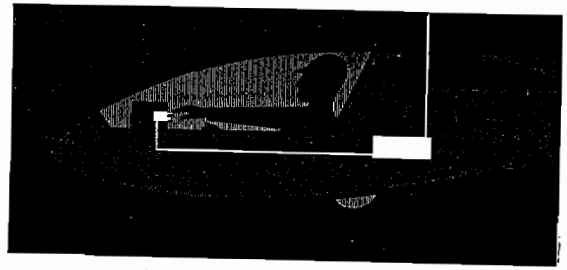
Slika 194. — Kiseonička instalacija kod jedrilice „A-15" Objašnjenje oznaka dato je u tekstu

Ova oprema se koristi pri visinskim letovima uglavnom od 4 do 12 km. Preko ove visine, tj. 12 km pilot mora da bude snabdeven skafanderom. Na slici 194 prikazana je kiseonička instalacija: 1 — cev, 10 i 11 — boce (4 l), 12 — matica, 13 — priključak, 14 — pravolinijski prečistač, 15 — cev, 16 — plućni automat, 17 — maska, 18 — crevo, 19 — reducioni ventil, 20 — pokazivač protoka, 2÷9 — okviri.

RADIO-OPREMA

Za vezu sa zemljom ili sa drugim jedrilicama u vazduhu ugrađuje se primopredajna radio-stanica, najčešće tranzistorska, koja radi na ultrakratkim talasima (sl. 195). Pored radio-stanice, može

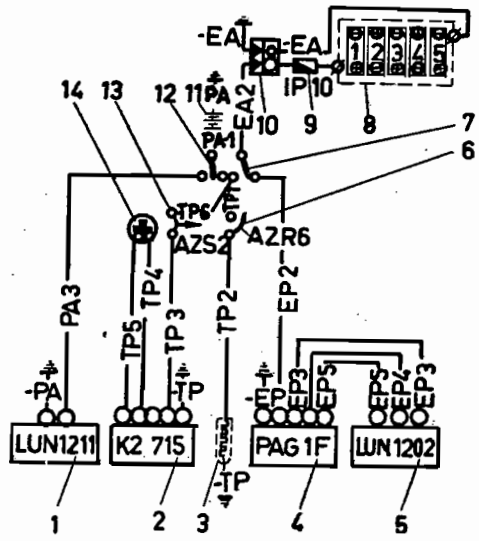
Slika 195. — Ugradnja tranzistorske radio-stanice na jedrilicama



da se ugradi i far-predajnik kojim može da se vrši kontrola sa zemlje, u praćenju leta jedrilice, a preko kružnog indikatora radio-lokacione stanice ugrađene na vozilu.

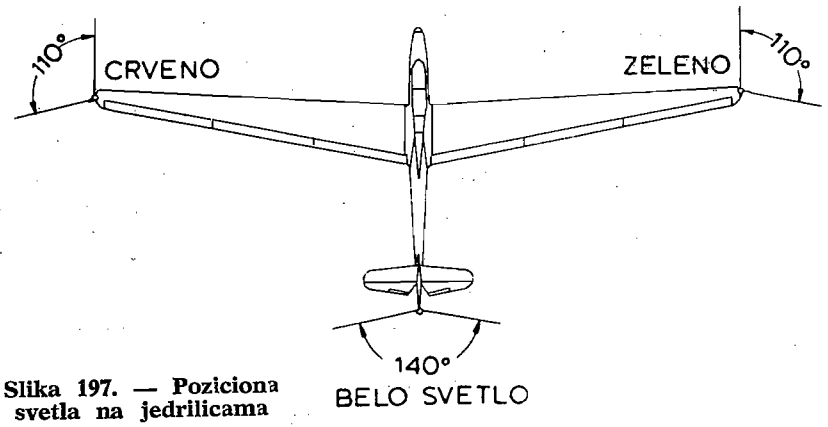
U komplet radio-stanice spada: primopredajnik, akumulator, antena, dugme „prijem — predaja", prekidač „uključeno-isključeno" i mikrofon. U komplet fara spada: detektorski prijemnik, generator UKT, antena sa antimetarskog dijapazona isijavanja i antena UKT.

ELEKTROOPREMA



Slika 196. — Šema elektroinstalacije jedrilice „A-15" (objašnjenje oznaka dato je u tekstu)

Ova oprema služi za napajanje električnom energijom sledećih instrumenata i opreme: aviohorizonta, kontrolnika leta, grejanja pito-cevi, osvetljenja itd. Na slici 196 data je šema ove opreme, a značenje oznaka je sledeće: 1 — kontrolnik leta, 2 — baro-pisač brzine, 3 — grejanje pito-cevi, 4 — pretvarač avio-horizonta; 5 — aviohorizont, 6 — prekidač grejanja pito-cevi, 7 — prekidač avio-horizonta, 8 — akumulatori, 9 — osigurač, 10 — utikač, 11 — baterija, 12 — prekidač, 13 — osigurač, 14 — dugme za merenje vremena.

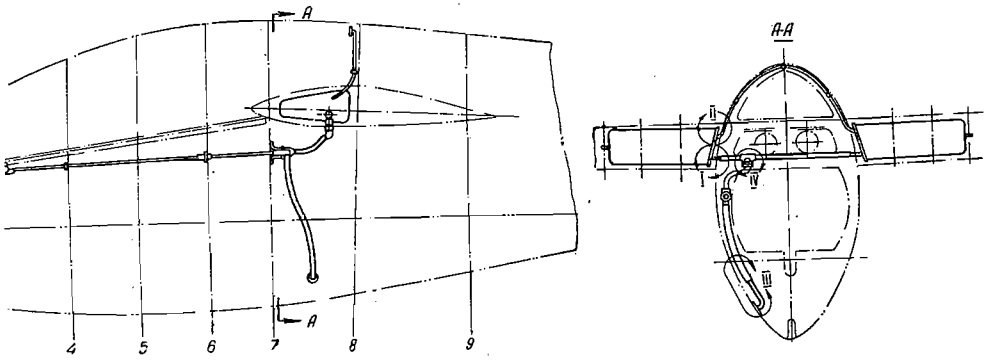


Slika 197. — Poziciona svetla na jedrilicama

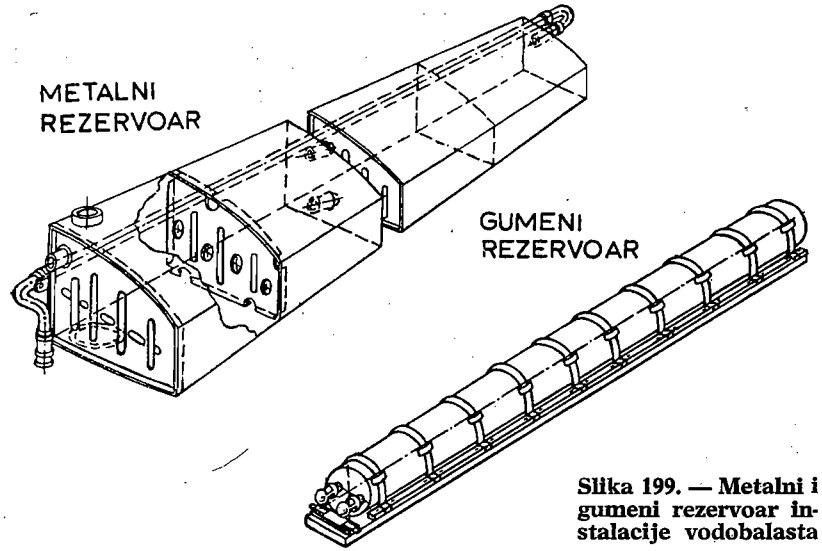
Na slici 197 dat je primer korišćenja električne energije za napajanje pozicionih svetla.

VODOBALAST

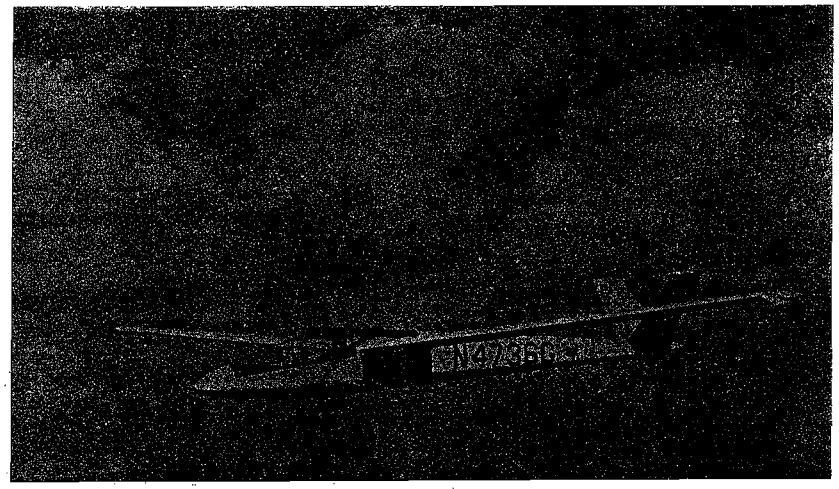
Da bismo poboljšali performanse takmičarskih i rekorderskih jedrilica pri izuzetno povoljnim meteo-uslovima, povećavamo opterećenje krila dodavanjem vode (o promeni položaja polare brzina sa povećanjem opterećenja govorili smo ranije). Instalacija vodobalasta (sl. 198) sastoji se iz sledećih elemenata: rezervoari, cevovodi, trojnik, slavina, cev za punjenje i cev za ispuštanje vode. Rezervoari mogu da budu izrađeni od metala ili gume (sl. 199)



Slika 198. — Šema instalacije vodobalasta na jedrilici „A-15"



Slika 199. — Metalni i gumeni rezervoar instalacije vodobalasta



Američka metalna jedrilica otvorene klase HP-14 namenjena za takmičarske i rekordne letove

i obično se ugrađuju u svako polukrilo. Cevi su od bakra ili gume. Da bismo izbegli stvaranje vakuuma u rezervoarima, moramo da predvidimo drenaž koji će da spaja oba rezervoara a da bude povezan sa atmosferom.

PRIKAZ JUGOSLOVENSKIH I STRANIH JEDRILICA

U obuci, trenaži i na takmičenjima jugoslovenski jedriličari koriste danas jedrilice domaće konstrukcije i izrade. Tu su zastupljene dvosede i jednosede jedrilice, od kojih ćemo navesti samo neke: dvosede — Letov 22, Libis 17, Cirus itd., i jednosede — Jastreb, Ilindenka 1 i 1T, Mačka, Orao, Meteor, Trener i Delfin. Karakteristike ovih jedrilica date su u tabeli VI.

Poslednjih godina jedriličarstvo u celom svetu dostiglo je visok stepen razvitka, što se može videti i po vrednosti svetskih rekorda koji su postignuti za poslednjih pet godina. Pored toga, na svakom međunarodnom ili svetskom prvenstvu moguće je uočiti dalji napredak u razvoju svih grana koje obuhvata konstrukcija i gradnja jedrilica.

U tabeli VII date su karakteristike samo nekih od visokokvalitetnih ostvarenja u svetu.

Pored toga, dato je i nekoliko jedrilica u tri projekcije kako bi se upotpunila slika o raznim oblicima i modernim stremljenjima u konstrukciji.

Na slici 200 dat je aksonometrijski izgled jedrilice „Pirat" poljske konstrukcije.

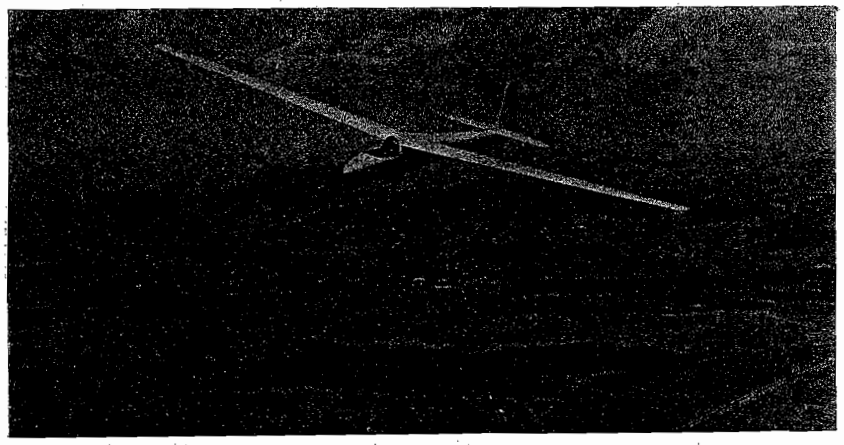
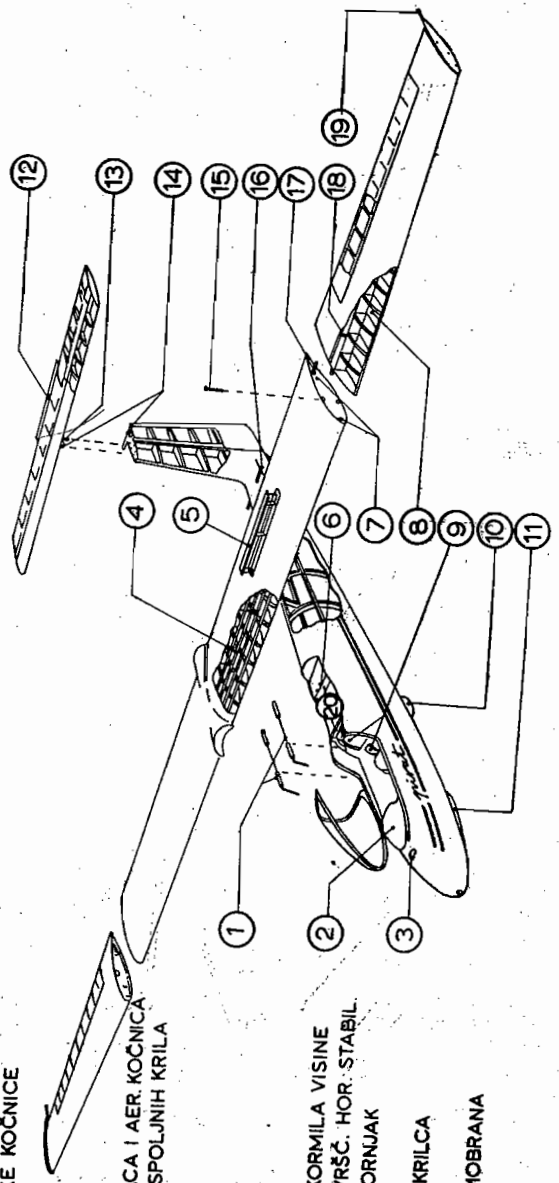


Foto: S. A. Aldot

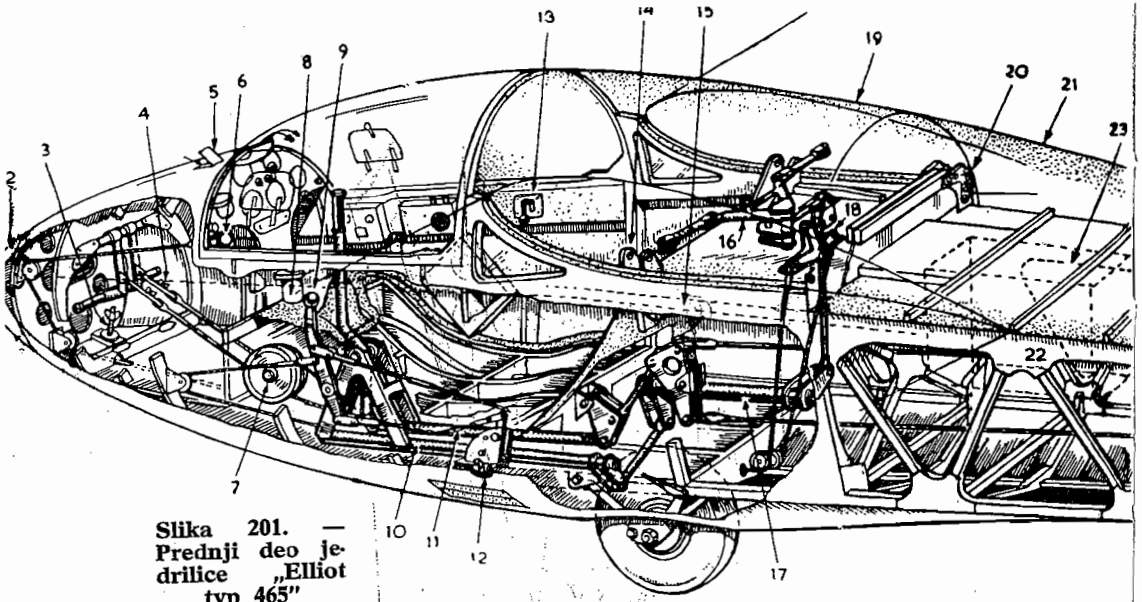
Popularna nemačka jedrilica Ka 6E

AKSONOMETRIJSKI IZGLED UNUTRAŠNJE STRUKTURE JEDRILICE.

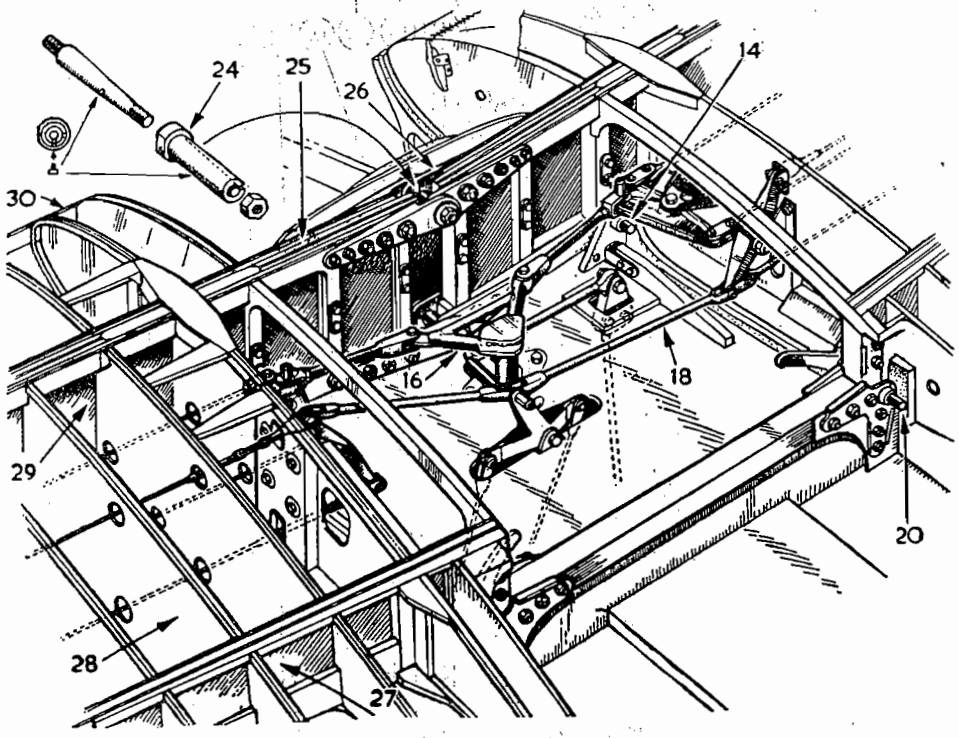
1. SVORNJACI GLAVNIH OKOVA
2. INSTRUMENT TABLA
3. POKLOPAC OTVORA ZA VENTILACIJU
4. POLULJUSKASTA KONST. SA UZDUŽNICAMA
5. AERODINAMIČKE KOČNICE
6. CEVI KOM. KRILACA I AER. KOČNICA
7. OKOVI ZA VEZU SPOLJNIH KRILA
8. KESON
9. PRTLJAŽNICI
10. TOČAK
11. SMUČKA
12. TRIMER
13. CEV KOMANDE KORMILA VISINE
14. OKOVI ZA PRIČVRŠČ. HOR. STABIL.
15. VERTIKALNI SVORNJAK
16. RUKOHVAT
17. CEV KOMANDE KRILCA
18. RAMENJAČA
19. METLICA GROMOBRANA
20. OKOVI



Slika 200. — Jedrilica poljske konstrukcije „Pirat"



Slika 201. — Prednji deo jedrilice „Elliot typ 465"



Slika 202. — Aksonometrijski izgled centralnog dela trupa sa glavnim i pomoćnim okovima i centralnom polugom komandi nagiba i aerodinamičkih kočnica „Elliot typ 465"

Na slikama 201 i 202 aksonometrijski je prikazana struktura prednjeg i centralnog dela trupa sa glavnim i pomoćnim okovom na visokosposobnoj jedrilici standardne klase engleske proizvodnje „Elliot Typ 465". Pozicije na slikama imaju sledeća značenja:

1 — otvor za pito-cev; 2 — nosni kok izrađen od armirane plastike; 3 — zavrtanj za pričvršćenje balasta; 4 — reglažna mesta za podešavanje pedala; 5 — otvor za ventilaciju; 6 — rukohvat za aktiviranje kuke; 7 — točak komande trimera; 8 — kompas tipa „kuk"; 9 — komanda aerodinamičkih kočnica i kočnice točka; 10 — torziona cev komande nagiba; 11 — cev komande visine; 12 — kuka za vuču avionom i autovitlom; 13 — polužica za zabravljivanje-odbravljivanje poklopca — kabine; 14 — prednji okov na trupu; 15 — glavna uzdužnica trupa; 16 — centralna poluga pogona krilaca; 17 — dopunska torziona cev komande krilaca; 18 — ginjon komande aerodinamičkih kočnica; 19 — oplata centralnog dela trupa izrađena od armirane plastike; 20 — pomoćni okov krila i trupa; 21 — zadnji deo oplate centralnog dela trupa; 22 — rešetka trupa izrađena od drveta; 23 — prostor predviđen za akumulator; 24 — centralni svornjak glavnog okova krila; 25 — čelo ramenjače koje je lamelirano duralnim pločama; 26 — čelične čaure glavnih okova u krilu; 27 — pomoćna ramenjača; 28 — rebro krila; 29 — glavna ramenjača; 30 — napadna ivica krila izrađena od sprusa (omorika).

Pored navedenih pozicija, na ovim slikama vide se i ostali elementi konstrukcije, a koji su spomenuti kroz tekst ovog dela priručnika. Tu se, pored ostalog, vide okviri trupa, nožne pedale, instrumentalna tabla, sedište, radio-stanica, centralni točak itd.



Slika 202a — Finiš!

Tabela VI

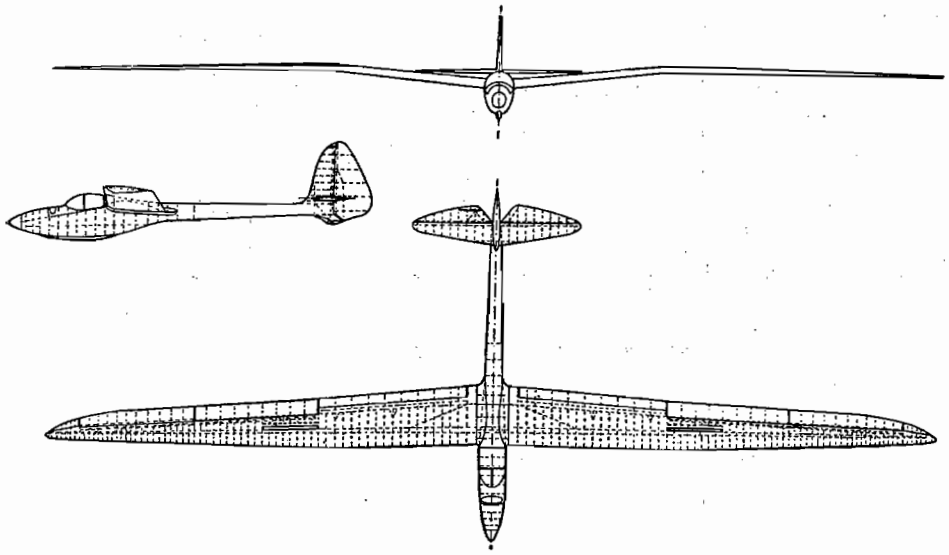
	NAZIV JEDRILICE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Čavka Sl. 2	Jastreb 54 Sl. 4	Jadran Sl. 5	Ilindenka 1T Sl. 12	Mačka Sl. 14	Orao IIC Sl. 203	Košava Sl. 204	Cirus HS-62 Sl. 207	Libis-17 Sl. 3	Libis-18 Sl. 206	Delfin Sl. 205	Meteor Sl. 13
1	Broj sedišta	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
2	Namena	Školska	Trenažna	Trenažna	Visokosposobna	Punoakrobatska	Visokosposobna	Visokosposobna	Trenažno visokosposobna	Školsko-trenažna	Visokosposobna	Visokosposobna	Rekorderska
3	Razmah	12,7 m²	15,0	15,0	15,0	10	19	19,2	17	17	14,98	15,0	20,0
4	Dužina	6,6 m	6,85	7,0	7,027	5,67		8,33	8,7	7,40	6,95	7,2	8,04
5	Visina	2,0 m	1,6		1,51		1,27	1,8	2,1	2,7	1,75	1,55	1,75
6	Površina krila	16,7 m²	15,68	13,25	12,54	10	17,8	21,12	18,38	22,1	12,97	12,82	16
7	Vitkost krila	9,7	14,34	17,0	17,96	10	20,3	17,3	15,73	13	17,3	17,55	25
8	Aeroprofil krila		Gö 549 ЦАГИ 731	Gö 549	Gö 549 ЦАГИ 731M		Gö 549R RAF 34	Gö 549M ЦАГИ 731M	NACA 63_3-618M	NACA 63_3-618M	NACA 63_3-618M	NACA 63_3-618M	NACA 63_7-616,5
9	Težina prazne jedrilice	115 kp	192	195	235	160	356	336	365	369	200	215	421,8
10	Nosivost jedrilice	90 kp	100	90	120	100	100	203	180	200	110	110	120
11	Težina u letu	205 kp	292	285	355	260	456	575	545	569	310	325	541,8
12	Opterećenje krila	12,3 kp/m²	18,65	21,5	28,30	26,0	25,7	27,2	29,65	25,7	23,9	25,3	33,9
13	Maksim. finesa	16,5	21	25	31,4	21,5	36	33,5	28,13	26,7	32	31	38,2
14	pri brzini	56,5 km/h	70,0	75,0	79,0	83,0	85,0	87,0	88,0	93,5	78	87	88
15	Minimum propadanja	0,9 m/s	0,9	0,75	0,656	0,98	0,6	0,66	0,85	0,868	0,63	0,70	0,631
16	pri brzini	51,8 km/h	60,0	60,0	73,0	74,5	75,0	75,0	85,0	75,0	64,0	75	85
17	Minim. brzina	41,7 km/h	57,0	50,0	63,0	62,5		62	75,0	69,0	60	63	70
18	Maks. dozv. brz.		190	200	200	450	220	220	230	230	250	250	250

Napomena: — Vrednosti koje su date u ovoj tabeli dobijene su ispitivanjima u opitnom centru.

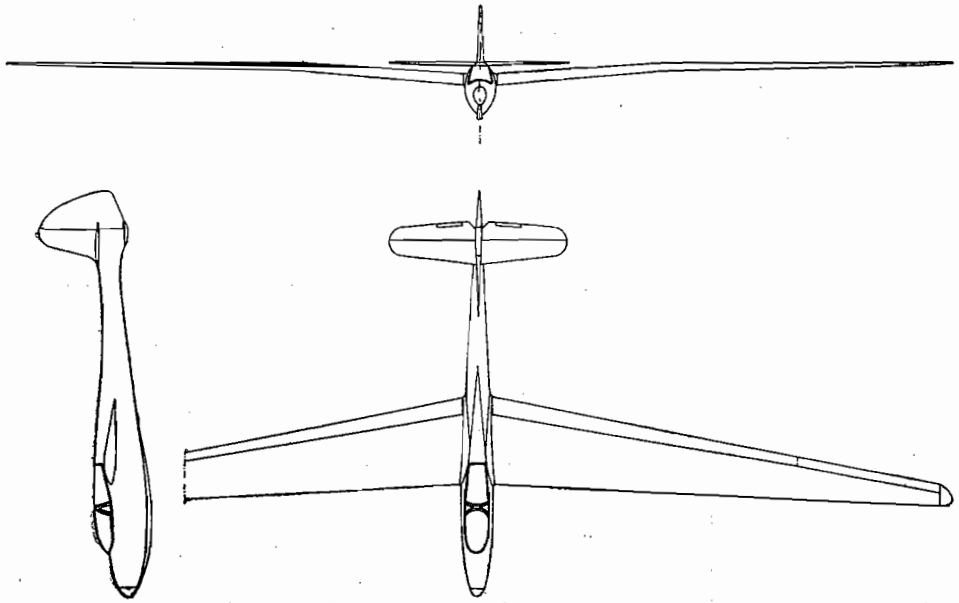
Tabela VII

	NAZIV JEDRILICE	1 Febus Sl. 208	2 Foka-4 Sl. 212	3 Edelvajs	4 Kobus-3 Sl. 15	5 L-13 Blanik	6 A-15 Sl. 210	7 Sisu-1A	8 SHK	9 Zefir-2 Sl. 211	10 BJ-3 Sl. 209	11 D-36	12 BS-1
	Nacionalnost	Zapadna Nemačka	Poljska	Francuska	Poljska	Čehoslovačka	SSSR	SAD	Zapadna Nemačka	Poljska	Južna Afrika	Zapadna Nemačka	Zapadna Nemačka
1	Broj sedišta	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
2	Namena	Visoko-sposobna	Visoko-sposobna	Visoko-sposobna	Visoko-punoakro-batska	Visoko-sposobna trenažna	Rekorder-ska	Rekorder-ska	Visoko-sposobna	Visoko-sposobna	Rekorder-ska	Rekorder-ska	Rekorder-ska
3	Razmah	15	14,98	15	14	16,2	18	15,25	17	17	16,2	17,8	18
4	Dužina	7,1	7,0	7,39	7,22	8,4	7,2	6,35	6,3	7,05	7,5	7,35	7,58
5	Visina	trupa: 0,85	1,4	trupa: 0,72	1,9	2,09	trupa: 1,165	1,85		1,64	1,7	1,5	1,65
6	Površina krila	13,16	12,16	12,5	13,5	19,5	12,3	10,8	14,7	14,0	12,8	12,8	14,1
7	Vitkost krila	17,1	18,5	18,0	14,5	13,7	26,4	23,1	19,6	20,6	20,5	24,7	23,0
8	Aeroprofil krila	Ajgen	NACA 63 serije	NACA 64 serije	NACA 64 serije	NACA 63 serije	NACA 63 i 64 ser.	NACA 65 serije	Eppler	NACA 65 serije	NACA 66 serije	Wortman	Eppler
9	Težina prazne jedrilice	220	245	240	325	292	300	223,5	260	327	308	284	340
10	Nosivost jedrilice	130	120	140	110	208	160	99,5	105	110	122	126	100
11	Težina u letu	350	385	380	445	500	460	323	365	437	430	410	440
12	Opterećenje krila	26,6	30,0	30,4	32,1	26,1	37,4	32,05	24,8	31,2	33,6	32	31,2
13	Maksim. finesa	37	34	36	27,8	28,2	40	41,4	38	35	40	40	46
14	pri brzini	90	94	95	95	93	95	100	87	95	130	80—120	103
15	Minimum propadanja	0,65	0,70	0,69	0,9	0,84	0,68	0,625	0,57	0,72	0,67	0,5	0,43
16	pri brzini	80	79	80	86	83	90	88,4	75	87	74	70	86,5
17	Minim. brzina	60	70	65	75	62	75	66,2	60	62	53	65	66
18	Maks. dozv. brz.	200	260	225	350	240	250	190	200	220	285	200	250
19	Materijal gradnje	Plastika	Drvo+plas.	Sendvić drvo+plas.	Drvo	Metal	Metal	Metal	Drvo	Drvo+plas.	Metal	Plastika	Plastika

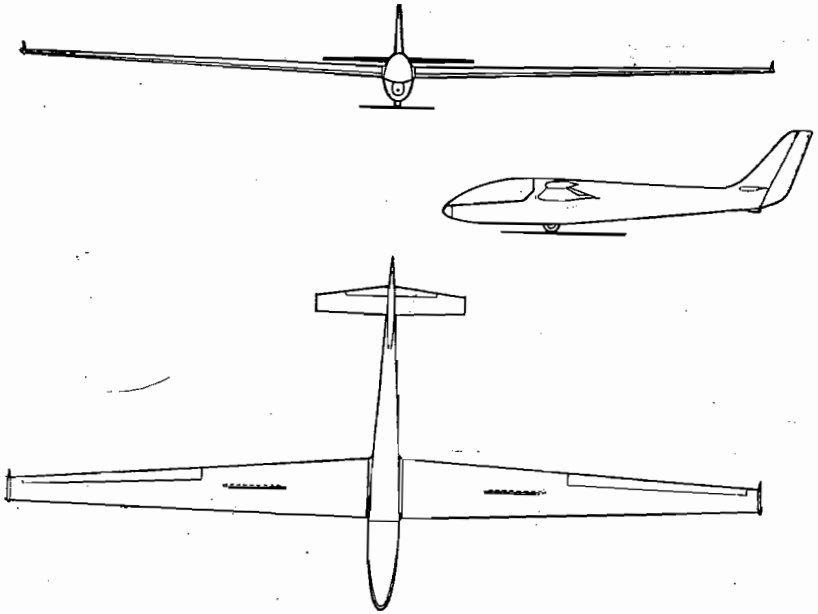
Napomena: — Vrednosti koje su date u ovoj tabeli uzete su iz strane literature.



