

# JEDNOKRILAC — JEDRILICA, ZRAČNA

Helmboldu odrediti iz formule

$$\left(\frac{V_z}{V}\right)^2 = 0.974 - 0.122 c_z. \quad (42)$$

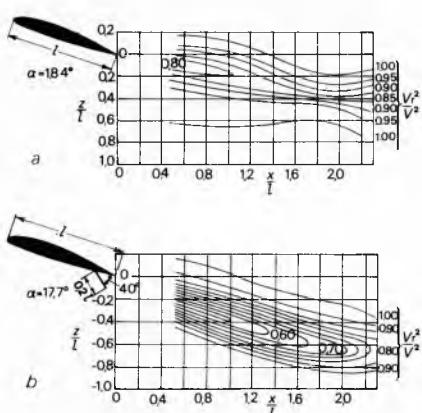
Kako se na horizontalnom stabilizatoru konačnog razmaha također stvara dopunska brzina  $v_{zr}$  i dolazi do povijanja struje, bit će za eliptičnu raspodjelu

$$\varepsilon_r = \frac{v_{zr}}{V_r}. \quad (43)$$

Ako je položajni (montažni) kut horizontalnog stabilizatora  $\alpha_p$  stvarni napadni kut horizontalnog stabilizatora, bit će

$$\alpha_r = \alpha_p - \varepsilon - \varepsilon_r, \quad (44)$$

čime će se u odgovarajućoj mjeri promijeniti i aerodinamički koeficijenti horizontalnog stabilizatora.

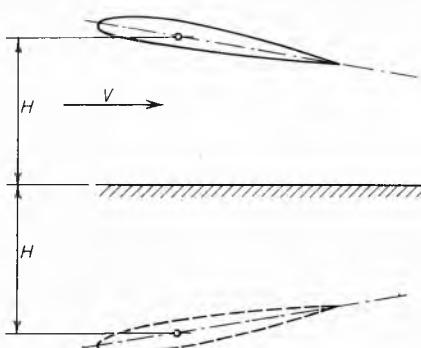


Sl. 27. Povijanje i usporavanje zraka iza krila.  
a krilo bez zakrilca, b krilo sa zakrilcem

Elisa utječe na dijelove aviona, koji se nalaze u njenoj struji, tako što uzrokuje povećanje brzine opstrujavanja i promjenu smjera opstrujavanja zbog sužavanja i povijanja strujanja iza elise. U prisutnosti trupa mijenjaju se u izvjesnoj mjeri i aerodinamičke karakteristike elise (v. *Pogonski sistemi letelica, Elisa*).

## Utjecaj blizine tla na promjenu aerodinamičkih osobina krila

Eksperimentalno je utvrđeno da se pri letu u blizini tla (čvrsto tlo, voda, led i sl.), ako je visina leta manja od polovine razmaha krila, aerodinamičke karakteristike krila mijenjaju. Koeficijent otpora krila se smanjuje, koeficijent uzgona raste, pa se poboljšava i aerodinamička finesa aviona. Te promjene aerodinamičkih karakteristika krila potrebno je zbog toga uzeti u obzir, posebno u proračunu polijetanja i slijetanja.



Sl. 28. Zamišljeno (fiktivno) krilo za slučaj leta u blizini tla

Utjecaj blizine tla odgovara utjecaju zamišljenog (fiktivnog) krila postavljenog simetrično u odnosu na ravninu tla, pa se problem može interpretirati kao uzajamni utjecaj krila dvokrilca s međusobnom udaljenošću krila  $h = 2H$  (sl. 28). Ako su

$C_x$  i  $C_z$  koeficijenti otpora i uzgona krila razmaha  $b$ , površine  $S$  i vitkosti  $\lambda$  u slobodnoj struji, a  $\lambda_e$  ekvivalentna vitkost zamišljenog dvokrilca (v. *Dvokrilac, TE3*, str. 516), aerodinamički koeficijenti krila na udaljenosti  $H$  iznad tla bit će

$$C_{xH} = C_{x\min} + (1 + \delta) \frac{C_z^2}{\pi \lambda_e} \quad (45)$$

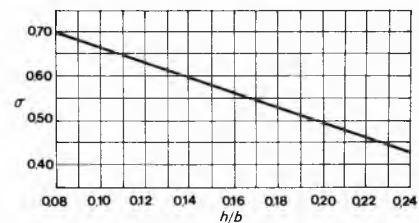
$$C_{zH} = a_e (\alpha - \alpha_n), \quad (46)$$

gdje je  $a_e$  ekvivalentni gradijent uzgona zamišljenog dvokrilca. Kako je (v. *Dvokrilac, TE3*, str. 516)

$$\lambda_e = \frac{\lambda}{1 - \sigma}, \quad (47)$$

gdje je  $\sigma$  Prandtlov koeficijent interferencije za vrijednost  $h/b = 2H/b$  (sl. 29), ekvivalentni gradijent uzgona bit će

$$a_e = \frac{a}{1 - 57,3 \frac{a\sigma}{\pi \lambda}}. \quad (48)$$



Sl. 29. Prandtlov koeficijent interferencije  $\sigma$  za slučaj leta u blizini tla

Koeficijenti otpora i uzgona krila u blizini tla bit će konačno

$$C_{xH} = C_{x\min} + (1 + \delta)(1 - \sigma) \frac{C_z^2}{\pi \lambda} \quad (49)$$

$$C_{zH} = \frac{a}{1 - 57,3 \frac{a\sigma}{\pi \lambda}} (\alpha - \alpha_n). \quad (50)$$

Vrijednosti  $C_{x\min}$  i  $\alpha_n$  ostaju u blizini tla nepromijenjene.

LIT.: M. Nenadović, Osnovi aerodinamičkih konstrukcija, Aeroprofil. Prvi i drugi deo, Naučna knjiga, Beograd 1948. — S. Pivko, Primjene aerodinamika. Tehnička knjiga, Beograd 1949. — M. Nenadović, Osnovi aerodinamičkih konstrukcija. Prvi deo, Naučna knjiga, Beograd 1950. — S. Obad, Mekanika vazduhoplovstva. Tehnička knjiga, Beograd 1950. — D. M. Prizniker, Г. И. Сахаров, Аэродинамика. Машиностроение, Москва 1968. — С. И. Зонинайн, Аэродинамика и конструкция летательных аппаратов. Высшая школа 1966. — S. Milutinović, Konstrukcija aviona. Gradevinska knjiga, Beograd 1970.

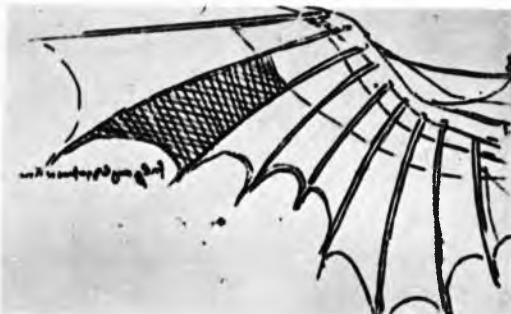
N. Kršić

**JEDRILICA, ZRAČNA**, letjelica (avion) teži od zraka, bez vlastitog pogona, tj. bez motornopropulzivne grupe koja bi služila za polijetanje i održavanje u zraku. U slobodnom letu, u mirnoj atmosferi, jedrilica kliže (planira), tj. leti pod određenim kutom prema horizontali gubeći stalno na visini.

Leonardo da Vinci (1452—1519), promatrajući let ptica i bilježeci zapažanja, iznosi u djelu *Codice sul volo degli uccelli* osnove mehanike leta i skice letjećih naprava, iako nije uspio u svojim pokušajima da te zamisli i ostvari (sl. 1). Njemački inženjer Otto Lilienthal (1848—1896) pridonio je mnogo razvoju tehničke bezmotornog leta. Sistemski je istraživao osnovne principe leta, gradeći modele i eksperimentalno ispitujući noseće površine različitih aeroprofilova. Svoje pokuse potvrdio je i u praksi izgradnjom više konstrukcija kližaca (sl. 2). Polijetao je zatrčavanjem s manjim brežuljaka, a letjelicom je upravljao pomicanjem tijela (premještanjem težista). Prvi je prikazao ovisnost uzgona i otpora krila o napadnom kutu u tzv. polarnom dijagramu (v. *Aerodinamička sila i moment*, TE1, str. 13 i *Jednokrilac*), te se takav prikaz aerodinamičkih koeficijenata naziva i danas Lilienthalova polara. Nakon njegove pogibije prilikom leta novom konstrukcijom kližaca, njegovo djelo nastavljaju braća W. i O. Wright (sl. 3), M. Herring, O. Chanute (sl. 4) i drugi. Braća Wright rješavaju problem upravljanja uvijanjem krila, a Chanute i

Herring ugradnjom pokretnih kormila, dakle na način koji se i danas primjenjuje. U našoj zemlji 1909. konstruira O. Ržiha jedrilicu i u proljeće iste godine poduzima manje letove—skokove na padinama Kamnica kraj Maribora. Njegov najduži let (600 m) bio je za ono vrijeme vrlo dobar rezultat. Iste godine u oktobru V. Aleksiću, liječniku iz Pančeva, uspjelo je na jedrilici, koju je konstruirao, nekoliko kraćih poleta.

Nakon prvog svjetskog rata Mickl i Fizir (poslije jedan od naših najpoznatijih konstruktorova aviona), zatim Hosu i Tišmu grade prve jedrilice u nas i lete na njima u Beški (sl. 5), odnosno u Sisku.



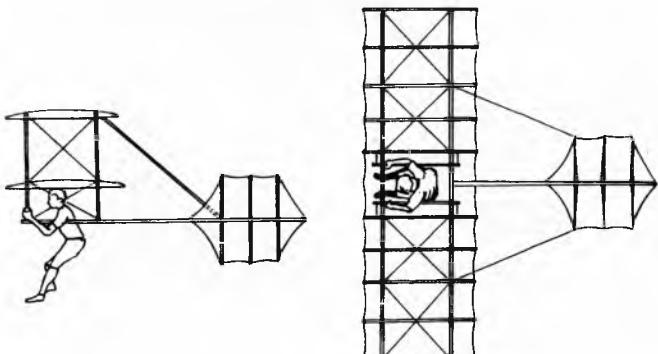
Sl. 1. Crtež krila lетеće sprave Leonarda da Vincija (1452–1519)



Sl. 2. Klizač dvokrilac O. Lilienthala (oko 1895)



Sl. 3. Dvokrilac braće O. i W. Wright iz 1911.



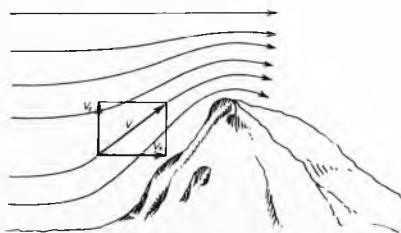
Sl. 4. Dvokrilac O. Chanutea iz 1897.

Glavno je nastojanje konstruktora prihvatiti praktički upotrebljivih jedrilica bilo da se ostvare jedrilice sa što manjom brzinom propadanja, kako bi se moglo postići što duže trajanje leta s određene visine polijetanja. Prve su jedrilice bili klizači vrlo lagane konstrukcije, tako da su neke imale masu od samo 20–40 kg uz raspon krila 9–12 m i njihovu površinu 8–20 m<sup>2</sup>.

Na dalji razvoj jedrilica (1920–1930) utjecale su spoznaje o mogućnosti iskorištenja vertikalnog uzlaznog strujanja u atmosferi.



Sl. 5. Jedrilica konstruktora Fizira i Mickla na startu u Beški 1923.



Sl. 6. Strujanje uz padinu.  $v$  brzina strujanja vjetra uz padinu,  $v_x$  horizontalna komponenta,  $v_z$  vertikalna komponenta

Takva vertikalna strujanja mogu biti dinamičkog ili termičkog podrijetla. Ako vjetar puše približno okomito na neku padinu, odnosno obronak brijege (sl. 6), strujanje zraka skreće uz kosinu naviše stvarajući vertikalnu uzlaznu komponentu strujanja na privjetrenoj strani brijege (dinamičko strujanje). To uzlazno strujanje u povoljnim uvjetima nadvisuje sljeme brijege. U nekim slučajevima, što ovisi o konfiguraciji terena, visini prepreke, brzini i smjeru vjetra s obzirom na padinu, stvaraju se iza padine strujanja u obliku više uzastopnih valova koji se mogu penjati i do velikih visina. Dinamičko vertikalno strujanje može nastati pri pojavi tzv. olujnog fronta, tj. kad se hladne mase zraka, krećući velikom brzinom, podvlače pod tople mase te ih podižu uvis u snažnom uspomskom strujanju (sl. 7). U takvim uvjetima mogu se ne samo postići velike visine nego, leteći u zoni napredovanja olujnog fronta, i velike udaljenosti preleta.

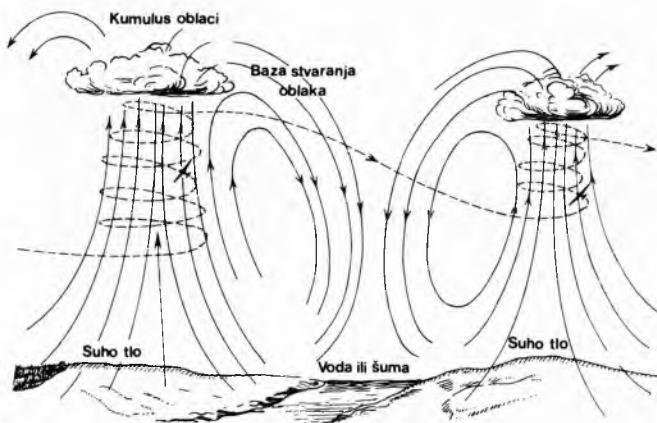
Termička strujanja nastaju zbog zagrijavanja tla djelovanjem Sunca. Zagrijano tlo konvekcijom predaje toplinu na masu



Sl. 7. Olujni front

## JEDRILICA, ZRAČNA

zraka koja leži iznad njega. Toplina koju predaje tlo nije jednaka po cijeloj njegovoj površini. Tako, npr., kamenjar, pjesak, žitna polja i gradovi odaju više topline nego šuma, vodena površina, močvara i sl. Iznad jače zagrijanih površina zrak ima manju gustoću te struji naviše u uskim stupovima, tzv. kaminima (danja termika, sl. 8). Noću je situacija obrnuta budući da šume, močvare, vodene površine i sl. odaju preko dana akumuliranu toplinu sporije nego ostalo tlo, te se noću iznad njih pojavljuje uspensko strujanje (noćna termika). Iskorištavanjem raznih uspenskih zračnih strujanja i njihovim kombiniranjem mogu se ostvariti preleti na velike udaljenosti. Tako su postignuti preleti više od 1400 km, letovi u stratosferu s postignutom visinom od 14102 m i trajanjem leta od 56 sati za jednosjede, odnosno 57 sati za dvosjede (od 1955. prestali su se službeno evidentirati rekordi u trajanju leta, jer su psihofizički napor prelazili mogućnosti pilota).

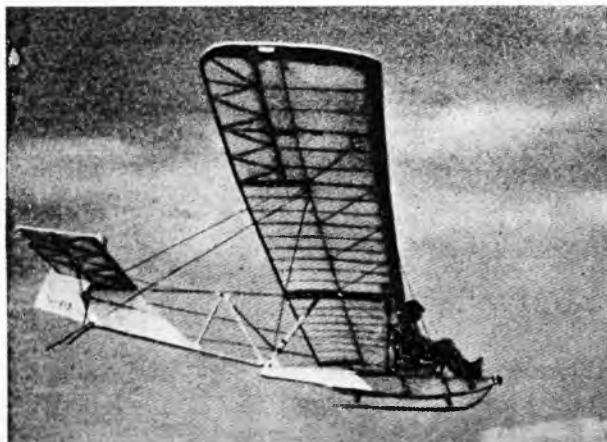


Sl. 8. Termičko uspensko strujanje

Spoznaјa tih mogućnosti iskorištenja zračnih strujanja direktno je utjecala na razvoj jedrilica. Sve se više polaze važnost na postizanje što boljih aerodinamskih kvaliteta jedrilice kako bi se postigla što bolja finesa i prodornost jedrilice. To se postizava gradnjom jedrilica velikog raspona i izduženja krila, pogodnim izborom profila, dobrim oblikovanjem trupa i zatvaranjem pilotskog sjedišta aerodinamičkom oblogom. Veliki raspon krila smanjuje, zbog veće tromosti, pokretljivost jedrilice, a time i mogućnost njenog iskorištenja u uskim termičkim stupovima.