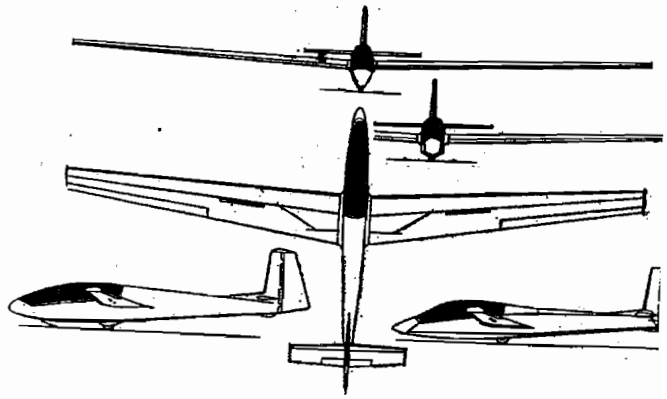
Slika 203. — Visokosposobna jednoseda jedrilica „ORAO IIC"



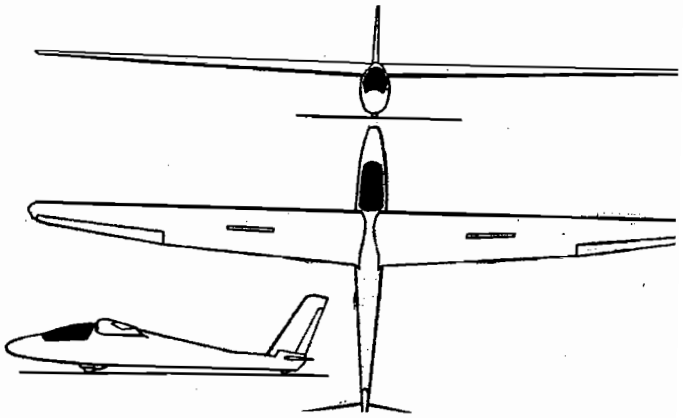
Slika 204. — Visokosposobna dvoseda jedrilica „KOŠAVA"



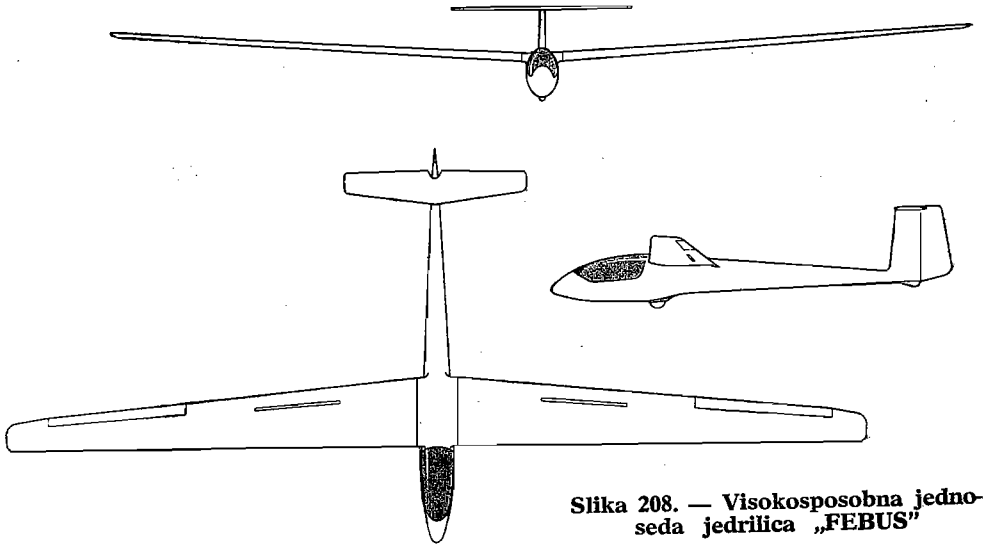
Slika 205. — Visokosposobna jednoseda jedrilica „DELFIN"



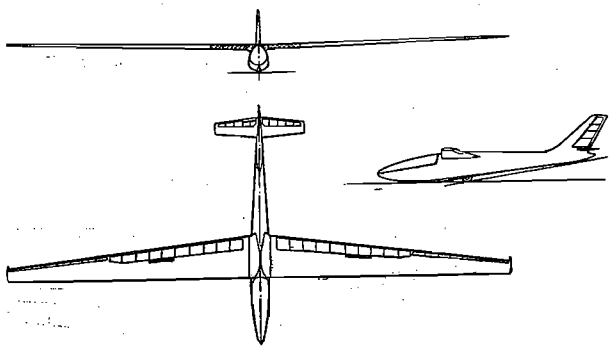
Slika 206. — Visokosposobna trenažna dvoseda jedrilica „CIRUS HS 62" i „CIRUS HS 64"



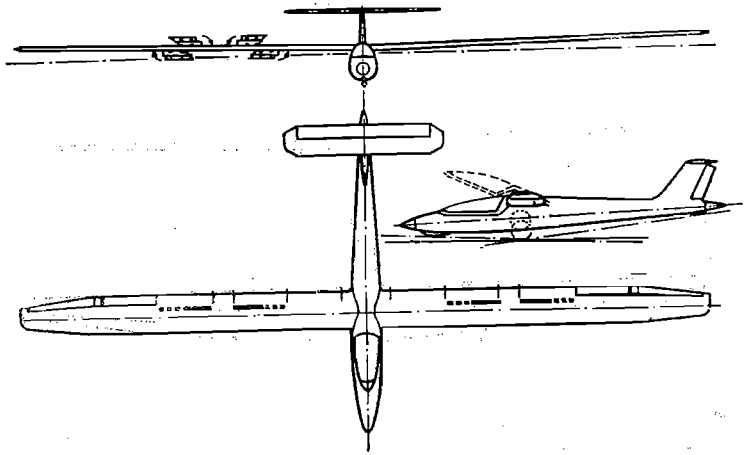
Slika 207. — Visokosposobna jednoseda jedrilica „LIBIS—18"



Slika 208. — Visokosposobna jednoseda jedrilica „FEBUS"



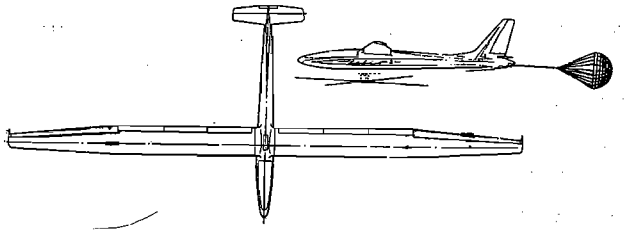
Slika 209. — Visokosposobna jednoseda jedrilica „FOKA — 4"

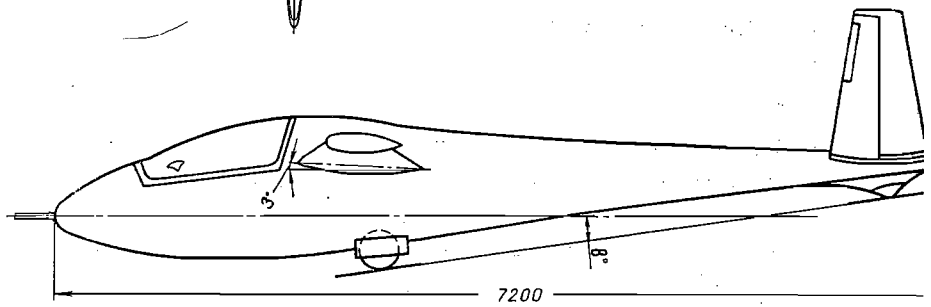


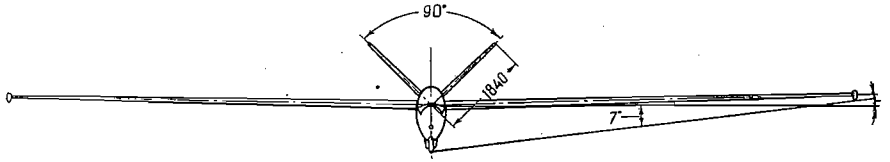
Slika 210. — Rekorderska jednoseda jedrilica „BJ — 3"

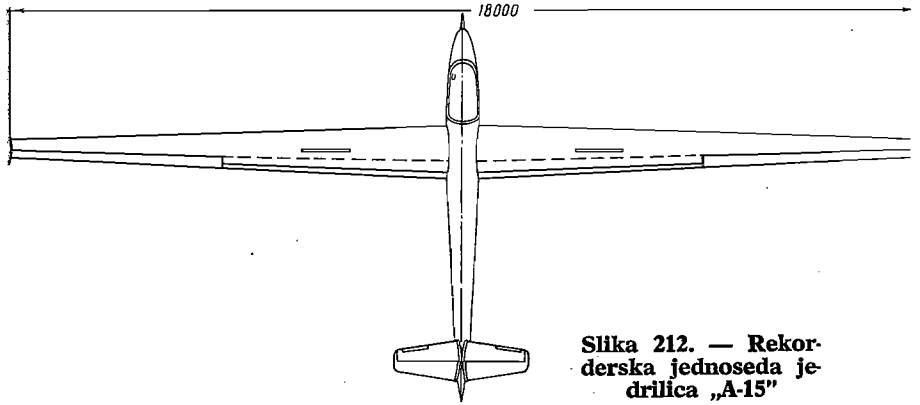


Slika 211. — Visokosposobna jednoseda jedrilica „ZEFIR — 2"









Slika 212. — Rekorderska jednoseda jedrilica „A-15"

LITERATURA

1. *H. Jacobs und H. Lück:* **WERKSTATTPRAXIS**
2. *A. Skarbinski, W. Stafiej:* **PROJEKTOWANIE I KONSTRUKCJA SZYBOWCÓW**
3. *B. Cijan:* **VAZDUHOPLOVNO JEDRILIČARSTVO**
4. *I. ŠOŠTARIĆ:* **VAZDUHOPLOVNI STOLAR**
5. *B. Komac:* **POZNAVANJE JEDRILICA**
6. *S. Mirić:* **ARMIRANI PLASTIČNI MATERIJALI**
7. *S. Mirić:* **LEPLJENJE METALA**
8. *A. Lejkin:* **AVIJACIONOJE MATERIJALOVEDENIJE**
9. *A. Protopopov:* **KONSTRUKCIJA I RABOTA ČASTEJ SAMALJOTA**
10. *M. Šuljženko:* **KURS KONSTRUKCIJ SAMALJOTOV**

Časopisi: **NAŠA KRILA, AEROBILTEN, SZKRIDLATA POLSKA, AEROKURIR, INTERAVIA, DER FLIGER, AERO REVUE SWISS, AKAFLIEG DARMSTADT,** 1956—57—58 i 59—60, **SOARING S.A.**

VII

POZNAVANJE INSTRUMENATA

U razdoblju do prvog svetskog rata vazduhoplovi nisu bili opremljeni nikakvim instrumentima, pa se letelo isključivo po osećanju. Tadanji nivo vazduhoplovne tehnike jedva je bio dovoljan da savlada osnovne probleme letenja; letenje je tada bilo samo sebi cilj.

Međutim, po završetku prvog svetskog rata došlo je do naglog razvoja vazduhoplovstva. Ovako brz razvoj u stvari je posledica intenzivnog rada na poboljšanju kvaliteta, bezbednosti i udobnosti letenja. Pri tome je vazduhoplovno jedriličarstvo, koje se vremenom razvilo u veoma interesantnu sportsku granu, težnjom za postizanjem sve značajnijih sportskih rezultata odigralo vidnu ulogu u opštem razvoju vazduhoplovne tehnike.

INSTRUMENTI VAZDUHOPLOVNIH JEDRILICA

ZNAČAJ INSTRUMENATA

Danas letenje više nije samo sebi cilj, već se svaki let obavlja u okviru nekog zadatka. Struktura tih zadataka iz dana u dan je sve složenija; loši meteorološki uslovi predstavljaju sve manju prepreku njihovom ispunjenju, a pri svemu tome bezbednost letenja raste. Danas letači bezbedno lete iznad nepoznatih terena, kroz oblake, lete noću, a pri svemu tome imaju svakog momenta uvid u tačan položaj svoje letelice u odnosu na zemlju i neki orijentir na njoj.

Ukoliko bi letač bio primoran da leti isključivo po osećanju, mnoge zadatke ne bi mogao da izvrši korektno i bezbedno zbog ograničenih mogućnosti svojih čula. Nepouzdanost letačevih čula otklanjaju avio-instrumenti, bez kojih se ne može ni zamisliti jedan savremeni vazduhoplov.

Pošto je ova knjiga namenjena jedriličarima, to će u njoj biti opisani samo oni instrumenti kojima su opremljene savremene jedrilice.

USLOVI RADA I TAČNOST POKAZIVANJA INSTRUMENATA

Tokom rada instrumenti su izloženi raznim štetnim uticajima, kao što su: promene temperature i vazdušnog pritiska, potres pri poletanju i sletanju, dejstvo inercijalnih sila pri izvođenju evolucija, vlaga itd. Ovi uticaji povećavaju mogućnost otkaza, ugrožavaju tačnost pokazivanja i skraćuju vek instrumenata. S obzirom da otkazi i netačna pokazivanja mogu da izazovu udes ili katastrofu jedrilice, neophodno je da instrumenti budu otporni prema pomenutim dejstvima.

Štetan uticaj udarnih sila pri poletanju i sletanju ublažava se elastičnom ugradnjom instrumentalne table.

U zavisnosti od visine leta i godišnjeg doba, temperatura okolnog vazduha menja se u vrlo širokim granicama, izazivajući pro-

menu dimenzija i elastičnih svojstava svih tela, pa, prema tome, i preciznih, osetljivih delova instrumenata. Ova pojava znatno utiče na tačnost instrumenata, te se njeno dejstvo mora svesti na najmanju moguću meru, što predstavlja veoma složen problem koji se rešava specijalnim konstruktivnim koncepcijama, ugradnjom kompenzacionih elemenata i opsežnom tehnološkom studijom izbora materijala, ulja za podmazivanje itd.

U zavisnosti od visine leta i opšte meteorološke situacije, menja se statički pritisak okolnog vazduha, što u znatnoj meri utiče na tačnost pokazivanja pojedinih instrumenata, izazivajući greške čije vrednosti mogu da iznose i do 30%. Zbog ovoga ie neophodna upotreba specijalnih korekcionih tablica za računsko ispravljanje grešaka ili ugradnja posebnih elemenata za visinsku kompenzaciju.

Pri izvođenju evolucija, svi elementi jedrilice, a time i instrumenti, izloženi su dejstvu inercijalnih sila koje mogu da dostignu vrednosti nekoliko puta veće od normalnih opterećenja. Neophodno je da instrumenti i u ovakvim slučajevima budu bezbedni od kvara i zadrže potrebnu tačnost.

S obzirom na opisane uslove rada i potrebu velike bezbednosti od kvara, što uslovljava primenu izvesnih grubljih elemenata, instrumenti ne mogu da imaju tačnost laboratorijskih i kontrolnih aparata. Međutim, tolika tačnost nije ni potrebna, te se može smatrati da je instrument dovoljno precizan ukoliko u celom opsegu pokazivanja ne pravi grešku veću od 2,5%.

KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA

Instrumenti koji se ugrađuju na jedrilice mogu da se klasificiraju prema principu rada, osnovnom mehanizmu, nameni i vrsti pokazivanja.

KLASIFIKACIJA PREMA PRINCIPU RADA

Ova klasifikacija zasnovana je na činjenici da se principi rada instrumenata baziraju na korišćenju određenih fizičkih zakona. Grupisanje je izvršeno prema oblasti fizike kojoj primenjeni zakoni pripadaju. Principi rada instrumenata koji se ugrađuju na jedrilice zasnivaju se uglavnom na korišćenju zakona mehanike i magnetizma, te se stoga dele na mehaničke i magnetne. U odnosu

na jedriličarske, familija avionskih instrumenata daleko je raznovrsnija i u njoj se, sem opisanih, često sreću električni, optički i kombinovani instrumenti.

U mehaničke se ubrajaju svi manometarski instrumenti, kao i žiroskopski sa vazdušnim pogonom. Njihov princip rada zasnovan je na korišćenju raznih zakona mehanike, kako čvrstih tela, tako i fluida.

Grupi magnetnih instrumenata pripadaju uglavnom magnetni kompasi. Njihov princip rada zasniva se na korišćenju osobine stalnog magneta da se uvek postavlja u pravac Zemljinog ili nekog veštačkog magnetnog polja.

KLASIFIKACIJA PREMA OSNOVNOM MEHANIZMU

Po ovoj klasifikaciji predviđeno je grupisanje instrumenata prema osnovnom pogonskom mehanizmu ili nekom karakterističnom elementu. Instrumente koji se ugrađuju u jedrilice možemo da svrstamo u tri grupe, i to: manometarske, žiroskopske i opružne.

Karakterističan element za manometarske instrumente predstavlja elastična komora osetljiva na promenu vazdušnog pritiska, čija se deformacija prenosnim mehanizmom transformiše u odgovarajući hod kazaljke. Elastična komora može da ima razne oblike. Ovoj grupi instrumenata pripadaju brzinomeri, variometri i visinomeri.

Osnovni element žiroskopskih instrumenata je disk koji sem rotacije oko obrtne ose mora da ima bar još jedan stepen slobode kretanja. Žiroskope ćemo detaljnije opisati. Od instrumenata koji se ugrađuju u jedrilice, ovoj grupi pripadaju pokazivači skretanja i veštački horizonti.

Za opružne instrumente karakterističan element je opruga čija je osobina da se deformiše proporcionalno opterećenju. I sa oprugama ćemo se kasnije bliže upoznati. Tipičan predstavnik opružnih instrumenata je pokazivač ubrzanja (akcelerometar).

KLASIFIKACIJA PO NAMENI

U zavisnosti od svrhe kojoj služe, instrumenti ugrađeni na jedrilice mogu da se svrstaju u pilotažne i navigacione.

Pilotažni instrumenti su oni koji daju podatke pilotu o položaju jedrilice u odnosu na sopstvene ose, o visini leta, brzinama

i ubrzanjima, tj. o svim podacima koji su neophodni da bi se jedrilicom pravilno upravljalo. Jedrilice se obično opremaju sledećim pilotažnim instrumentima: brzinomerom, variometrom, visinomerom, pokazivačem skretanja i klizanja, veštačkim horizontom i pokazivačem ubrzanja.

Instrumenti za navigaciju su oni koji pilotu daju podatke o pravcu leta, kao i geografskom položaju. Jedrilice obično nisu snabdevene posebnim instrumentima za određivanje geografskog položaja (sekstant, oktant, radio-kompas itd), već se ovaj određuje indirektnim putem, kombinovanom primenom geografske karte, magnetnog kompasa, časovnika i brzinomera. Od navigacionih instrumenata, jedrilice su opremljene jedino raznim vrstama kompasa.

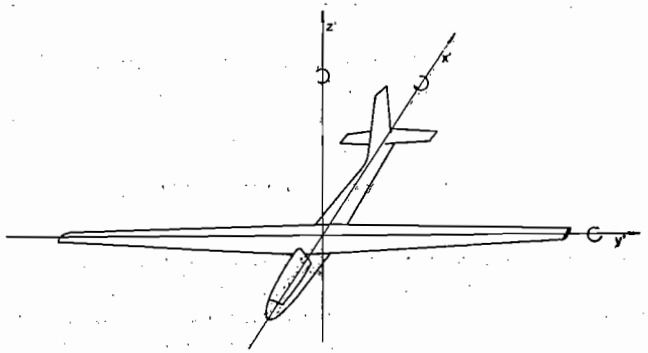
KLASIFIKACIJA PO POKAZIVANJU

Klasifikacija po pokazivanju zasniva se na grupisanju instrumenata u zavisnosti od toga da li njihovo pokazivanje definiše brzinu leta ili položaj jedrilice u odnosu na sopstvene ose ili zemlju.

Da bi se kretanje ili položaj jedrilice tačno definisali, neophodno je uočiti neki prostorni koordinatni sistem, pa posmatrati kakav je u datom momentu položaj jedrilice u odnosu na njega, odnosno kako se taj položaj menja tokom određenog vremenskog perioda.

Uočimo trodimenzionalni Dekartov koordinatni sistem, čije se ose u početnom trenutku posmatranja poklapaju sa težišnim osama jedrilice, kao što je to prikazano na slici 1.

Osa X′ je uzdužna, Y′ poprečna i Z′ normalna. Ose X′ i Z′ definišu ravan simetrije, X′ i Y′ tangencijalnu, a Y′ i Z′ normalnu ravan. Tokom posmatranja, jedrilica se kreće i



Slika 1

menja svoj položaj, dok je koordinatni sistem fiksiran i zadržava isti položaj kao u početnom trenutku posmatranja. Usvojićemo još pretpostavku da je u početnom trenutku posmatranja tangencijalna ravan horizontalna, a time i Z′ osa vertikalna.

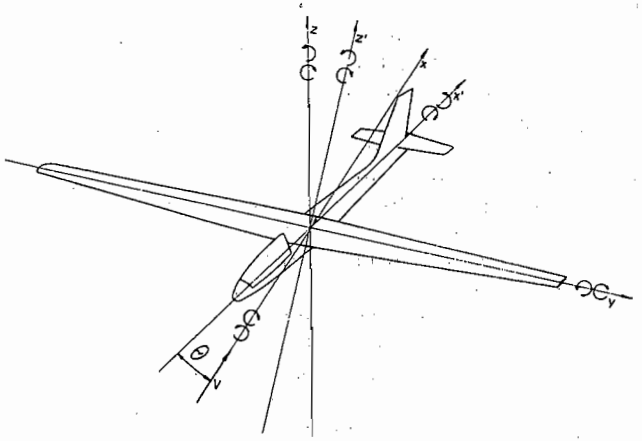
U odnosu na ovakav koordinatni sistem jedrilica ima šest stepeni slobode kretanja. Ona može da se kreće translatorno, duž osa X′, Y′, i Z′, kao i ugaono oko njih.

Položaj jedrilice u odnosu na ovakav koordinatni sistem definisan je uglovima poprečnog i uzdužnog nagiba koje pokazuje veštački horizont, kao i uglom skretanja koji pokazuje kompas.

Brzinu ugaonog kretanja oko Z′ ose pokazuje pokazivač skretanja, dok brzine ugaonog skretanja oko osa X′ i Y′ pokazuju pokazivači poprečnog i uzdužnog nagiba. Ova dva zadnja instrumenta obično nisu ugrađena na jedrilicama.

Translatornu brzinu duž ose Z′ pokazuje variometar, s tim što pozitivne vrednosti na skali predstavljaju brzine uzdizanja, a negativne spuštanja. Translatornu brzinu duž ose Y′ pokazuje derivometar, međutim, on se obično ne ugrađuje na jedrilice.

Da bi se odredila translatorna brzina duž ose X′, neophodno je znati brzinu na putanji koju pokazuje brzinomer. Pod brzinom na putanji podrazumeva se brzina jedrilice u odnosu na okolni vazduh. Pravac i smer te brzine najbolje se vide u aerodinamičkom koordinatnom sistemu XYZ, koji je uporedo sa prethodnim prikazan na slici 2.



Slika 2

U aerodinamičkom koordinatnom sistemu osa X se poklapa sa pravcem brzine i naziva se osom otpora. Osa Z je normalna

na osu X i naziva se osom uzgona. Osa Y je normalna na ravan XZ i naziva se osom klizanja.

Brzinomer pokazuje translatornu brzinu duž ose X. Ukoliko je poznat ugao Θ između osa X i X′, lako može da se odredi brzina duž ose X′. Uobičajenim režimima leta ugao Θ je mali, pa su i brzine duž navednih osa približno jednake.

Da bi se odredio položaj jedrilice u odnosu na zemlju, potrebno je uočiti koordinatni sistem čiji je koordinatni početak vezan za neku tačku na zemlji. U tom slučaju, tačan položaj jedrilice u odnosu na ose X″ i Y″ nije moguće odrediti, jer pneumatski brzinomer ne može uračunati i uticaje horizontalnog vazdušnog strujanja (vetra). U odnosu na ovaj koordinatni sistem može da se odredi jedino položaj jedrilice u odnosu na osu Z″, a tu veličinu pokazuje visinomer.

RASPORED INSTRUMENATA NA INSTRUMENTALNOJ TABLI

Pravilno upravljanje jedrilicom, kao i bezbednost leta, umnogome zavise od toga da li letač brzo i pravilno može da se služi podacima koje mu daju instrumenti. Ovo naročito važi u slučaju leta bez spoljne vidljivosti, kada instrumenti u potpunosti zamenjuju letačeva čula. Stoga je neophodno da instrument-tabla bude pregledna, kao i da raspored instrumenata na njoj bude takav da letač uz minimalne napore i koncentraciju može da vrši efikasnu kontrolu njihovog pokazivanja. Letač je često primoran da u jednom trenutku uoči pokazivanje više instrumenata, nemajući pri tome mogućnost dužeg zadržavanja pogleda na svakom od njih. Iskustvo je pokazalo da je najlakše kontrolisati više instrumenata odjednom, ako su oni ugrađeni tako da pri uobičajenom režimu leta položaj njihovih kazaljki bude horizontalan ili vertikalan. Najčešće se instrumenti ugrađuju tako da im položaj kazaljki u jednom redu bude horizontalan, a u drugom vertikalan. Pri takvoj ugradnji instrumenata letaču je lako da letimičnim pogledom na čitavu tablu proveri ispravnost režima leta. Odstupanje kazaljke bilo kog instrumenta od normalnog položaja lako se uočava. Letač tada može da odvoji trenutak-dva radi tačnog očitavanja date vrednosti, pa da zatim odgovarajućim manevrom izvrši potrebnu korekciju režima leta.

Navike letača u velikoj meri utiču na brzo i pravilno korišćenje instrumenata. Stoga bi bilo idealno kada bi raspored

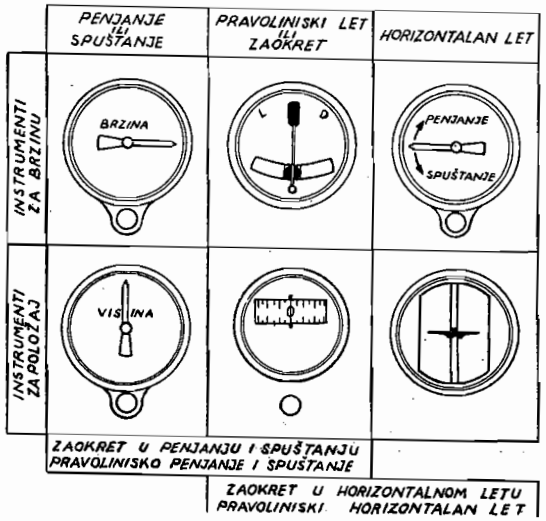
instrumenata na svim tipovima jedrilica bio isti. Na žalost, međunarodni propisi u tom smislu ne postoje, te pojedine zemlje i fabrike u njima usvajaju rasporede koji se međusobno razlikuju. Ipak, u pogledu bitnih zahteva letenja (naročito za letenje bez spoljne vidljivosti) gledišta su slična, tako da se položaj primarne grupe pilotažnih instrumenata (brzinomer, pokazivač skretanja, variometar) može smatrati internacionalno usvojenim.

Primarnoj grupi instrumenata pripadaju instrumenti koji definišu brzine kretanja jedrilice. Ova grupa nalazi se u gornjem redu instrument-table. Brzinomer se nalazi levo, pokazivač skretanja u sredini, a variometar desno. Iznad pokazivača skretanja obično se nalazi kompas.

Sekundarnoj grupi pripadaju instrumenti koji definišu položaj jedrilice u odnosu na njene ose i zemlju. Tu spadaju veštački horizont, visinomer i kompas. Videli smo da se kompas obično ugrađuje iznad pokazivača skretanja. Visinomer i veštački horizont nalaze se u drugom redu instrumenata. Visinomer se obično ugrađuje ispod brzinomera, a horizont ispod variometra. Postoji i varijanta po kojoj se horizont ugrađuje između variometra i brzinomera, dakle u redu primarne grupe. U tom slučaju, pokazivač skretanja se priključuje sekundarnoj grupi i obično stoji ispod variometra.

Na slici 3 prikazan je uobičajen raspored instrumenata, gde je primarna grupa kompletna.

S obzirom da kompas pripada sekundarnoj grupi, prikazan je u istom redu sa variometrom i horizontom, mada se u stvarnosti

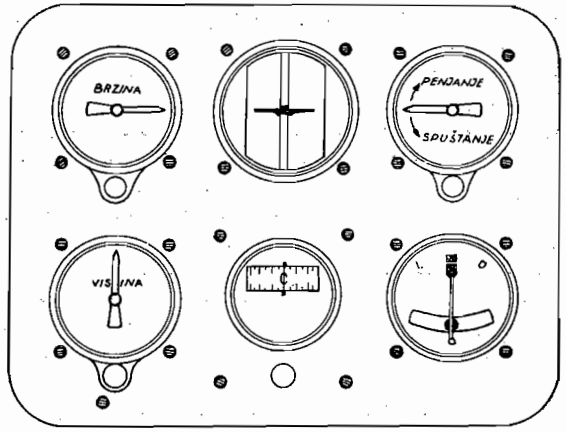


Slika 3

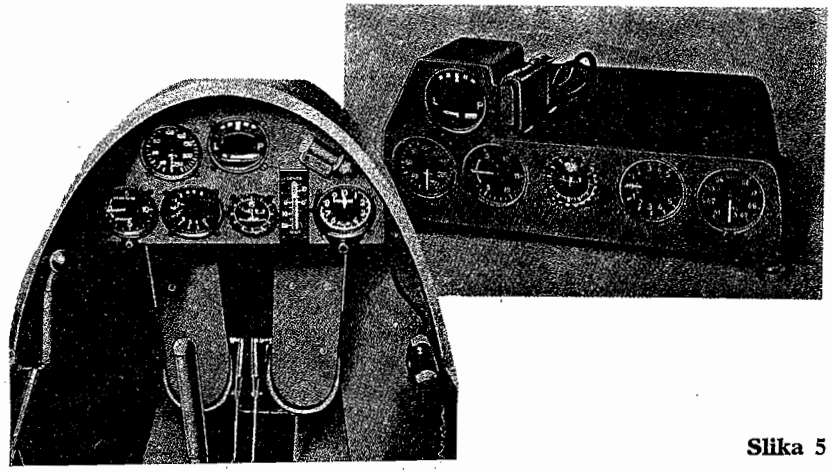
nalazi iznad pokazivača skretanja. Na upražnjeno mesto u drugom redu može da se ugradi pokazivač ubrzanja.

Na slici 4 prikazana je varijanta rasporeda instrumenata po kojoj se horizont nalazi između brzinomera i variometra.

Na slici 5 prikazane su dve instrument-table jedrilica koje su u upotrebi u VSJ.



Slika 4



Slika 5

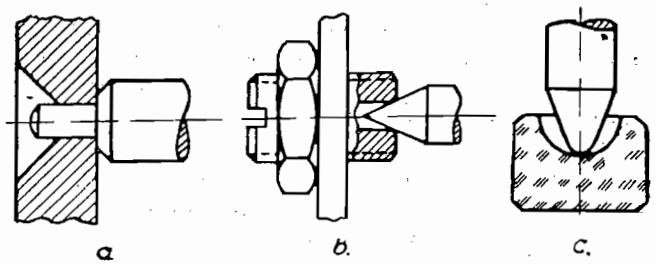
ELEMENTI INSTRUMENATA

LEŽIŠTA

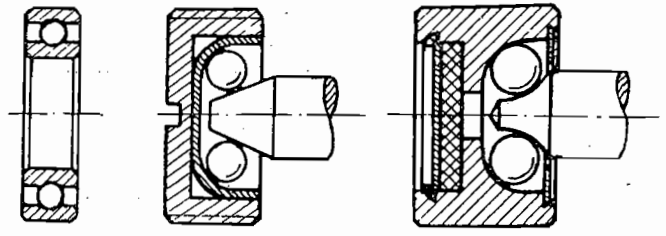
Kvalitet ležišta koja se koriste u jedriličarskim instrumentima znatno utiče na tačnost pokazivanja. Trenje u ležištima mora da se svede na minimalnu meru kako bi otpor trenja što manje uticao na slobodu kretanja funkcionalnih elemenata instrumenata.

Mi se nećemo upuštati u analizu principa konstrukcije pomenutih ležišta, jer bi nas to izvelo iz okvira ove knjige. Napomenućemo samo da se za jedriličarske instrumente koriste uglavnom dve vrste ležišta, i to klizna i loptasta.

Na slici 6 prikazana su tri najčešće primenjivana tipa kliznih ležišta.



Slika 6



Slika 7

Na slici 6a prikazano je klizno ležište sa cilindričnim kliznim površinama, na slici 6b ležište sa koničnim, a na slici 6c sa loptastim kliznim površinama.

Na slici 7 prikazana su tri osnovna tipa loptastih ležišta.

Na slici 7a prikazano je standardno poprečno ležište, na slici 7b minijaturno ležište, a na slici 7c specijalno ležište za žiroskopske instrumente.

MEHANIZMI

Prenosni mehanizmi jedriličarskih instrumenata imaju dvostruku ulogu. S jedne strane, njihov je zadatak da hod osnovnog pogonskog mehanizma, koji često nije dovoljno veliki da bi se mogao očitati, povećaju u dovoljnoj meri i, s druge strane, da kretanje osnovnog pogonskog mehanizma (koje je najčešće pravolinijsko) transformišu u kružno kretanje kazaljke.

Osim toga, prenosni mehanizmi treba da daju mogućnost reglaže, odnosno podešavanja prenosnog odnosa i rasporeda podeoka po obimu skale instrumenata.

Prenosni odnos može da bude jednostepen, dvostepen ili višestepen, već prema tome koliki treba da bude i sa koliko pari spregnutih elemenata može da se ostvari. S obzirom da hod kazaljke ne varira u širokim granicama, to stepen prenosnog odnosa zavisi, u prvom redu, od hoda osnovnog pogonskog elementa. Hod nekih pogonskih elemenata je veoma veliki, pa može neposredno da se prenese na kazaljku ili izvrši jednostepeni prenos jednim parom spregnutih elemenata.

Međutim, najčešće je hod osnovnog pogonskog elementa vrlo mali, te je potrebno da se izvrši višestepeni prenos preko više pari spregnutih elemenata.

Prenos i povećanje hoda kod jedriličarskih instrumenata vrši se polužnim, zupčastim i lančanim prenosnim mehanizmima ili, pak, kombinacijom ovih.

POLUŽNI MEHANIZMI

Kod polužnih mehanizama prenos i povećanje hoda osnovnog pogonskog mehanizma ostvaruju se pomoću poluga i osovina. Pri tome se prenos može vršiti ili neposredno dejstvom poluge o polugu, kao na slici 8, ili, pak, preko zglobova (sl. 9.).

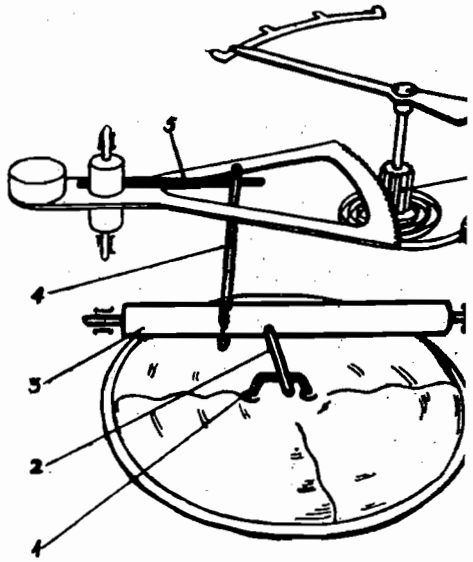
Mehanizam prikazan na slici 8 je čist polužni mehanizam.

Hod kapsule se prenosi sa mosta (1) na kazaljku preko poluge (2) na osovinu (3), zatim preko poluga (4) i (5) na zupčanik (6).

Mehanizam prikazan na slici 9 naziva se lakatni.

Kod njega se prenos vrši na sledeći način. Hod kapsule se preko lakatnog mehanizma (poluge 1 i 2) prenosi na osovinu (3), a otuda preko sektora na zupčanik (5).

Pod oznakom (6) je povratna opruga, a pod (4) zavrtanj za regulisanje dužine poluge (2), pomoću koje može da se menja prenosni odnos mehanizma.



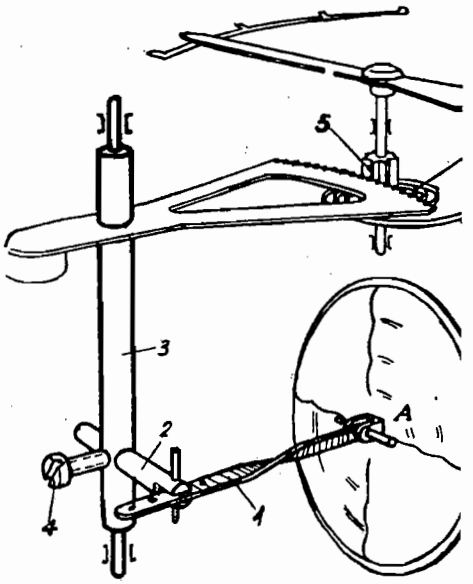
Slika 8

Lakatni mehanizam ima trostruku ulogu:

1) Pomoću njega se pravolinijsko kretanje kapsule pretvara u kružno kretanje kazaljke.

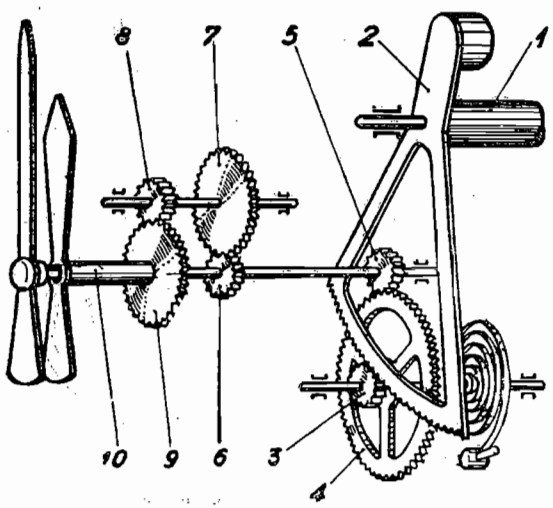
2) Promenom dužine poluge (2) menja se prenosni odnos mehanizma.

3) Promenom dužine poluge (1) mogu da se ostvare razni uglovi između poluga (1) i (2), pa na taj način može da se utiče na ugaonu brzinu poluge (3), odnosno na veličinu podelaka na skali. Ova osobina lakatnog mehanizma je veoma korisna, jer njome može da se ostvari ravnomerna podela na skali manometarskih instrumenata i pored toga što hodovi manometarskih elemenata nisu uvek srazmerni pritisku, odnosno veličinama koje se mere.



Slika 9

ZUPČASTI MEHANIZMI



Slika 10

Kod zupčastih mehanizama prenos i povećanje kružnog kretanja vrši se pomoću zupčanika. S obzirom da je kod svih jediničarskih instrumenata kretanje kazaljke kružno, to se ovi mehanizmi koriste kao poslednji stepen prenosa sa pogonskog elementa na klizaljku. Kazaljka instrumenata se ne okreće kontinuirano, već ima svoj određeni opseg kretanja. S obzirom na to i u cilju uštede prostora, pogonski zupčanik u poslednjem stepenu prenosa je sektor koji obrće manji zupčanik čvrsto vezan za osovinu kazaljke.

Jednostepenom redukcijom dobijaju se prenosni odnosi do 15:1. Da bi se postigli još veći prenosni odnosi, uzimaju se višestepeni zupčasti prenosi.

Na slici 10 prikazan je dvostepen zupčasti prenos jednog osetljivog visinomera sa dve kazaljke.

Pravolinijsko kretanje kapsule pretvara se u kružno kretanje osovine 1 pomoću polužnog mehanizma prikazanog na slici 8. Dalje se prenos vrši putem zupčanika 2 do 9. Prenosni odnos daju zupčanicu 2—3 i 4—5. Ovo je dvostepeni prenosni odnos. Parovi zupčanika 6—7 i 8—9 vrše redukciju obrtanja šuplje osovine 10 u odnosu 1 : 10, tako da se mala kazaljka visinomera obrne jedanput za svakih 10 obrtaja velike kazaljke.

LANČANI MEHANIZMI

Lančani mehanizmi se kao i zupčasti koriste u zadnjem stepenu prenosa.

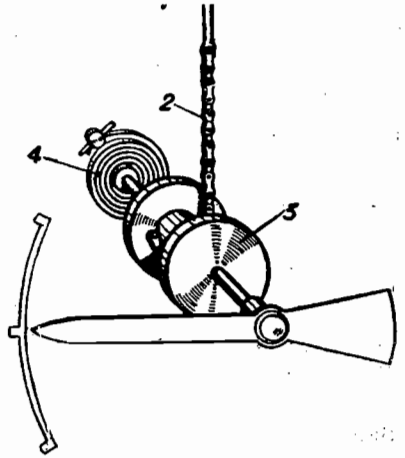
Tipičan lančani mehanizam je prikazan na slici 11.

Hod pogonskog elementa se prethodno uveliča pogodnim polužnim mehanizmom i prenese na polugu (1), koja je preko lanca (2) povezana sa dobošem (3). Doboš je čvrsto nasađen na osovinu kazaljke i pri pomeranju poluge (1), lanac se na njega

namotava ili odmotava, u zavisnosti od smera kretanja, pokrećući na taj način kazaljku.

Prenosni odnos zavisi od prečnika doboša. Zazor u zglobovima lančića i poluznog mehanizma otklanja povratna spiralna opruga 4.

Oblikom doboša može da se utiče na raspored podeoka na skali.



Slika 11

MANOMETARSKI ELEMENTI

U odeljku u kome je izvršena klasifikacija instrumenata prema osnovnom pogonskom mehanizmu ili nekom bitnom elementu videli smo da je osnovni element manometarskih instrumenata elastična komora, osetljiva na promenu vazdušnog pritiska, čija se deformacija transformiše putem prenosnog mehanizma u odgovarajući hod kazaljke instrumenta. Elastična komora može da ima razne oblike, od kojih se najčešće primenjuju: Burdonova cev, membrana, kapsula i meh.

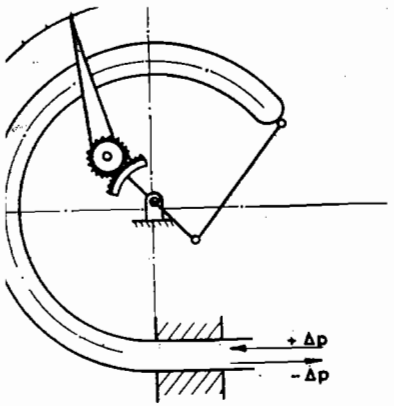
BURDONOVA CEV

Burdonova cev je lučno savijena, spljoštena metalna cev čija je osobina da se pod uticajem povišenog pritiska (unutar nje) ispravlja, a pod dejstvom depresije još više savija. Jedan njen kraj je pričvršćen za kutiju instrumenta i spojen je sa izvorom pritiska, dok drugi kraj može slobodno da se kreće i vezan je preko prenosnog polužnog mehanizma sa kazaljkom instrumenta.

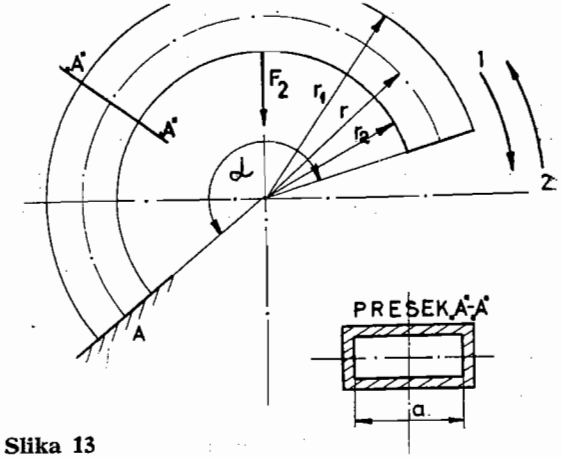
Šematski prikaz jednog instrumenta sa Burdonovom cevi dat je na slici 12.

Kada nije opterećena, Burdonova cev je savijena po kružnom luku. Poprečni presek joj je najčešće eliptičan.

Da bismo shvatili princip njenog rada, pogledajmo sliku 13 na kojoj je šematski prikazana Burdonova cev u vidu lučne konzole uklještene u tački A.



Slika 12



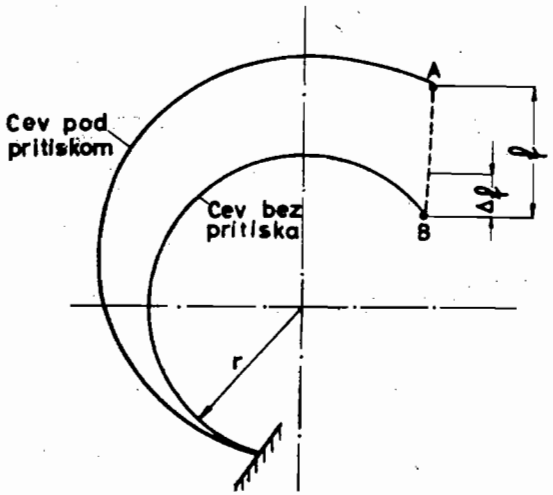
Slika 13

Radi jednostavnijeg objašnjenja pretpostavićemo da je presek cevi pravougaoni, a ne eliptičan.

Neka je statički pritisak vazduha oko cevi konstantan (što se može ostvariti ugradnjom cevi u hermetičku kutiju) i ima vrednost p, a u njoj promenljiv i ima vrednost $p+\Delta p$. U tom slučaju spoljni zid Burdonove cevi je opterećen silom $F_1=S_1\cdot\Delta p=$ $=r_1\cdot\alpha\cdot a\cdot\Delta p$ a unutarnji je izložen dejstvu sile $F_2=S_2\cdot\Delta p=$ $=r_2\cdot\alpha\cdot a\cdot\Delta p$. Bočni zidovi su podjednako opterećeni, jer su im površine jednake.

S obzirom da je poluprečnik krivine r_1 veći od r_2, to je sila F_1 veća od F_2, pa rezultanta $F_r=F_1-F_2$ ima smer naviše i savija cev u obrnutom smeru od smera kretanja kazaljke na satu, težeći da je ispravi. Ukoliko, pak, u cevi vlada depresija, tj. pritisak ima vrednost $p-\Delta p$, smerovi sila F_1 i F_2 su obrnuti, pa je rezultanta $F_r=F_1-F_2$ usmerena naniže i savija cev u smeru kazaljke na satu.

Jasno je da pri ovakvoj deformaciji Burdonove cevi slobodan kraj ima najveći hod, pa je njegovo kretanje najpogodnije za definisanje promene pritiska u cevi.



Slika 14

Kod dobro izvedene Burdonove cevi, putanja slobodnog kraja je vrlo bliska pravoj liniji, a hod je proporcionalan promeni pritiska Δp.

Na slici 14 šematski je prikazana deformacija Burdonove cevi i putanja njenog slobodnog kraja.

Da bi Burdonova cev bila dugotrajnija, preporučuje se da hod slobodnog kraja ne prelazi nikada vrednosti veće od 10% do 15% njenog poluprečnika krivine:

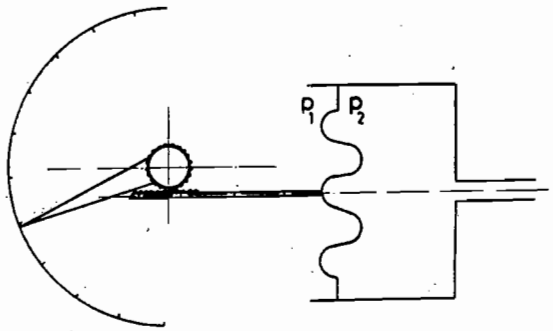
$$f \leq (0{,}1+0{,}15)\, r$$

Burdonova cev se uglavnom izrađuje od mesinga, obične ili fosforne bronze, kao i od nerđajućeg hrom-molibden-čelika, pošto ovi materijali imaju dobra svojstva elastičnosti, uz prilično malu inertnost.

Da bi se ostvarila veća tačnost u pokazivanju, Burdonova cev se obično izlaže termičkom i mehaničkom stabilizovanju pre ugradnje u instrument.

MEMBRANA

Pod membranom podrazumevamo elastičnu hermetičnu pregradu između dve komore izložene različitim pritiscima. Usled razlike pritisaka, membrana se deformiše ugibajući se ka komori nižeg pritiska. Određeni ugib membrane transformiše se putem polužnog mehanizma u odgovarajući otklon kazaljke instrumenta.



Slika 15

Membrane su obično kružnog oblika i najveći ugibi su im u središtu. Da bi se pojačala osetljivost membrane, daju joj se koncentrični nabori u vidu talasa, čiji oblik i dubina zavise od niza faktora, kao što su veličina pritiska koji se meri, materijala

itd. Za izradu membrana najčešće se koristi srebro, monel-metal, razne vrste bronze, a katkad i guma.

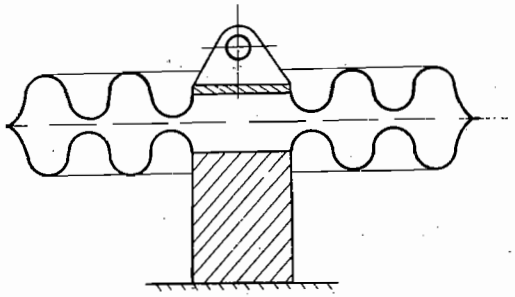
Gumene membrane se koriste ukoliko su u pitanju manji, a metalne veći pritisci. Kao i Burdonove cevi, tako se i membrane, u cilju tačnijeg pokazivanja, termički i mehanički stabilizuju pre ugradnje u instrument. Na slici 15 šematski je prikazan jedan instrument čiji je osnovni element elastična membrana.

Ukoliko je u komori (2) pritisak p_2 veći od pritiska p_1 u komori (1), membrana se ugiba ka komori (1), i obrnuto.

KAPSULA

Pogodnim spajanjem dveju talasastih membrana dobija se pljosnata okrugla kutija koju nazivamo kapsulom (sl. 16).

Jedna membrana se pričvršćuje za kutiju instrumenta, dok druga može slobodno da se kreće i povezana je preko prenosnog mehanizma sa kazaljkom. Hod kapsule istog oblika i materijala dvotsruko je veći od hoda odgovarajuće membrane, pošto se u ovom slučaju obe membrane deformišu nezavisno jedna od druge.



Slika 16

Da bi se hod još više pojačao, u cilju preciznijeg merenja, moguće je spojiti dve i više kapsula, te se na taj način dobija baterija kapsula kao što je to prikazano na slici 17.

Hod baterije je onoliko puta veći od hoda kapsula, koliko se kapsula sadrži u bateriji.

U pogledu materijala i svega ostalog za kapsule važi isto što i za membrane.

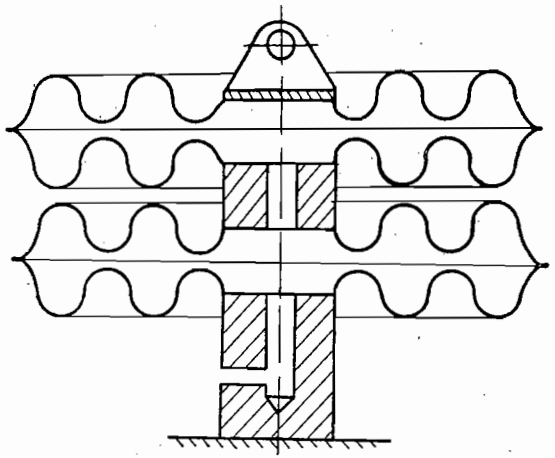
Kapsule mogu da budu otvorene i zatvorene (aneroidne).

Otvorene kapsule

Unutrašnjost otvorenih kapsula je spojena sa izvorom pritiska preko pogodnog otvora na membrani, koja je, pak, pričvršćena za kutiju instrumenta. Na taj način, ovakve kapsule mere razliku pritisaka, a ne njegovu apsolutnu vrednost, pa instrumenti u koje su ugrađene predstavljaju, u suštini, diferencijalne manometre. Ovakve kapsule koriste se za brzinomere i variometre.

Na slici 16 prikazana je jedna otvorena kapsula.

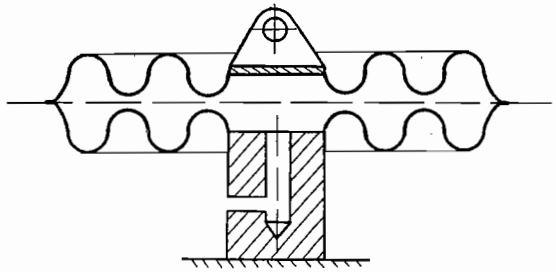
Slika 17



Aneroidne kapsule

Aneroidne kapsule su hermetički zatvorene i iz njih je izvučen vazduh do pritiska od 0,1 do 0,2 atmosfere, što se u praksi smatra vakuumom. Stoga se sa aneroidnim kapsulama može meriti apsolutni pritisak vazduha koji ih okružuje. Slično otvorenim kapsulama i kod aneroidnih je jedna membrana fiksirana za kutiju instrumenta, dok se druga može slobodno kretati i povezana je preko prenosnog mehanizma sa kazaljkom instrumenta. Aneroidne kapsule ugrađuju se u visinomere i barografe.

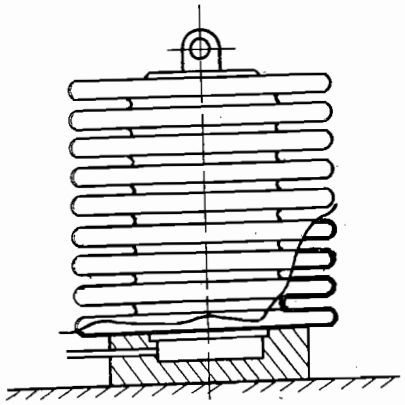
Šematski prikaz jedne aneroidne kapsule prikazan je na slici 18.



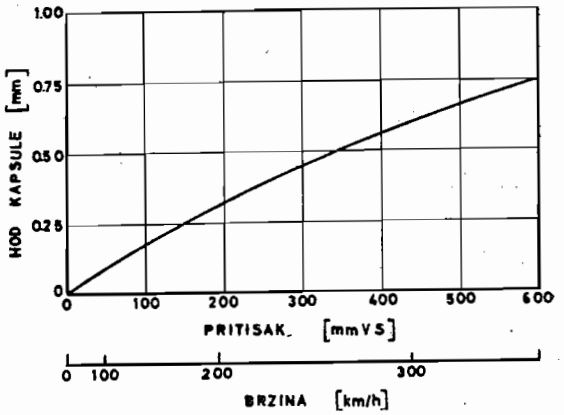
Slika 18

ELASTIČAN MEH

Elastični meh predstavlja naboranu talasastu cev (u vidu harmonike) i ima pozitivna svojstva elastičnosti, te je pogodan za merenje pritiska. Izvanredna elastična svojstva ostvaruju se baš zahvaljujući tim naborima, kao i pogodnim izborom materijala. Zbog svoje elastičnosti, meh ima vrlo veliki hod koji može da



Slika 19



Slika 20

dostigne i do 30% od atkivne dužine, te je stoga naročito pogodan za merenje niskih pritiska. Kao i ostali manometarski instrumenti, meh se izrađuje od monel-metala, srebra, raznih bronzi itd. Na slici 19 prikazan je izgled jednog meha.

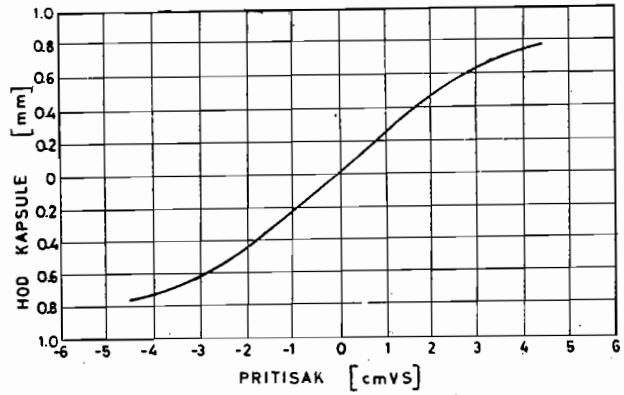
Sa donje strane meh je pričvršćen za kutiju instrumenta i spojen je sa izvorom pritiska, dok gornji kraj može slobodno da se kreće i povezan je preko prenosnog mehanizma sa kazaljkom instrumenta.

Nepravilnost hoda kapsule

Zavisnost hoda kapsule od pritiska nije sasvim linearna, pošto elastični zidovi postaju sve krući ukoliko se udaljuju od ravnotežnog položaja.

Dijagram hoda otvorene kapsule koja se koristi kod brzinomera izgleda kao na slici 20.

Sa povećanjem brzine leta kapsula se širi, a po prestanku leta vraća u ravnotežni položaj. Međutim, pri tome se kod nje



Slika 21

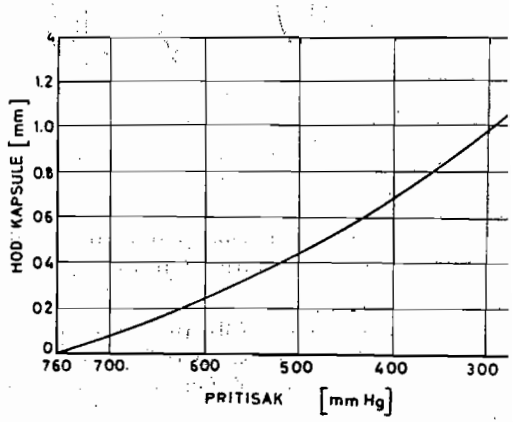
uočava izvesna inertnost, usled čega instrument zakašnjava u pokazivanju. Kod kapsula koje su izrađene od dobrog materijala i koje su pre ugradnje u instrument ispravno termički i mehanički stabilizovane, greške usled inertnosti zanemarljive su u odnosu na druge sistematske greške brzinomera.

Dijagram hoda kapsule variometra ima isti karakter kao i dijagram kapsule brzinomera. Pošto se kapsula variometra deformiše u oba smera, to je njen dijagram produžen i u negativnom smeru.

Dijagram zavisnosti hoda kapsule variometra od promene pritiska prikazan je na slici 21.

Ispumpavanjem vazduha aneroidna kapsula koja se koristi kod visinomera izvedena je iz ravnotežnog položaja, i to dotle da jedino elastične sile u zidovima kapsule drže ravnotežu celokupnom atmosferskom pritisku.

Pri penjanju jedrilice atmosferski pritisak koji deluje na kapsulu opada, te se ona širi, približavajući se svom ravnotežnom položaju. Što se više približava ravnotežnom položaju kapsula postaje sve mekša, te joj kriva zavisnosti hoda od pritiska postaje sve strmija.



Slika 22

Na slici 22 prikazan je dijagram zavisnosti hoda aneroidne kapsule visinomera od pritiska.

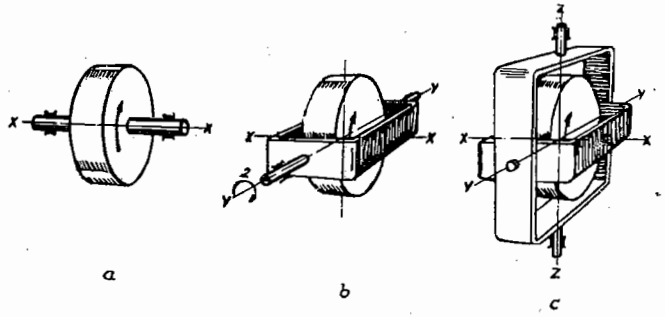
ŽIROSKOPI

Pod žiroskopom podrazumevamo disk koji se obrće velikom brzinom i koji sem mogućnosti obrtanja oko svoje obrtne ose ima bar još jedan stepen slobode kretanja. Na taj način, žiroskop dobija izvesna svojstva, a to su velika stabilnost i precesija.

Stabilnost žiroskopa se ogleda u tome što se snažno suprotstavlja svim spoljnim uticajima koji teže da mu promene položaj ose.

Pod precesijom podrazumevamo osobinu žiroskopa da pri nasilnoj promeni položaja jedne njegove ose, skreće oko druge, njoj upravne ose.

Na slici 23 šematski su prikazani običan zamajac, žiroskop sa dva i sa tri stepna slobode kretanja.