### NAMJENA I VRSTE JEDRILICA

Namjena jedrilica je različita. U sportskom zrakoplovstvu, gdje su i najbrojnije zastupljene, jedrilice služe za obuku, treniranje, visokosposobno jedrenje i akrobatsko letenje. Mogu biti jednosedne i dvosedne. Motorne jedrilice imaju pomoći motor male snage kojim se služe samo za polijetanje ili prelijetanje iz jedne do druge zone uspenskog strujanja.



Sl. 9. Školski klizač SG 38 u letu (v. tablicu na str. 628)

Osim za sport, odnosno za prethodnu obuku pilota motornih aviona, postoje i jedrilice za specijalne namjene. Transportne jedrilice velike nosivosti upotrebljavaju se u operacijama zračnog desanta ili elementarnih nepogoda za transport ljudstva i materijala, meteorološke jedrilice upotrebljavaju se za ispitivanje atmosfere i prikupljanje meteoroloških podataka, jedrilice geometrijski i aerodinamički identične budućem motornom avionu služe za aerodinamička ispitivanja. U širem smislu, i svemirske letjelice tipa *space shuttle* (svemirska letjelica koja polijeće i ulazi u orbitu pomoći raketnih motora, a nakon izvršenog zadatka vraća se iz orbite i ulazi u Zemljinu atmosferu bez vlastitog pogona, te se spušta i prizemljuje u klijućem letu poput jedrilice) mogu se uvrstiti u jedrilice.

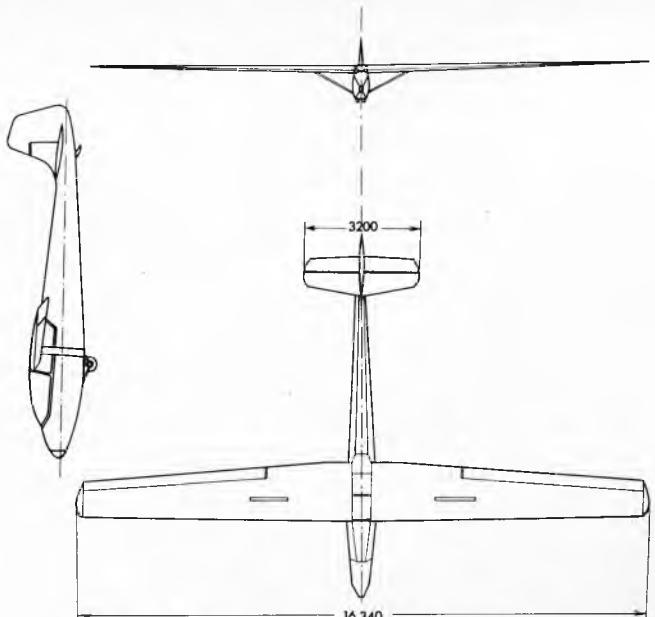
Hidrojedrilice—amfibije (bez obzira na njihovu namjenu) mogu polijetati i slijetati kako na vodenu površinu tako i na kopno (v. *Hidroavion*).

### Sportske jedrilice

**Školske jedrilice (klizači)** jesu jedrilice na kojima se provodi početna obuka u letenju. Njihova je konstrukcija vrlo jednostavna radi što lakšeg popravka pri oštećenjima koja su u početnoj obuci dosta česta. Unatoč svojoj jednostavnosti, konstrukcija je vrlo čvrsta kako bi zaštitila učenika pri lomu. Naročita pažnja u ovim vrstama jedrilica poklanja se stabilnosti u letu i jednostavnom upravljanju. Obično imaju potpuno otvoreno pilotsko sjedište (sl. 9), no u nekim se slučajevima za dalju fazu obuke zatvara sjedište aerodinamskom oblogom. Polijeće se pomoći zatezanja gumenog užeta ili pomoći vitla. Školovanje na takvu tipu jedrilice ne zahtijeva velika materijalna sredstva, ali takvo je školovanje nepovoljno jer nastavnik nije



Sl. 10. Školska jedrilica dvosjed Letov 22 u polijetanju pomoći vitla



Sl. 11. Školska jedrilica dvosjed VG 151 (v. tablicu)



Sl. 12. Školska jedrilica dvosjed Kobac (v. tablicu)

u neposrednom kontaktu s učenikom te nema direktnog uvida u njegovo ponašanje, pa niti može sprječiti niti ispraviti eventualne pogreške. To je i razlog da se takav način obuke, pa i gradnja školskih jednosjeda klizača, danas praktički napustila. Zbog jednostavnije, sigurnije i kraće obuke dvosjedne su danas potpuno istisnute jednosjedne školske jedrilice. Njihove karakteristike leta uglavnom su slične onima trenažnih jedrilica.

**Prijelazne trenažne jedrilice** služe za dalje usavršavanje u letenju (jedrenju) i za postizavanje skromnijih sportskih rezultata. Osnovna je tendencija u gradnji tih jedrilica da se jednostavnost oblika i konstrukcije postignu niski proizvodni troškovi uz zadovoljavajuća aerodinamička svojstva. Zbog prijelaza na gradnju jedrilica od armiranih umjetnih smola ta kategorija jedrilica pomalo nestaje. Naime, jednostavnvi uglati oblici, koji su u gradnji jedrilica drvene konstrukcije predstavljali pojednostavljenje, za jedrilice od armiranih umjetnih smola nemaju nikakve tehnološke prednosti. Od te se kategorije traži robustnost i dovoljna čvrstoća za izvođenje osnovnih figura akrobatskog letenja. Opremljene su osnovnim instrumentima i aerodinamičkim kočnicama.



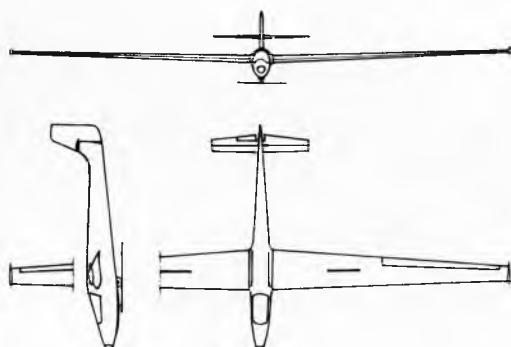
Sl. 13. Trenažna jedrilica Letov 21 (v. tablicu)



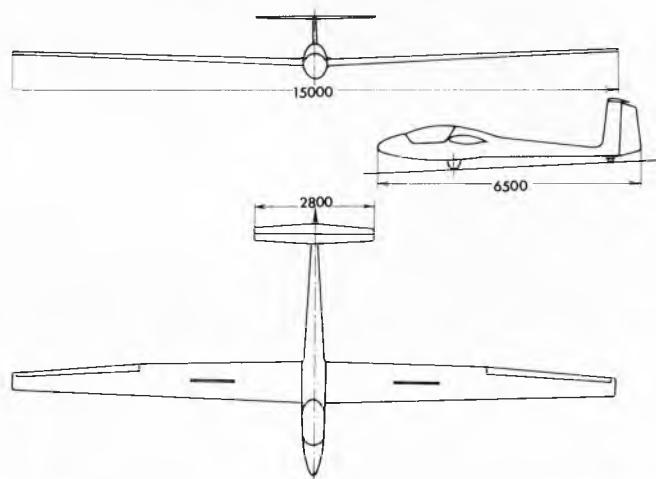
Sl. 14. Trenažna jedrilica Jastreb (v. tablicu)

**Visokosposobne jedrilice** treba konstruirati tako da se postignu maksimalne letačke karakteristike (performanse). Za tu svrhu primjenjuju specijalna konstruktivna rješenja, najnovije spoznaje iz područja aerodinamike i vrhunska tehnologija. Naročita se pažnja poklanja površinskoj obradi svih oplakiva-

nih površina jedrilice, a posebno krila. To se odražava, svakako, i na troškove gradnje takvih jedrilica, te je njihov broj relativno malen.



Sl. 15. Visokosposobna standardna jedrilica Delfin (v. tablicu)



Sl. 16. Visokosposobna standardna jedrilica VUK-T



Sl. 17. Visokosposobna standardna jedrilica Cirrus 75



Sl. 18. Visokosposobna standardna jedrilica metalne konstrukcije Pilatus B4

Kako bi se prilikom takmičenja omogućili isti uvjeti s obzirom na letački park, međunarodna zrakoplovna organizacija FAI (Fédération Aéronautique Internationale) svrstala je visokosposobne jedrilice za takmičenje u dvije klase: standarni i otvoreni. Standardna klasa ograničena je maksimalnim rasponom od 15 m, konstrukcijom krila bez uređaja za promjenu uzgona (dozvoljene su aerodinamičke kočnice) i uvjetom da



Sl. 19. Visokosposobna jedrilica slobodne klase Meteor



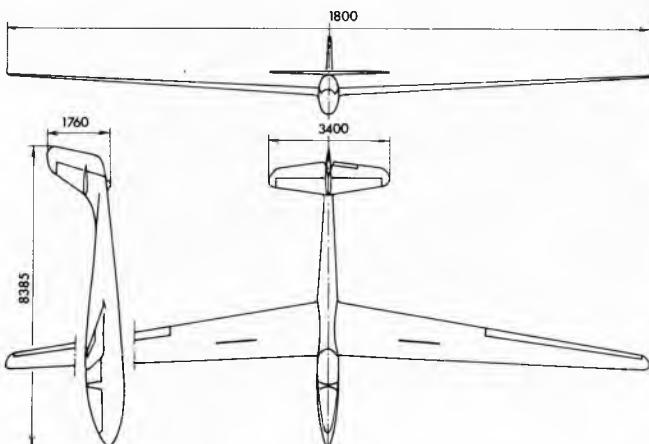
Sl. 23. Visokosposobna jedrilica dvosjed Cirus H



Sl. 20. Visokosposobna jedrilica slobodne klase Orao II c (v. tablicu)



Sl. 21. Visokosposobna jedrilica dvosjed SB-10 (raspon krila 29 m, izduženje 36,6, finesa 53)



Sl. 22. Visokosposobna jedrilica dvosjed Košava 2

jedrilica, ako je namijenjena takmičenju, bude serijski proizvedena. Također nije dozvoljeno ugrađivanje stajnog trapa na uvlačenje. Ta je klasa skoro u cijelosti istisnula klasu trenažnih jedrilica.



Sl. 24. Akrobatska jedrilica Mačka (v. tablicu)



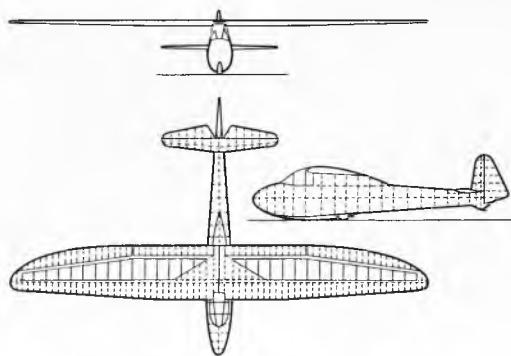
Sl. 25. Akrobatska jedrilica Soko (v. tablicu)

Vremenom se pokazalo da ograničenja propisana za standardnu klasu nemaju svoga opravdanja i ona su ukinuta, pa se *nova* standardna klasa razlikuje od *otvorene* samo ograničenjem raspona krila na 15 m.

Otvorena klasa nema nikakvih ograničenja. Mnoga nova tehnička rješenja i usavršenja prvi put primijenjena na takvim jedrilicama bila su kasnije primijenjena i na najsuvremenijim avionima. Glavna je karakteristika tih jedrilica što imaju vrlo veliku finesu (1:50 i više) pri brzinama od nekih 100 km/h uz minimalnu brzinu propadanja ispod 0,6 m/s.

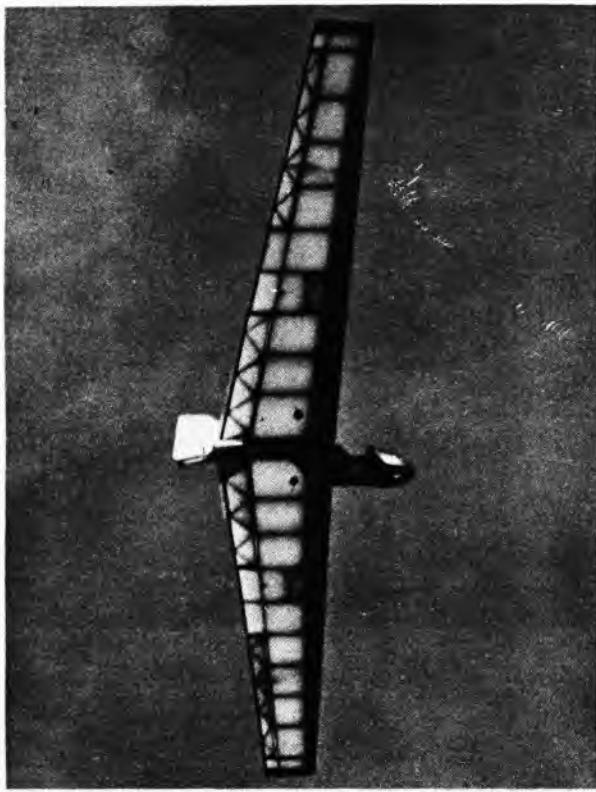
Kako se s visokosposobnim dvosjednim jedrilicama više ne održavaju svjetska takmičenja, njihova gradnja, osim za neke specijalne svrhe, stagnira.

**Akrobatske jedrilice** jesu: poluakrobatske i punoakrobatske. S jedrilicama poluakrobatske klase dozvoljeno je izvođenje osnovnih akrobatskih figura, tj. kovit, petlja i prevrtanje oko krila (ranversman). Većina prijelaznih trenažnih jedrilica i jedrilica standardne visokosposobne klase mogu biti, s obzirom na čvrstoću, svrstane u poluakrobatsku kategoriju. Punoakrobatske jedrilice, zapravo, zbog svoje specifičnosti, velikih zahjeva s obzirom na čvrstoću, veliku graničnu brzinu obrušavanja te pokretljivost, čine posebnu grupu. Po svojim aerodinamičkim karakteristikama zaostaju za visokosposobnim jedrilicama.

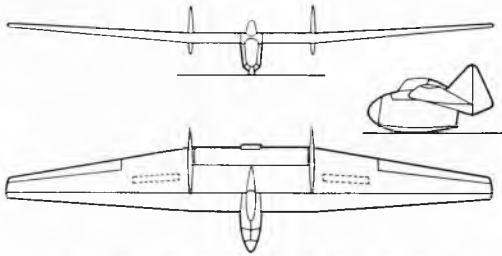


Sl. 26. Akrobatska jedrilica Lo-100 (v. tablicu)

**Leteće krilo** (bezrepac, samokrilac) po svojoj je konstrukciji vrlo interesantno rješenje. Te letjelice imaju pilotsku kabinu smještenu u krilu. Oblikom krila i izborom profila postiže se autostabilno krilo te nije potrebno visinsko i smjerno kormilo, pa je stražnji dio trupa, koji služi kao njihov nosač, suvišan.