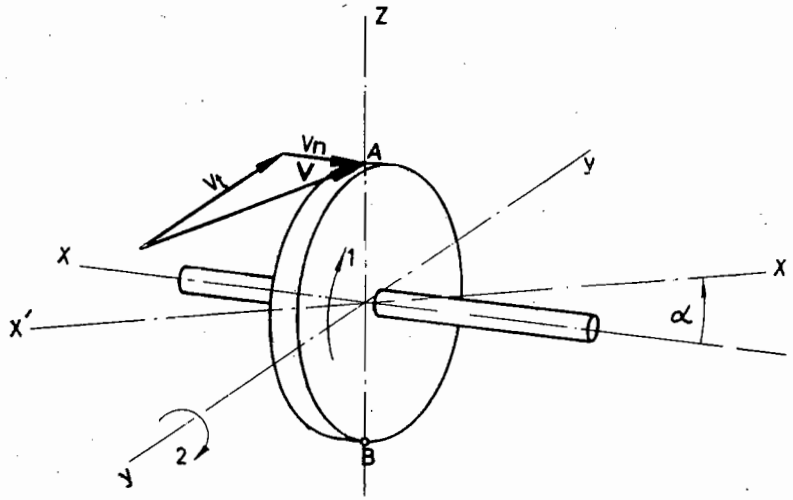


Slika 23

Na slici 23a prikazan je običan disk sa jednim stepenom slobode kretanja. On ima jedino mogućnost obrtanja oko svoje ose X—X.

Na slici 23b prikazan je žiroskop sa dva stepena slobode kretanja. Žiroskop rotira oko svoje ose X—X, a može da se obrće i oko ose Y—Y. Ose X—X i Y—Y su međusobno upravne i vezane zglobno.

Na slici 23c prikazan je žiroskop sa tri stepena slobode kretanja. On rotira oko svoje glavne ose X—X, a može i da rotira oko osa Y—Y i Z—Z. Sve tri ose su međusobno upravne i vezane



Slika 24

kardanski, tako da je omogućeno nezavisno kretanje oko svake ose.

Da bismo bolje shvatili nastajanje precesije, pogledajmo sliku 24.

Žiroskop se obrće velikom brzinom oko ose X—X. Pretpostavimo da neki spoljni uticaj nasilno izvede osu X—X iz njenog prvobitnog položaja i dovede je u položaj X′—X′, koji je u odnosu na prvobitni otklonjen za ugao α. Tokom pomeranja ose X—X, kretanje delića žiroskopa u okolini tačke A definisano je rezultujućom brzinom V. Ova brzina može da se razloži u tangencijalu komponentu V_t i komponentu V_n normalnu na ravan obrtanja. Proizvod normalne komponente brzine i mase uočenih delića definiše količinu kretanja tih delića u pravcu normale na ravan obrtanja. Promena količine kretanja u izvesnom pravcu izaziva, prema drugom Njutnovom zakonu, nastajanje sile u istom pravcu, s tim što je smer sile saglasan smeru priraštaja brzine. Dok se žiroskop nalazi u početnom položaju, rezultujuća brzina uočenih delića poklapa se sa tangencijalnom komponentom, dok normalna i ne postoji. Čim osa X—X počne da menja svoj položaj, javlja se i normalna komponenta brzine uočenih delića, ona raste, a time i količina kretanja, što za posledicu ima pojavu sile čiji momenat teži da obrne žiroskop oko ose Y—Y u smeru koji je prikazan na slici. Pri opisanom dejstvu osa Z—Z se naziva osom momenta, osa X—X osom rotacije, a osa Y—Y osom precesije.

Osobina precesije žiroskopa iskorišćena je kod pokazivača skretanja.

Opisano nasilno pomeranje ose X—X obično se javlja kao posledica dejstva nekog momenta M_z oko ose Z—Z. Ukoliko je momenat inercije žiroskopa za osu Z—Z I_z, javiće se pod dejstvom momenta M_z ugaono ubrzanje oko te ose $\varepsilon_z = M_z/I_z$.

Pod dejstvom momenta M_z ugaona brzina ω_z stalno se povećava, dok posle prestanka njegovog dejstva zadržava konstantnu vrednost:

$$\omega_z = \varepsilon_z t = \frac{M_z}{I_z} t \ (o/s),$$

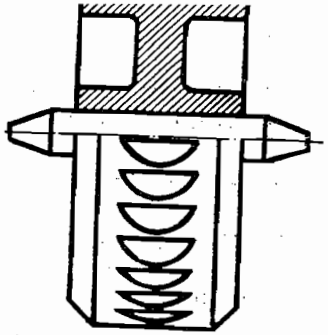
pri čemu t označava vreme trajanja dejstva momenta M_z.

Ako se žiroskop obrće ugaonom brzinom Ω, ugaona brzina precesije ima vrednost:

$$\omega_y = \frac{M_z}{I_y \Omega} \ (o/s),$$

pri čemu se proizvod $I_y\Omega$ naziva momenat količine kretanja.

Proizvod $I_y\Omega$ je znatno veći od momenta inercije za osu Z I_z (zbog velike ugaone brzine Ω), pa upoređenjem izraza za ω_z i ω_y vidimo da je ω_z znatno veća od ω_y (kod jedriličarskih i avio-instru-



Slika 25

menata od 500 do 1000 puta). Iz ovoga vidimo da bi se jedino pri veoma velikim vrednostima ugaone brzine ω_z mogla uočiti ugaona brzina ω_y. U ovome se i ogleda stabilnost žiroskopa, osobina koja je primenjena kod veštačkog horizonta i nekih drugih instrumenata.

Stabilnost žiroskopa utoliko je veća, ukoliko je veći njegov momenat inercije. Da bi se postigao što veći momenat inercije, žiroskop treba da ima što veću masu na što većem udaljenju od ose obrtanja, kao i što veću ugaonu brzinu Ω oko svoje glavne ose. Kod jedriličarskih instrumenata pogon žiroskopa može da bude električni ili vazdušni (koristi se depresija koju daje venturi-truba). Da bi se potsigao što veći momenat inercije, masa žiroskopa se raspoređuje u vidu prstena, tj. koncentriše se po obodu zamajnog točka. Spoljna ivica točka kod žiroskopa koji se pokreće pneumatskim putem ozubljena je u vidu turbinskih lopatica, (sl. 25).

OPRUGE

Kod instrumenata su primenjene razne vrste opruga, od kojih se najčešće sreću sledeći tipovi:

Zavojne (helikoidne) opruge koje se još nazivaju i torzionim. Ovakav tip opruge zajedno sa specijalnim tegom predstavlja osnovni element merača ubrzanja (akcelerometra). Helikoidna opruga prikazana je na slici 26.

Spiralne, koje se nalaze u gotovo svakom instrumentu. Kod mehaničkih instrumenata one uglavnom imaju ulogu povratnih opruga.

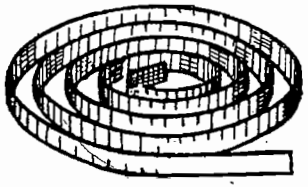
Na slici 27 prikazana je jedna spiralna opruga.

Fleksione, koje najčešće služe za rasterećenje pojedinih elemenata (uglavnom kapsula) (sl. 28).

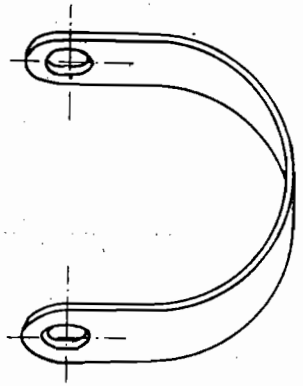
Opruge često nalaze primenu i kao elastični oslonci ležišta. Na slici 29 prikazana je fleksiona opruga kao nosač igle u ležištu kompasa. Njena je uloga da pri udarima ublaži pritisak vrha igle o ležište i sačuva ga od oštećenja.



Slika 26



Slika 27



Slika 28

Opruge se uglavnom izrađuju od fosforne ili berilijum-bronze, čelika itd, uglavnom od materijala dobrih elastičnih osobina. Da bi opruge i posle duže upotrebe zadržale svoje osobine, pre ugradnje u instrument treba ih termički i mehanički stabilizovati.

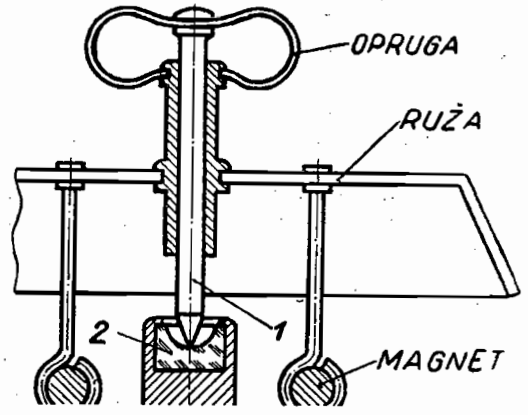
Najbitnija osobina opruga koje se koriste kod instrumenata je da se deformišu proporcionalno opterećenju, što znači da dijagram zavisnosti opterećenja i napona opruge predstavlja pravu liniju.

Na slici 30 prikazan je dijagram zavisnosti ugla uvijanja jedne prosečne spiralne opruge u zavisnosti od obrtnog momenta koji deluje na nju.

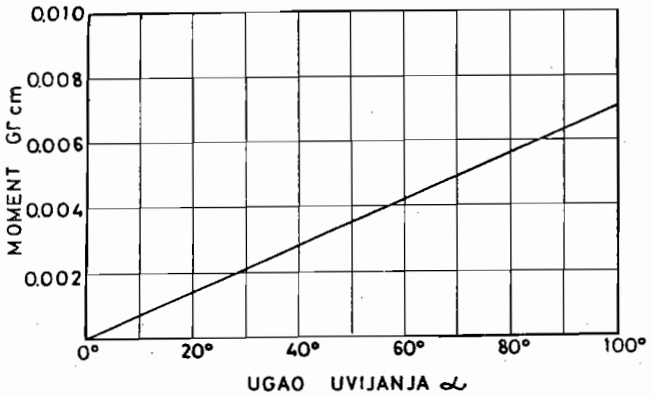
I kod najbolje izrađenih opruga primećuju se u radu izvesne greške koje se javljaju kao posledica mnogih štetnih uticaja, kao što su promena temperature i inertnost samog materijala.

Promena temperature izaziva promenu modula elastičnosti opruge, kao i takozvani efekat uvijanja.

Promenom modula elastičnosti opruge, menjaju se i njena elastična svojstva, pa se pri istim opterećenjima, deformacija opruge menja, što izaziva greške u pokazivanju. S porastom tem-



Slika 29



Slika 30

perature opada modul elastičnosti, te je potrebno veće uvijanje opruge da bi se postigao određeni obrtni moment.

Usled promene temperature spiralne opruge teže da se uviju ili odviju, što izaziva promenu nultog položaja kazaljke. Ova pojava naziva se efektom uvijanja. Da bi se otklonio ovaj, očigledno štetan efekat, u instrumente se ugrađuju dve spiralne opruge suprotnih smerova uvijanja. Pri promeni temperature, jedna opruga teži da se uvije, a druga odvije, pa se njihovo dejstvo poništava.

Usled inertnosti materijala opruga nije u stanju da momentalno zauzme neki novi položaj, već joj je za to potrebno duže ili kraće vreme. Ova pojava se naziva histerezom. Zbog histereze nastupaju razlike u pokazivanju ako se ide od nule ka kraju skale, i obrnuto. Histereza zavisi od vrste materijala, njegove termičke i mehaničke obrade, kao i od načina ugrađivanja opruge.

MAGNETI

Magneti poseduju svojstvo da privlače gvožđe i druge magnetične materije. Naziv magnet potiče otuda što je prvi put osobina privlačenja gvozdenih predmeta primećena na jednom mineralu koji je nađen u blizini mesta Magnesije u Maloj Aziji. Mineral je dobio ime magnetit i hemijska formula mu glasi Fe_3O_4. Za savremene uređaje kod kojih je potrebno koristiti osobine magneta, svojstva prirodnog magnetita nisu dovoljno efikasna. Dugim istraživačkim studijama došlo se do daleko pogodnijih materijala, uglavnom legiranih hromnih, kobalntih i Al—Ni čelika. Ove legure mogu snažno da se namagnetišu a da pri tome trajno zadrže svojstva magnetičnosti.

Za magnete su karakteristična dva svojstva, a to su: privlačenje i polaritet. Ako stalni magnet prinesemo nekom gvozdenom

predmetu, on će ga privući. Intenzitet privlačenja zavisi od vrste materijala koji se privlači, od međusobnog rastojanja između magneta i predmeta, kao i magnetne provodljivosti sredine kroz koju prolaze magnetne linije.

Ukoliko se šipka od mekog gvožđa koja spada u feromagnetne materije unese u magnetno polje, ona će i sama postati magnet. Magnetna svojstva biće najizražajnija u blizini krajeva šipke, tj. na polovima magneta. Svaki magnet ima svoj severni (N) i južni (S) pol. Ako se ide od polova ka ekvatoru magneta, magnetni efekti slabe i na samom ekvatoru ih nema. Ukoliko se magnet preseče na dva dela, svaki će se deo ponašati kao poseban magnet i imaće svoja dva pola. Isto bi se desilo kada bi ovako nastale magnete i dalje delili. Iz ovoga se može zaključiti da se svaki magnet sastoji iz niza elementarnih magnetnih delića.

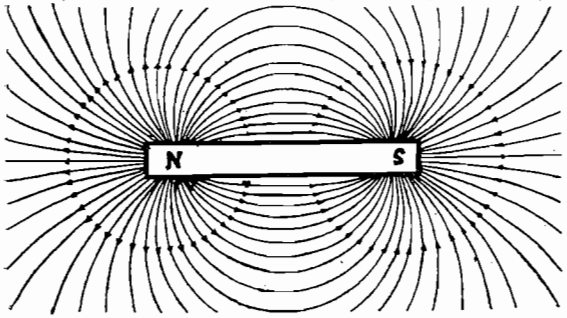
U prirodi razlikujemo dve vrste materija, a to su dijamagnetne i paramagnetne. Dok čestice dijamagnetnih materija ne poseduju magnetne osobine, dotle su čestice paramagnetnih materija tako grupisane da predstavljaju elementarne magnetiće. Paramagnetne materije sa veoma izraženom magnetičnošću čestica zovu se *feromagnetne.*

Šipka od mekog gvožđa ne pokazuje svojstva magnetičnosti pre unošenja u magnetno polje. To je zbog toga što su njene elementarne magnetne čestice haotično raspoređene i nemaju određenu orijentaciju. Pod uticajem magnetnog polja te čestice se orijentišu u pravcu magnetnih polova, pa šipka i sama postaje magnet. Posle izvođenja šipke iz magnetnog polja, čestice se opet haotično rasporede, te šipka gubi magnetna svojstva. Prema tome, meko gvožđe nema svojstvo stalnih magneta. Magnetne čestice mekog gvožđa se vrlo lako orijentišu, ali, isto tako, lako i gube svoj poredak.

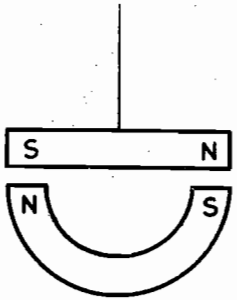
Ukoliko u magnetno polje unesemo čeličnu šipku, ona će se namagnetisati, ali znatno teže od gvozdene šipke. Po prestanku dejstva magnetnog polja, čelična šipka će i dalje zadržati magnetna svojstva; ona je postala stalni magnet.

Videli smo da svaki magnet ima dva pola: severni (N) i južni (S). Između polova prolaze magnetne ili indukcione linije. One izviru iz severnog pola i utiču u južni. Prostor u kome se oseća magnetno dejstvo, odnosno koji je ispunjen magnetnim linijama, zove se magnetno polje. Raspored magnetnih linija predstavlja posebnu sliku koja se naziva magnetnim spektrom. Magnetni spektar može lako da se dobije ukoliko se na staklenu ploču prospu gvozdeni opiljci, sa donje strane prinese magnet i ploča nekoliko puta kucne. Opiljci će se rasporediti duž magnetnih linija, formirajući magnetni spektar prikazan na slici 31.

Istoimeni polovi magneta se odbijaju, a suprotni privlače. Obesimo li o konac neku magnetnu šipku i prinesemo li joj neki



Slika 31

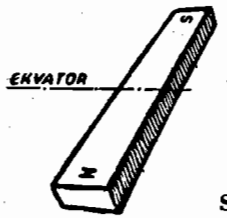


Slika 32

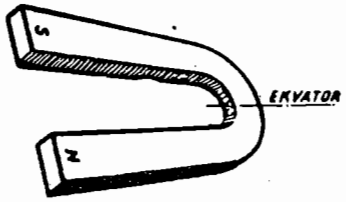
drugi magnet, šipka će se postaviti tako da joj severni pol bude uz južni, a južni uz severni pol prinetog magneta (sl. 32).

Obrtanjem prinetog magneta, obrtaće se i šipka koja će zadržavati stalno istovetan položaj u odnosu na prineti magnet koji obrćemo.

Pošto je Zemljina kugla jedan veliki prirodan magnet, svaka magnetna igla koja može slobodno da se obrće oko svoje vertikalne ose, postaviće se u pravac Zemljinih magnetnih meridijana. Ova osobina magneta koristi se pri izradi magnetnih kompasa. O tome će biti više reči prilikom opisa kompasa koji se ugrađuju u jedrilice.



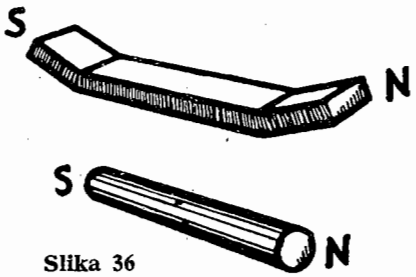
Slika 34



Slika 33



Slika 35



Slika 36

Magneti mogu imati razne oblike, od kojih se najčešće sreću *oblik šipke* (sl. 33), *potkovice*, (sl. 34) i *magnetne igle* (sl. 35).

Kod magnetnih kompasa koji se primenjuju na jedrilicama, najčešće se sreću magneti u obliku šipke (sl. 36).

ELEMENTI ZA TEMPERATURNU KOMPENZACIJU

Sa promenom temperature menjaju se dimenzije i osobine materijala. Na višoj temperaturi povećavaju se dimenzije svih tela, pa prema tome i preciznih delova instrumenata. Ovaj fenomen najštetnije utiče na vitke elemente prenosnog sistema, čija promena dužine otklanja kazaljku instrumenta iz nultog položaja, izazivajući netačno pokazivanje merenih veličina. Isto tako, pri porastu temperature opada vrednost modula elastičnosti većine materijala. Kapsule, opruge i drugi osnovni elementi mehaničkih instrumenata postaju mekši, pa pri istim pritiscima i silama ostvaruju veće hodove, što dovodi do grešaka pri pokazivanju. Kad se ne bi preduzele nikakve mere za otklanjanje štetnih uticaja prilikom promene temperature, zbirne greške pojedinih instrumenata mogle bi na određenim temperaturama da iznose i do 30%.

S obzirom da se od jedriličarskih instrumenata zahteva pouzdanost i tačnost, bez obzira na okolnu temperaturu, neophodno je ugradnjom posebnih elemenata za temperatursku kompenzaciju, zadržati tačnost instrumenata u određenim, dozvoljenim granicama. Ti elementi moraju, takođe, da budu osetljivi na promenu temperature.

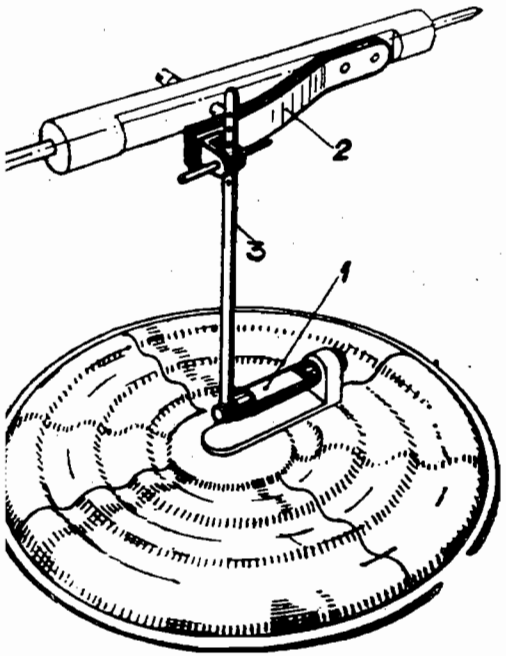
Kod mehaničkih instrumenata najčešće se kao element za temperatursku kompenzaciju koristi tzv. bimetalna poluga (sl. 37).

To je pljosnata poluga koja se sastoji od dva površinski zavarena lima sa raznim koeficijentima temperaturskog širenja. Ako je donji lim od običnog čelika, gornji mora da bude od mesinga, invara ili neke druge materije sa malim koeficijentom temperaturnog širenja.

Pri povećanju temperature, donji lim sa većim koeficijentom širenja se više izduži od gornjeg, pa se poluga savija naviše



Slika 37



Slika 38

(sl. 37b). Obrnuto, pri padu temperature, donji lim se više skupi od gornjeg, pa se poluga savija naniže (sl. 37c).

Temperaturna kompenzacija može da bude dvojaka.

Greške kazaljke u nultom položaju otklanjaju se kompenzacijom prvog reda. Ove greške nastaju uglavnom zbog promene dimenzija elemenata prenosnog sistema. U ovom slučaju bimetalna poluga mora da se postavi između osnovnog elementa i prenosnog mehanizma kao što je to pokazano na slici 38.

Greške koje nastaju usled promena elastičnih svojstava materijala otklanjaju se kompenzacijom drugog reda. U ovom slučaju uloga bimetalne poluge je da promeni prenosni odnos polužnog mehanizma, tj. da poveća ili smanji ugao otklona kazaljke, prema tome da li je hod osnovnog elementa zbog promene temperature postao veći ili manji. Ukoliko se zadnji stepen prenosa ostvaruje putem zupčastog sistema, onda se bimetalna poluga za kompenzaciju drugog reda postavlja između zupčastog i polužnog mehanizma. Ako se, pak, prenos vrši direktno sa polužnog sistema na osovinu kazaljke, onda se bimetalna poluga postavlja između kazaljke i polužnog sistema.

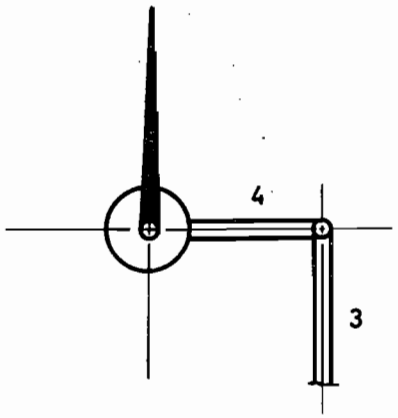
Na slici 38 šematski je prikazan deo jednog instrumenta koji ima ugrađene bimetalne poluge za kompenzaciju prvog (poluga 1) i drugog (poluga 2) reda.

Kompenzacija prvog reda vrši se na sledeći način. Usled povećanja temperature produžuje se poluga (3). Kada bi ona svojim donjim krajem bila fiksno vezana za kapsulu, mogućnost da se kreće imao bi jedino gornji kraj koji je preko poluge (2) vezan za osovinu kazaljke. Iz slike se jasno vidi da bi pomeranje gornjeg kraja poluge (3) izazvalo obrtanje osovine za izvestan ugao koji bi se preneo na kazaljku. Da bi se to izbeglo, donji kraj poluge (3) vezuje se za slobodan kraj bimetalne poluge (1), koja je drugim krajem fiksno vezana za kapsulu instrumenta. Materijal i dimenzije bimetalne poluge izabrani su tako da joj ugib slobodnog kraja usled promene temperature odgovara promeni dužine poluge (3). Gornja ploča bimetalne poluge je od materijala koji ima

veći temperaturski koeficijent širenja od donjeg. Prilikom porasta temperature, gornja ploča se više izdužuje, pa se slobodan kraj poluge pomera naniže. S obzirom da se i poluga (3) izdužuje za istu vrednost, to njen donji kraj sledi kretanje bimetalne poluge. Jasno je da pri tome gornji kraj poluge (3) ostaje na svom mestu i ne menja položaj osovine. Na taj način izvršena je kompenzacija prvog reda.

Kompenzacija drugog reda vrši se na sledeći način:

Usled porasta temperature, kapsula instrumenta postaje mekša, te za iste vrednosti pritiska ostvaruje veći hod. Taj hod se, preko bimetalne poluge (1) i spoljne poluge (3), prenosi na osovinu kazaljke. Ukoliko bi osovina kazaljke bila povezana sa polugom (3) preko neke krute poluge (4), (sl. 39), koja bi obezbeđivala stalni prenosni odnos, povećani hod kapsule preneo bi se preko poluga (3) i (4) do osovine kazaljke, te bi kazaljka pri istim vrednostima pritiska pokazivala na skali veće vrednosti.



Slika 39

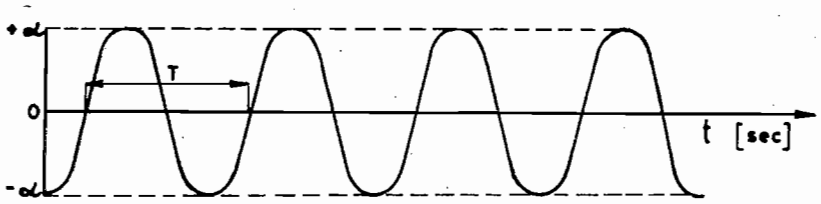
Da bi se otklonio ovaj nedostatak, neophodno je menjati dužinu poluge (4). To se postiže pomoću bimetalne poluge (2). Spoljna ploča bimetalne poluge je od materijala koji ima veći koeficijent temperaturskog širenja od unutrašnjeg. Pri porastu temperature, povećava se hod kapsule, a time i hod gornjeg kraja poluge (3). U isto vreme savija se bimetalna poluga ka osovini, smanjujući prenosni odnos mehanizma toliko da otklon kazaljke ostane nepromenjen.

Na taj način izvršena je i temperaturna kompenzacija drugog reda.

PRIGUŠIVAČI

Neki elementi jedriličarskih instrumenata ponašaju se kao fizička klatna, čija je osobina da kad se izvedu iz ravnotežnog položaja, osciluju oko njega.

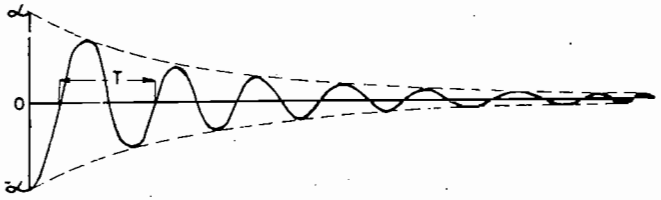
Ukoliko se nikakva sila ne suprotstavlja kretanju klatna, ono će večito oscilovati oko ravnotežnog položaja s konstantnom am-



Slika 40

plitudom α i ustaljenim periodom oscilovanja T. Ovakvo kretanje klatna je periodično i neprigušeno. Na slici 40 prikazan je dijagram oscilovanja takvog jednog klatna.

Oscilovanju nekog realnog fizičkog klatna suprotstavlja se fluidna sredina kroz koju se ono kreće, kao i otpor trenja u mehanički spregnutim elementima. Ovi uticaji smanjuju amplitudu oscilovanja klatna i potpuno ga umire posle izvesnog broja oscilacija. Ovakvo kretanje klatna je periodično i prigušeno. Dijagram oscilovanja klatna čije je kretanje periodički prigušeno prikazan je na slici 41.



Slika 41

Ukoliko je prigušenje toliko snažno da se klatno umiri bez klaćenja, nazivamo ga aperiodičnim prigušenjem.

Elementi pojedinih instrumenata, kao što su ruža magnetnog kompasa, kuglica pokazivača klizanja i žiroskop pokazivača skretanja, ponašaju se kao klatna. Ukoliko bi kretanje ovih elemenata bilo neprigušeno, pilotu bi bilo teško da tačno uoči njihov ravnotežni položaj, tj. tačne vrednosti merenih veličina. Stoga je neophodno da se kretianje ovih elemenata priguši.

Pošto sila trenja u mehanički spregnutim elementima štetno utiče na tačnost pokazivanja, ne može se koristiti u cilju prigušenja, već se, naprotiv, mora svesti na što manju meru. Preostaje, dakle, jedino mogućnost da se instrumenti u čijem se sklopu nalaze elementi sa svojstvima klatna, opreme posebnim elementima za prigušenje, tzv. prigušivačima.

Zadatak prigušivača je da stvaraju takve momente prigušenja koji će posle malog broja oscilovanja (ili sasvim bez oscilovanja, aperiodično) umiriti klatno.

Kod jedriličarskih instrumenata najčešće se za prigušenje koristi otpor vazduha ili neke tečnosti. Ovakvi prigušivači su vrlo efikasni, pošto kod njih moment prigušenja raste pri porastu brzine.

PRIGUŠIVAČI SA TEČNOŠĆU

Tečnosti se koriste kao sredstva za prigušenje kada je potrebno prigušiti kretanje velikih masa ili postići snažno, gotovo aperiodično prigušenje. Kod jedriličarskih instrumenata elementi kompasa i pokazivača klizanja prigušuju se tečnošću.

Ruža kompasa i kuglica pokazivača klizanja, koji se u ovim instrumentima ponašaju kao klatna, stavljaju se direktno u tečnost. Prigušenje se postiže trenjem tečnosti o površine pomenutih elemenata.

Efikasnost prigušenja zavisi od više faktora, od kojih su najznačajniji masa elemenata čije se kretanje prigušuje i viskoznost primenjene tečnosti.

Viskoznije tečnosti daju veći momenat prigušenja. Međutim, njihov nedostatak je relativno visoka tačka mržnjenja. U normalnoj eksplataciji, jedrilice lete i pri vrlo niskim spoljnim temperaturama, te bi upotreba viskoznih tečnosti u cilju prigušenja mogla da izazove zastoj u normalnom radu odgovarajućih instrumenata. Da bi pomenuti instrumenti mogli da rade i pri niskim temperaturama uz korektno prigušenje, koriste se tečnosti malog viskoziteta sa niskim temperaturama mržnjenja (mešavina alkohola i vode, razni derivati nafte itd.), ali se pri tome masa elemenata čije se kretanje prigušuje mora smanjiti na najmanju moguću meru.

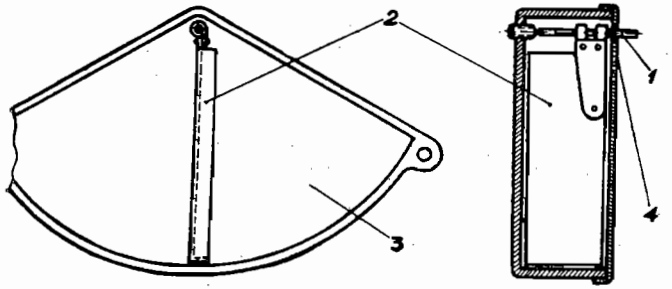
VAZDUŠNI PRIGUŠIVAČI

Efikasnost vazdušnih prigušivača daleko je manja od prigušivača sa tečnošću. Međutim, zbog lakšeg konstruktivnog izvođenja njihova primena je češća. Vazdušni prigušivači izvode se uglavnom u dve varijante, i to: kao prigušivač sa krilcem i prigušivači sa klipom. Na slici 42 prikazan je jedan tip prigušivača sa krilcem.

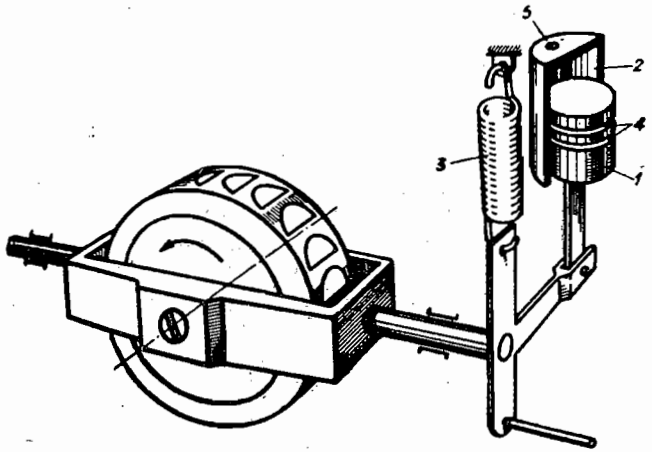
Krilce (2) može da se obrće oko osovine mernog sistema (1), i nalazi se u komori (3) koja je ispunjena vazduhom. Vazduh u komori (3) prigušuje kretanje krilca, a time i celog kretnog

sistema koji je vezan za osovinu (1). Zazor (4) oko osovine (1) veoma je mali; on je neophodan za slobodno kretanje osovine, ali je za prigušenja štetan.

Na slici 43 prikazan je klipni prigušivač pokazivača skretanja.



Slika 42



Slika 43

Klip (1) kreće se sa vrlo malim zazorom kroz cilindar (2). Pri kretanju dolazi do trenja između klipa i zidova cilindra, što bi moglo da predstavlja smetnju normalnom vraćanju klipa u ravnotežni položaj. Međutim, ovaj uticaj otklanja povratna poluga (3). Poprečni kanali (4), narezani na klip, otežavaju prolaz vazduha iz jedne u drugu komoru cilindra, te na taj način utiču na povećanje prgušenja. Jačina prigušenja reguliše se otvorom (5).

PILOTAŽNI INSTRUMENTI

BRZINOMERI

U odeljku u kome je izvršena klasifikacija instrumenata po pokazivanju, naglašeno je da pneumatski brzinomer pokazuje brzinu jedrilice u odnosu na vazduh a ne u odnosu na zemlju. Sa gledišta navigacije bio bi veoma koristan instrument koji bi automatski uračunavao uticaj horizontalnog vazdušnog strujanja (vetra). S obzirom da ovaj problem još nije rešen za jedrilice, preostaje jedino da se apsolutna brzina proračunava, i to vektorskim sabiranjem relativne brzine, tj. brzine vazduhoplova u odnosu na okolni vazduh i brzine vetra. Podatke o brzini, pravcu i smeru vetra daje meteorološka služba, dok relativnu brzinu pokazuju obični brzinomeri kojima je opremljen svaki vazduhoplov.

Poznavanje relativne brzine veoma je korisno, pošto je to bitan parametar koji definiše režim leta. Naročito je važno poznavati ovu veličinu u momentima kad se let odvija brzinom koja je bliska maksimalnoj, odnosno minimalno dozvoljenoj brzini, jer prekoračenja mogu da dovedu do neželjenih posledica.

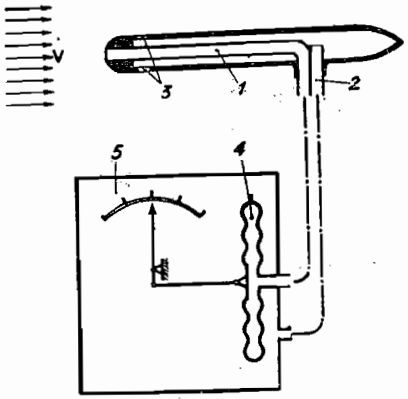
Ukoliko relativna brzina jedrilice opadne na vrednost ispod minimalne, jedrilica ne može dalje da se održi u vazduhu; ona parašutira ili pada u kovit. U slučaju da do ovog dođe na maloj visini, udes je neizbežan. Prekoračenje maksimalne dozvoljene brzine može da izazove lom krila ili nekog drugog dela jedrilice usled preopterećenja.

Danas je u upotrebi čitav niz raznih tipova mehaničkih i električnih brzinomera koji mere relativnu brzinu. Mi ćemo opisati samo one koji se ugrađuju na jedrilice.

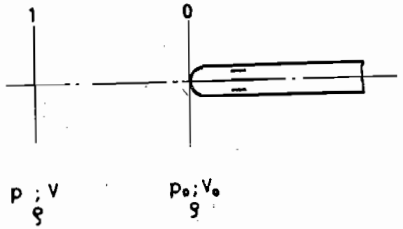
Jedrilice su isključivo opremljene mehaničkim brzinomerima i to brzinomerima sa pito-cevi ili venturi-trubom.

BRZINOMERI SA PITO-CEVI

Brzinomer sa pito-cevi koristi se kod gotovo svih savremenih aviona i visokosposobnih jedrilica. Sastoji se iz pito-cevi (davača) i samog brzinomera (pokazivača). Princip rada zasniva se na



Slika 44



Slika 45

merenju dinamičkog pritiska, koji zavisi od kvadrata brzine i gustine vazduha.

Šematski prikaz ovakvog brzinomera dat je na slici 44.

Na vrhu pito-cevi, koja je ugrađena tako da joj se uzdužna osa poklapa sa pravcem brzine, nalazi se otvor, uvodnik totalnog pritiska. Otvor je pomoću creva (1) spojen sa unutrašnjošću kapsule (4). Kapsula je ugrađena u hermetičku kutiju brzinomera (5), koja je pomoću creva (2) spojena sa statičkom komorom pito-cevi, a ova je, pak, preko niza otvora u vidu venca (3) u vezi sa atmosferom. Otvori (3) se nalaze na bočnom zidu pito-cevi i kako su im ose normalne na pravac brzine, to promena brzine nema nikakvog uticaja na veličinu pritiska u statičkoj komori pito-cevi, a time i hermetičkoj kutiji brzinomera. Ovo je, u stvari, statički pritisak vazduha koji vlada na datoj visini.

Ovakvom šemom se postiglo da kapsula brzinomera sa spoljne strane bude izložena dejstvu statičkog, a sa unutarnje totalnog pritiska vazduha.

Pošto je totalni pritisak ravan zbiru statičkog i dinamičkog, jasno je da se dejstvo statičkog pritiska na kapsulu poništava i da se ona deformiše jedino pod dejstvom dinamičkog pritiska.

Deformacija kapsule se transformiše putem prenosnog mehanizma u odgovarajući otklon kazaljke, koja na specijalno baždarenoj skali direktno pokazuje relativnu brzinu jedrilice.

Da bismo bolje shvatili na koji način promena dinamičkog pritiska utiče na deformaciju kapsule, a time i na pokazivanje brzinomera, poslužićemo se Bernulijevom jednačinom.

Pretpostavimo da jedrilica miruje i da joj se u susret kreće okolni vazduh brzinom V; čestice vazduha koje su na izvesnom udaljenju ispred jedrilice imale brzinu V, zaustave se dolaskom do uvodnog otvora na vrhu pito-cevi (tačka zaustava). Prilikom zaustavljanja one predaju svoju kinetičku energiju, koja se u vidu dinamičkog pritiska prenosi u kapsulu brzinomera.

Ako postavimo Bernulijevu jednačinu za preseke 1 i 0 (sl. 45), ona glasi:

$$p + \frac{1}{2}\rho V^2 = p_0 + \frac{1}{2}\rho V_0^2 \qquad (1)$$

pri čemu je p_0 statički pritisak vazduha koji vlada na datoj visini.

Pošto je $V_0=0$, to izraz (1) postaje:

$$p_0 = p + \frac{1}{2}\rho V^2 \qquad (2)$$

pri čemu p_0 predstavlja totalni pritisak koji vlada na uvodnom otvoru na vrhu pito-cevi, i koji se nepromenjen prenosi u unutrašnjost kapsule brzinomera.

Kroz otvore (3) uvodi se statički pritisak vazduha p u hermetičku kutiju brzinomera i on deluje na kapsulu sa spoljne strane.

Zbog toga je deformacija kapsule srazmerna razlici pritisaka p_0-p. Ako sa f označimo hod kapsule, onda on može da se prikaže izrazom:

$$f = k\,(p_0 - p) \qquad (3)$$

gde konstanta k predstavlja faktor proporcionalnosti, koji zavisi od materijala, oblika i dimenzija kapsule, kao i od njenog prigušenja pri baždarenju.

Pošto je razlika pritisaka:

$$p_0 - p = \frac{1}{2}\rho V^2 \qquad (4)$$

to se izraz (3) može napisati u obliku:

$$f = k\frac{1}{2}\rho V^2 \qquad (5)$$

odakle vidimo da na veličinu hoda kapsule, sem brzine, utiče i promena gustine vazduha.

Pošto gustina vazduha zavisi od nadmorske visine i temperature, jasno je da brzinomer može da pokazuje tačne vrednosti jedino ako se leti na visini i pri temperaturi za koje je gustina vazduha jednaka onoj prema kojoj je brzinomer baždaren. Ako je to, na primer, gustina koja odgovara nadmorskoj visini 0 metara i temperaturi 15°C, onda će brzinomer pokazivati stvarnu brzinu jedino ako se leti neposredno iznad morske površine pri pomenutoj temperaturi. Na svim drugim visinama i pri drugim temperaturama, brzinomer će praviti greške u pokazivanju. Te

greške se nazivaju sistematskim greškama brzinomera, a brzina koju instrument pokaže, instrumentalnom brzinom.

Da bismo videli kakva zavisnost postoji između stvarne i instrumentalne brzine, pogledajmo ponovo izraz (5).

Rešenjem ovog izraza po brzini V dobija se:

$$V = \sqrt{\frac{2f}{\rho k}} \tag{6}$$

pri čemu V predstavlja stvarnu brzinu leta.

Pogodnije je da se u izraz (6) umesto gustine ϱ uvede bezdimenzioni parametar $\delta = \varrho/\varrho_o$ koji predstavlja relativnu gustinu vazduha. U ovom izrazu ϱ predstavlja gustinu vazduha na datoj visini, a ϱ_o na nivou mora. Kako u standardnim uslovima na nivou mora gustina vazduha ima vrednost $\rho_0 = 1/8$ kgs^2/m^4), to je $\rho = \delta/8$. Smenom ovog izraza u jednačinu (6), dobija se:

$$V = 4\sqrt{\frac{f}{k\delta}} \tag{7}$$

Množenjem izraza (7) sa $\sqrt{\delta}$, dobija se izraz za brzinu koju pokazuje brzinomer:

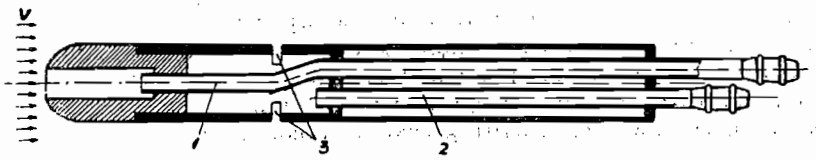
$$V\sqrt{\delta} = V_i = 4\sqrt{\frac{f}{k}} \tag{8}$$

Iz jednačine (8) vidi se da je sistematska greška brzinomera proporcionalna korenu iz relativne gustine vazduha.

Greške u pokazivanju brzinomera mogu da nastanu i u slučaju da pito-cev nije pravilno ugrađena. Da bi se ovi uticaji izbegli, mora se posvetiti velika pažnja izboru dužine pito-cevi, kao i mesta na jedrilici gde će se ugraditi. Ona se obično ugrađuje na krilo ili u nos jedrilice, i bitno je da joj uvodnici totalnog i statičkog pritiska budu u neporemećenoj vazdušnoj struji.

Presek jedne pito-cevi dat je na slici 46.

Kao što se sa slike vidi, glavni su joj elementi cev za totalni pritisak (1), i cev za statički pritisak (2). Otvori (3) raspoređeni su u vidu venca na bočnom zidu statičke komore i dovode je



Slika 46

u vezu sa atmosferom. Ukoliko se predviđaju takvi radni uslovi pri kojima bi moglo da dođe do zaleđivanja ulaznih otvora, pito-cevi se opremaju specijalnim električnim grejačima, čiji je zadatak da održavaju temperaturu iznad 0°C. Oni se uključuju po potrebi, a napajaju se strujom iz akumulatora.

BRZINOMERI SA VENTURI-TRUBOM

Brzinomeri ovog tipa koriste se, uglavnom, kod onih kategorija jedrilica i sporih aviona kod kojih čiste aerodinamičke linije ne igraju bitnu ulogu. Dobra strana im je što venturi-truba pri istim brzinama daje mnogo veće razlike pritisaka nego pito-cevi.

Pokazivač ovakvog brzinomera ni u čemu se ne razlikuje od pokazivača brzinomera sa pito-cevi. Jedina razlika je, dakle, u davaču.

Davač venturi-truba je konvergetno-divergentna cev u čijem se grlu (najužem delu) nalazi otvor sa priključkom za crevo koje ga spaja sa unutrašnjošću kapsule brzinomera.

Presek jedne proste venturi-trube prikazan je na slici 47.

Princip njenog dejstva lako je shvatiti ukoliko se poznaju zakon kontinuiteta i Bernulijeva jednačina.

Neka se vazduh kreće ususret venturi-trubi brzinom V_o. Tu brzinu vazduh će imati sve do momenta dok ne stigne do ulaznog otvora trube. Masa vazduha koja prođe kroz ulazni otvor, proći će nepromenjena kroz grlo, a zatim i kroz izlazni otvor. Prema tome, venturi-truba igra ulogu strujne cevi promenljivog poprečnog preseka, za koju, kao što znamo, važi zakon kontinuiteta.

Prema zakonu kontinuiteta, proizvod poprečnog preseka strujne cevi i brzine fluida (u ovom slučaju vazduha) kroz taj presek jeste konstantna veličina:

$$S\,V = \text{konst.} \tag{9}$$

Ako je površina ulaznog otvora venturi-trube S, a vazduh kroz njega struji brzinom V, onda je u grlu trube (A na slici 49), brzina vazduha:

$$V_a = \frac{S}{S_a} V \tag{10}$$

Dakle, brzina je porasla proporcionalno smanjenju poprečnog preseka.

Ako postavimo Bernulijevu jednačinu za ulazni otvor u grlo venturi-trube, ona glasi:

$$p + \frac{1}{2}\rho V^2 = p_a + \frac{1}{2}\rho V_a^2 \qquad (11)$$

gde je p — statički pritisak vazduha na datoj visini.

Rešenjem jednačine (11) po p_a vidimo da u grlu venturi-trube vlada pritisak:

$$p_a = p + \frac{1}{2}\rho (V^2 - V_a^2) \qquad (12)$$

Ovaj pritisak se sprovodi nepromenjen u unutrašnjost kapsule brzinomera.

Sa spoljne strane kapsula je izložena dejstvu atmosferskog pritiska p, pošto je hermetička kutija brzinomera spojena sa statičkim vodom pito-cevi (ukoliko je na datoj jedrilici ima) ili, pak, sa pogodnim otvorom na trupu jedrilice.

Očigledno je da će se kapsula deformisati proporcionalno razlici pritisaka:

$$\Delta p = p_a - p \qquad (13)$$

Poređenjem jednačina (12) i (13) dobija se izraz:

$$\Delta p = \frac{1}{2}\rho (V^2 - V_a^2) \qquad (14)$$

Smenom izraza (10) u (14) dobija se jednačina:

$$\Delta p = \frac{1}{2}\rho [V^2 - (S/S_a)^2 V^2] \qquad (15)$$

koja posle sređivanja postaje:

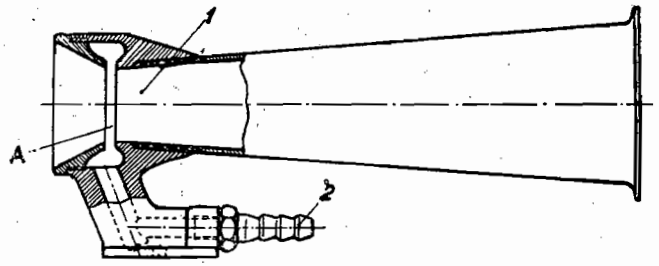
$$\Delta p = \frac{1}{2}\rho V^2 \left[1 - \left(\frac{S}{S_a}\right)^2\right] \qquad (16)$$

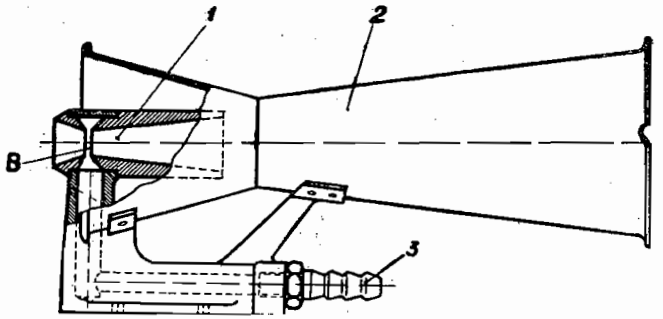
Pošto je odnos $S/S_a > 1$, to je vrednost izraza (16) negativna, što govori da je u pitanju depresija.

Promenom odnosa S/S_a može znatno da se utiče na veličinu depresije. To je naročito pogodno ukoliko je potrebno meriti male brzine. Brzinomer sa pito-cevi nije pogodan za merenje malih brzina, pošto dinamički pritisak vazduha opada sa kvadratom brzine, pa pri malim brzinama ne bi bio dovoljan da izazove toliku deformaciju kapsule koja bi obezbedila uočljiv otklon kazaljke.

Kod brzinomera sa venturi-trubom, usvajanjem većeg odnosa S/S_a moguće je uvećati drepresiju do te mere da i pri malim brzinama hod kapsule bude dovoljan. Međutim, sa povećanjem tog odnosa ne može se ići preko određene granice.

Slika 47





Slika 48

Ako je, ipak, potrebno postići još veću depresiju, umesto proste koristi se dvostruka venturi-truba, koja je prikazana na slici 48.

Unutrašnja truba je tako ugrađena da se njen izlazni otvor nalazi u zoni najveće depresije spoljne trube. Maksimalna depresija ovakvog sklopa dobija se u grlu B unutarnje trube.

Na taj način mogu da se izrade trube koje pri istoj brzini leta daju 10—15 puta veću depresiju od totalnog pritiska u pito-cevi.

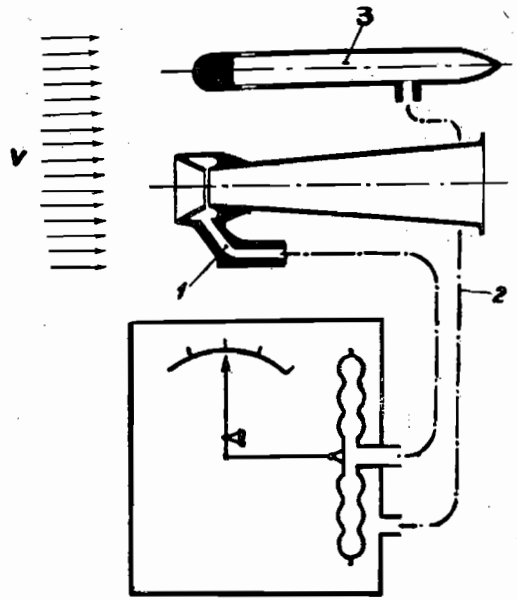
Stoga su brzinomeri sa venturi-trubom vrlo pogodni za ugradnju na izrazito spore jedrilice i avione. Kod visokosposobnih jedrilica oni se više ne koriste zbog znatnih štetnih otpora koje daje sama venturi-truba.

Sve što je rečeno o hodu kapsule i sistematskim greškama brzinomera sa pito-cevi važi i za ovaj tip brzinomera.

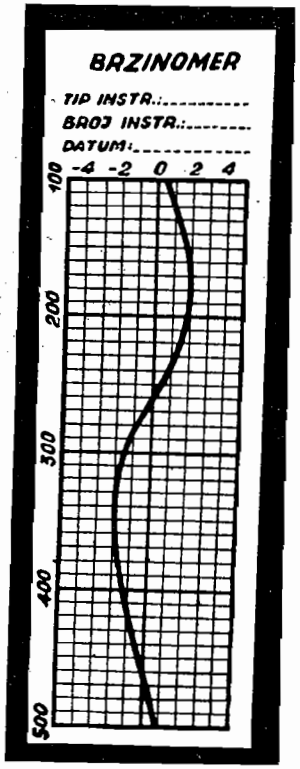
Šematski prikaz brzinomera sa venturi-trubom dat je na slici 49.

Mehaničke greške brzinomera, koje se uoče pri njihovom ispitivanju, unose se u posebne korekcione tablice. Te tablice su slične tablici koja je prikazana na slici 50.

Razlika je samo u tome što je na prikazanoj tablici dat opseg brzina od 100 do 500 [km/h] (pošto je ona izrađena za jedan



Slika 49



Slika 50

avionski brzinomer), dok za jedrilice opseg brzina treba da bude od 50 do 250 [km/h]. Greške se algebarski sabiraju sa pokazivanjem instrumenta.

VARIOMETRI

Jedan od najznačajnijih momenata u razvoju vazduhoplovnog jedriličarstva vezan je za pronalazak variometra, instrumenta koji meri vertikalne brzine leta.

Poznato je da se tokom leta jedrilica stalno spušta u odnosu na okolni vazduh. Brzina tog relativnog spuštanja zavisi od usvojenog režima leta i sve je veća što je brzina na putanji veća.

Pretpostavimo da je pilot jedrilice usvojio jedan režim leta, koji kontroliše brzinomerom, i stalno ga održava.

Ako vazduh koji okružuje jedrilicu nema vertikalnu komponentu brzine, onda će se jedrilica u odnosu na zemlju spuštati istom brzinom kao i u odnosu na okolni vazduh. Penjanje jedrilice u odnosu na zemlju moguće je jedino u slučaju da vazduh koji

je okružuje ima veću brzinu penjanja od njene relativne brzine spuštanja. Ukoliko su te dve brzine jednake, jedrilica održava stalnu visinu.

Pre no što je pronađen variometar, letači su jedino prema osećaju mogli da procenjuju da li se radi o spuštanju, horizontalnom letu ili, pak, penjanju njihove jedrilice. Pomoću visinomera bila je mogućna samo povremena kontrola, koja se svodila na to da se u izvesnim vremenskim intervalima očitava visina. Deljenjem visinske razlike, koja je uočena između dva očitavanja, sa proteklim vremenskim intervalom, dobijala se srednja vrednost vertikalne brzine leta.

Ovakav način određivanja vertikalne brzine bio je prilično komplikovan i neefikasan, naročito za manje iskusne letače.

Zbog toga je pronalazak variometra izazvao pravu revoluciju u daljem razvoju vazduhoplovnog jedriličarstva.

Da bismo shvatili princip rada ovog instrumenta, pogledajmo sliku 51 na kojoj je šematski prikazan najjednostavniji tip variometra.

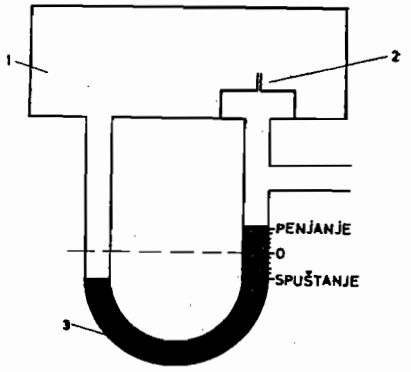
Hermetička komora (1) povezana je sa atmosferom preko kapilarne cevčice (2). Prilikom promene visine, menja se statički pritisak okolnog vazduha. Kapilarna cevčica sprečava da se pritisak u komori trenutno izjednači sa njim, usled čega dolazi do razlike pritisaka na njenim krajevima. Ta razlika je proporcionalna brzini promene visine i može da se očita na skali manometra (3). Skala je izdeljena tako da omogućuje direktno očitavanje vertikalne brzine u metrima u sekundi.

Pri penjanju, pritisak okolnog vazduha brže opada od onog u komori, pa se tečnost u desnom delu U cevi diže iznad nultog položaja. Pri spuštanju je obrnuto.

Ukoliko se manometar sa tečnošću (3) zameni osetljivom kapsulom čiju deformaciju prenosni mehanizam prenosi na kazaljku, dobija se variometar klasične konstrukcije.

Variometri su vrlo osetljivi instrumenti; oni reaguju i na sasvim male razlike pritiska. Zbog osetljivosti kapsule i velikog prenosnog odnosa u mehanizmu, kazaljka lako napušta nulti položaj, pa je potrebno da ovaj bude podešljiv.

Slično brzinomerima i variometri prave sistemske greške ako se koriste na visinama i pri temperaturama za koje nisu baždarni.



Slika 51

Ranije smo videli da se prilikom promene visine leta i temperature vazduha menja njegova gustina. Isto tako, menja mu se i koeficijent dinamičkog viskoziteta, a to je bitan parametar koji utiče na veličinu razlike pritisaka na krajevima kapilarne cevčice, pa prema tome i na samo pokazivanje.

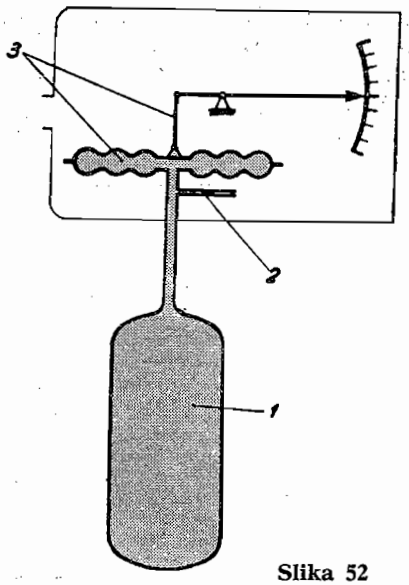
Sistematske greške variometra mogu da se isprave elementima za visinsku i temperatursku kompenzaciju. Variometri koji nemaju ove elemente, moraju da se baždare prema prosečnim uslovima leta.

Izjednačenje pritisaka kroz kapilarnu cevčicu traje izvesno vreme (od 1,5 do 3 sekunde), pa variometar kasni u pokazivanju. Ovo je negativna osobina variometara, koja u izvesnoj meri može da se otkloni izborom kapilarne cevčice većeg prečnika. Međutim, sa povećanjem prečnika ne sme da se pretera, jer se na taj način smanjuje razlika pritisaka koja može da postane nedovoljna da izazove potrebnu deformaciju kapsule.

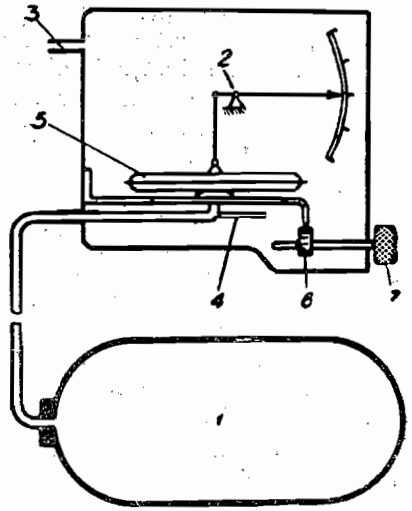
Postoji više interesantnih konstruktivnih rešenja variometara, od kojih ćemo neke opisati.

VARIOMETAR SA BOCOM

Šematski prikaz variometra sa bocom dat je na slici 52.



Slika 52



Slika 53

Glavni elementi su mu:

— hermetički zatvorena komora (1), (termos-boca),

— kapilarna cevčica (2),

— manometarski mehanizam (3) koji se sastoji iz kapsule, prenosnog mehanizma i kazaljke.

Pretpostavimo da se jedrilica u koju je ugrađen ovaj variometar nalazi u horizontalnom letu. U tom slučaju je statički pritisak okolnog vazduha konstantan i izjednačen sa pritiskom u komori (1), dok kazaljka stoji na nuli.

Pri penjanju ili spuštanju, izjednačenje pritisaka kroz kapilarnu cevčicu ne vrši se trenutno, usled čega dolazi do razlike pritisaka koja dejstvuje na kapsulu i preko prenosnog mehanizma okreće kazaljku.

Na slici 53 prikazan je uprošćen presek variometra sa bocom.

Staklena boca (1) izrađena je sa dvostrukim zidom i prevučena amalgamom, tako da je u najvećoj mogućoj meri sprečen uticaj promene temperature na veličinu pritiska u boci. Time je povećana tačnost instrumenta.

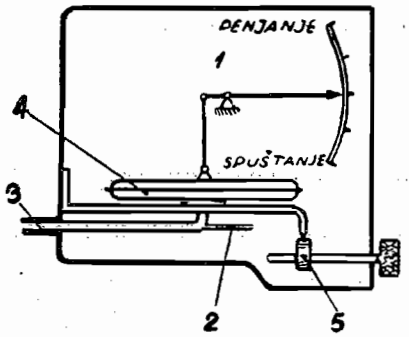
Unutrašnjost hermetičke kutije instrumenta (2) spojena je pomoću cevi (3) sa statičkim vodom pito-cevi, čime je obezbeđeno da u kutiji vlada stvarni statički pritisak vazduha koji odgovara datoj visini. Izjednačenje pritiska između boce i kutije instrumenta vrši se preko kapilarne cevčice (4). Kapsula (5) povezana je sa kazaljkom preko prenosnog mehanizma. Podešavanje nultog položaja kazaljke vrši se pomoću dugmeta (7) na čiju je osovinu čvrsto nasađen ekscentar (6), koji pri obrtanju pomera nosač kapsule.

Skala je izdeljena na podeoke koji označavaju brzine penjanja i spuštanja u metrima u sekundi. Ona je kružnog oblika; nulti podeok se nalzi s leve strane na visini osovine kazaljke. Pri penjanju kazaljka se otklanja u smeru kazaljke na satu, i obrnuto. Opseg pokazivanja varviometara koji se ugrađuju na jedrilice, obično je ± 10 m/s.

S obzirom da razlika pritisaka koja utiče na deformaciju kapsule zavisi, između ostalog, i od ukupne zapremine boce i sprovodnih cevi, ne sme da se menja dužina cevi, niti da se na dati pokazivač priključuje neka druga boca.

VARIOMETAR BEZ BOCE

Variometri bez boce predstavljaju modernije konstruktivno rešenje koje umnogome olakašava ugradnju i održavanje ovog instrumenta. Uprošćeni presek variometra bez boce prikazan je na slici 54.



Slika 54

Ulogu boce ovde igra sama kutija instrumenta (1), koja je hermetički zaptivena. Izjednačenje pritiska koji vlada u kutiji sa atmosferskim vrši se kroz kapilarnu cevčicu (2) preko statičkog priključka (3).

Kod variometra sa bocom unutrašnjost kapsule bila je spojena sa bocom, dok je ovde povezana sa atmosferom preko statičkog priključka.

Pri horizontalnom letu, pritisak u kutiji je jednak atmosferskom, te kazaljka stoji na nuli. Pri penjanju, atmosferski pritisak opada brže od onog u kutiji zbog otpora koji proticanju vazduha pruža kapilarna cevčica. Kapsula se skuplja i preko prenosnog mehanizma okreće kazaljku, čiji otklon definiše brzinu penjanja u metrima u sekundi.

Pri spuštanju je obrnuto. Atmosferski pritisak koji vlada u unutrašnjosti kapsule brže raste od pritiska u kutiji. Kapsula se zbog toga širi i kazaljka pokazuje brzinu spuštanja.