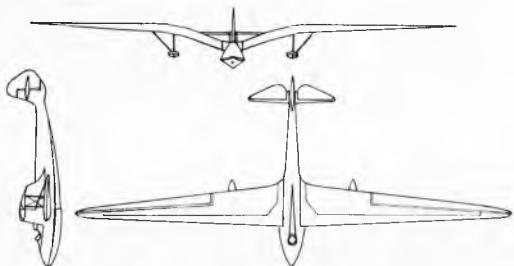


Sl. 27. Jedrilica leteće krilo Marske Monarch (v. tablicu)

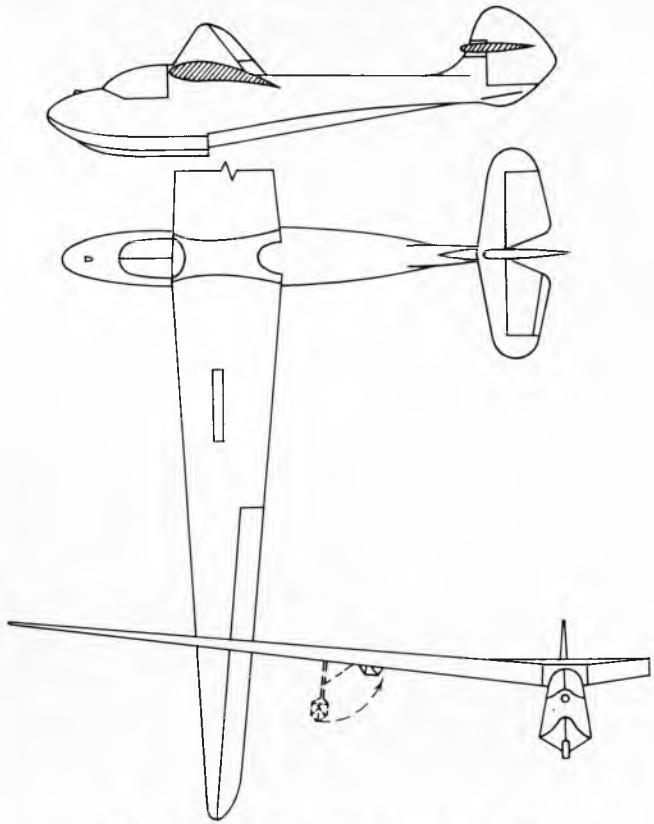


Sl. 28. Jedrilica leteće krilo Fauvel AV 36 (v. tablicu)

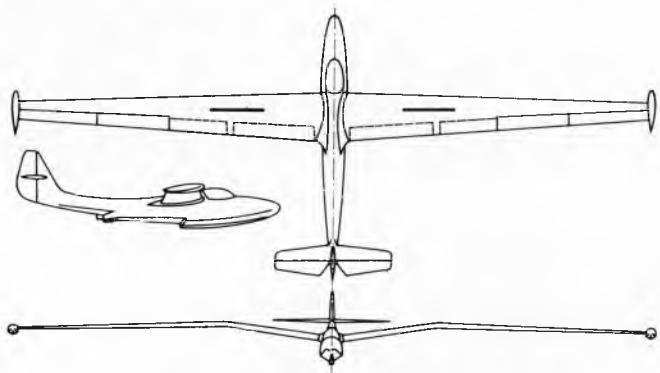
**Hidrojedrilice** (amfibiskske jedrilice) konstruirane su radi iskorištavanja mogućnosti povoljnih aeroloških uvjeta koji vladaju na granici kopna i većih vodenih površina (mora). Naročito su pogodni izduženi planinski masivi paralelni s obalom, kao na našoj obali. Hidrojedrilice su u biti normalne jedrilice



Sl. 29. Trenažna hidrojedrilica Seeadler (v. tablicu)



Sl. 30. Trenažna hidrojedrilica Jadran (v. tablicu)



Sl. 31. Visokosposobna hidrojedrilica H-49 Split (v. tablicu)

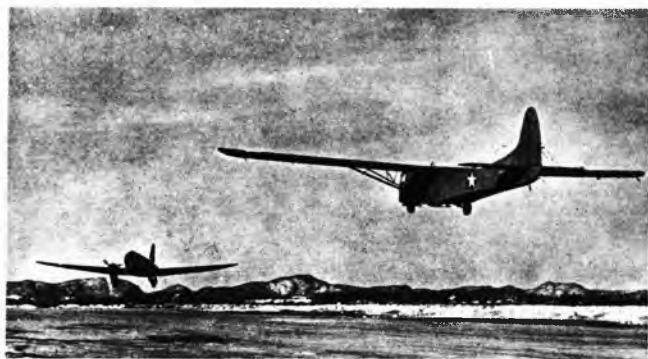
s posebno oblikovanim trupom, koji uz dobre aerodinamičke uvjete osigurava dobru plovnost na vodi te mogućnost polijetanja i slijetanja na kopno i vodu. Radi odrežavanja poprečne stabilnosti na vodi, hidrojedrilice su opremljene bočnim plovicima ispod krila (često uvlačivim radi boljeg aerodinamičkog oblikovanja), ili rubnjacima na krajevima krila u obliku plovaka. Rjeđa je izvedba bez plovaka; uglavnom transportne jedrilice kojih širina trupa osigurava dovoljnju poprečnu stabilitet na vodi (sl. 32).



Sl. 32. Transportna hidrojedrilica Bristol XLQR-1

### Jedrilice specijalne namjene

**Transportne jedrilice** konstruirane su za transport ljudi i materijala. Velike su nosivosti, a gabariti slobodnog prostora u trupu moraju biti toliki da dozvoljavaju prijevoz glomaznih predmeta, te njihov brzi utovar i istovar. Za tu se svrhu prednji ili stražnji dio trupa može otklopiti kako bi se mogao iskoristiti puni presjek trupa. Obično imaju tovarno-istovarne rampe. Aerodinamički moraju biti dobro oblikovane radi smanjenja potrebe vučne sile aviona remorkera. Zbog relativno velikih brzina u aerozaprezi i zbog teških uvjeta u eksploataciji moraju imati veliku čvrstoću. Kako obično slijecu na nepripremljene terene, obično imaju efikasna sredstva za kontrolu uzgona (zračne kočnice i eventualno zakrilca).



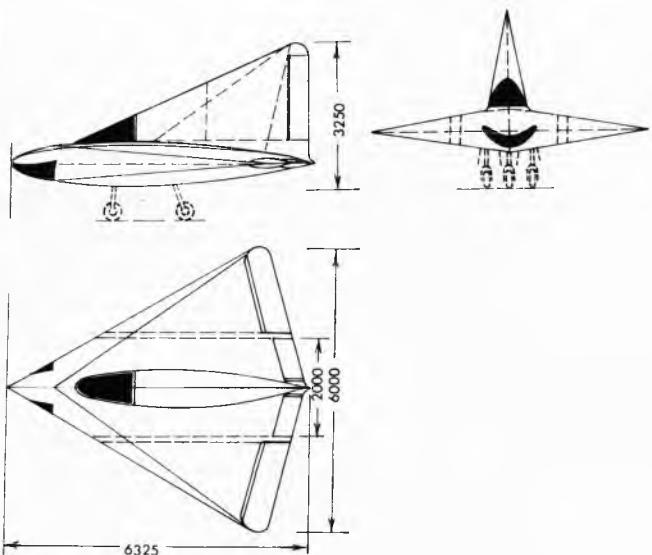
Sl. 33. Transportna jedrilica WACO CG-4A Hadrian



Sl. 34. Transportna jedrilica Bowles XCG-8

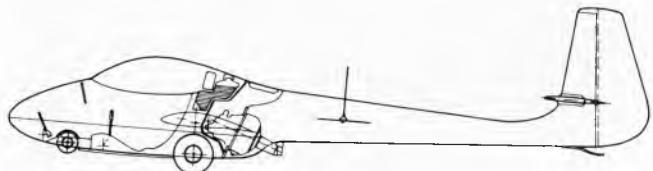
**Meteorološke jedrilice** su zapravo visokosposobne jedrilice specijalno opremljene za letove na velikim visinama. Osim specijalnih instrumenata za registriranje atmosferskih pojava, imaju kabinu pod tlakom, visinski inhalator, uredaj za odmrzavanje, eventualno kinokamere i sl. Naravno da su bogato opremljene svim potrebnim instrumentima za normalno i slijepo letenje. Kako svoje zadatke obavljaju u zonama snažnih turbulentnih zračnih strujanja, moraju imati veliku čvrstoću.

**Jedrilice za aerodinamička eksperimentalna ispitivanja**, kako je već rečeno, geometrijski i aerodinamički su identične budućem motornom avionu. Prije izradbe konačnog projekta, naročito za specijalne tipove aviona, često se primjenjuje izrada bezmotornoj verziji koja prethodi konačnoj razradi projekta aviona. Na toj bezmotornoj verziji mogu se proučavati aerodinamičke karakteristike, ispitivati ponašanje u evolucijama, različiti fenomeni u letu, a sve uz mnogo manje troškove i rizika (sl. 35).

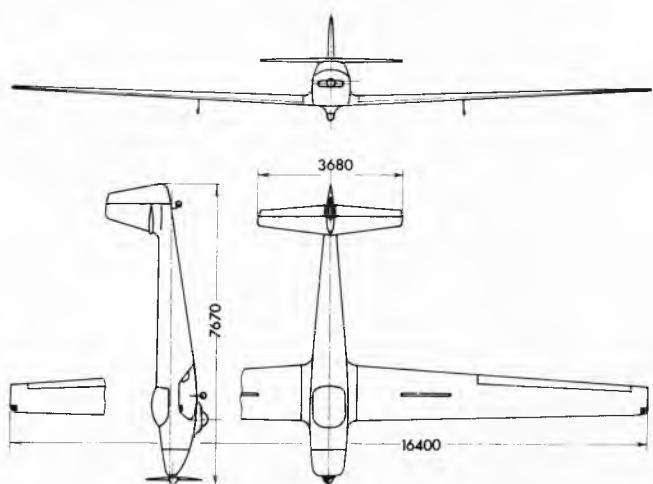


Sl. 35. Eksperimentalna jedrilica lетеće krilo za aerodinamička ispitivanja u letu motorne verzije aviona Lippisch P 13a VI

**Motorne jedrilice** imaju ugrađen jedan ili više pomoćnih motora (stapnih ili mlažnih) pomoću kojih mogu samostalno polijetati ili preletjeti iz jedne u drugu zonu usponskog strujanja. Radi smanjenja otpora, a time i postizavanja boljih karakteristika, motor je smješten iznad trupa te se, kad nije u upotrebi, zajedno s nosačem i elisom uvlači u trup i potpuno uklapa u njegovu konturu. Tada se otpor motorne jedrilice ne razlikuje od otpora normalne jedrilice te se mogu postići iste karakteristike. Jednostavnije je postaviti motor u nosu trupa. Tada, kad motor nije u pogonu, elisa se postavlja u položaj jedrenja, tj. na nož, u kojem je otpor elise najmanji. Postoje i rješenja kad je elisa smještena u procijep u vertikalnom stabilizatoru. Bez obzira na smještaj motora, uvijek mora postojati mogućnost pokretanja motora u letu. Broj se motornih jedrilica u posljednje vrijeme povećava. Postojanje motora isključuje mogućnost neugodnog izvanterenskog slijetanja i komplikiranog vraćanja jedrilice na polazni aerodrom, što je posebno nepogodno u gusto naseljenim područjima gdje izvanteren-



Sl. 36. Motorna jedrilica Hütter H-30 TS s ugrađenim mlažnim motorom



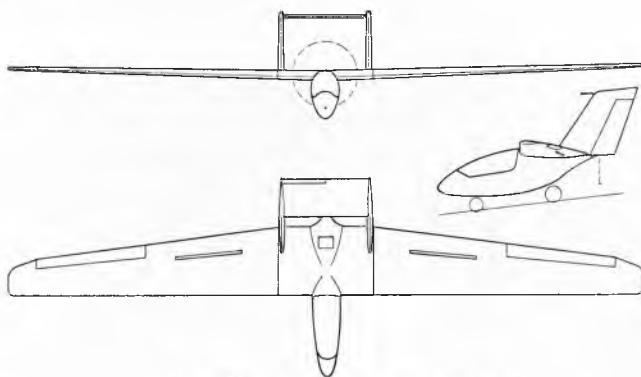
Sl. 37. Motorna jedrilica Šole 77 (v. tablicu)

sko slijetanje može biti vrlo opasno. Motorne jedrilice također omogućuju vrlo jednostavnu i ekonomičnu obuku i treniranje pilota.

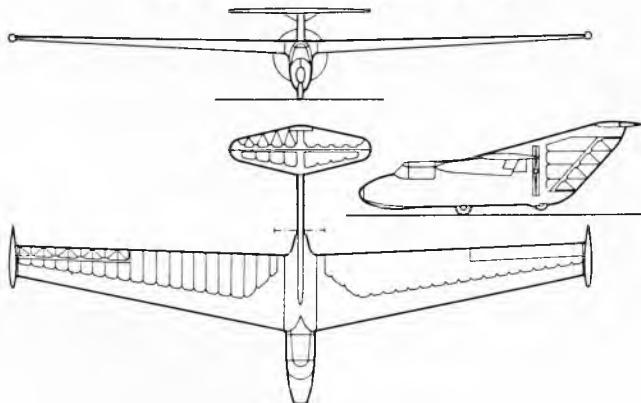
Prema propisima, motorne su jedrilice ograničene masom od 750kg, maksimalnom brzinom 75 km/h i finesom koja mora da bude veća od 20. Prekoračenje tih parametara svrstalo bi takvu motornu jedrilicu u kategoriju motornih aviona.



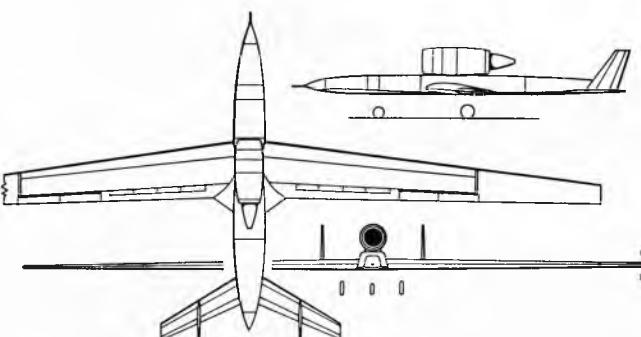
Sl. 38. Motorna jedrilica D-37 s motorom koji se, kad je izvan upotrebe, uvlači u trup



Sl. 39. Motorna jedrilica lетеće krilo fs-26



Sl. 40. Motorna jedrilica Fibro 2a s propelerom u procijepu vertikalnog stabilizatora



Sl. 41. Specijalni vojni izviđački avion velikog dometa Ryan YQM 98 – varijanta motorne jedrilice

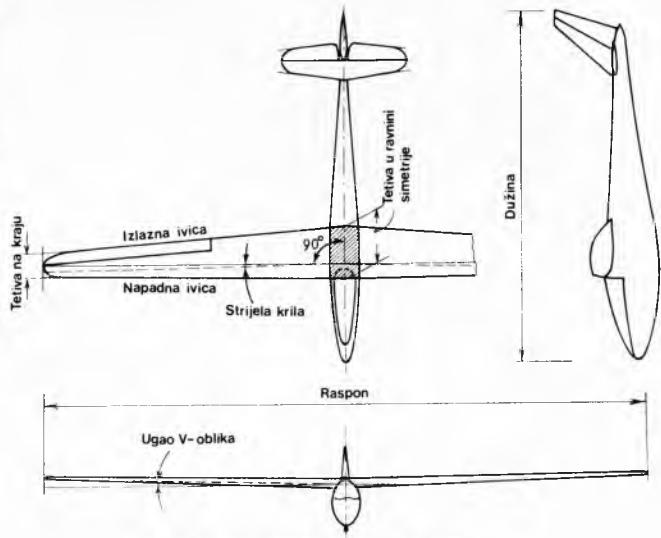
U sportskom jedriličarstvu motorne jedrilice, prema propisima FAI, čine posebnu kategoriju.

Specijalni, vojni izviđački (špijunski) avioni, koji lete na velikim visinama uz izvanredno veliki domet, po svojoj konstrukciji i karakteristikama zapravo su visokosposobne motorne jedrilice. Mogu biti i bez posade upravljeni radiom.