Podešavanje nultog položaja kazaljke vrši se kao i kod variometra sa bocom pomoću dugmeta i ekscentra (5).

VARIOMETAR SA KRILCEM

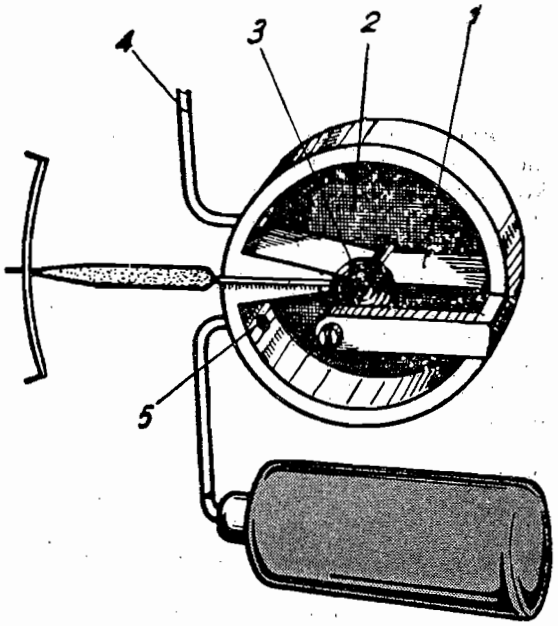
Za razliku od opisanih variometara, koji u suštini predstavljaju vrlo osetljive manometre za merenje razlike pritisaka nastale pri penjanju ili spuštanju jedrilice, variometar sa krilcem predstavlja vrlo osetljiv dinamometar.

Uprošćen presek ovakvog variometra dat je na slici 55.

Krilce (1) može slobodno da se obrće u komori (2). Ono pregrađuje komoru na dva dela. Donji deo je preko otvora (5) povezan sa hermetičkom bocom, dok je gornji u vezi sa atmosferom preko priključka (4) i statičkog voda pito-cevi. Između krilca i zida komore postoji vrlo uzani procep koji igra ulogu kapilarne cevčice.

Prilikom penjanja, atmosferski pritisak opada i prenosi se nesmetano u gornji deo komore. U njenom donjem delu vlada

Slika 55



isti pritisak kao i u boci. Trenutno izjednačenje pritisaka između dva dela komore nije moguće zbog otpora koji proticanju vazduha pruža uzani procep. Na taj način krilce se izlaže dejstvu sile koja je jednaka proizvodu njegove bočne površine i ovako nastale razlike pritisaka. Ta sila stvara momenat koji obrće krilce oko njegove osovine. Na osovinu krilca nasađena je kazalika instrumenta kao i spiralna opruga (3). Pri obrtanju, krilce uvija spiralnu oprugu i obrće kazaljku. U momentu kad se obrtni moment opruge izjednači sa momentom koji stvara razlika pritisaka, krilce se umiri i kazaljka pokazuje intenzitet brzine penjanja. Prilikom spuštanja, sve ovo se odvija u suprotnom smeru.

Variometri sa krilcem imaju veliku prednost nad ranije opisanim zbog veće brzine izjednačenja pritisaka, usled čega je njihovo zakašnjenje u pokazivanju manje. Isto tako, krilce reaguje na manje pritiske od kapsule, pa je na ovom principu moguće izraditi vrlo osetljive variometre koji tačno mere vertikalne brzine i manje od 1 m/s.

VARIOMETAR TOTALNOG PRITISKA

Opisani tipovi variometara mogu na izvestan način da prevare letača ako ovaj ne kontroliše pažljivo sve elemente leta. Naime, za pilota jedrilice je bitno da zna kolika je vertikalna brzina jedrilice u nekom ustaljenom režimu leta, tj. pri određenoj brzini na putanji.

Ako variometar registruje promenu vertikalne brzine u stacionarnom režimu leta, jasno je da je u pitanju promena vertikalne komponente brzine okolnog vazduha. S obzirom da jedrilice mogu da se penju jedino zahvaljujući usponim strujnjima vazduha koji ih okružuje, jasno je da je kod njih primarna uloga variometra registrovanje tih strujanja.

Često se dešava da letač zanemari kontrolu brzinomera i svu pažnju posveti pokazivanju variometra i drugih instrumenata. Tom prilikom može da se desi da nesvesnim pokretom ruke promeni položaj palice i time izazove promenu režima leta. Čim do toga dođe, menja se i vertikalna brzina jedrilice, pa variometar to registruje. Pošto nije ustanovio promenu režima leta, letač može da izvede pogrešan zaključak da je došlo do promene vertikalne brzine okolnog vazduha. To može da ga navede na pogrešan manevar.

Mogućnost ovakvih varki isključena je kod variometara totalnog pritiska.

Variometar totalnog pritiska dobija se kada se statički priključak bilo kog od opisanih tipova variometara, umesto sa statičkim vodom pito-cevi, spoji sa otvorom u grlu specijalne venturi-trube.

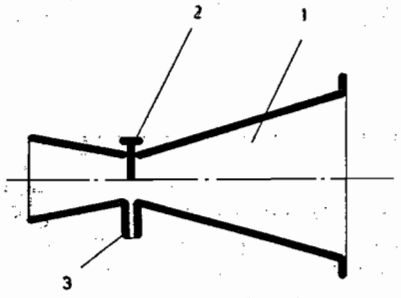
Venturi-trube, koje se za ovu svrhu koriste, minijaturne su i snabdevene zavrtnjem za regulisanje veličine poprečnog preseka grla.

Skica ovakve venturi-trube data je na slici 56.

1) venturi-truba, 2) zavrtanj za regulisanje otvora grla, 3) priključak za instrument.

Da bismo bolje shvatili na koji način je kod ovog instrumenta izvršena kompenzacija uticaja promene režima leta na pokazivanje, moramo se podsetiti principa rada venturi-trube.

U odeljku gde su opisani brzinomeri sa venturi-trubom videli smo da se depresija koja vlada u grlu trube može odrediti iz izraza (12):



Slika 56

$$p_a = p + \frac{1}{2}\rho\,(V^2 - V_a^2) \qquad (12)$$

s obzirom na izraz (10):

$$V_a = \frac{S}{S_a}V \qquad (10)$$

jednačina (12) postaje:

$$p_a = p + \frac{1}{2}\rho V^2\left[1 - \left(\frac{S}{S_a}\right)^2\right] \qquad (17)$$

Pošto je odnos $S/S_a > 1$, bolje je da se jednačina (17) napiše u obliku:

$$p_a = p_0 - \frac{1}{2}\rho\,V^2\left[\left(\frac{S}{S_a}\right)^2 - 1\right] \qquad (18)$$

Videli smo da je umesto sa gustinom vazduha (ρ) pogodnije operisati sa relativnom gustinom vazduha (δ). Veza između ove dve veličine data je relacijom:

$$\rho = \frac{\delta}{8} \qquad (19)$$

Smenom (19) u (18) dobija se:

$$p_a = p - \frac{\delta\,V^2}{16}\left[\left(\frac{S}{S_a}\right)^2 - 1\right] \qquad (20)$$

Pošto izraz $V\sqrt{\delta}$ predstavlja instrumentalnu brzinu V_i, tj. brzinu koju pokazuje brzinomer, jednačina (20) može da se napiše u konačnom obliku:

$$p_a = p - \frac{V_i^2}{16}\left[\left(\frac{S}{S_a}\right)^2 - 1\right] \qquad (21)$$

U ustaljenom režimu leta, pri konstantnoj instrumentalnoj brzini V_i, drugi član jednačine (21) je konstantan, pa se pritisak p_a menja onoliko koliko se menja atmosferski pritisak p. Prema tome, ovakav instrument u stacionarnom letu meri istu razliku pritisaka kao i ostali tipovi variometara.

Međutim, tokom promene režima leta, tj. brzine V_i, dolazi do promene oba člana jednačine (21). Njihova promena je suprotnog znaka i može da se poništi pri određenom odnosu S/S_a. Ako do toga dođe, variometar neće da registruje promenu vertikalne brzine u toku promene režima leta. To se i želi postići.

Odnos S/S_a, pri kome dolazi do poništavanja promene pomenutih članova jednačine (21), različit je za svaki tip jedrilice. On može da se reguliše promenom poprečnog preseka grla venturi-trube pomoću zavrtnja 2.

Kada se jedrilica posle promene brzine ponovo nađe u ustaljenom režimu leta, variometar pokazuje vertikalne brzine koje odgovaraju tom novom režimu.

MERAČI UBRZANJA (AKCELEROMETRI)

Pri izvođenju evolucija, jedrilica se kreće po raznim krivim putanjama konstantnom ili promenljivom brzinom. Međutim, i u slučaju da je brzina na putanji konstantna, jedrilica, kao što je poznato iz mehanike, mora da ima komponentu ubrzanja u pravcu normale na putanju. Stoga je ona izložena dejstvu inercijalnih sila čiji je intenzitet jednak proizvodu njene mase i postignutog ubrzanja.

U pojedinim evolucijama ubrzanja mogu da dostignu vrednosti pet, šest, pa i više puta veće od ubrzanja Zemljine teže (g), zbog čega će jedrilica biti opterećena silama isto toliko puta većim od njene težine. Odnos između postignutog ubrzanja i ubrzanja Zemljine teže naziva se koeficijentom opterećenja, i to je vrlo bitan parametar, koji se uzima u obzir pri dimenzionisanju nosećih elemenata jedrilice. Za svaku kategoriju jedrilica propisan je određeni koeficijent opterećenja koji u letu ne sme da se prekorači da ne bi došlo do loma jedrilice.

Ubrzanje štetno deluju i na samog letača; pri određenim vrednostima ona mogu da mu izazovu privremen ili trajan gubitak vida, gubitak svesti, pa čak i smrt. Da do ovoga ne bi došlo, za dimenzionisanje vitalnih delova jedrilice, propisuju se takvi koeficijenti opterećenja koji su manji od ovih koje organizam letača ne može da podnese.

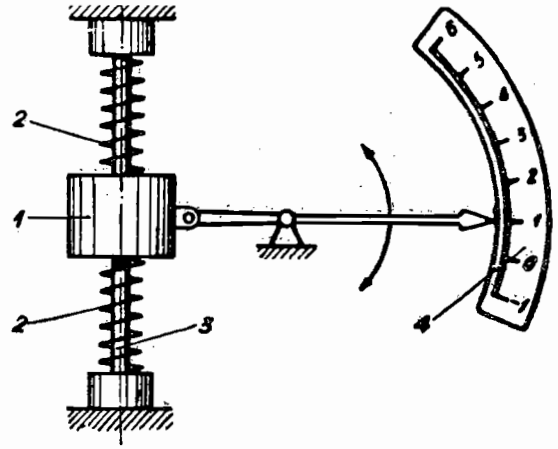
U zavisnosti od smera, razlikujemo pozitivna i negativna ubrzanja. Pod pozitivnim podrazumevamo ona čiji se smer poklapa sa pozitivnim smerom Z ose jedrilice (sl. 2), a pod negativnim suprotna. Za organizam letača daleko su neprijatnija negativna ubrzanja, pa je i dimenzionisanje izvršeno tako da ih ona slabije podnosi.

Da ne bi došlo do loma jedrilice, neophodno je da letač u svakom momentu zna kakvom je ubrzanju svojim rukovanjem izlaže. O tome ga obaveštava merač ubrzanja (akcelerometar). Zapravo, ovaj instrument pokazuje koliko je puta stvarno ubrzanje veće od ubrzanja Zemljine teže, odnosno pri kome koeficijentu opterećenja jedrilica leti datog trenutka.

Meračem ubrzanja opremaju se uglavnom akrobatske i poluakrobatske jedrilice, pošto pri izvođenju akrobacija može da dođe do vrlo velikih ubrzanja, dok ostali tipovi jedrilica ne moraju da budu opremljeni ovim instrumentom.

Pošto se glavna ubrzanja javljaju u vertikalnoj ravni jedrilice, to se većina merača ubrzanja izrađuje za mernje vertikalnog ubrzanja.

Slika 57



Princip rada ovog instrumenta zasniva se na merenju inercijalnih sila koje ga za vreme leta napadaju.

Na slici 57 dat je šematski prikaz jednog merača ubrzanja.

Teg (1) nalazi se između opruga (2) i može da se kreće duž vertikalne vođice (3). Ako se jedrilica nalazi u ustaljenom režimu leta, na teg ne deluju nikakve inercijalne sile i on opterećuje opruge samo svojom težinom. Napon opruga je podešen tako da u datom slučaju drže teg na onoj visini za koju će kazaljka pokazivati nulu. Čim se u letu pojavi ubrzanje, javiće se i inercijalne sile.

Na teg će delovati sila čiji je intenzitet proporcionalan njegovoj masi i datom ubrzanju. Ako je ubrzanje pozitivno, nastala sila sabraće se sa težinom tega, usled čega će se donja opruga sabiti, a gornja istegnuti. Zbog deformacija opruga, teg se spušta naniže i kazaljka obrće u pozitivnom smeru skale. Kada se napon opruga izjednači sa datim opterećenjem, teg se zaustavlja i kazaljka pokazuje koliko je puta nastalo ubrzanje veće od ubrzanja zemljine teže.

Kod negativnih ubrzanja, gornja opruga se sabija a donja isteže i kazaljka pokazuje negativne vrednosti. Svaki podeok na skali označen je celim brojem. Ako se kazaljka zaustavi na podeoku sa oznakom 3, znači da je ubrzanje pozitivno i iznosi 3g, tj. tri puta 9,81 m/s².

Merači ubrzanja obično imaju dve kazaljke. Jedna je fiksno vezana za osovinu i pokazuje trenutnu vrednost ubrzanja, dok je druga tako ugrađena da ostaje u položaju maksimalnog otklona i na taj način omogućuje proveru maksimalno postignutog ubrzanja.

Postoje i takvi merači ubrzanja koji neprekidno beleže postignuta ubrzanja. To su tzv. akcelerografi. Međutim, oni se retko ugrađuju na jedrilice.

VISINOMERI

S obzirom na neravnine zemljinog tla, pojam visine leta je dvojak, tj. razlikujemo apsolutnu i relativnu visinu. Pod apsolutnom visinom leta podrazumeva se vertikalno rastojanje između jedrilice i površine mora (nadmorska visina), dok relativnu visinu predstavlja visina jedrilice iznad terena preko koga leti.

Poznavanje apsolutne visine leta ima višestruki značaj. Tako, na primer, ako prilikom preletanja planinskih terena letač poznaje apsolutnu visinu, može da ustanovi raspolaže li njegova jedrilica bezbednom rezervom visine iznad planinskih vrhova čije su visinske kote naznačene na kartama. Isto tako, prilikom procene nekih sportskih rezultata, kao i letnih sposobnosti jedrilice, neophodno je da se poznaje apsolutna visina leta.

Poznavanje relativne visine bilo b veoma korisno u izvesnim fazama leta kao što su prelet nepoznatog planinskog terena u uslovima umanjene (ili sasvim nepostojeće) spoljne vidljivosti, ili, pak, sletanje na nepoznat teren.

Visinomeri za merenje relativne visine su prilično skupi, komplikovani, a često i vrlo glomazni aparati, pa se ne ugrađuju na jedrilice. Njima se opremaju jedino izvesne kategorije aviona. Princip rada relativnih visinomera zasniva se na merenju vremena koje protekne od momenta emitovanja do momenta prijema zvučnih, radio ili radarskih signala.

Zvučni ili elektromagnetni talasi emituju se vertikalno naniže, putuju, odbijaju se od tla i vraćaju u prijemni sklop instrumenta. Specijalni uređaj meri vreme od momenta emitovanja do momenta prijema signala. S obzirom da se zvučni i elektromagnetni talasi kreću određenom konstantnom brzinom (brzinom zvuka, odnosno svetlosti), to je jasno da vreme njihovog putovanja zavisi od pređenog puta. Polovina pređenog puta predstavlja relativnu visinu vazduhoplova.

Jedrilice su opremljene jedino visnomerima koji mere apsolutnu visinu. Njihov princip rada zasniva se na merenju statičkog pritiska okolnog vazduha, koji se menja u zavisnosti od visine. U suštini, to su aneroidni barometri, čija je skala izdeljena tako da svaki podeok odgovara određenoj visini.

Osnovni pogonski elemenat ovakvih visinomera je aneroidna kapsula iz koje je izvučen vazduh. Pri promeni vazdušnog pritiska kapsula se deformiše i preko prenosnog mehanizma okreće kazaljku.

Barometarski metod merenja visine ne daje veliku tačnost, pošto statički pritisak vazduha na određenoj visini nije uvek isti, već se menja u zavisnosti od opšte meteorološke situacije.

Da bi se merenje visine moglo vršiti ovim metodom, neophodno je bilo definisati standardne atmosferske uslove prema kojima se baždare visinomeri. Međunarodna standardna atmosfera tačno definiše zakonitosti po kojima se menjaju pritisak, gustina i temperatura vazduha u zavisnosti od visine, kao i vrednosti ovih veličina na zemlji.

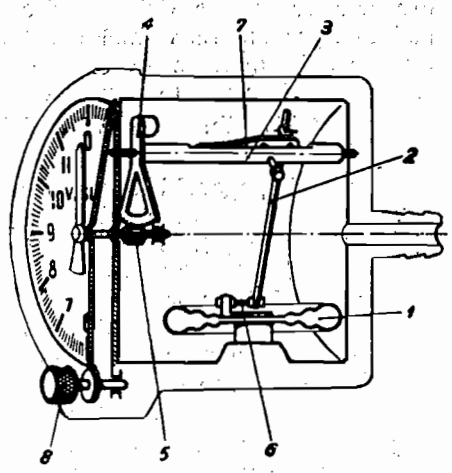
Nažalost, tokom jednog letačkog dana, atmosferski pritisak može znatno da se promeni, a sem toga on retko kad odgovara standardnim uslovima. S obzirom da preračunavanje vrednosti na standardne uslove zatheva utrošak vremena koje letač nema na pretek, visinomeri se konstruišu tako da im se pomoću odgovarajućeg dugmeta može podešavati skala. Neposredno pred poletanje, letač obrtanjem dugmeta obrće skalu dok joj se nulti podeok ne poklopi sa kazaljkom. Na taj način visinomer je podešen tako da pokazuje relativnu visinu jedrilice u odnosu na aerodrom sa koga je poletela.

U zavisnosti od radnog opsega kazaljke, kao i stepena osetljivosti instrumenta, visinomere možemo da podelimo na grube i osetljive.

GRUBI VISINOMERI

Osnovni pogonski element visinomera je aneroidna kapsula (1) (sl. 58).

Pri penjanju ili spuštanju jedrilice, usled promene vazdušnog pritiska, kapsula se deformiše i preko poluge (2) pokreće oso-



Slika 58

vinu (3). Na osovinu je fiksno naglavljen sektor (4), koji se obrće zajedno sa njom. Sektor je spregnut sa zupčanikom (5) koji pokreće osovinu kazaljke, a time i samu kazaljku. Iza kazaljke nalazi se skala izdeljena na izvestan broj podeoka. Kod grubih visinomera razmak između dva susedna podeoka označava visinsku razliku od najmanje 20 metara. Stoga se pomoću ovakvih visinomera ne može sasvim precizno očitavati visina. Međutim, veća preciznost nije ni potrebna ukoliko se let odvija u uslovima normalne spoljne vidljivosti.

Bimetalne poluge (6) i (7) koje se nalaze u sklopu prenosnog mehanizma služe kao elementi za temperaturnu kompenzaciju.

Dugme (8) služi za podešavanje skale visinomera. Pred poletanje letač mora da proveri položaj kazaljke. Ukoliko se njen položaj ne poklapa sa nultim položajem skale, on obrtanjem dugmeta obrće skalu, čiji je obod ozubljen i spregnut sa zupčanikom naglavljenim na osovinu dugmeta. Obrtanje se vrši sve dok se nulti podeok skale ne poklopi sa položajem kazaljke. Time je visinomer pripremljen za naredni let u kome će pokazivati relativnu visinu jedrilice u odnosu na aerodrom sa koga je poletela.

Hermetička kutija instrumenta spojena je sa statičkim vodom pito-cevi kako bi na kapsulu dejstvovao stvarni statički pritisak vazduha, koji vlada na određenoj visini.

OSETLJIVI VISINOMERI

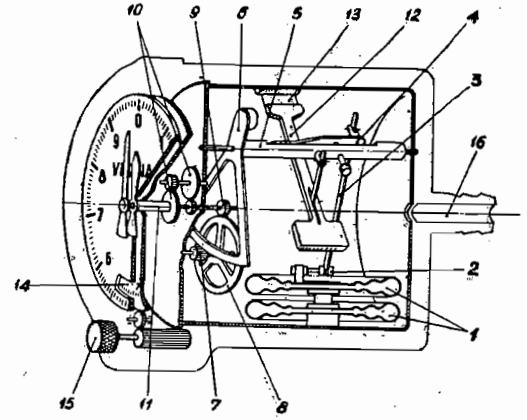
Videli smo da skala grubog visinomera ne dopušta dovoljno precizno očitavanje visine, pošto razmak između dva uzastopna podeoka predstavlja visinsku razliku od najmanje 20 metara. Upotrebom visinomera sa dve kazaljke dužina skale može da se poveća 10 puta, a time u istoj razmeri i preciznost očitavanja.

Šematski prikaz osetljivog visinomera sa dve kazaljke dat je na slici 59.

Osnovni pogonski element osetljivih visinomera je baterija aneroidnih kapsula. Na prikazanoj šemi predstavljena je baterija od dve kapsule (1). Pri penjanju jedrilice, baterija se širi i preko poluga (3) i (4) pokreće osovinu (5) na kojoj je čvrsto nasađen sektor (6). Sektor je spregnut sa zupčanikom (7) koji prenosi kretanje na zupčanike (8) i (9). Preko zupčanika (8) i (9) kretanje se prenosi na veliku kazaljku direktno, a preko reduktora (10) posredno na šuplju osovinu male kazaljke.

Upotrebom aneroidne baterije povećava se ukupni hod osnovnog pogonskog mehanizma, što daje mogućnost uprošćenja zupčastog prenosa, a time i veću tačnost instrumenta.

Slika 59



Pomoću bimetalnih poluga (2) i (4) izvodi se temperaturska kompenzacija, dok poluga (12) i opruga (13) služe za dinamičko uravnoteženje mehanizma. Sem normalne, osetljivi visinomeri imaju i barometarsku skalu (14), čiji podeoci označavaju pritisak vazduha u milimetrima živinog stuba ili, pak, u milibarima. Pomoću dugmeta (15) vrši se podešavanje barometarske skale i dovođenje kazaljke instrumenta u nulti položaj visinske skale.

Podešavanje se vrši na sledeći način. Neposredno pred poletanje letač proveri da li se položaj kazaljke poklapa sa nultim podeokom visinske skale. Ukoliko to nije slučaj, on obrtanjem dugmeta dovodi kazaljke na nulu. Kazaljka se obrće zajedno sa unutrašnjom (pokretnom) kutijom instrumenta i celim mehanizmom koji je u nj. Isto tako, obrće se i barometarska skala. Spoljna (visinska) skala fiksno je vezana za spoljnu kutiju instrumenta, a sa donje strane ima otvor kroz koji se vidi deo barometarske skale.

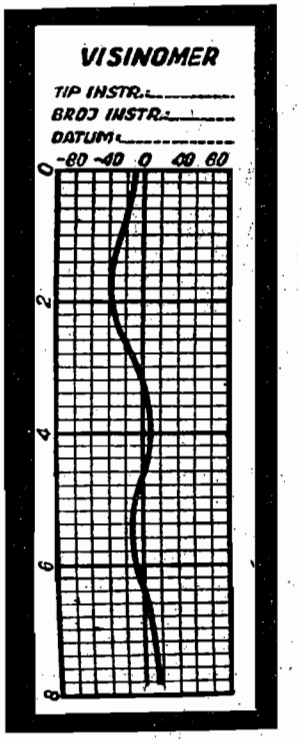
Kada se kazaljka dovede na nulu, srednji podeok koji se vidi kroz opisani otvor, pokazuje stvarnu vrednost statičkog pritiska okolnog vazduha u milibarima ili, pak, milimetrima živinog stuba.

Mogućnost ovakvog podešavanja ima višestruku korist.

Ako se let odvija iznad planinskih terena, dovođenjem barometarske skale u položaj koji odgovara pritisku na nadmorskoj visini nula metara (760 mm Hg), visinomer je podešen tako da pokazuje apsolutnu visinu, što je veoma korisno s obzirom da su nadmorske visine planinskih vrhova naznačene na kartama, pa letač može da ustanovi da li njegova jedrilica raspolaže bezbednom rezervom visine za njihovo preletanje.

Ukoliko se predviđa sletanje na neki aerodrom koji ima drugu nadmorsku visinu od polaznog, barometarska skala se podesi prema pritisku koji vlada na mestu sletanja. U tom slučaju, kad jedrilica dodirne tle sletnog aerodroma, visinomer će pokazivati nulu.

Mehaničke greške visinomera koje se uoče prilikom njegovog ispitivanja, unose se u posebne korekcione tablice. Jedna takva tablica prikazana je na slici 60.



Slika 60

Greške se algebarski sabiraju sa vrednostima koje pokaže visinometar. Ako visinometar, čija je korekciona tablica pokazana na slici pokazuje visinu od 2000 m, iz tablice vidimo da od te vrednosti treba oduzeti 40 metara, tj. da je stvarna visina leta 1960 metara.

BAROGRAFI

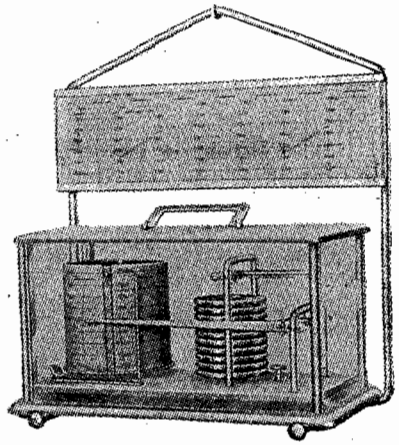
Barografi su specijalni visinometri koji registruju visinu za sve vreme leta. Oni ne spadaju u standardni satsav jedriličarskih instrumenata, već se priključuju po potrebi, tj. kada u narednom letu treba ispuniti visinske zahteve. To su letovi čija je svrha postavljanje visinskih rekorda ili, pak, sticanje uslova za osvajanje pojedinih sportskih znački.

Barograf ima dva nezavisna mehanizma. Prvi je visinomer koji umesto kazaljke ima specijalnu pisaljku, a drugi je satni mehanizam koji konstantnom brzinom obrće doboš na koji je namotana hartija sa ucrtanom mrežom horizontalnih i vertikalnih linija (vertikalne linije su lučno povijene, sa radijusom zaobljenja koji je jednak kraku pisaljke). Razmak između horizontalnih linija odgovara određenoj visinskoj razlici, dok rastojanje između vertikalnih linija definiše izvestan vremenski period. Tokom leta, doboš se polako obrće, dok vrh pisaljke menja položaj u zavisnosti od visine, upisujući na hartiju dijagram zavisnosti visine leta od vremena. Ovakav dijagram se zove barogram.

Pogonski elemenat visinomerskog dela barografa je aneroidna baterija sa više kapsula. Veći broj kapsula daje veći hod pogonskog mehanizma, pa prenosni sistem može da ima manji stepen prenosa. Ovo je neophodno zbog prilično velikog trenja između pisaljke i hartije.

Pomoću specijalne opruge može da se menja prenosni odnos satnog mehanizma i na taj način reguliše brzina obrtanja doboša u zavisnosti od predviđenog trajanja leta. Podešavanjem prenosnog

Slika 61



odnosa, doboš može da se obrne jedanput za šest minuta, 15 minuta, 30 minuta, 1 čas, 2 časa, sve do 12 časova.

Barografi se izrađuju za razne visine. Normalni barografi imaju opseg pokazivanja do 1000, 1500, 3000, 6000, 8000, 10.000 i 12.000 metara.

Izgled barografa prikazan je na slici 61.

GREŠKE VISINOMERA

Greške barometarskih visinomera mogu biti dvojakog porekla. S jedne strane, one nastaju usled nesavršenosti samog mehanizma (nepravilan hod kapsula, trenje spregnutih elemenata, itd.), dakle mehaničke greške, dok, s druge strane, njih izaziva svako stanje atmosfere koje odstupa od standardnog.

GREŠKE USLED PROMENE STANJA ATMOSFERE

Videli smo da su barometarski visinomeri baždareni prema međunarodnoj standardnoj atmosferi, koja tačno definiše pritisak, gustinu i temperaturu vazduha na zemlji, kao i promenu ovih veličina u zavisnosti od visine. Na žalost, stvarno stanje atmosfere retko kad odgovara standardnim uslovima.

Ukoliko na nadmorskoj visini 0 metara pritisak vazduha nije 760 mm Hg, visinomer će imati veću ili manju početnu grešku. Ova se greška ne ispravlja kod grubih, već samo kod osetljivih visinomera koji imaju barometarsku skalu.

Ukoliko zakon promene pritiska u zavisnosti od visine odstupa od standardnog, visinomer će praviti grešku drugog reda, koja raste sa povećanjem visine leta. Međutim, veličina ove greške je prilično mala, te praktično može da se zanemari.

S obzirom na navedene izvore grešaka, vidi se da i ispravno baždareni visinomeri retko kad pokazuju tačnu visinu, pa njihovo pokazivanje mora da se ispravi ukoliko se želi tačnost.

MEHANIČKE GREŠKE VISINOMERA

Najčešće greške visinomera koje su vezane za izradu i osobine pojedinih elemenata (mehaničke greške) nastaju usled sledećih uticaja: histereze i starenja kapsule, trenja u mehanizmu, kao i temperaturnih promena.

Uticaj histereze ogleda se u tome što visinomer pokazuje razne vrednosti za jednu visinu ako jedrilica na nju dolazi pri penjanju ili spuštanju. Pri tome visinomer pokazuje veće vrednosti ako na datu visinu jedrilica dolazi spuštanjem, i obrnuto.

Starenjem kapsule gube se njena elastična svojstva. Međutim, ovaj uticaj znatno može da se ublaži kod visinomera koji mogu da koriguju nulti položaj kazaljke.

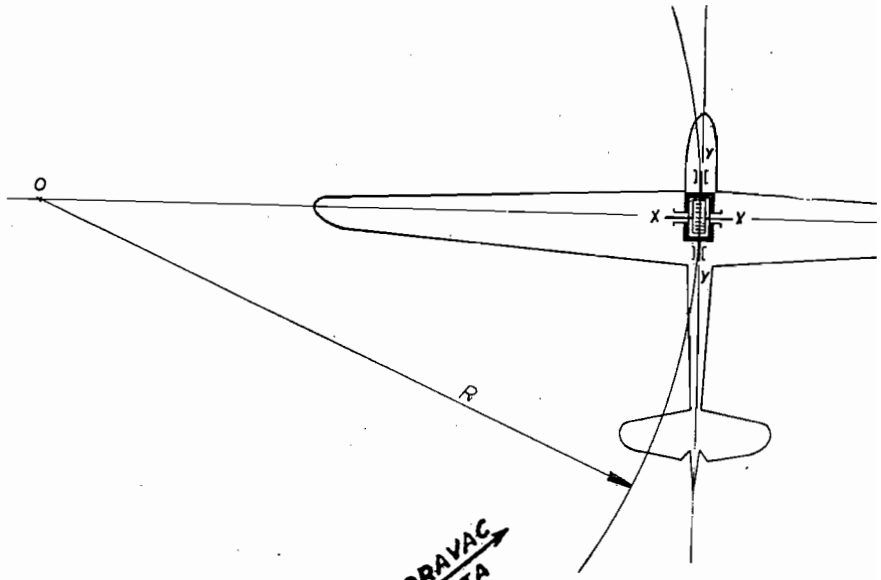
Trenje u mehanizmu može da izazove znatne greške kao što je oklevanje kazaljke ili, pak, njeno skokovito kretanje i pri sasvim normalnoj kontinualnoj promeni pritiska. Da bi se ovaj uticaj što više ublažio, svi pokretni delovi se izrađuju sa tolerancijom, dodirne površine se brižljivo glačaju, primenjuju se kamena ležišta itd.

Temperaturne promene mogle bi da izazovu znatne greške usled promene dimenzija i osobina delova, no njihov uticaj može skoro potpuno da se otkloni primenom bimetalnih poluga kao elemenata za temperaturnu kompenzaciju.

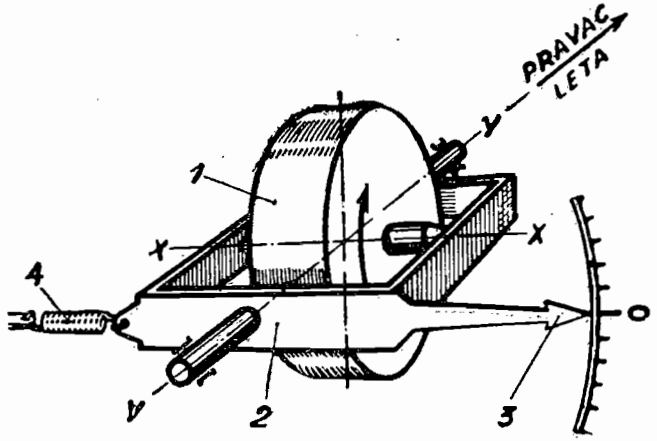
POKAZIVAČ SKRETANJA

Pokazivač skretanja je žiroskopski instrument koji pokazuje skretanje jedrilice po pravcu. Osnovni pogonski elemenat je žiroskop sa dva stepena slobode kretanja, koji je ugrađen tako da pri skretanju jedrilice oko vertikalne ose Z pokazuje ugaonu brzinu oko centra zakrivljenosti putanje 0 (sl. 62).

Žiroskop se velikom ugaonom brzinom obrće oko svoje glavne ose X—X, dok njegov okvir može da se obrće oko njoj upravne ose Y—Y. Obe ose leže u horizontalnoj ravni, s tim što je glavna upravna na uzdužnu osu jedrilice.



Slika 62



Slika 63

Pri skretanju jedrilice, osa X—X prinudno menja svoj položaj u prostoru, usled čega se javlja moment precesije, koji teži da obrne okvir oko ose Y—Y, u to utoliko jače, ukoliko je zaokret oštriji. Slobodnom okretanju okvira suprotstavlja se specijalna opruga ugrađena tako da pri deformaciji stvara momenat oko ose Y—Y koji je suprotnog smera od smera momenta precesije. Pri određenom nagibu okvira, dolazi do izjednačenja datih momenata i kazaljka (u stvari lopatica), koja je fiksno vezana za okvir zauzima svoj ravnotežni položaj koji definiše oštrinu zaokreta. Što je zaokret oštriji, momenat precesije je veći, pa se opruga mora više deformisati da bi postigla dovoljan napon za uravnoteženje.

Šematski prikaz pokazivača skretanja dat je na slici 63.

Osnovni elementi su:

1) žiroskop, 2) okvir žiroskopa, 3) kazaljka, 4) opruga.

Pri skretanju jedrilice okvir (2) se usled precesije naginje i za sobom povlači kazaljku čiji otklon reguliše opruga (4). Kad skretanje prestane, ona vraća kazaljku u nulti položaj.

Sam žiroskop je vrlo nemiran u radu, naime on se ponaša kao klatno koje osciluje oko svog ravnotežnog položaja. Stoga je neophodno prigušiti njegovo kretanje.

Pogon žiroskopa može biti vazdušni ili električni. Prvi način je zastareo i zbog niza nedostataka danas se retko koristi. Zasniva se na istom principu kao i pogon gasne turbine. Mlaz vazduha dejstvuje na lopatice, u stvari, specijalna udubljenja na obodu žiroskopa, i pokreće ga. Strujanje vazduha se izaziva depresijom koju daje venturi-truba. Nedostatak ovakvog pogona je zavisnost veličine depresije od brzine leta. Pri malim brzinama depresija je mala, a time i broj obrtaja žiroskopa. S obzirom da momenat precesije zavisi, između ostalog, i od broja obrtaja, jasno je da otklon lopatice pri istim ugaonim, a različitim brzinama na putanji ne može biti isti, čime je umanjen osnovni značaj pokazivača skretanja. Ovaj nedostatak donekle može da se ublaži upotrebom dopunskih elemenata za regulisanje depresije.

Drugi nedostatak vazdušnog pogona je dugo i sporo ubrzanje žiroskopa. Potrebno je da protekne 10 do 20 minuta od poletanja pa da žiroskop postigne dovoljan broj obrtaja za normalan rad.

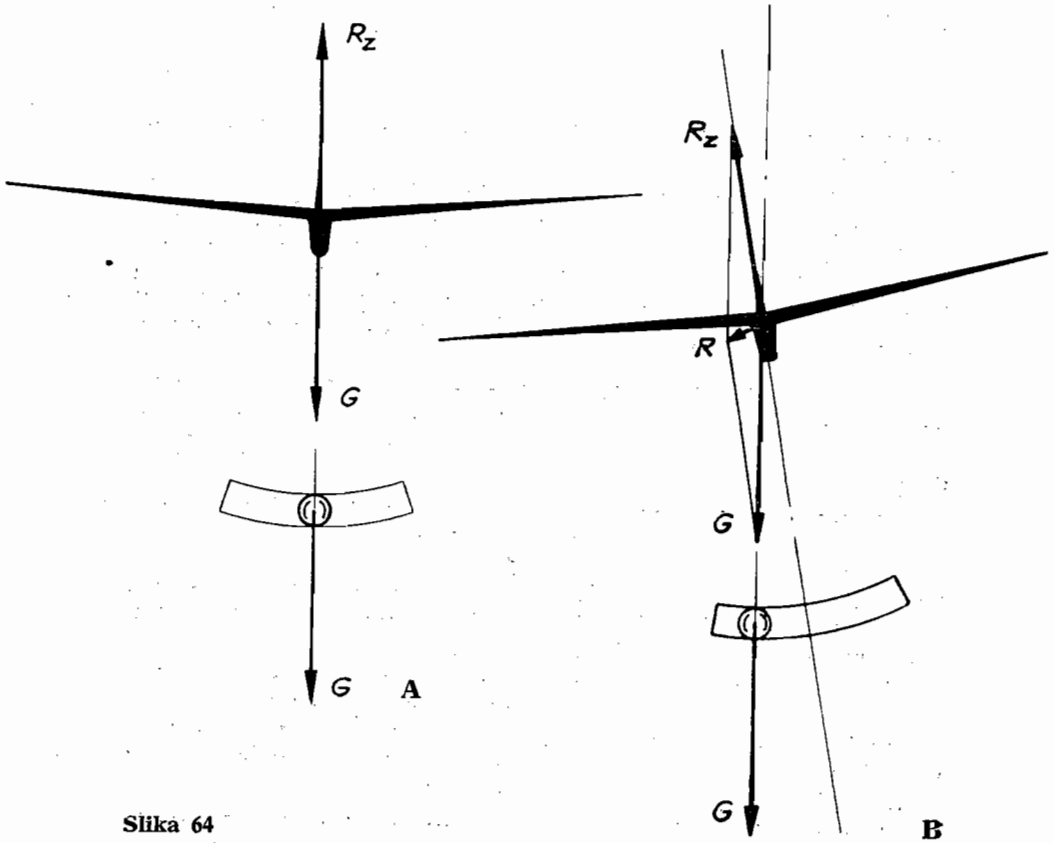
Mnogo je podesniji električni pogon, jer obezbeđuje kontinualan broj obrtaja, dok je samo ubrzavanje relativno kratko. Stoga su danas gotovo sasvim izbačeni iz upotrebe pokazivači skretanja sa vazdušnim pogonom žiroskopa.

Pogon električnih pokazivača skretanja ostvaruje se pomoću elektromotora jednosmerne ili naizmenične struje. Kod jedrilica se isključivo koriste pokazivači skretanja sa motorom jednosmerne struje, koji se napajaju iz akumulatora ili baterije, dok je ove druge moguće koristiti samo kod aviona koji imaju generator naizmenične struje.

POKAZIVAČ KLIZANJA

Pokazivač klizanja je, u suštini, libela koja se sastoji iz blago povijene staklene cevčice, ispunjene tečnošću, kroz koju se kreće čelična kuglica nešto manjeg prečnika. Tečnost (toluol) služi za prigušenje kretanja kuglice (kao što je to već opisano ranije).

U pravolinijskom letu bez poprečnog nagiba, kao i pravilno izvedenom zaokretu, kuglica se nalazi u sredini cevčice. Međutim,



Slika 64

ako se zaokret izvodi nepravilno (nekoordinirano) ili u pravolinijskom letu dođe do poprečnog nagiba, jedrilica će klizati i kuglica zauzeti nov položaj u delu cevčice okrenutom u smeru klizanja. Pri tome je intenzitet klizanja definisan veličinom otklona kuglice.

Da bismo bolje shvatili pojavu klizanja jedrilice i način pokazivanja kuglice, moramo da se upoznamo sa šemom sila u opisanim slučajevima leta. Pri tome su interesantne jedino sile koje leže u ZY ravni jedrilice (sl. 2), pošto ostale ne mogu da izazovu klizanje.

U pravolinijskom letu, u pomenutoj ravni, dejstvuju samo sila uzgona i sila Zemljine teže. Sila uzgona leži u ravni simetrije jedrilice; njen pravac zavisi od napadnog ugla i poprečnog nagiba koji jedrilica ima u letu, dok je sila Zemljine teže usmerena uvek vertikalno naniže.

Ako nema poprečnog nagiba, ravan simetrije jedrilice je vertikalna, pa nema bočnih komponenata koje bi izazvale klizanje.

Na kuglicu deluje samo sila Zemljine teže, pa se ona ponaša kao visak, težeći da zauzme najniži mogući položaj. Pošto nema

poprečnog nagiba, centralni deo cevčice je najniži i kuglica tu ostaje (sl. 64a).

Ako jedrilica u provolinijskom letu dobije poprečni nagib, nagnuće se i uzgonska osa, usled čega će doći i do smanjenja vertikalne, i to na račun nastanka horizontalne komponente uzgona. Rezultanta sila koje dejstvuju u ZY ravni imaće pravac i smer kao što je to prikazano na slici 64b. Jedrilica će klizati u smeru rezultante (R), tj. kretaće se bočno uz pojačan gubitak visine.

I u ovom slučaju kuglica je izložena samo dejstvu sile teže, pa se i dalje ponaša kao visak. Najniži deo cevčice pomera se u stranu spuštenog krila, pa kuglica napušta centralni deo i dolazi do njega.

U zaokretu, sem pomenutih, javlja se i centrifugalna sila, čiji se pravac dejstva u svakom momentu poklapa sa normalom na putanju; ona je usmerena upolje. Ako se zaokret pravilno izvodi, horizontalna komponenta uzgona (Rzh) je u ravnoteži sa centrifugalnom silm (Fc), (sl. 65a), pa jedrilica pravilno sledi predviđenu putanju, i to bez bočnog klizanja.

Na kuglicu u zaokretu, sem sile teže, deluje i centrifugalna sila. Pravac rezultante ovih dveju sila naziva se prividnom vertikalom i kuglica se smešta u onaj deo cevčice kroz koji prividna vetikala prolazi. U pravilnom zaokretu, prividna vertikala prolazi kroz središte cevčice, pa kuglica tu ostaje.

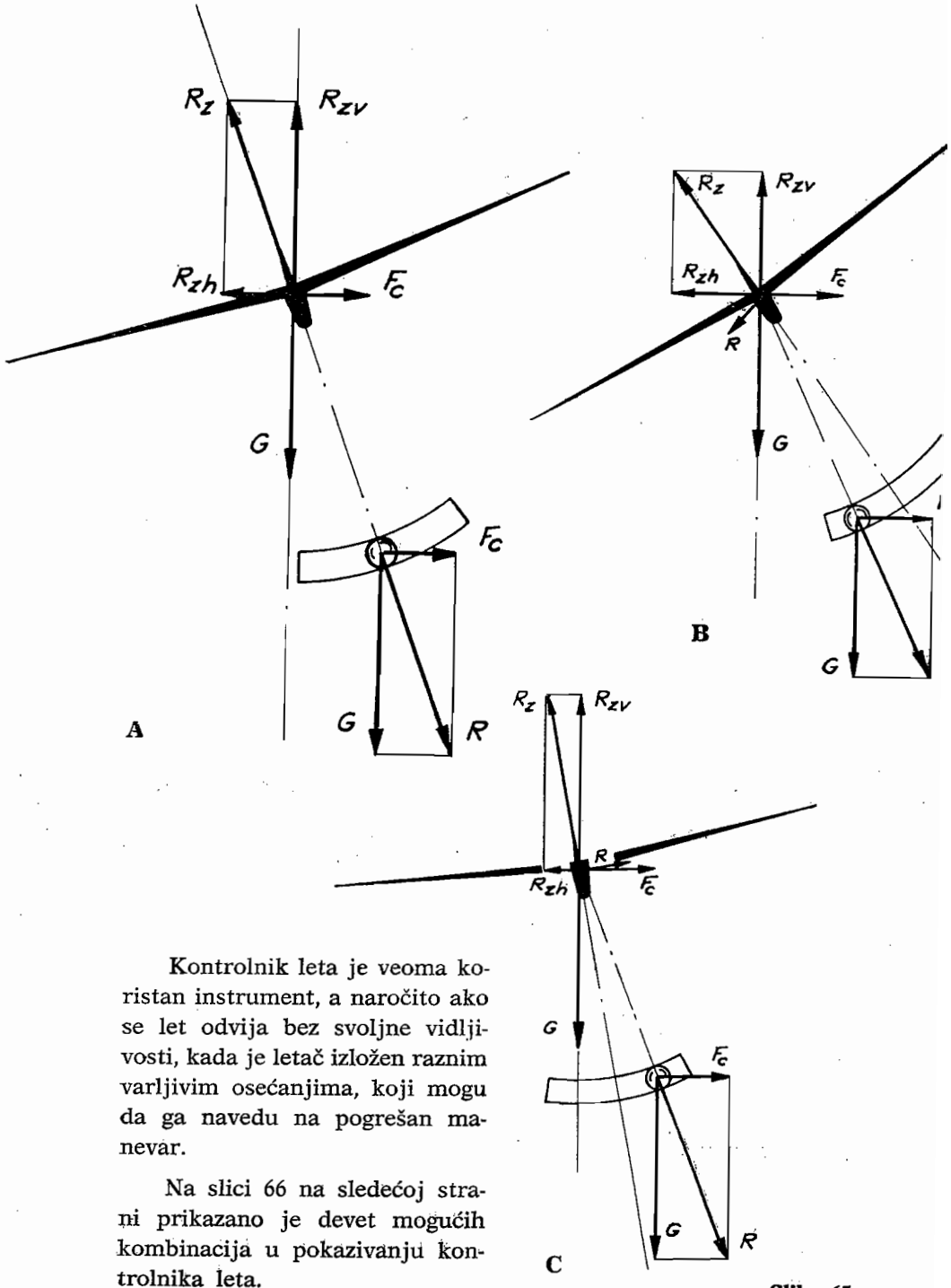
Ako u zaokretu jedrilica ima veći poprečni nagib od potrebnog, horizontalna komponenta uzgona je veća od centrifugalne sile, pa rezultanta u ZY ravni ima pravac i smer kao na slici 65b. U tom slučaju jedrilica klizi na stranu spuštenog krila, odnosno u pravcu rezultujuće sile.

Prividna vertikala više ne prolazi kroz sredinu cevčice, već bliže kraju koji je okrenut spuštenom krilu. Zbog toga kuglica napušta centralni deo cevčice i dolazi u novi položaj, pokazujući letaču da ne vrši korektan zaokret, tj. da treba da poveća oštrinu zaokreta (dejstvom nožnih komandi) ili, pak, smanji nagib (dejstvom palice).

Ako u zaokretu jedrilica ima manji nagib od potrebnog, horizontalna komponenta uzgona je manja od centrifugalne sile, pa rezultanta ima pravac i smer kao na slici 65c. Zbog toga jedrilica klizi u spoljnu stranu zaokreta, tj. u pravcu rezultujuće sile.

Prividna vertikala prolazi kroz cevčicu bliže kraju koji je okrenut dignutom krilu i kuglica beži tamo, upozoravajući letača da treba da poveća nagib jedrilice (palicom) ili, pak, smanji oštrinu zaokreta (nožnim komandama).

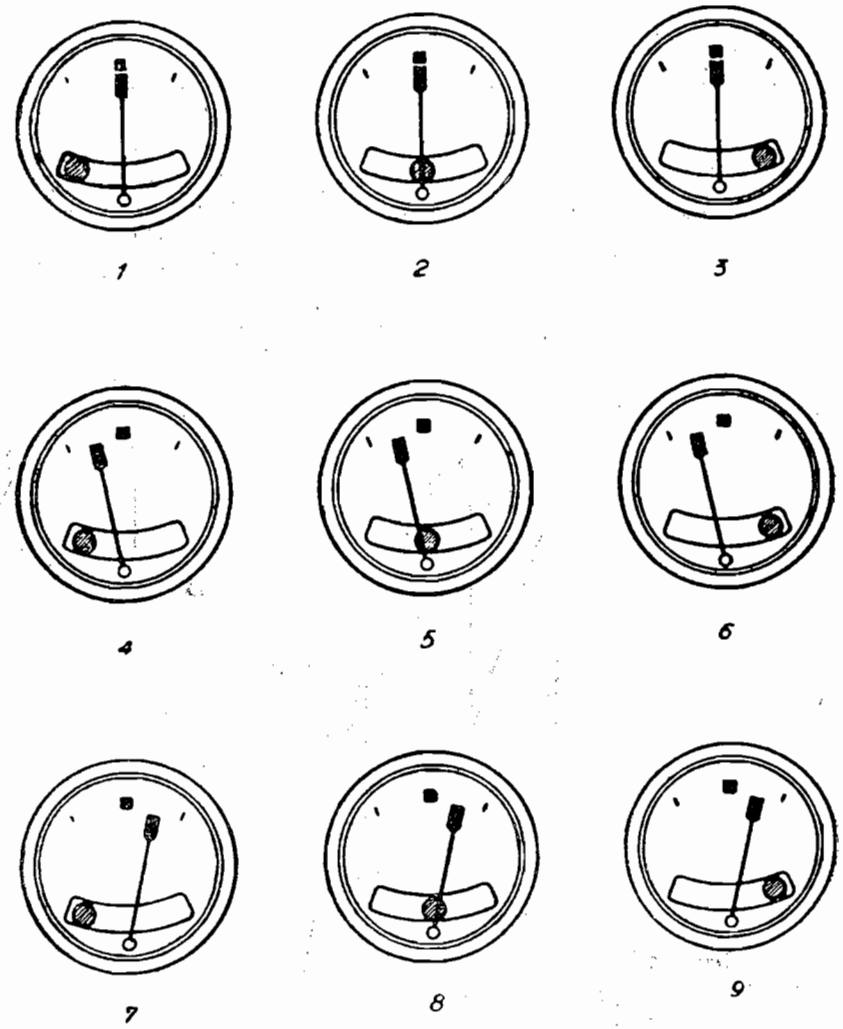
Pokazivač klizanja obično se kombinuje sa pokazivačem skretanja i takav instrument nazivamo kontrolnikom leta.



Kontrolnik leta je veoma koristan instrument, a naročito ako se let odvija bez svoljne vidljivosti, kada je letač izložen raznim varljivim osećanjima, koji mogu da ga navedu na pogrešan manevar.

Na slici 66 na sledećoj strani prikazano je devet mogućih kombinacija u pokazivanju kontrolnika leta.

Slika 65



Slika 66

1) pravolinijski let sa klizanjem u levu stranu (s obzirom da je let pravolinijski, u pitanju je levi nagib jedinice; 2) pravolinijski let bez klizanja; 3) prravolinijski let sa klizanjem u desnu stranu (jedrilica ima desni nagib); 4) levi zaokret sa klizanjem u stranu zaokreta (treba smanjiti nagib zatezanjem palice udesno ili povećati oštrinu zaokreta pritiskom leve pedale); 5) pravilan

levi zaokret; 6) levi zaokret sa klizanjem u spoljnu stranu (treba povećati nagib jedrilice ili smanjiti oštrinu zaokreta); 7) desni zaokret sa klizanjem u spoljnu stranu (treba povećati nagib jedrilice ili smanjiti oštrinu zaokreta); 8) pravilan desni zaokret; 9) desni zaokret sa klizanjem u stranu zaokreta (treba smanjiti nagib jedrilice ili povećati oštrinu zaokreta).

VEŠTAČKI HORIZONT

Veštački horizont je instrument koji pokazuje kakav je položaj jedrilice u odnosu na prirodni horizont, tj. da li je nagnuta oko svoje uzdužne ili poprečne ose. Osnovni elemenat mu je žiroskop sa tri stepena slobode kretanja koji je ugrađen tako da predstavlja žiroskopsko klatno sa veoma dugim periodom oscilovanja.

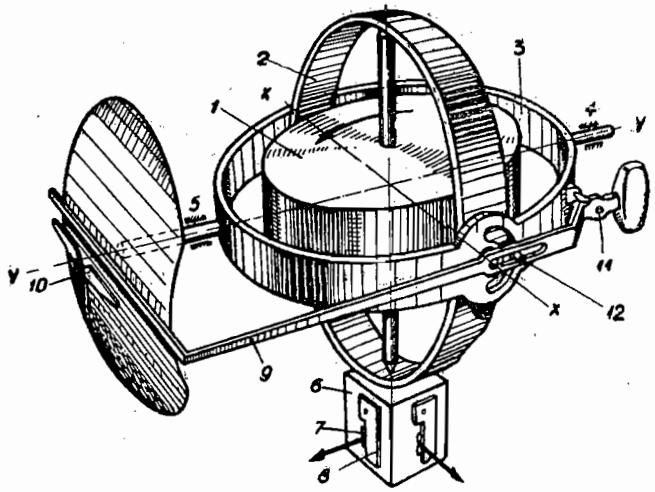
Kada jedrilica u letu ne bi bila izložena dejstvu sila ubrzanja, pomenuti nagibi mogli bi da se konstatuju i pomoću običnog klatna, jer bi ono pokazivalo stvarnu vertikalu. Međutim, u zaokretima i evolucijama javljaju se sile ubrzanja, zbog čega bi obično klatno pokazivalo prividnu vertikalu, tj. pravac koji se poklapa sa pravcem rezultante koju grade sila teže i pomenute sile ubrzanja. Klatno se postavlja u pravac prividne vertikale utoliko brže, ukoliko mu je period oscilovanja manji. Ako bi se, pak, period oscilovanja klatna povećao, ono bi sporije napuštalo položaj stvarne vertikale, pa bi donekle registrovalo pojavu nagiba.

Žiroskopsko klatno, za razliku od običnog klatna, ima vrlo veliki momenat inercije (koji se postiže pogodnim rasporedom masa), kao i veliku brzinu rotacije oko glavne ose, što mu obezbeđuje dovoljno dug period oscilovanja, zbog čega je ono praktično neosetljivo na sile ubrzanja. Ova osobina žiroskopskog klatna primenjena je na veštačkim horizontima.

Videli smo da se žiroskopi odlikuju velikom stabilnošću, koja, međutim, često nije dovoljna da spreči naginjanje njihove glavne ose. Stoga se veštački horizonti opremaju specijalnim ispravljačima, čiji je zadatak da stvaraju takve ispravljačke momente koji se suprotstavljaju svakoj tendenciji naginjanja pomenute ose.

Danas je u upotrebi više tipova pneumatskih i električnih veštačkih horizonata. Zbog niza nedostataka (neki su ranije opisani) pneumatski horizonti se postepeno potiskuju iz upotrebe i njih sve više zamenjuju električni.

Međutim, sam princip rada i jednih i drugih se, u suštini, ne razlikuje. Pošto nama nije cilj da se upoznamo sa načinima



Slika 67

pogona osnovnog elementa ovih instrumenata, već sa principom njihovog rada, opisaćemo samo jedan od postojećih tipova.

Za primer ćemo usvojiti horizont tipa „Speri" normalne konstrukcije.

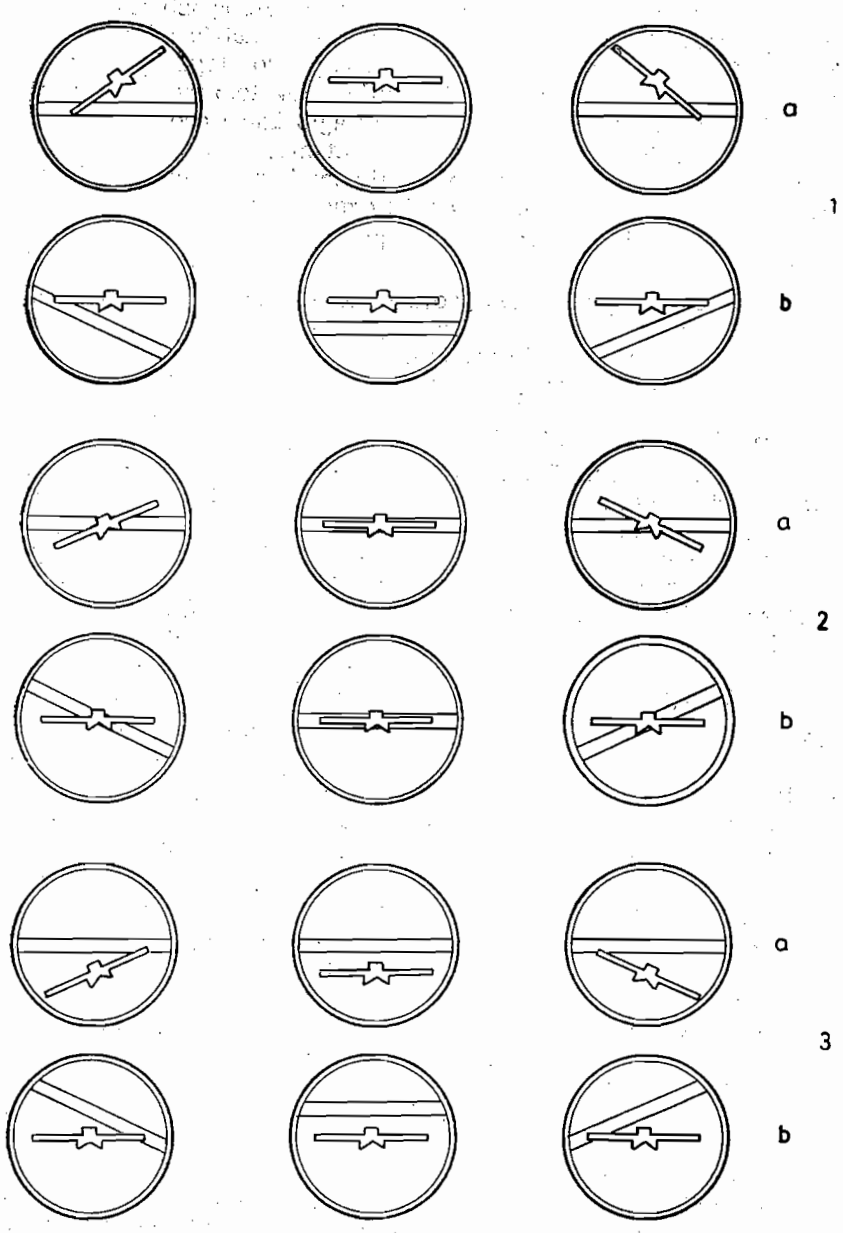
Šematski prikaz ovakvog instrumenta dat je na slici 67.

Sastoji se iz kardanski obešenog žiroskopskog klatna sa vazdušnim ispravljačem. Žiroskop (1) okreće se velikom brzinom oko vertikalne ose čija su ležišta ugrađena sa unutrašnje strane vertikalnog prstena (2). Horizontalni prsten (3) obuhvata vertikalni prsten (2) i može da se okreće oko ose X—X.

On je ugrađen u kutiju instrumenta preko ležišta (4) i (5), čije su ose paralelne uzdužnoj osi jedrilice.

Pri promeni nagiba jedrilice, žiroskop (1) zadržava svoju ravan obrtanja, a time i njegova glavna osa, kao i prsten (2). Spoljni prsten (3), koji je preko ležišta (4) i (5) ugrađen u kutiju instrumenta, mora da prati uzdužne nagibe jedrilice. U slučaju poprečnog nagiba ceo sistem ostaje nepomičan, dok se kutija instrumenta okreće u ležištima (4) i (5), prateći naginjanje jedrilice.

Sa donje strane prstena (2) nalazi se vazdušni ispravljač. On se sastoji iz komore (6) iz koje vazduh velikom brzinom ističe kroz proreze (7). Prorezi (7) delimično su pokriveni klatnima (8), koja su tako postavljena da u vertikalnom položaju ispravljača sva četiri mlaza budu podjednakog intenziteta, što obezbeđuje poništavanje njihovih reaktivnih momenata. Ako se iz bilo kog razloga žiroskopski sistem izvede iz svog prvobitnog položaja tako da više ne stoji u horizontu (do čega može doći usled velikog



Slika 68

trenja u ležištima, dejstva sila ubrzanja, nasilnog izbacivanja žiroskopskog sistema u evolucijama itd.), poremetiće se ravnoteža reaktivnih momenata opisanih mlazeva. Do toga dolazi što klatna (8) zadržavaju vertikalan položaj, dok telo ispravljača (6) čvrsto vezano za okvir (2) dobija isti nagib kao i ceo žiroskopski sistem. Zbog toga se jedan prorez zatvara, a njemu suprotni otvara; odgovarajući mlazevi menjaju svoj intenzitet, pa dolazi do stvaranja potrebnog ispravljačkog momenta.

Samo pokazivanje uzdužnog i poprečnog nagiba vrši se na sledeći način.

Pošto žiroskop zadržava svoju ravan obrtanja, to se ugao poprečnog nagiba pokazuje u svojoj pravoj veličini. Kutija instrumenta kreće se oko žiroskopskog sistema sa kojim je vezana preko ležišta (4) i (5). Poluga (9) ugrađena je na prsten (3) i pokazuje ugao u pravoj veličini. On se letaču pokazuje kao ugao između poluge (9) i siluete (10) koja je vezana za kutiju instrumenta.

Pri uzdužnom nagibu okvir (2) se obrće u odnosu na okvir (3), koji je zbog ugrađivanja u ležišta (4) i (5) primoran da prati naginjanje jedrilice. Okretanje prstena (2) prenosi se preko čepa (12) na polugu (9), koja se diže ili spušta u odnosu na siluetu (10). Smer njenog otklona je suprotan smeru naginjanja sistema, tj. ona se spušta ispod siluete ako se nos jedrilice diže iznad horizonta, i obrnuto. Na taj se način dobija slika koja odgovara stvarnom položaju jedrilice u odnosu na horizont.