### MEHANIKA LETA JEDRILICE

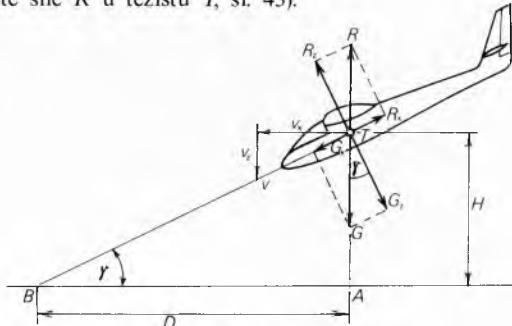
Osnovni aerodinamički i geometrijski parametri (sl. 42) letjelica opisani su u člancima: *Aerodinamička sila i moment*, TE1, str. 10, i *Jednokrilac*.

Uz pretpostavku leta u mirnoj atmosferi, uniformnog gibanja, kretanja težišta jedrilice po pravcu, jedrilica će planirati (ponirati) po trajektoriji koja je nagnuta prema horizontali za neki određeni kut, tzv. kut planiranja.



Sl. 42. Geometrijski parametri jedrilica

Na jedrilicu tada djeluju dvije sile: težina  $G$  (proporcionalna njenoj masi,  $G = gM$ ) i ukupna aerodinamička sila  $R$ . Let je uravnotežen kad se sile  $R$  i  $G$  nalaze na zajedničkoj okomici koja prolazi težištem  $T$ , a imaju jednaku vrijednost uz suprotni smjer djelovanja. Iz toga proizlazi da je moment ovih sila jednak nuli (zbog pojednostavnjena uzima se da je hvalište sile  $R$  u težištu  $T$ , sl. 43).



Sl. 43. Let u planiranju

Rastave li se sile  $R$  i  $G$  na svoje komponente u dva međusobno okomita pravca (jedan u smjeru trajektorije leta, a drugi okomit na nju), dobivaju se uzgon  $R_z$  i otpor  $R_x$  kao komponente sile  $R$ , a  $G_z$  i  $G_x$  komponente su sile  $G$ . U stanju ravnoteže komponente  $G_z$  i  $G_x$  moraju biti jednake i suprotne komponentama  $R_z$  i  $R_x$ . Vučna komponenta  $G_x$  djeluje da se jedrilica giba po trajektoriji.

Iz sličnosti trokuta slijedi da za kut trajektorije leta prema Zemlji, tj. za kut planiranja, vrijedi

$$\tan \gamma = \frac{H}{D} = \frac{R_x}{R_z} = \frac{c_x}{c_z}. \quad (1)$$

## JEDRILICA, ZRAČNA

Recipročna vrijednost, tj.  $D/H = c_z/c_x$ , daje daljinu doleta s određene visine i naziva se finesa jedrilice  $E$ .

Iz sl. 43 vidi se da je

$$G = \sqrt{R_z^2 + R_x^2} = R, \quad (2)$$

gdje je prema osnovnim jednadžbama aerodinamike (v. *Aerodinamička sila i moment*, TE1, str. 10)

$$R_z = c_z \frac{\varrho}{2} v^2 S, \quad (3)$$

odnosno

$$R_x = c_x \frac{\varrho}{2} v^2 S, \quad (4)$$

gdje su  $c_z$  i  $c_x$  koeficijenti uzgona i otpora,  $\varrho$  gustoća zraka na visini leta,  $v$  brzina jedrilice,  $S$  površina krila.

Ako se zna da gustoća zraka  $\varrho$  na visini  $H = 0$  iznosi  $\varrho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$  i ako se uvrsti omjer  $\varrho/\varrho_0 = \delta$ , odnosno  $\varrho = \varrho_0 \delta = 1,225 \delta$ , onda je  $\varrho/2 = 0,6125 \delta$ , te se jednadžba (2) može napisati u obliku

$$G = R = \sqrt{R_z^2 + R_x^2} = 0,6125 \delta v^2 S \sqrt{c_z^2 + c_x^2}. \quad (5)$$

Iz toga slijedi izraz za brzinu jedrilice po trajektoriji

$$v = \sqrt{\frac{G}{0,6125 \delta S \sqrt{c_z^2 + c_x^2}}}. \quad (6)$$

Pri letu u blizini optimalnih kutova planiranja koeficijent otpora  $c_x$  mnogo je manji od koeficijenta uzgona  $c_z$  (i više od 1:50) te se može zanemariti, a jednadžba (6) poprima oblik

$$v \approx \sqrt{\frac{G}{0,6125 \delta S c_z}}. \quad (7)$$

Na visini  $H = 0$  (razina mora) omjer je  $\delta = 1$ , te je

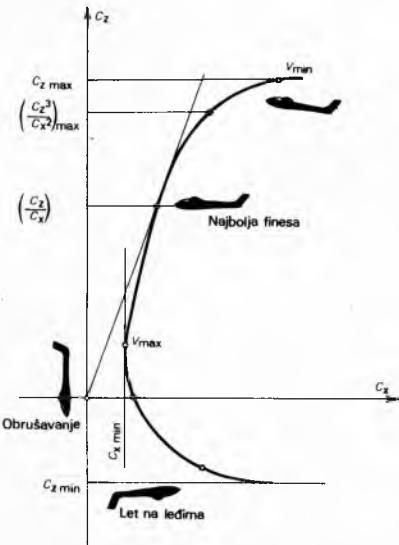
$$v \approx \sqrt{\frac{G}{0,6125 S c_z}}. \quad (7a)$$

Iz trokuta brzina na sl. 43 mogu se odrediti horizontalna  $v_x$  i vertikalna  $v_z$  komponenta brzine  $v$

$$v_x = v \cos \gamma \quad (8)$$

$$v_z = v \sin \gamma. \quad (9)$$

Kako je već za srednje finese pripadni kut  $\gamma$  vrlo malen (npr. za  $E = 30$ ,  $\gamma = 1,9^\circ$ ,  $\cos \gamma = 0,9994$ ), za praktične se svrhe može prihvatiti da je  $v_x \approx v$ .



Sl. 44. Polara jedrilice s položajima osnovnih režima leta

Iz sličnosti trokuta sila i trokuta brzina (sl. 43) slijedi da je

$$\frac{v_z}{v_x} = \frac{R_x}{R_z} = \frac{c_x}{c_z}, \quad (10)$$

odnosno

$$v_z = v_x \frac{c_x}{c_z}. \quad (11)$$

Uz pojednostavljenje da je  $v_x \approx v$ , iz izraza (7) dobiva se vertikalna komponenta  $v_z$ . To je brzina propadanja koja je karakteristična veličina aerodinamičke kvalitete jedrilice, a koja iznosi

$$v_z \approx \sqrt{\frac{G}{S}} \frac{1}{0,6125 \delta} \frac{c_x^2}{c_z^3}. \quad (12)$$

Iz (12) vidi se da će jedrilica s malim specifičnim opterećenjem krila  $G/S$  i velikim faktorom penjanja  $c_z^3/c_x^2$  imati malo propadanje. Najmanje će jedrilica propadati kad je brzina leta tolika da je vrijednost  $c_z^3/c_x^2$  maksimalna.

Minimalna brzina postiže se pri najvećem koeficijentu uzgona

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{G}{S}} \frac{1}{0,6125 \delta S c_z}. \quad (13)$$

Maksimalnu brzinu u poniranju jedrilica će postići u položaju kad je otpor jedrilice najmanji, tj. kad je  $c_x = c_{x\min}$ . U tom režimu leta uzgon jedrilice je minimalan, pa je  $c_z = 0$ . Tada je uspostavljena ravnoteža između sile gravitacije i ukupnog otpora

$$G = R_x = c_x \frac{\varrho}{2} v^2 S = c_x \frac{\varrho_0 \delta}{2} v^2 S, \quad (14)$$

iz čega slijedi maksimalna brzina poniranja (obrušavanja)

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{G}{S}} \frac{1}{0,6125 \delta c_{x\min}}. \quad (15)$$

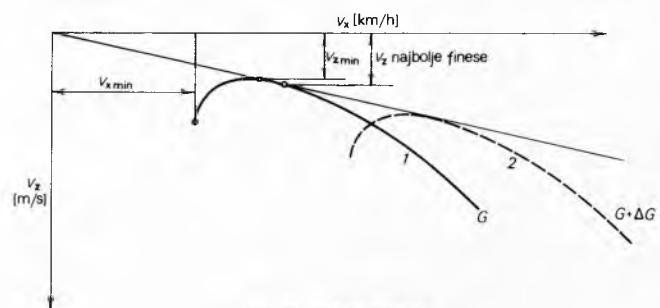
Zbog aerodinamičkog oblikovanja suvremenih jedrilica, šteti su otpori minimalni, pa su granične brzine vrlo velike ( $\sim 500 \text{ km/h}$ ). Let s takvim brzinama ugrozio bi jedrilicu. Zbog toga su jedrilice opremljene aerodinamičkim kočnicama koje brzinu u obrušavanju ograničavaju na  $\sim 220 \dots 250 \text{ km/h}$ .

Na sl. 44 prikazana je polara jedrilice s označenim osnovnim režimima leta.

Dijagram koji prikazuje međusobnu ovisnost horizontalne brzine  $v_x$  i brzine propadanja  $v_z$  (sl. 45) naziva se polara brzine. Iz praktičnih razloga  $v_x$  je u km/h, a  $v_z$  u m/s.

Tangenta na polaru brzine povučena iz ishodišta određuje brzinu najveće finese, a tangenta paralelna s apscisom najmanju brzinu propadanja.

Iz jednadžba (7) i (12) vidi se da se horizontalna brzina i brzina propadanja mijenjaju u istom omjeru s promjenom mase jedrilice, odnosno s promjenom vrijednosti  $G/S$ . Na taj se način povećanjem specifičnog opterećenja krila, uz nepromijenjene ostale veličine, polara brzine pomiče udesno (iz položaja 1 u položaj 2 na sl. 45), tj. jedrilica postaje prodornija. Budući da se pri tom finesa ne mijenja, povećava se brzina propadanja. Da bi se to moglo iskoristiti u praksi,



Sl. 45. Polara brzine

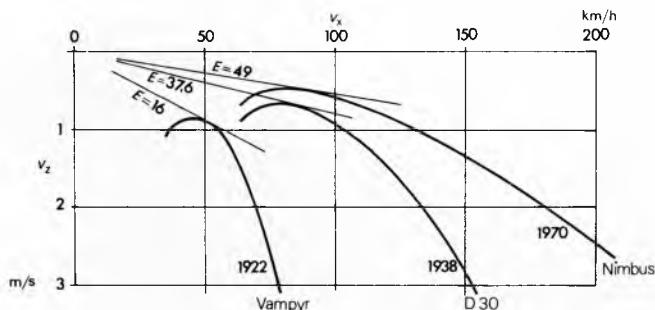
neke visokosposobne jedrilice imaju rezervoar s vodenim balastom. Jedrilica s tako povećanom masom ( $G + \Delta G$ ) letjet će sve dok su povoljne aerološke prilike, tj. dok postoje snažna usporna strujanja. Kad se brzine usponskih strujanja smanje (obično u drugoj polovici dana), ispušta se balastna voda.

Parametar prodornosti jedrilice određen je umnoškom maksimalne finese ili pripadne brzine

$$c = E_{\max} V_{E_{\max}}, \quad (16)$$

gdje je  $c$  parametar prodornosti,  $E_{\max}$  maksimalna finesa, a  $V_{E_{\max}}$  brzina pri maksimalnoj finesi u km/h. Suvremene, a posebno takmičarske jedrilice, odlikuju se visokim faktorom prodornosti.

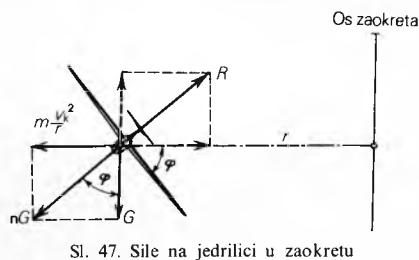
Tendencija razvoja karakteristika jedrilica u posljednjih 50 godina vidljiva je iz polara brzina na sl. 46.



Sl. 46. Polare brzina karakterističnih jedrilica u razdoblju od 1922. do 1927. godine

Tokom leta, osim leta po pravcu, jedrilica izvodi zaokrete i duž kruženja. Naravno da sile koje u takvom kretanju djeluju na jedrilicu moraju biti u ravnoteži.

U zaokretu s konstantnom brzinom i polumjerom, na jedrilicu, osim aerodinamičke sile  $R$  i sile gravitacije  $G$ , djeluje i centrifugalna sila koja je dana izrazom  $mv^2/r$ , gdje je  $m$  masa jedrilice,  $v$  brzina u zaokretu,  $r$  polumjer zaokreta (sl. 47). Tada sila  $R$  mora biti u ravnoteži sa silom  $nG$  koja je rezultanta centrifugalne sile i sile gravitacije što djeluju na jedrilicu. Kako je  $nG$  uvijek veće od  $G$ , koeficijent  $n$  pokazuje koliko je puta sila koja u zaokretu djeluje na svaki element jedrilice (pa i pilota) veća od sile gravitacije koja na njih djeluje. Koeficijent  $n$  naziva se koeficijentom opterećenja.



Sl. 47. Sile na jedrilici u zaokretu

Iz sl. 47 vidi se da je

$$\frac{mv^2}{r} = R \sin \varphi \quad (17)$$

$$G = R \cos \varphi. \quad (18)$$

Dijeljenjem tih jednadžbi i uvrštenjem za  $m = G/g$  dobiva se

$$r = \frac{v^2}{g \tan \varphi}. \quad (19)$$

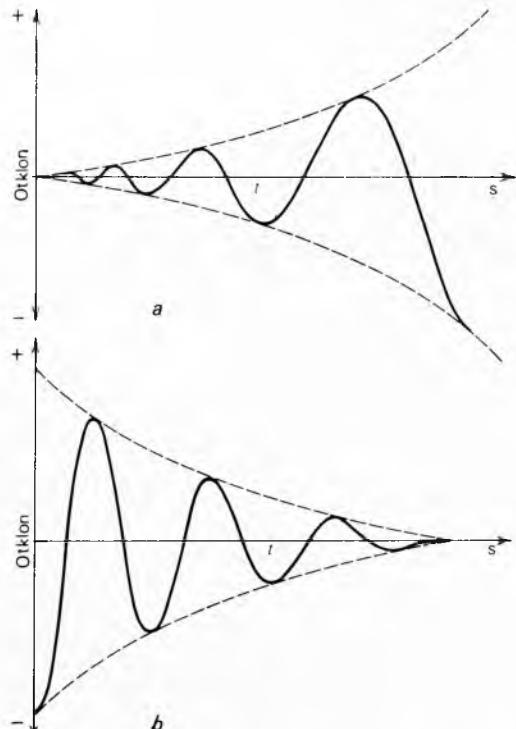
To je relacija između polumjera zaokreta, brzine leta i kuta poprečnog nagiba jedrilice.

**Stabilnost.** Sposobnost jedrilice da se nakon prestanka djelovanja neke vanjske sile, koja je uzrokovala poremećaj njezina kretanja po trajektoriji leta, vrati bez intervencije pilota prema prvobitnoj trajektoriji naziva se statička stabilnost.

Međutim, ako su promjene sile i njezina smjera tako velike da ubrzavaju jedrilicu, mogu nastupiti dva slučaja.

U prvom su slučaju otkloni od prvobitne trajektorije, u suprotnu stranu od otklona, djelovanjem sile, sve veći, tako da se konačno jedrilica sve više udaljuje od prvobitne trajektorije (sl. 48a). Takva je jedrilica, iako se vraća prema prvobitnoj trajektoriji, općenito uvezvi nestabilna.

U drugom se slučaju jedrilica, nakon prestanka djelovanja sile koja su uzrokovale otklon s prvobitne trajektorije, poslije nekoliko oscilacija, koje se postepeno prigušuju, vraća na pretходnu trajektoriju (sl. 48b). Tada je jedrilica dinamički stabilna.