Kod izvesnih konstruktivnih izvođenja, silueta se vezuje za polugu (9), dok je linija horizonta nacrtana na oknu instrumenta.

Na slici 68 prikazano je devet mogućih položaja koje pokazuje veštački horizont. Svaki položaj je dat u dve varijante:

a) silueta je pokretna, a linija horizonta fiksirana;

b) linija horizonta je pokretna, a silueta fiksirana.

U prvom a i b redu prikazan je let penjanja, u srednja dva horizontalan let, dok donja dva reda prikazuju spuštanje jedrilice.

U levoj koloni horizont pokazuje levi nagib, srednja pokazuje pravolinijski let, dok je u desnoj koloni prikazan desni nagib jedrilice.

Na tipovima jedrilica koje su predviđene za izvođenje evolucija ugrađuju se samo oni horizonti koji imaju dopunski uređaj za blokiranje žiroskopskog sistema. Ovo je neophodno, jer pri uzdužnom nagibu većem od 60° i poprečnom većem od 90°, delovi žiroskopskog sistema udaraju o posebne ograničivače, zbog čega dolazi do nasilnog izbacivanja sistema iz normalnog položaja.

Ispravljačima je posle ovoga potrebno 5 do 10 minuta da ponovo vrate sistem u normalni rad. Međutim, blokiranjem žiroskopskog sistema pre izvođenja evolucija ova pojava može da se spreči.

INSTRUMENTI ZA NAVIGACIJU

KOMPASI

Kompas je osnovni navigacijski instrument koji služi za pokazivanje i održavanje kursa vazduhoplova. Jedrilice su, uglavnom, opremljene raznim vrstama magnetnih kompasa, čiji se princip rada zasniva na dejstvu Zemljinog magnetnog polja na magnetnu iglu. Kao što znamo, Zemlja predstavlja jedan veliki magnet, čiji se magnetni polovi nalaze u blizini geografskih. Između magnetnih polova prostiru se tzv. magnetni meridijani. Slobodno obešena magnetna igla, u čijoj se blizini ne nalaze nikakvi metalni predmeti ili elektroprovodnici pod naponom, postavlja se uvek u pravac lokalnog magnetnog meridijana.

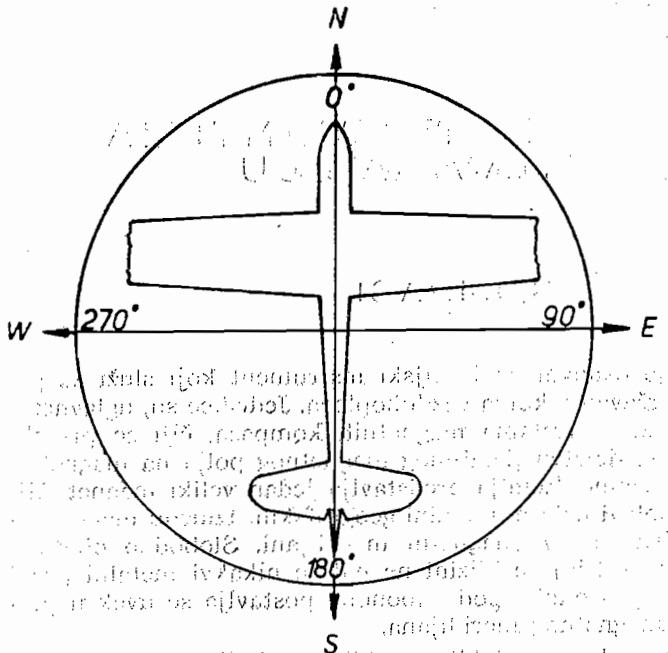
Za razliku od geografskih meridijana, koji se prostiru direktno u pravcu sever-jug, pravac magnetnih meridijana nije svuda isti, već se menja u zavisnosti od geografskog položaja. Promenu njihovog pravca izazivaju lokalna magnetna polja u Zemljinoj kori (metalne rude, magnetni minerali itd.). U stvari, pravac magnetnih meridijana predstavlja rezultantu Zemljinog magnetnog polja i pomenutih lokalnih polja. Ugao koji na nekom mestu zaklapaju lokalni geografski i magnetni meridijan naziva se *uglom deklinacije*. U zavisnosti od toga da li magnetna igla skreće u pravcu zapada ili istoka, razlikujemo zapadnu, odnosno istočnu deklinaciju.

Ako se u neposrednoj blizini magnetne igle nalaze metalni predmeti ili elektroprovodnici pod naponom (čega na jedrilici uvek ima), igla će skrenuti sa pravca magnetnog meridijana za izvestan ugao koji nazivamo *uglom magnetne devijacije*. Taj novi pravac poklapa se sa pravcem tzv. kompasnog meridijana koji predstavlja rezultantu Zemljinog magnetnog polja, lokalnih polja u Zemljinoj kori i lokalnih polja na samoj jedrilici.

Kurs po kome jedrilica leti predstavlja ugao između meridijana i uzdužne ose jedrilice. On se računa od pravca sever (N) — kurs 0 i raste u pozitivnom smeru kazaljke na satu, tako da u pravcu istoka (E) ima vrednost 90, juga (S) 180 i zapada (W) 270.

U zavisnosti od kog meridijana računamo, razlikujemo geografski, magnetni i kompasni kurs. Na slici 69 prikazana je jedrilica koja leti po geografskom kursu 0, tj. u pravcu severa.

Magnetni kompas pokazuje kompasni kurs jedrilice. Međutim, kako je za vođenje navigacije potreban geografski kurs, letač



Slika 69

mora da vrši računski korekciju algebarskim sabiranjem uglova magnetne deklinacije i devijacije sa vrednostima očitanim na kompasu.

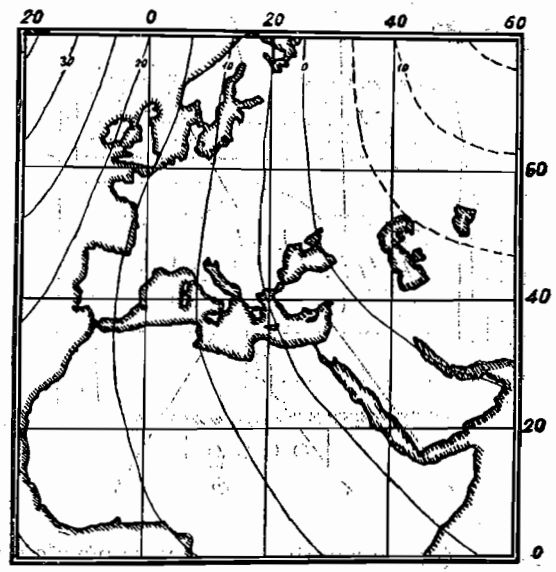
Ranije smo videli da se ugao magnetne deklinacije menja u zavisnosti od geografskog položaja. Isto tako, on se menja i u zavisnosti od vremena, jer magnetni polovi periodično menjaju svoj položaj, oscilujući u pravcu istok-zapad, sa periodom oscilovanja koji traje više vekova. Stoga se za potrebe navigacije u navigacijske karte ucrtavaju linije koje povezuju sva mesta na zemlji sa istom deklinacijom (izogene linije). Takve karte treba štampati svake godine da bi se unele korekcije zbog promene položaja magnetnih polova.

Kada odredi geografski položaj zone u kojoj treba da vrši prelet, letač tokom navigacijske pripreme, očita sa takve karte vrednost lokalne deklinacije. Ukoliko je u pitanju zapadna deklinacija, on će je tokom leta dodavati kompasnom kursu, a ako je istočna, oduzimaće je.

Na slici 70 prikazana je karta jednog dela istočne hemisfere sa ucrtanim linijama zapadne (pune linije) i istočne deklinacije (isprekidane linije).

Uticaj magnetne devijacije obračunava se pomoću naročitih korekcionih dijagrama, koji se izrađuju posebno za svaku jedrilicu. Na tim dijagramima data je zavisnost ugla devijacije od kompasnog kursa. Kao i kod deklinacije, tako i ovde razlikujemo zapadnu, odnosno istočnu devijaciju, prema tome da li igla od-

stupa zapadno ili istočno od magnetnog meridijana. Takvi korekcioni dijagrami izrađeni su tek posle izvršene kompenzacije kompasa, o čemu će kasnije biti reči.



Slika 70

PILOTSKI KOMPASI

Šema jednog pilotskog kompasa data je na slici 71.

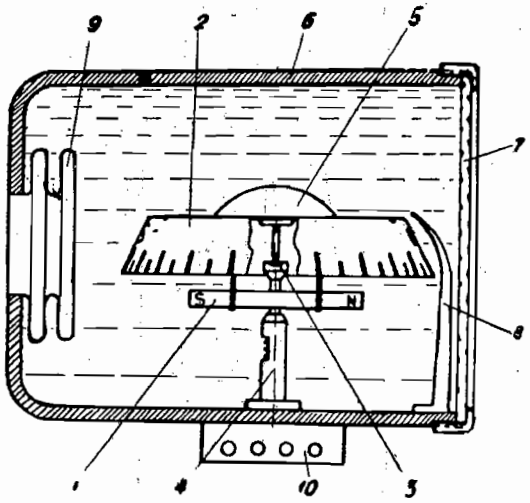
Osnovni elemenat kompasa je okretni sistem, koji se sastoji iz stalnih magneta (1) i kompasne ruže (2). Magneti su pričvršćeni za ružu i kao celina se okreću u ležištu (3). Ležište se sastoji iz vrha (od kaljenog čelika ili ahata), koji leži u čašici od rubina, safira ili nekog sličnog materijala.

Šipkasti magneti (1), (dva komada), koji su međusobno paralelni i prolaze sa raznih strana stožera (4), okačeni su o ružu tako da težište čitavog okretnog sistema bude ispod ležišta (3). Na taj način okretni sistem visi kao klatno i za ugrađivanje je dovoljno samo jedno ležište.

Ruža se pravi od vrlo tankog lima. Njen obim je izdeljen na 72 podeoka. Razmak između dva susedna podeoka označava ugao od 5°. Svaki drugi podeok je nešto duži i označava svaki deseti stepen. Brojevima je označen svaki trideseti stepen, s tim što dati broj označava deset puta veći ugao (na primer, broj 33 označava ugao od 330°). Podeoci 0 i 18 (koji označavaju kurs 0 i 180) leže u osi ruže, paralelno sa osom magneta. Da bi se smanjio pritisak na ležište, a time i štetno dejstvo trenja, kompasna ruža nosi plovak (5).

Kućica (6) mora da bude hermetički zatvorena. Sa njene prednje strane nalazi se staklo (7), a iza njega indeks (8) prema kome se čita kurs na ruži.

Da bi se izbegao štetan uticaj širenja i skupljanja tečnosti za prigušenje (mešavina alkohola i vode), kojom je ispunjena



Slika 71

kućica (6), na zadnji zid kućice se učvršćuje elastični meh (9). Pri skupljanju tečnosti on se širi, i obrnuto, tako da sprečava mogućnost pojave mehura koji bi štetno uticao na rad kompasa.

Kompenzaciona kutija (10) sadrži stalne magnete pomoću kojih se vrši kompenzacija kompasa, tj. otklanjanje devijacije.

Prema ovakvoj šemi izrađuju se gotovo svi pilotski kompasi. Pojedini tipovi razlikuju se samo u izvesnim detaljima, kao što je oblik ruže, način kompenzacije i sl.

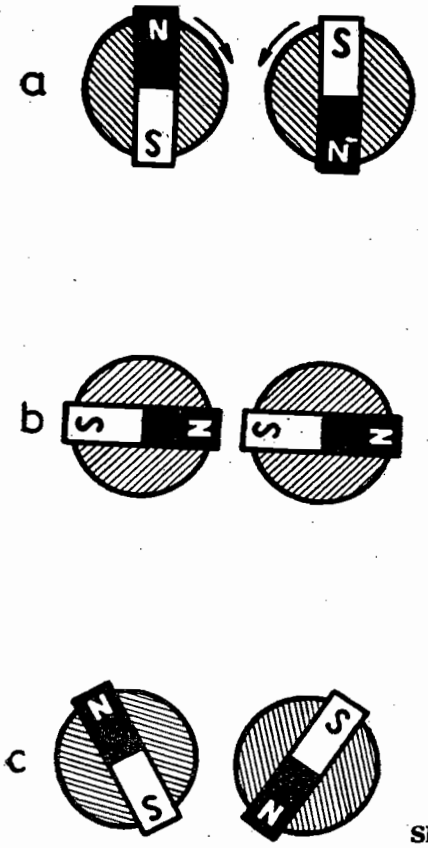
Kompenzacija magnetnog kompasa

Videli smo da zbog raznih parazitnih magnetnih polja na jedrilici dolazi do pojave devijacije. Devijacija može lako da se ustanovi postavljanjem jedrilice u četiri glavna pravca (N, E, S, W) i u svakom pravcu pročita pokazivanje kompasa. Pri tome će se primetiti izvesna manja ili veća odstupanja koja mogu da budu pozitivna (istočna devijacija) i negativna (zapadna devijacija). Ako se data odstupanja prikažu grafički u funkciji od kursa, dobija se korekciona kriva datog kompasa.

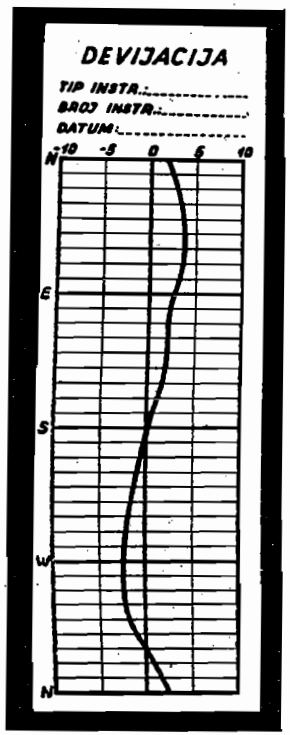
U zavisnosti od toga da li devijaciju izazivaju gvozdeni ili čelični predmeti na jedrilici, razlikujemo polukružnu, odnosno četvorokružnu devijaciju.

Polukružnu devijaciju izazivaju čelični predmeti koji se namagnetišu trajno, tako da njihovi polovi slede skretanje jedrilice. Pri skretanju većem od 180°, smer njihovog magnetnog polja se menja u odnosu na Zemljino, pa zato dolazi i do promene smera devijacije.

Četvorokružnu devijaciju izazivaju gvozdeni predmeti na jedrilici. Na gvozdene predmete deluje Zemljino magnetno polje. Njegova horizontalna komponenta stvara jedno polje koje je ne-



Slika 72



Slika 73

pomično u prostoru i jedno koje se obrće u odnosu na ružu dva puta brže nego jedrilica, i menja smer za svakih 90°. Time se i smer četvorokružne devijacije menja posle svakih 90°, odnosno četiri puta tokom punog zaokreta od 360°.

Kompenzacija kompasa izvodi se pomoću stalnih magneta. Uobičajeno je da se za normalnu upotrebu kompenzuje samo polukružna devijacija, kao najveća, dok se četvorokružna zabeleži i unese u korekcionu tablicu ili u dijagram kompasa. Princip kompenzacije može da se vidi na slici 72.

Dva stalna magneta ugrađena su u osovine od nemagnetične materije, koje pomoću zupčanika mogu da se pokreću u suprotnom smeru jedna prema drugoj. Pri tome stalni magneti mogu da zauzmu položaje: a — najvećeg, b — srednjeg i c — najmanjeg dejstva na ružu.

Ako se magneti postave ispod ili iznad ruže, postavljanjem u položaje a, b, c ili neki između njih, može potpuno da se izvrši kompenzacija polukružne devijacije.

Greške usled četvorokružne deevijacije unose se u korekcione tablice koje izgledaju kao ova koja je prikazana na slici 73.

Greške se algebarski sabiraju sa pokazivanjem kompasa.

SISTEMATSKE GREŠKE MAGNETNIH KOMPASA

Videli smo da pravilno ugrađeni i kompenzovani magnetni kompasi pokazuju kurs koji od geografskog odstupa za vrednost ugla lokalne deklinacije i ugla nekompenzovane komponente magnetne devijacije. Takođe smo videli da ova odstupanja letač može lako da koriguje upotrebom korekcione tablice kompasa (uticaj devijacije) i navigacijske karte sa ucrtanim izogenim linijama (uticaj deklinacije). Međutim, opisani kurs kompas pokazuje jedino u slučaju da jedrilica leti pravolinijski i da na nju ne deluju nikakve sile ubrzanja.

U zaokretima i pri pojavi ubrzanja, magnetni kompasi prave greške čija veličina zavisi od više faktora, u prvom redu, od same konstrukcije kompasa i vrste evolucije koja se izvodi.

Do ovih grešaka dolazi usled dejstva vertikalne komponente Zemljinog magnetnog polja. Kada smo govorili o magnetnoj deklinaciji, videli smo da indukcione linije koje se prostiru između Zemljinih magnetnih polova u horizontalnoj ravni predstavljaju krive linije, tzv. magnetne meridijane.

Međutim, te linije ne leže samo u horizonalnoj ravni, već su prostorne.

Pošto se magnetna igla postavlja uvek paralelno ovim linijama, jasno je da će u zavisnosti od geografskog položaja ona menjati svoj ugao prema horizontu. Taj ugao se naziva uglom magnetne inklinacije Iz toga proizilazi da na ekvatoru magnetna igla leži horizontalno (ugao inklinacije $i=0^0$), a ka polovima se naginje u odnosu na horizont, tako da na samim polovima leži vertikalno.

Naginjanje kompasne ruže moguće je sprečiti na dva načina, i to:

1 — postavljanjem ležišta celog okretnog sistema znatno ispod ležišta, i

2 — pomeranjem težišta okretnog sistema u horizontalnoj ravni, tako da veća težina sa jedne strane drži ravnotežu dejstvu vertikalne komponente Zemljinog magnetnog polja sa druge strane.

Oba načina podešavanja kompasne ruže izazivaju greške pri skretanju jedrilica ili dejstvu sile ubrzanja.

U prvom slučaju okretni sistem predstavlja klatno, a pri nagibu jedrilice šipkasti magneti se postavljaju normalno na pravac prividne vertikale, usled čega na njih deluje vertikalna komponenta Zemljinog magnetnog polja čije dejstvo izaziva greške u pokazivanju.

U drugom slučaju, usled ekscentričnog rasporeda masa, pri pojavi sila ubrzanja doći će do naginjanja ruže kompasa, a time i do štetnog dejstva vertikalne komponente Zemljinog magnetnog polja.

Ako je kompasna ruža podešena na severnoj hemisferi, ona će se usled skretanja jedrilice od severnog kursa sa bočnim nagibom okretati u istom smeru kao i jedrilica. Tom prilikom, u zavisnosti od veličine bočnog nagiba, ruža može da skreće: brže od jedrilice, istom brzinom kao ona i sporije od nje. Ako se obrće brže od jedrilice (pri velikom bočnom nagibu), letač dobija lažni utisak da jedrilica skreće u suprotnom smeru. Ukoliko ruža skreće istom brzinom kao i jedrilica, letač dobija utisak da je let pravolinijski, dok u slučaju sporijeg skretanja ruže, kompas pokazuje pravilan smer skretanja, ali sa utiskom da je oštri zaokret znatno manji.

Pri skretanju jedrilice sa južnog kursa, ruža skreće u suprotnom smeru, tako da letač dobija ispravan utisak o smeru skretanja, ali ugaona brzina zaokreta izgleda daleko veća.

Pri skretanju sa kursa 90 ili 270 (istok i zapad), greške se ne pojavljuju.

Ako je kompas podešen na južnu hemisferu, javljaju se iste greške, ali suprotnog smera. Najveća greška javlja se pri skretanju sa kursa 180 (sa juga).

SADRŽAJ

PREDGOVOR 7

I. ISTORIJA VAZDUHOPLOVSTVA I VAZDUHOPLOVNOG JEDRILIČARSTVA 9

OD MAŠTE DO PRVIH LETEĆIH SPRAVA 11
BALONI I DIRIŽABLI 14
PRONALAZAK LETEĆIH SPRAVA TEŽIH OD VAZDUHA 17
PIONIRSKO DOBA AVIJACIJE 20
STVARANJE VOJNOG VAZDUHOPLOVSTVA I NJEGOVO UČEŠĆE U PRVOM SVETSKOM RATU 24
RAZVOJ VAZDUHOPLOVSTVA OD 1919. DO 1939. GODINE 30
RAZVOJ VAZDUHOPLOVSTVA OD 1919. DO 1939. GODINE 30
PRIPREME I UČEŠĆE VOJNOG VAZDUHOPLOVSTVA U DRUGOM SVETSKOM RATU 34
RAZVITAK VAZDUHOPLOVSTVA POSLE DRUGOG SVETSKOG RATA 42
RAZVITAK JEDRILIČARSTVA OD BRAĆE RAJT DO NAŠIH DANA 44
VAŽNIJI DATUMI U RAZVOJU VAZDUHOPLOVSTVA . . 51
LITERATURA 52

II. TEORIJA LETENJA 53

NEKE OSNOVNE MEHANIČKE VELIČINE I NJIHOVE JEDINICE 55
OSNOVNI POJMOVI O PRITISKU I STRUJANJU VAZDUHA 57
BERNULIJEV ZAKON 59
PRIMENA BERNULIJEVOG ZAKONA 60
MEĐUNARODNA STANDARDNA ATMOSFERA (MSA) . 62
GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE JEDRILICA . . . 63
AERODINAMIČKA SILA I MOMENT 65
POJAVA UZGONA 67
OTPOR PROUZROKOVAN UZGONOM 68
OTPOR OBLIKA 72
AERODINAMIČKI MOMENT 73
PROMENA KOEFICIJENATA SA NAPADNIM UGLOM . 75
GRANIČNI SLOJ I OTPOR TRENJA 76
POLARA JEDRILICE — FINESA JEDRILICE 80
POLARA BRZINA 83
SLOM UZGONA I UREĐAJI ZA POVEĆANJE I SMANJENJE UZGONA I OTPORA 88
ZAOKRET 92

STABILNOST JEDRILICE 96
UPRAVLJIVOST JEDRILICE 101
PREVUČENI LET I KOVIT 104
OPTEREĆENJA JEDRILICE U LETU 109

III. OPŠTA JEDRILIČARSKA METEOROLOGIJA 115

FIZIČKE OSOBINE ATMOSFERE 117

VERTIKALNA PODELA ATMOSFERE 119
STANDARDNA ATMOSFERA 125
METODI PROUČAVANJA I PROGNOZIRANJA VREMENA 127
Sinoptička mreža stanica i termini osmatranja . . . 129
Izrada sinoptičkih karata 130

METEOROLOŠKI ELEMENTI I POJAVE 133

TEMPERATURA VAZDUHA 133
Dnevni i godišnji hod temperature vazduha 134
Promena temperature sa visinom 140
ATMOSFERSKI PRITISAK I GUSTINA VAZDUHA . . . 141
Prostorna promena pritiska i gustina vazduha 142
VETAR NA POVRŠINI ZEMLJE I U SLOBODNOJ ATMOSFERI 146
Prostorno-vremenske promene vetra 149
Struktura i karakter vetra 151
Klasifikacija vetrova 154
Mlazna struja 156
VLAŽNOST VAZDUHA 159
Neke veličine stanja vlažnog vazduha 160
Kondenzacija i sublimacija vodene pare u atmosferi 161
VERTIKALNA KRETANJA VAZDUHA 163
Vrste vertikalnih kretanja 163
STATIČKA STABILNOST ATMOSFERE 169
Definicija termičke stabilnosti vazduha 169
Procena termičke stabilnosti vazduha 172
OBLACI 175
Visoki oblaci ili oblaci gornjeg kata 177
Srednji oblaci ili oblaci srednjeg kata 179
Niski oblaci ili oblaci donjeg kata 181
Oblaci vertikalnog razvoja 182
Orografski oblaci 185
Evolucija vertikalnog razvoja i neki podaci o njemu
PADAVINE 191
Različiti oblici padavina 192
VIDLJIVOST 193

ZNAČAJ POJEDINIH METEOROLOŠKIH ELEMENATA I POJAVA ZA JEDRILIČARSTVO 193
UTICAJ METEOROLOŠKIH ELEMENATA NA JEDRENJE 193

UTICAJ METEOROLOŠKIH POJAVA NA JEDRENJE . . 198

VAZDUŠNE MASE, ATMOSFERSKI FRONTOVI, CIKLONI I ANTICIKLONI 209

VAZDUŠNE MASE U TROPOSFERI 209
Klasifikacija vazdušnih masa 209
ATMOSFERSKI FRONTOVI 211
CIKLONI I ANTICIKLONI 215
KRATAK REČNIK METEOROLOŠKIH TERMINA I ZNAČENJA 217
LITERATURA 244

IV. TEHNIKA JEDRENJA I PRELETA 245

TAKTIKA JEDRENJA 247
JEDRENJE 247
Jedrenje na padini 247
Jedrenje na vazdušnim talasima 252
Jedrenje ispred olujnog fronta 257
Jedrenje u termičkim stubovima 259

TEHNIKA PRELETA JEDRILICOM 271
PRELET 271
Brzina preleta 271
UTICAJ KRETANJA VAZDUHA NA POLARU BRZINA JEDRILICE 275
Uticaj vertikalnih vazdušnih strujanja 276
BRZINA PRESKAKANJA IZMEĐU USPONIH STRUJANJA I PROSEČNA BRZINA 278
RAČUNARI I NJIHOVA UPOTREBA 284
Tablica brzina preskakanja 285
Mek Kredijev prsten 286
DOLET 288
Računar doleta 291
Upotreba računara 293

TAKTIKA PRELETA JEDRILICOM 299
VRSTE PRELETA 299
PLANIRANJE PRELETA 301
Oprema jedrilice za prelet 304
IZVRŠENJE PRELETA 305
Grupni preleti 309
PRELETI NA VAZDUŠNIM TALASIMA 309
LITERATURA 310

V. VAZDUHOPLOVNA JEDRILIČARSKA NAVIGACIJA . . . 311

PODELA NAVIGACIJE 313
OBLIK I VELIČINA ZEMLJE 315

GEOGRAFSKI KOORDINATNI SISTEM 315
JEDINICE ZA MERENJE UDALJENOSTI 318
ORTODROMA I LOKSODROMA 320
GEOGRAFSKE KARTE 321
Razmera karte 324
Određivanje koordinata mesta na karti 326
ZEMLJINO MAGNETNO POLJE 327
Kompas 329
NAVIGACIJSKI ELEMENTI 331
Geografski, magnetski i kompasni sever 331
Kurs 331
Brzina 332
Navigacijski trougao brzina 333
Vizuelna orijentacija 336

VI. POZNAVANJE I GRADNJA JEDRILICA 351

KLASIFIKACIJA JEDRILICA 353
ŠKOLSKE JEDRILICE 353
PRELAZNO-TRENAŽNE JEDRILICE 355
VISOKOSPOSOBNE JEDRILICE 357
POLUAKROBATSKE JEDRILICE 358
SPECIJALNE JEDRILICE 359

MATERIJALI U GRADNJI JEDRILICA 361
UVOD 361
PODELA MATERIJALA 361
Metali 362
Legure čelika 364
Lake legure 365
Teški metali 368
Zaštita metalnih površina 368
DRVO 369
ARMIRANI PLASTIČNI MATERIJALI 375
TKANINE 380
LEPILA 381
Lepila za metal 381
Lepila za drvo 382
BOJE I LAKOVI 383
OSTALI MATERIJALI 384

ELEMENTI I OPTEREĆENJE ELEMENATA JEDRILICE . . 386

KRILO 386
Krilo sa ramenjačom 386

TRUP 419
Rešetkasti trupovi 420
Kutijasti trupovi 422
Poluljuskasti i ljuskasti trup 424
Elementi strukture trupa 428
Repne površine 432
Horizontalne repne površine 433
Vertikalne repne površine 441
Leptir „V" repne površine 447
Specijalne repne površine 449

KABINA I OPREMA KABINE PILOTA 450
Sedište, naslon i veze 451
Poklopac kabine 455
Instrumentalna tabla 458

UREĐAJ ZA POLETANJE I SLETANJE 461
Smučke 461
Drljača 462
Točak 463

KOMANDE LETA 469
Komande visine 470
Komande nagiba 471
Komande aerodinamičkih kočnica 473
Komande zakrilaca 473
Komande trimera 474
Komande kuka 474
Komande za uvlačenje točka 475
Elementi komandi 475
Specijalna oprema 478
Kiseonička oprema 478
Radio-oprema 478
Elektrooprema 479
Vodobalast 480

PRIKAZ JUGOSLOVENSKIH I STRANIH JEDRILICA . 482
Jugoslovenske jedrilice (tabelarni pregled) 486
Jedrilice stranih zemalja (tabelarni pregled) 488

LITERATURA 494

VII. POZNAVANJE INSTRUMENATA 495

INSTRUMENTI VAZDUHOPLOVNIH JEDRILICA 497

ZNAČAJ INSTRUMENATA 497
USLOVI RADA I TAČNOST POKAZIVANJA INSTRUMENATA 497

KLASIFIKACIJA INSTRUMENATA 498
Klasifikacija prema principu rada 498
Klasifikacija prema osnovnom mehanizmu 499
Klasifikacija po nameni 499
Klasifikacija po pokazivanju 450

RASPORED INSTRUMENATA NA INSTRUMENTALNOJ TABLI 502

ELEMENTI INSTRUMENATA 505

LEŽIŠTA 505

MEHANIZMI 506
Polužni mehanizmi 506
Zupčasti mehanizmi 508
Lančani mehanizmi 508

MANOMETARSKI ELEMENTI 509
Burdonova cev 509
Membrana 511
Kapsula 512
Elastičan meh 513

ŽIROSKOPI 515
OPRUGE 516
MAGNETI 520
ELEMENTI ZA TEMPERATURNU KOMPENZACIJU . . 523
PRIGUŠIVAČI 525
Prigušivači sa tečnošću 527
Vazdušni prigušivači 527

PILOTAŽNI INSTRUMENTI 529

BRZINOMERI 529
Brzinomeri sa pito-cevi 529
Brzinomeri sa venturi-trubom 533
Variometri 536
Variometar sa bocom 538
Variometar bez boce 539
Variometar sa krilcem 540
Variometar totalnog pritiska 541

MERAČI UBRZANJA (AKCELEROMETRI) 544

VISINOMERI 546
Grubi visinomeri 547
Osetljivi visinomeri 548
Barografi 550
Greške visinomera 551
Greške usled promene stanja atmosfere 551
Mehaničke greške visinomera 552

POKAZIVAČ KLIZANJA 554
VEŠTAČKI HORIZONT 559

INSTRUMENTI ZA NAVIGACIJU 563

KOMPASI 563
Pilotski kompasi 565
Sistematske greške magnetnih kompasa 568

VAZDUHOPLOVNO JEDRILIČARSTVO I

Lektura:
Nadežda Jovičić

Tehnička redakcija:
Aleksandar Krunić

Korice:
Vasilije Stepanović

Izdavač:
SAVEZNA UPRAVA ZA CIVILNU VAZDUŠNU PLOVIDBU
Beograd, Brankova ulica broj 25

Za izdavača:
Lazar Savićević

Štampano u martu 1969. godine
Grafičko preduzeće „Slobodan Jović",
Beograd, Stojana Protića 52