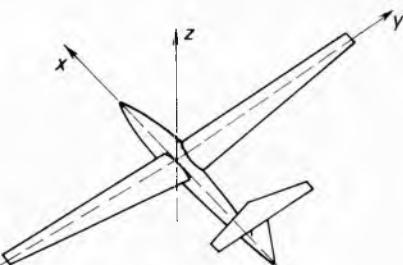
Sl. 48. Trajektorija jedrilice: a) dinamički i uopće nestabilne, b) statički i dinamički stabilne jedrilice, oscilacije prigušene

Na sl. 48 prikazan je primjer uzdužne stabilnosti (oko poprečne osi  $\bar{Y}$ ), što vrijedi za poprečnu stabilnost (oko osi  $X$ ) i za stabilnost smjera (oko osi  $Z$ ) (sl. 49).

Radi pojednostavljenja razmatranja problemi se stabilnosti proučavaju odvojeno za svaku ravninu kretanja.

Poremećaji oko vertikalne osi  $Z$ , zbog povećanja brzine strujanja na vanjskom krilu, uzrokuju poremećaje oko uzdužne osi  $X$ , a povećanje, odnosno smanjenje napadnog kuta krila (zbog lokalne promjene u smjeru strujanja) uz poremećaje oko uzdužne osi  $X$  uzrokuje razlike otpora krilâ, što skreće jedrilicu. U praksi se zato obično govori o poprečno-smjernoj stabilnosti.

Propisi zahtijevaju da jedrilica bude stabilna oko sve tri osi i pri svim brzinama koje mogu biti postignute u normalnoj eksploataciji. Sile na komandama za upravljanje moraju uvijek biti pozitivne, tj. za povećanje brzine treba uvijek komandnu palicu gurati, a za smanjenje brzine vući.



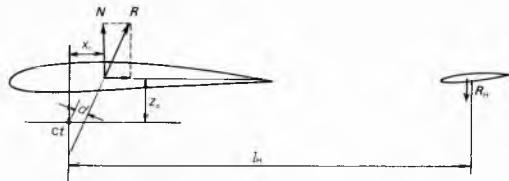
Sl. 49. Glavne osi jedrilice

**Uvjeti uzdužne statičke stabilnosti.** Ukupna aerodinamička sila koja djeluje na krilo pobuđuje moment okretanja oko težišta jedrilice. Taj moment je promjenljivog iznosa i smjera, a ovisi o vrijednosti, položaju i smjeru djelovanja ukupne aerodinamičke sile.

Moment krila oko težišta iznosi (sl. 50)

$$M_K = -Rd = -Nx_0 + Tz_0. \quad (20)$$

U većini zemalja računa se da je moment propinjanja pozitivan, a obrušavanja negativan.



Sl. 50. Uzdužni momenti oko težišta jedrilice

U ustaljenom letu moment krila  $M_K$  oko težišta jedrilice u ravnoteži je s momentom horizontalne repne površine

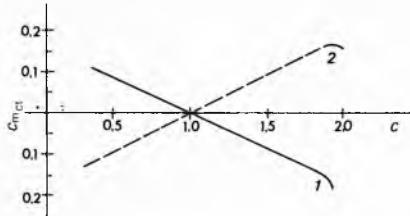
$$M_H = R_H l_H \quad (21)$$

koji djeluje u suprotnom smjeru.

Rezultirajući moment oko težišta može se prikazati pomoću koeficijenta momenta, te je onda

$$M_\alpha = c_{mct} q Sl, \quad (22)$$

gdje je  $c_{mct}$  koeficijent momenta,  $q$  dinamički tlak,  $S$  površina krila, a  $l$  srednja aerodinamička tetiva (v. Aerodinamička sila i moment, TE1, str. 10).



Sl. 51. Primjene koeficijenta momenta  $c_{mct}$  prema koeficijentu uzgona  $c_z$ : 1 za statički stabilnu, 2 za statički nestabilnu jedrilicu

Za statički stabilnu jedrilicu mora biti  $dc_{mct}/dc_z < 0$ . Tako će poremećaj koji uzrokuje povećanje koeficijenta uzgona (povećanje napadnog kuta) uzrokovati povećanje negativnog momenta obrušavanja, što će povratiti jedrilicu na prvočitnu trajektoriju. Na sl. 51 prikazana je promjena koeficijenta momenta  $c_{mct}$  prema koeficijentu uzgona  $c_z$  za statički stabilnu (krivulja 1) i za statički nestabilnu jedrilicu (krivulja 2). U oba primjera jedrilica se nalazi u ravnotežnom položaju ( $c_{mct} = 0$ ) kad leti uz  $c_z = 1.0$ .

## MATERIJALI ZA GRADNJU JEDRILICA

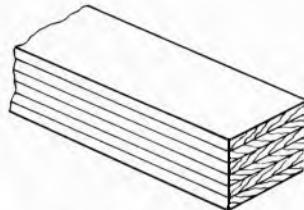
**Drvо.** Drvo je bilo glavni konstruktivni materijal u zrakoplovstvu u razdoblju do prvog svjetskog rata (a za gradnju jedrilica i do drugog svjetskog rata). Ono je to u sportskom zrakoplovstvu, iako u manjoj mjeri, i danas, premda ga sve više istiskuju legure lakih metala, a naročito armirane umjetne smole.

Kao materijal za gradnju jedrilica drvo ima mnoge prednosti od kojih su najvažnije: mala gustoća, velika čvrstoća, velika otpornost na zamor, laka obrada uz upotrebu jednostavnih i jeftinih alata, jednostavno spajanje ljepljenjem, niska cijena uz relativno laku nabavku kvalitetnog materijala i jednostavni popravci.

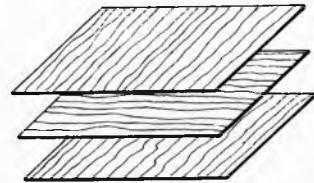
Sva ta svojstva čine da je drvo najpogodniji materijal za amaterske konstrukcije jedrilica u manjim grupama ili klubovima.

Najveća je mana drva nehomogenost i anizotropnost (ovisnost mehaničkih svojstava o položaju vlakana s obzirom na smjer djelovanja sile). Osim toga, drvo je podložno utjecaju vlagi i mikroorganizama.

Nehomogenost drva smanjuje se lameliranjem, tj. ljepljenjem tankih lamela (~5mm) od biranih dijelova drva, u elemente većih presjeka (sl. 52). Međusobnim ukrštavanjem smjera vlakana u pojedinim slojevima smanjuje se njegova anizotropnost.



Sl. 52. Lamelirani drveni element



Sl. 53. Unakrsno postavljanje furnira za izradbu drvene ljepenke

Primjenom zaštitnih sredstava i sredstava za konzervaciju mogu se znatno smanjiti i ostale navedene mane drva.

**Drvena ljepenka (šperploča).** Veliku primjenu u zrakoplovstvu ima drvo u obliku ljepenke (šperploča) sastavljene od vrlo tankih, unakrsno položenih slojeva drenog furnira međusobno slijepljениh sintetskim vodootpornim ljeplilima (sl. 53). Drvena ljepenka, koja se upotrebljava u zrakoplovstvu, izrađuje se najčešće od breze i bukve. Bukova ljepenka je kruća i radi se od tanjih slojeva (3 sloja do debljine od 1.2mm, a za veće debljine 5 slojeva). Ljepenka od breze je čvršća i zbog veće elastičnosti pogodnija za izradbu zakrivljenih površina (v. Drvo, TE3, str. 419).

**Laki metali.** Za konstrukciju jedrilica uglavnom dolaze u obzir aluminijske i magnezijске legure. Jako opterećeni dijelovi (kao što su pojasevi ramenjača, okovi, vijci, svornjaci i dr.) izrađuju se od legura Al, Cu, Mg, odnosno Al, Zn, Mg, Cu. Oplata krila i trupa, rebra, okviri i sl., uglavnom se izrađuju od legura Al i Mg, koje uz nešto manju čvrstoću imaju dobra antikorozivna svojstva, što je vrlo važno kad se predviđa slijetanje na morsku površinu (hidrojedrilice). Spaja se zakivanjem zakovicama od iste legure kao što je i osnovni materijal (opasnost od elektrolitske korozije), ili ljepljenjem specijalnim ljeplilima za metal (v. Aluminijum, TE1, str. 223).

Magnezijске legure najlakši su metalni konstrukcijski materijali ( $\rho = 1,74 \text{ kg/dm}^3$ ). Čvrstoća im je manja od aluminijskih legura. Upotrebljavaju se često kad je primarna krutost elemenata i kad se traži velika lokalna čvrstoća. Mogu se vrlo dobro lijevitati, osobito pod tlakom. Zbog male otpornosti prema koroziji mora se površinsko zaštiti posebna pažnja. Dijelovi se spajaju kao aluminijske legure.

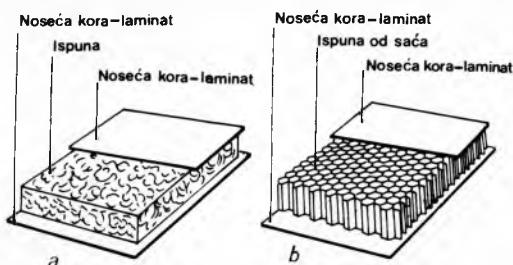
U posljednje se vrijeme za specijalne konstrukcije, umatoč još relativno visokoj cijeni, primjenjuju i legure titana ( $\rho = 4,5 \text{ kg/dm}^3$ ), kojemu čvrstoća odgovara čvrstoći legiranih čelika.

**Čelici.** Za zrakoplovne konstrukcije upotrebljavaju se uglavnom legirani čelici. Osim dobrih mehaničkih karakteristika, legirani čelici, s izuzetkom nekih vrsta, mogu se kvalitetno i relativno jednostavno zavarivati (autogenim ili električnim zavarivanjem). Moguća je i termička obrada (kaljenje, nitiranje, cementiranje i dr.). Zbog svojih svojstava čelik je nezamjenljiv za izradbu vrlo opterećenih elemenata.

Pri konstrukciji jedrilica legirani se čelici primjenjuju za izradbu spojnih okova, rešetkastih trupova, stajnih trapova, svornjaka, vijaka, komandne užadi i sl. Također se često upotrebljavaju za izradbu vrlo laganih pomoćnih okova zavarivanjem od tankih čeličnih limova (v. Čelik, TE3, str. 43).

**Armirane umjetne smole.** Najviše se jedrilica danas izrađuje od laminata od armiranih umjetnih smola (tzv. fiber-glas). Taj se materijal mnogo upotrebljava radi velike čvrstoće i male gustoće, a posebno radi jednostavne izrade i ne tako skupih alata. Posebno je važno što se tako dobije

vaju idealno glatki i točni oblici. Točnost izradbe i oblika ne ovisi o vještini specijaliziranih radnika. Taj materijal ne korodira i nema nikakvih ograničenja u pogledu oblika. Konstruktivno se vrlo lako spaja s metalima, što je potrebno zbog priključnih okova. Zbog malog modula elastičnosti (do  $12000 \text{ N/mm}^2$ ) primjenjuje se tzv. sendvič konstrukcija, kad se za ispunu između dvije nosive kore od armirane umjetne smole upotrebljavaju lagani porozni materijali (ekspandirani PVC, poliuretan, polistiren, balza (sl. 54a) ili papirnato, odnosno aluminijsko sače (sl. 54b).



Sl. 54. Sendvič-element: a s ispunom od poroznog materijala, b s ispunom od saća

Prva jedrilica od umjetne smole armirane staklenim vlaknima izrađena je 1957. godine (Phönix, SR Njemačka). Pri ovoj gradnji upotrijebljene su poliesterske smole. Sve do 1963. godine čine se samo pojedinačni pokušaji gradnje jedrilica od armiranih smola. Sa serijskom proizvodnjom (1964) započinje razdoblje, popularno nazvanih, *plastičnih jedrilica* (H-301 Libelle, Phoebus A). Aerodinamički, konstruktivni i tehnološki su problemi riješeni, a neograničene mogućnosti oblikovanja od posebnog su značenja za konstruktore. Ta je prednost posebno važna za izvedbu prijelaza krilo-trup (smanjenje otpora interferencije) i tamo gdje se zahtijevaju sferični oblici i prijelazi.

Materijali koji se danas upotrebljavaju jesu tzv. *duroplasti*. Radi se, naime, o epoksidnim smolama koje se, jednom otvrđene i polimerizirane, ne mogu otopiti (otopalima) a niti im se može grijanjem mijenjati oblik (za razliku od termoplasta)

Staklene niti, koje čine nosivi dio, imaju promjer od svega  $9 \mu\text{m}$ . Vlačna čvrstoća tih niti iznosi do  $1400 \text{ N/mm}^2$ . Uloga je smole da staklena vlakna održi u željenom smjeru, tj. da onemogući njihovo izvijanje. Čvrstoća armirane smole ovisi o udjelu stakla (u zrakoplovnim konstrukcijama najmanje 60%), i o smjeru djelovanja sile s obzirom na smjer staklenih vlakana.

Uz jedrilice iz ovog materijala vezana je i primjena tzv. *laminarnih profila* (v. *Jednokrilac*). Pri klasičnom načinu gradnje bilo je teško ili skoro nemoguće održati uske tolerancije koje su potrebne kad se krila grade od laminarnih profila. Zbog neosjetljivosti na atmosferske utjecaje i ultraljubičaste zrake površina jedrilice ostaje godinama nepromijenjena.

Drvene jedrilice jednostavne konstrukcije i oblika, koje su jeftinije od plastičnih, danas su zbog skromnih aerodinamičkih svojstava potpuno napuštene.

### ELEMENTI JEDRILICE

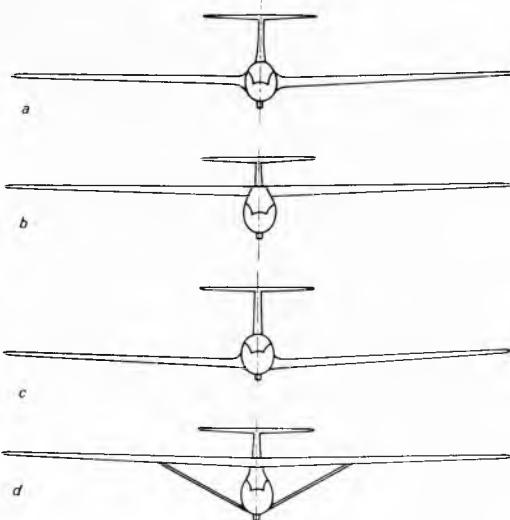
Osnovni su elementi, odnosno konstruktivni dijelovi jedrilice: krila, trup, repne površine, komande leta, stajni trap i pilotska kabina s opremom.

**Krilo** je glavni konstruktivni element jedrilice. Aerodinamička svojstva krila imaju odlučujući utjecaj na karakteristike jedrilice i njeno ponašanje u letu. Cijeli je dosadašnji razvoj konstrukcija jedrilica u prvom redu rezultat razvoja i usavršavanja krila kako u aerodinamičkom tako u konstruktivnom i tehnološkom pogledu.

Tlocrt krila jedrilice obično je trapeznog oblika sa suženjem 2...3 (suženje je omjer tetine profila u korijenu i na kraju krila). U nekim jedrilicama primjenjuje se i krilo s pravokutnim središnjim dijelom (centroplanom) i trapeznim krajevima. Pravokutni oblik krila (loših aerodinamičkih karakterističkih) dolazi u obzir, radi jednostavne gradnje, samo za školske klizače.

U frontalnoj projekciji, krila većine jedrilica imaju blagi V oblik s kutom *diedra*  $\sim 2^\circ$ , a ponekad se primjenjuje i krilo s pregibom (*galebovo krilo*).

Različiti položaji krila s obzirom na trup prikazani su na sl. 55.



Sl. 55. Položaj krila prema trupu: a na sredini, b iznad trupa, c niskokrilac, d krilo s upornicom

Aerodinamički je najpovoljnije smjestiti krila na sredini trupa zbog najmanjeg otpora interferencije, ali ta je izvedba konstruktivno komplikirana (sl. 55a). Smještaj krila iznad trupa (visokokrilac) smanjuje mogućnost oštećenja krila pri polijetanju i slijetanju na nepripremljene terene. To je također konstruktivno vrlo jednostavno rješenje (sl. 55b). Krila jedrilice na donjem dijelu trupa (niskokrilac) rijetko se izvode, ali se često primjenjuju za motorne jedrilice, jer se tako osigurava dovoljna udaljenost vrhova propeleru od tla i kad je nizak stajni trap širokog traga. Ta se konceptacija primjenjuje i za neke hidrojedrilice (tada, naime, nisu potrebni bočni baloneti), naročito za transportne jedrilice (sl. 32).

Skoro sve suvremene jedrilice imaju slobodnonoseće krilo, osim nekih školskih ili treningnih jedrilica koje imaju krila s upornicama (sl. 55d). Ovo rješenje daje lagane i čvrste konstrukcije, ali s lošijim aerodinamičkim karakteristikama zbog povećanog otpora.

Krilo je opterećeno u letu aerodinamičkim i inercijskim silama, a na zemlji inercijskim silama za vrijeme polijetanja i slijetanja. Iznos i smjer tih sila mijenja se za vrijeme leta prema režimu leta, položaju jedrilice i stanju okolišne atmosfere (turbulencija, vertikalna strujanja). Pri polijetanju i slijetanju također i svojstva terena (neravnije, sastav) mogu prouzrokovati dodatna opterećenja krila jedrilice.

Ukupna aerodinamička sila  $R$  što djeluje na krilo može se rastaviti na dvije komponente: normalnu komponentu  $R_N$ , koja je okomita na ravninu krila, i na tangencijalnu komponentu  $R_T$ , koja leži u ravnini krila, a određene su izrazima

$$R_N = R_X \sin \alpha + R_Z \cos \alpha \quad (23)$$

$$R_T = R_X \cos \alpha - R_Z \sin \alpha. \quad (24)$$

Zbog njih je krilo opterećeno: normalnom silom  $R_N$  i njenim momentom savijanja  $M_X$  oko osi  $X$ , tangencijalnom silom  $R_T$  i njenim momentom savijanja  $M_Z$  oko osi  $Z$ , te momentom uvijanja (torzije)  $M_Y$  oko osi  $Y$  (sl. 56).

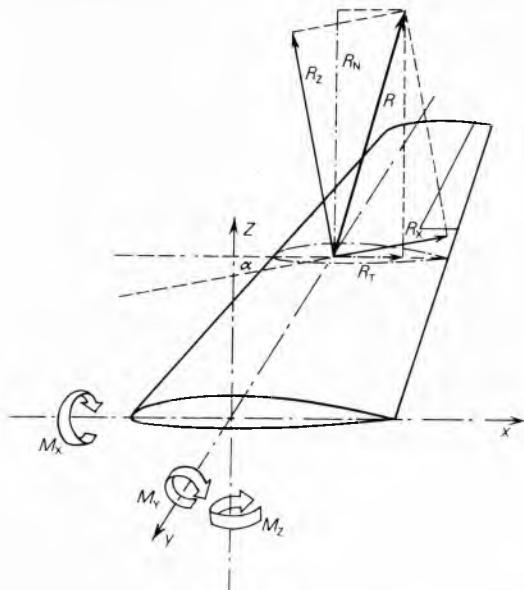
Zbog velike viktosti, a s tim u vezi zbog male krutosti i niske vlastite frekvencije, krilo jedrilice vrlo je podložno vibracijama. Prema tehničkim propisima za gradnju jedrilica, nijedan dio jedrilice, u cijelom dozvoljenom rasponu brzinā, ne smije vibrirati niti izazvati vibracije nekog drugog dijela.

U konstruktivnom pogledu razlikuju se krila: s ramenjačom (jednom ili više), poluljuskaste i ljuskaste strukture. Kri-

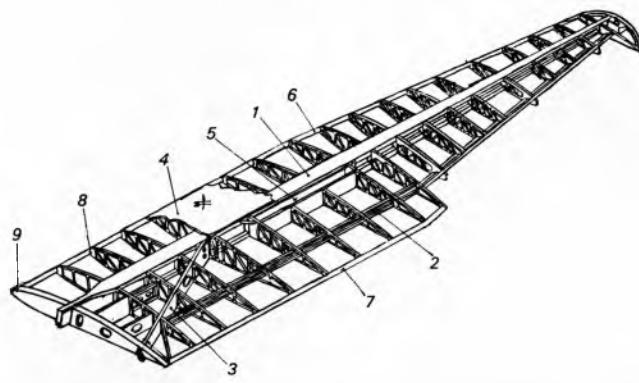
## JEDRILICA, ZRAČNA

la s jednom ili više ramenjača grade se kao slobodnonoseća ili (rjeđe) poduprta upornicom. Druga dva tipa najčešće su slobodnonoseća krila.

Krilo s jednom glavnom ramenjačom konstruktivno je rješenje koje se najčešće upotrebljava (sl. 57).

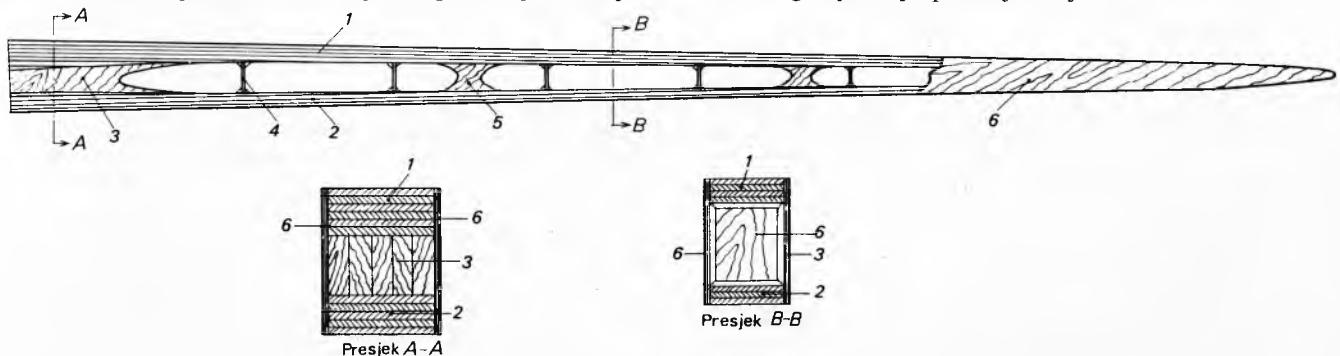


Sl. 56. Sile na krilu jedrilice

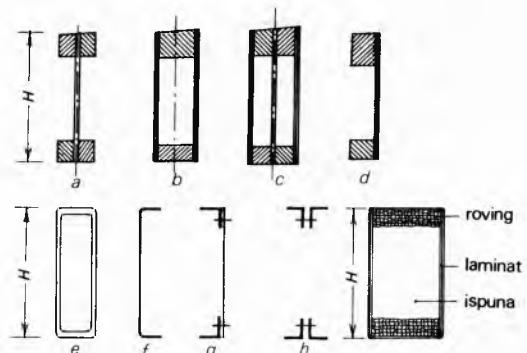


Sl. 57. Struktura krila sa jednom glavnom ramenjačom. 1 glavna ramenjača, 2 pomoćna ramenjača, 3 dijagonala, 4 torzijska kutija, 5 procijep za smještaj zračnih kočnica, 6 napadna ivica, 7 izlazna ivica, 8 rebro, 9 pojačano torzijsko rebro

**Glavna ramenjača** je osnovni dio strukture krila i njen je zadatak da preuzima opterećenja nastala normalnom silom  $R_N$  i normalnim momentom savijanja  $M_x$ . Sastavljena je od pojaseva (gornjeg i donjeg) međusobno povezanih jednom ili s više vertikalnih stijenki (sl. 58). Poprečni presjek je obično C, I ili kutijast, (sl. 59), a izrađen je od drva, armirane umjetne smole ili legure lakih metala. Za vrlo vitka krila kad visina aeroprofilisa ne dozvoljava ugrađivanje ramenjače

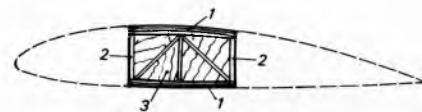


Sl. 58. Glavna ramenjača. 1 gornji lamelirani poj, 2 donji lamelirani poj, 3 uložak za glavni okov spoja krilo—trup, 4 dijafragma, 5 uložak okova nosača komanda, 6 oplata



Sl. 59. Poprečni presjeci glavne ramenjače: a-d drvene ramenjače, e-h metalne ramenjače i ramenjača od armiranе umjetne smole

dovoljne visine, da bi se povećala krutost, često se najopterećeniji dio ramenjače (u korijenu krila) izvodi u kombinaciji drva s metalom ili armirane umjetne smole s metalom. Na mjestima gdje se priključuju okovi postavljaju se umeci (ispuni) i pojačanja kako bi se koncentrirane sile od okova prenijele na dio strukture ramenjače a da se ne pojave lokalna preopterećenja. Za vitka krila tankih aeroprofilisa grade se često ramenjače kutijastog presjeka s pojasevima relativno velike širine, te takve ramenjače preuzimaju i torzijske sile prouzrokovane momentom uvijanja oko osi krila (sl. 60).

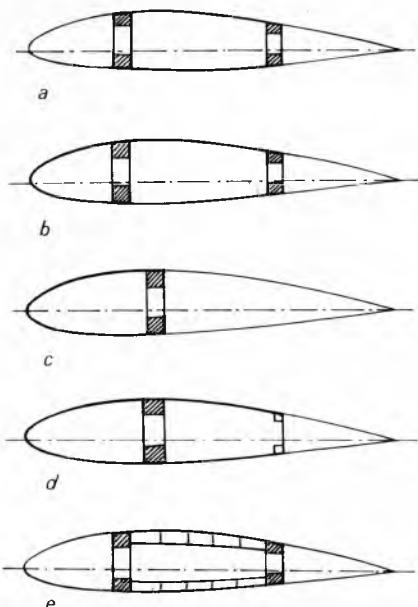


Sl. 60. Širokopojasna ramenjača. 1 lamelirani poj, 2 stijenke od drvene ljenke, 3 lokalne dijafragme od drvene ljenke s letvicama za ukrućenje

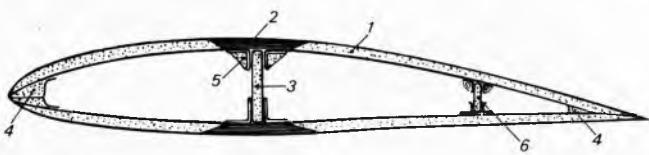
**Torzijska kutija** drugi je važni element u strukturi krila. Ona preuzima momente uvijanja oko uzdužne osi krila i preko okova i torzijskog rebara ih prenosi na trup. Torzijsku kutiju (sl. 61) tvori oplata (kora) koja se postavlja po konturi aeroprofilisa krila i koju zatvara stijenka ramenjače (glavne ili pomoćne). Torzijska kutija može imati jedno ili dva polja. U prvom se slučaju nalazi ispred glavne ramenjače (sl. 61a i b), a u drugom, ispred glavne ramenjače i između nje i pomoćne ramenjače (sl. 61b i d). Rjeđe se upotrebljavaju torzijske kutije s više polja (samo za specijalne konstrukcije s više od dvije ramenjače). Torzijske kutije izrađuju se od istih materijala kao i cijelo krilo. Kombinacije različitih materijala rjeđe se upotrebljavaju za gradnju krila. Kad je drvena konstrukcija, kora (oplata) torzijske kutije izvodi se od drvene ljenke koja se često ukrućuje potkorom od profilirane lipe, balze, ekspandiranog polistirena i sl. (sl. 62).

Za krila od armiranih umjetnih smola kora se izvodi kao sendvič struktura (sl. 63). Jake torzijske kutije velike krutosti omogućuju bolju pokretljivost jedrilice oko uzdužne osi

i sprečavaju vibracije (flutter) na krilu. Kako je torzijska kutija, kao nosivi element, obično na prednjem dijelu krila, točnost oblika i glatkoća površine od izvanredne je važnosti jer oblik prednjeg dijela krila (profil) ima odlučujući utjecaj na aerodinamička svojstva jedrilice. To je naročito važno kad su krila od laminarnih profila, jer tada i najmanji poremećaj i odstupanje od zadane konture pogoršavaju aerodinamička svojstva. Osim toga, svakom se deformacijom smanjuje nosivost, naročito ako se pojavi gužvanje (stvaranje nabora pod kutom od  $45^\circ$  na ravninu djelovanja momenta torzije). Zbog toga se torzijska kutija nastoji izvesti sa što moguće većom krutošću.

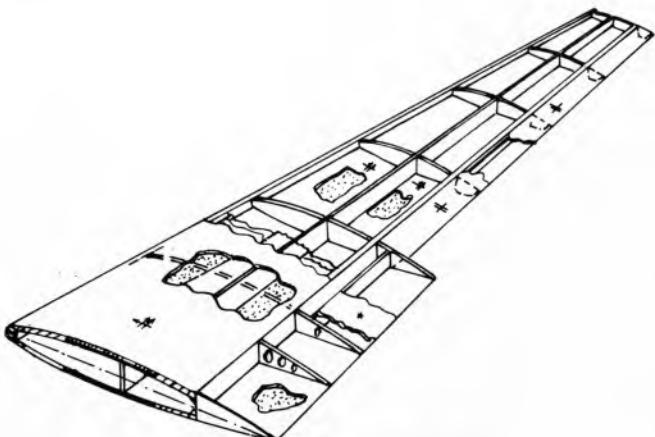


Sl. 61. Različiti tipovi torzijskih kutija. a sa jednim poljem između ramečica, b sa dva polja (od nosa krila do stražnje ramečice), c sa jednim poljem ispred glavne ramečice, d sa dva polja (od nosa krila do pomoćne ramečice), e sa dva polja i s ojačanim dijelom između ramečica

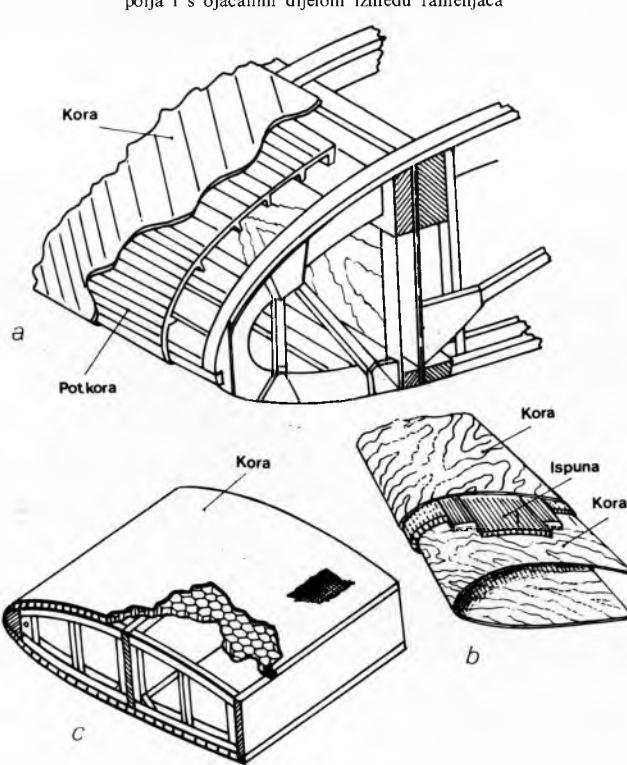


Sl. 63. Presjek krila od armirane umjetne smole. 1 oplata krila izvedena kao sendvič, 2 ojačanje laminatom u zoni ramečice, 3 ramečica, 4 ojačanje spoja, 5 ojačanje spoja ramečice s oplatom, 6 uložak nosača okova komanda

Krila strukturnog tipa ljske i poluljuske (noseća i polunoseća kora) omogućuju staticki najracionalnije iskorištenje materijala, budući da kora istodobno formira geometrijski oblik krila i da ona preuzima momente savijanja i uvijanja te tangencijalne sile. Kad su krila od takvih kora, postoji u određenoj mjeri opasnost gubitka stabilnosti forme, tj. opasnost da se pri nekom naprezanju pojavi gužvanje kore. Kora takve debljine (prava ljska bez ikakvih unutrašnjih ukrućenja, a u ekstremnim slučajevima i bez ramečica) koja bi sigurno sprječila tu pojavu, bila bi u konstruktivnom pogledu neracionalna zbog svoje težine.



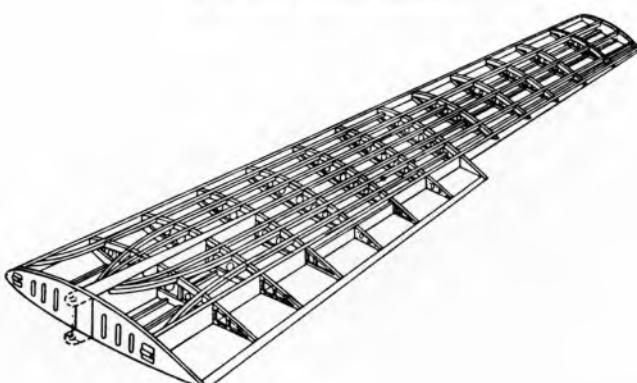
Sl. 64. Krilo strukture poluljuske



Sl. 62. Ukrucenje torzijske kutije potkorom. a potkoru od profiliranog drva, b dvostruka kora s ispunom (sendvič), c sendvič-struktura s ispunom od sača u krilu od armirane umjetne smole

Za optimalno iskorištenje nosivosti ljske (kore) potrebno je ukrutiti s potrebnim brojem rebara i uzdužnica, tj. ostvariti strukturu poluljuske (sl. 64). Za konstrukcije od drva i armiranih umjetnih smola također se primjenjuje sendvič struktura s ispunom od balze, ekspandirane mase, od papirnog ili metalnog sača i sl. Za konstrukcije tipa ljske poseban je problem prijenos sila s krila na trup. Zbog toga se u zoni korijena krila u ljsku ugrađuje više uzdužnica (stringera), koje preko jakog rebara i batrijka ramečice prenose sile na okov krilo-trup (sl. 65).

Pomoćna ramečica izvodi se na više načina. U svom se najjednostavnijem obliku pomoćna ramečica proteže samo u području krilaca, i prenosi opterećenje preko rebara na glavnu ramečicu i torzijsku kutiju. Kad je torzijska kutija iza

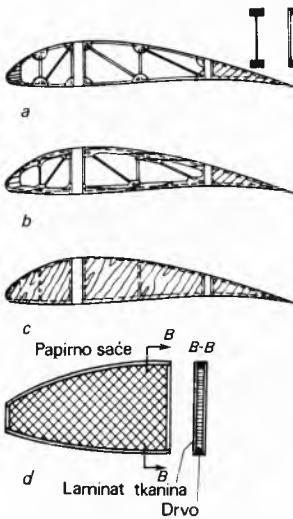


## JEDRILICA, ZRAČNA

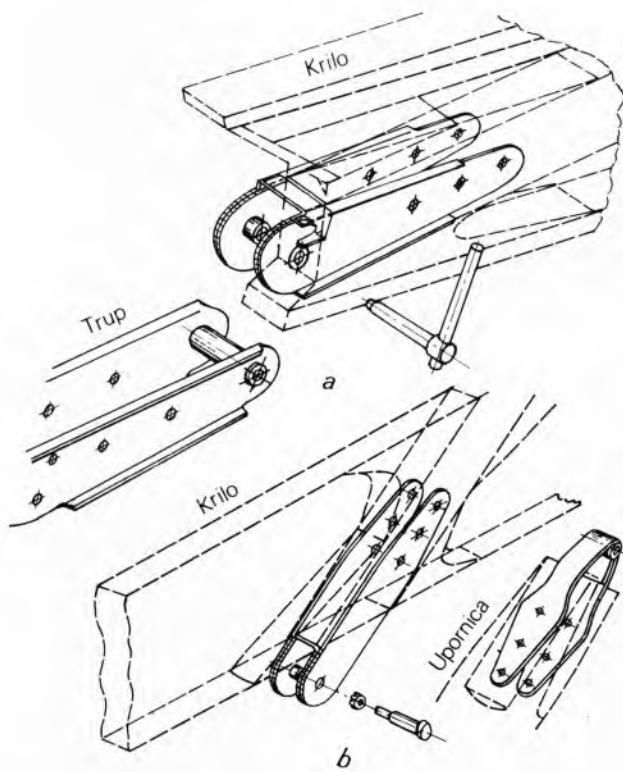
glavne ramenjače, pomoćna je ramenjača opterećena i tangencijalnim silama zbog torzije. U ljskastim konstrukcijama pomoćna ramenjača zatvara stražnju stranu kutije-kesona koja preuzima sva opterećenja (sl. 57 i 61).

Dijagonalna (dijagonalna ramenjača) treba da preuzme tangencijalne sile i momente nastale u ravnini krila (v. sl. 57). Ako krilo ima samo glavnu ramenjaču, dijagonalna nosi na sebi pomoćni, tzv. torzijski okov kojim se priključuje na okov na trupu. Poprečni presjeci pomoćne ramenjače i dijagonale obično su L, I ili kutijastog oblika.

Rebra su konstruktivni elementi koji treba da održavaju oblik aeroprofila krila. Postavljena su paralelno s uzdužnom osi jedrilice. Razmak između rebara ovisi o vrsti oplate. Kad je oplata tanka, postavljaju se na manjim, a kad je deblja i čvršća, na većim razmacima. Kad je ljska nosiva, postavlja se samo nekoliko rebara u krilu i ona uglavnom služe kao nosači okova. Rebra su najviše opterećena aerodinamičkim silama koje se s oplate preko rebara prenose na ramenjače. Osim toga, na njih se prenosi djelovanje dodatnih



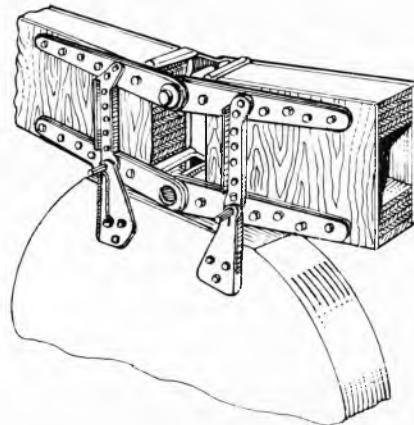
Sl. 66. Izvedbe rebara krila. a, b, c drvena rebara kutijastog ili dvostrukog T-presjeka, d prednji dio rebara od armirane umjetne smole



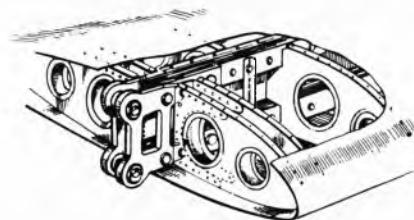
Sl. 67. Glavni okovi krila s upornicom. a spoj krilo - trup, b spoj upornica - trup

sila koje se pojavljuju u oplati zbog savijanja krila. Neka rebara ojačane izvedbe služe kao nosači okova i opterećena su koncentriranim silama. Prvo rebro uz trup, tzv. torzijsko rebro posebno je opterećeno torzijskim momentom. Rebra se pretežno grade kao rešetkasti nosači ili ploče s olakšanjem, dok su jače opterećena rebara obično kutijastog tipa (sl. 66). Jedrilice od armirane umjetne smole imaju rebara sendvič strukture.

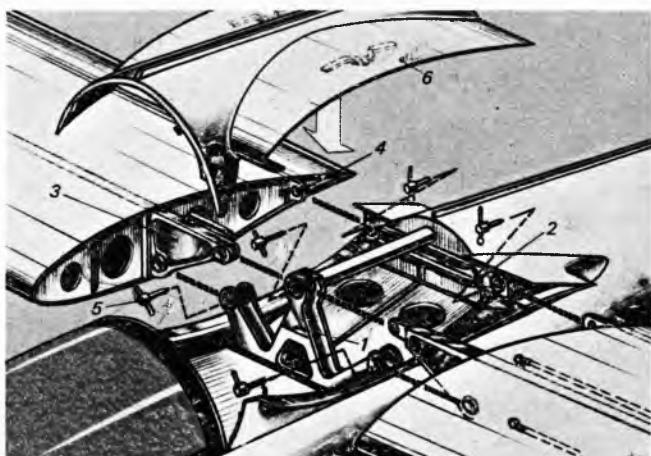
Glavni okovi, tj. okovi koji prenose sile krila na trup, nalaze se na glavnoj i dijagonalnoj, odnosno pomoćnoj ramenjači. Krila s upornicom imaju još jedan okov na krilu koji se spaja s okovom na jednom kraju upornice. Okovi omogućuju rastavljanje jedrilice na osnovne dijelove: krilo, trup i repne površine, što je potrebno radi transporta. Priključni okovi moraju da omoguće brzo, jednostavno i pouzdano sastavljanje, po mogućnosti, s automatskim osiguranjem (sl. 67 do 70).



Sl. 68. Glavni okov spoja krilo - trup za slobodno-noseće krilo



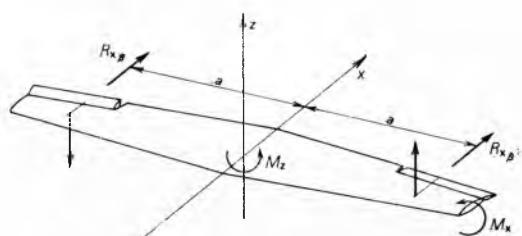
Sl. 69. Glavni okov i torzijsko rebro jedrilice metalne konstrukcije



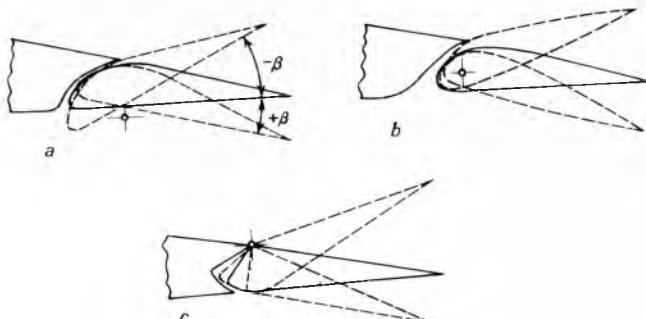
Sl. 70. Sklop spoja krilo - trup jedrilice metalne konstrukcije. 1 glavni okov trupa, 2 pomoći okov trupa, 3 okov glavne ramenjače, 4 okov pomoće ramenjače, 5 svornici spoja, 6 aerodinamički poklopac-slivnik spoja krilo - trup

Krilca su pokretne kontrolne površine kojima se upravlja poprečnim nagibom jedrilice. Budući da jedrilice imaju krila velikog izduženja ( $\lambda$  do 30) i relativno velikog raspona, ova-

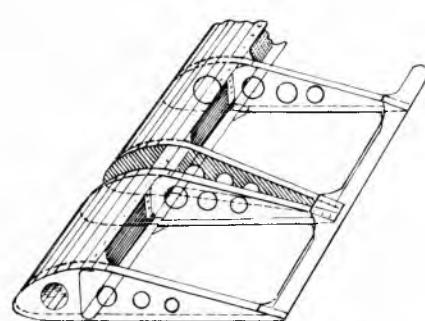
ranjem krilaca zbog povećanog otpora na tako velikom kraju, pojavljuje se neželjeni moment  $M_z$  oko vertikalne osi jedrilice, koji se može poništiti povećanjem otpora na strani krilca koje je otklonjeno naviše (sl. 71). Za tu se svrhu najčešće primjenjuju krilca posebnog tipa, tzv. frise-krilca (sl. 72a). Radi smanjenja sile na komandama i smanjenja spomenutog momenta, otklon krilaca naviše i nanize nije veći od  $25^\circ$ . Kut oborenog krilca  $\beta^-$  manji je od kuta podignutog krilca  $\beta^+$ , pa je njihov omjer  $\beta^-/\beta^+ = 0.5 \dots 0.8$ . Krilca se protežu do polovice raspona krila, a površina im iznosi  $5 \dots 10\%$  površine krila. Krilca s procijepom (sl. 72b) primjenjuju se radi smanjenja sile na komandnoj palici, a tzv. zatvorena krilca (sl. 72c) imaju smanjeni otpor. Izbor tipa krilaca ovisi o namjeni jedrilice. Konstrukcija krilaca slična je konstrukciji krila, a sastavljena su od ramenjače, torzijske kutije i rebara (sl. 73). Za velike raspone krila izvode se dvodijelna ili višedijelna krilca, kako deformacija krila ne bi uzrokovala zapinjanje u okretnim šarkama. Ako krilca imaju težište iza okretnih osi, može se pri većim brzinama pojavit njihova oscilacija tzv. flutter (lepršanje), što može uzrokovati lom krilaca. To se izbjegava statičkom kompenzacijom, tj. smještajem protutugeta u nosu krilca kako bi se težište krilca poklopilo s okretnom osi.



Sl. 71. Momenti na krilu zbog djelovanja krilaca  
 $M_z = a(R_{x_B} - R_{x_H})$

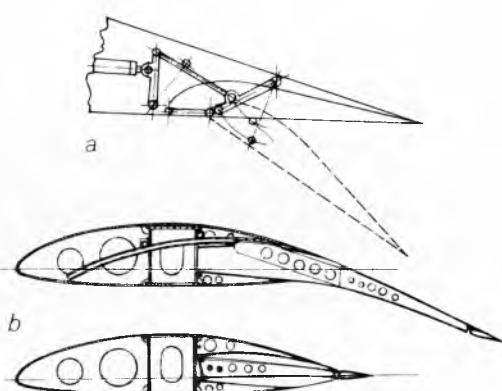


Sl. 72. Tipovi krilaca: a krilce Frise, b krilce s procijepom, c zatvoreni tip krilca



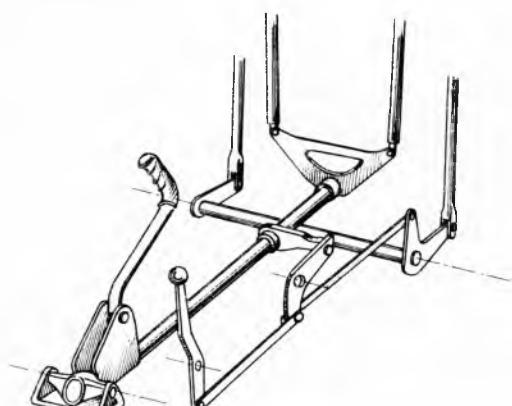
Sl. 73. Konstrukcija krilca metalne izvedbe

Zakrilca jedrilica služe za smanjenje brzine da bi se omogućilo letenje s malim polujmerom zaokreta u uskim termičkim stupovima. Obično se ugrađuju na teže jedrilice. Naročito su efikasna zakrilca kojima se povećava površina krila, npr. tip Fowler (sl. 74a i b). U nekim jedrilicama zakrilca se mogu podizati. Tako se uz pogodne profile poboljšavaju svojstva u letu s povećanim brzinama.



Sl. 74. Zakrilca Fowler: a s polužnim mehanizmom, b s kulisnim mehanizmom (za laminarni profil FX-VC-170/136)

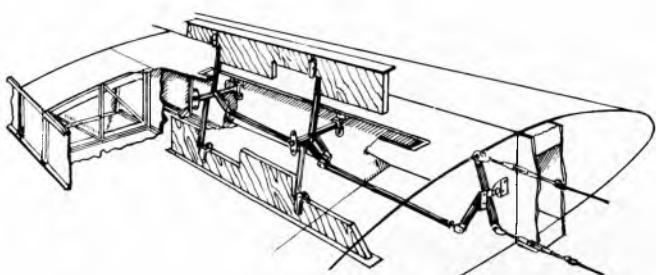
Neke suvremene jedrilice imaju pokretnu cijelu izlaznu ivicu krila, koja tvori jedinstveni sustav krilce-zakrilce. Mijenjanjem položaja izlazne ivice mijenja se zakrivenost profila, njegova nosivost (koeficijent  $c_z$ ) i napadni kut. To se postiže posebnom kinematičkom izvedbom komandâ upravljanja: primjer takve izvedbe vidi se na sl. 75. Zakrilca su po konstrukciji identična s krilcima.



Sl. 75. Mechanizam za simultano obaranje krilaca i zakrilaca

Tako se brzina leta mijenja praktički bez pomaka visinskog kormila i bez promjene kuta što ga zatvara uzdužna os trupa s trajektorijom leta. Tako se štetni otpor trupa задрžava na minimalnoj vrijednosti u širokom rasponu brzinâ. Vjerojatno je da će takav sustav, uz potrebno dotjerivanje, biti primijenjen u većini visokosposobnih jedrilica.

Zračne kočnice nalaze se najčešće na krilu. Njihovim se otvaranjem (izvlačenjem) remeti strujanje zraka oko krila i time se znatno povećava otpor (sl. 76). Aerodinamički dobro oblikovane jedrilice imaju malen ukupni otpor i u obrušavanju mogu se postići vrlo velike brzine (i više od 600 km/h). Neracionalno je, međutim, graditi tako čvrste jedrilice koje mogu izdržati tako velike brzine. Brzina obrušavanja  $V_{obr}$  određuje se prema specifičnom opterećenju  $G/S$  i minimalnom



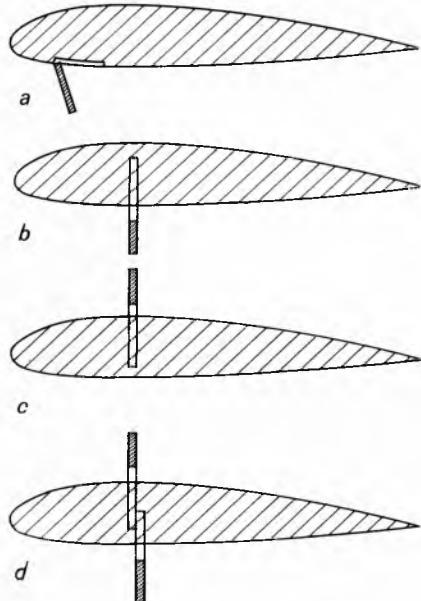
Sl. 76. Mechanizam zračnih kočnica (v. i sl. 77d)

koeficijentu otpora cijele jedrilice te prema izrazu

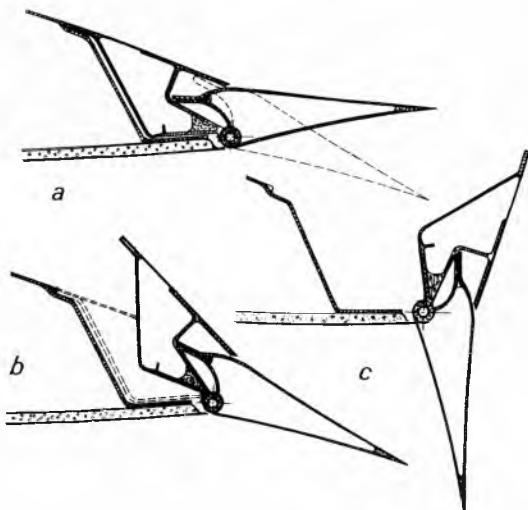
$$V_{\text{obr}} = 18 \sqrt{\frac{G/S}{C_x \text{ min}}} \text{ km/h.} \quad (25)$$

Površina kočnica mora biti tolika da se brzina prema izrazu (25) ne može, s izvučenim kočnicama, prekoračiti. Brzine obrušavanja ograničene su tako na 200–250 km/h. Osim ograničenja maksimalne brzine, kočnice pogoršavaju kut planiranja i tako olakšavaju procjenu slijetanja, što je vrlo važno kad se slijeće na kratkim terenima. S izvučenim kočnicama, pri brzini za 30% većoj od minimalne, kut planiranja ne smije biti manji od 1:7.

Kočnice, kao na sl. 77a (prvi put upotrijebljene na poljskoj jedrilici Orlik), vrlo uspješno ograničavaju maksimalnu brzinu, ali su neefikasne pri slijetanju jer dovoljno ne pogoršavaju kut planiranja s malim brzinama. Tipovi kočnica na sl. 77b



Sl. 77. Različiti tipovi zračnih kočnica



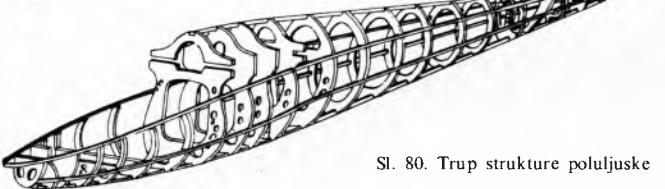
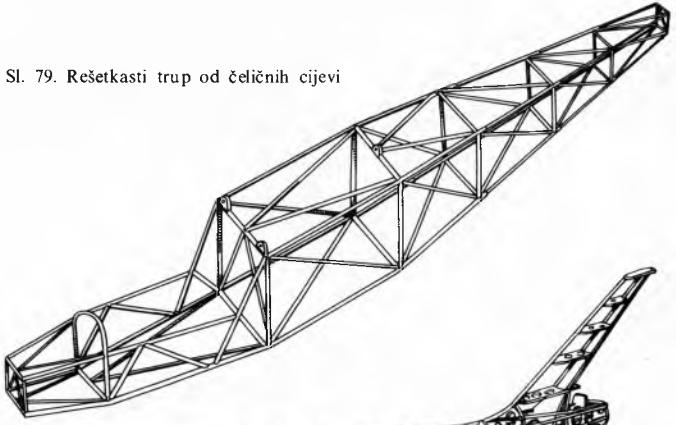
Sl. 78. Kombinirana zakrilca i zračne kočnice: a) efekt zakrilaca, b) zakrilca oboren sa djelomičnim efektom kočenja, c) puni efekt kočenja

i 77c podjednako su uspješni, samo što tip na sl. 77b uzrokuje jaki moment propinjanja, a tip na sl. 77c moment obrušavanja. Kočnicama na sl. 77d te su negativne pojave eliminirane. Vrlo uspješnu konstrukciju zakrilca i kočnice u istom mehaničkom sklopu ima jedrilica Mosquito, SR Njemačka (sl. 78).

Da se izbjegnu uređaji na krilu, koji bi mogli smanjiti glatkoću površine krila i tako remetiti strujanje, upotrebljava se mali padobran smješten u repu jedrilice, koji se aktivira prema potrebi. S padobranom se postiže dobro kočenje, ali je višekratna upotreba u toku jednog leta nemoguća.

**Trup** jedrilice služi za smještaj posade, instrumenata i opreme za spoj između krila i repnih površina. Na trup djeluju: sile horizontalnih i vertikalnih repnih površina, sile krila, sile stajnog trapa, inercijske sile masa u trupu (pilot i oprema) i sile vuće prilikom polijetanja. Te sile opterećuju trup na savijanje i smik u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini te na uvijanje oko uzdužne osi.

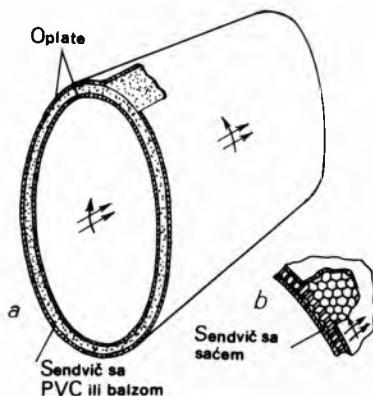
Sl. 79. Rešetkasti trup od čeličnih cijevi



Sl. 80. Trup strukture poluljuske

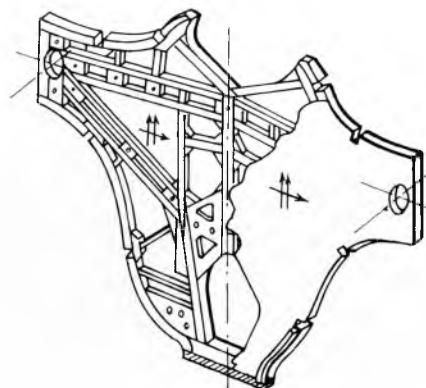
Trupovi mogu biti rešetkasti od čeličnih cijevi (sl. 79), poluljuske (sl. 80) i nosive ljske (sl. 81). Rešetke i poluljuske višekutnih presjeka upotrebljavaju se pretežno za školske i trenažne jedrilice. Prednosti su rešetkastog trupa: jednostavna gradnja, velika krutost i dobra zaštita posade u nesreći; manje je što zahtijeva posebnu aerodinamičku oplatu kad se upotrijebi za visokosposobne jedrilice. Za izradbu su potrebni visokokvalificirani variovi.

Poluljuskasti i ljkasti trupovi suvremenih jedrilica ovalnog su presjeka i aerodinamički su dobro oblikovani. Grade se od drvene ljepenke, lima lakačih metala, a u novije vrijeme najviše od armiranih umjetnih smola. Velika elastičnost armiranih umjetnih smola manje je izražena u trupovima zbog njihove relativno male vitkosti i velikih momenata inercije prečnih presjeka. Kao i za krila, također se i za trupove od toga materijala primjenjuje sendvič konstrukcija s ispunom.

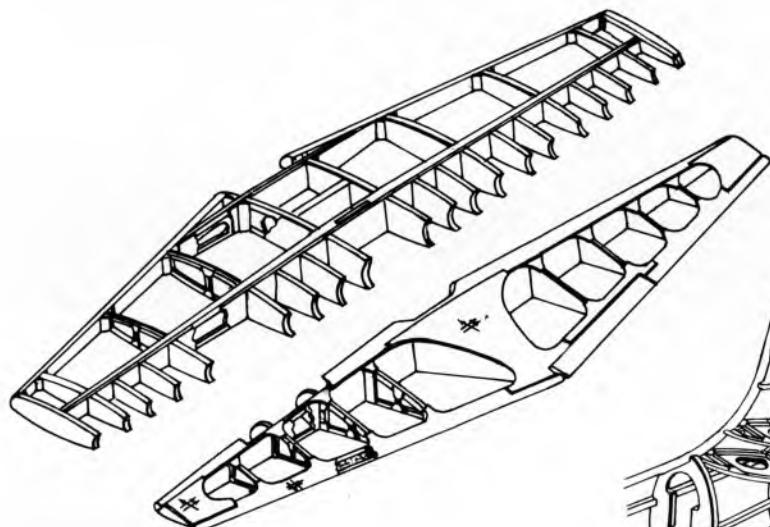


Sl. 81. Princip izvedbe trupa strukture ljske. a) sendvič sa ispunom od ekspandirane umjetne smole ili balze, b) sendvič sa ispunom od sača

Osnovni su elementi trupa: okviri, uzdužnice i oplata. Okviri trupa treba da održe poprečni oblik trupa i da smanje dimenzije slobodnih polja kako se ne bi gužvala ljska. Noseći okviri trupa nalaze se na mjestima gdje djeluju sile (krila), repnih površina, stajnog trapa itd.) na trup. Okviri su jake, obično kutijaste, konstrukcije (sl. 82). Posebno je ojačan glavni okvir na mjestu gdje sile krila djeluju na trup. U predjelu pilotskog sjedišta ugrađuju se poloukviri, koji moraju biti dovoljno krući da spriječe deformacije ljske koja je na tom mjestu otvorena. Uzdužnice su opterećene tlačnim i vlačnim silama zbog momenta savijanja. Ako je konstrukcija trupa izvedena s manje jakim uzdužnicama, one se nazivaju ramenjačama trupa.



Sl. 82. Noseći drveni okvir trupa



Sl. 83. Horizontalne repne površine drvene izvedbe

Oplata je trupa opterećena poprečnim silama i silama uvijanja trupa.

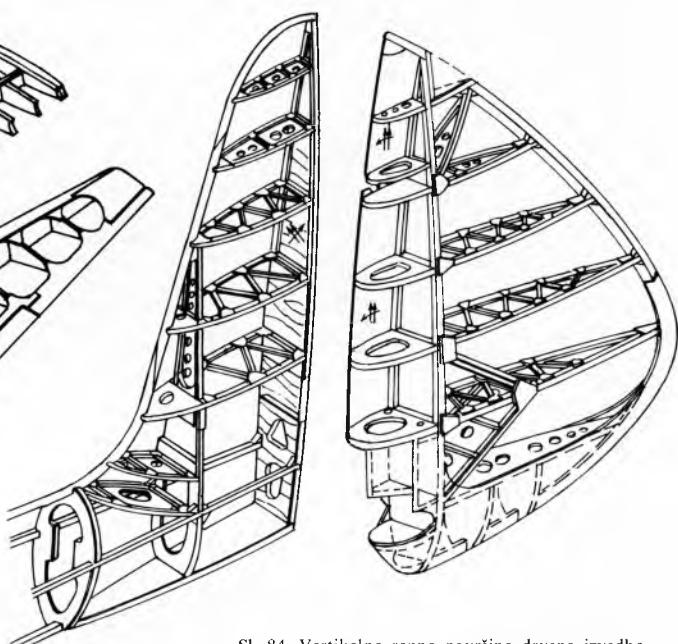
**Repne površine** treba da proizvedu stabilizirajuće momente oko težišta jedrilice i da promjenom iznosa i smjera tih momenata omoguće upravljanje oko poprečne i vertikalne osi jedrilice. Horizontalne repne površine stabiliziraju i pokreću jedrilicu oko poprečne osi, tj. po visini. Izvode se kao jednodijelne (cijela je ploha pokretna) ili dvodijelne (stabilizirajući dio, tzv. horizontalni stabilizator, jest nepokretni dio i na njemu je učvršćeno visinsko kormilo kao pokretni dio). Na jednodijelnim i dvodijelnim horizontalnim površinama obično je postavljen trimer, tj. mala dodatna pokretna površina koja aerodinamičkim djelovanjem zbog otklona (kojim upravlja pilot) pomiče kormilo u neki drugi, novi ravnotežni položaj. Tako se ravnotežni položaj premješta u neki drugi režim leta, tj. u drugu brzinu. Jedrilica mora biti sposobna da se trimerom uravnoteži u rasponu brzina od  $1,2 \cdots 2 V_{min}$ . Kad su horizontalne površine jednodijelne, trimer ima i dodatnu ulogu.

Pored upravljanja visinskim kormilom kako bi jedrilica zauzela novi ravnotežni položaj, trimer je spojen kinematički s kormilom i pomiče se svakim pokretom kormila. To pomicanje pobuđuje aerodinamičke sile koje imaju uvijek takav smjer da nastoje vratiti kormilo u početni položaj. Takav se trimer naziva fletner.

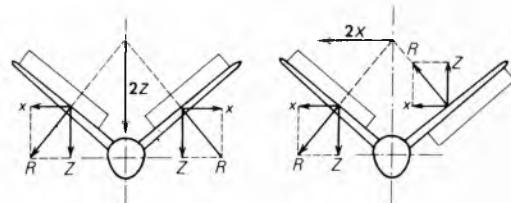
Konstrukcija horizontalnih repnih površina identična je s konstrukcijom krila i sastoji se od glavne i pomoćne rameњače, rebara i opalte (sl. 83), a može se izvesti i kao nosiva ljska. Priklučni okovi horizontalne repne površine izvode se tako da omogućuju jednostavno montiranje.

Pomoću vertikalnih repnih površina, promjenom momenta oko vertikalne osi, mijenja se pravac leta. Kao i horizontalne, repne površine mogu biti jednodijelne i dvodijelne. Nepokretni dio dvodijelnih repnih površina, vertikalni stabilizator, čini jedinstvenu cjelinu s trupom (sl. 84).

Pored takvih horizontalnih i vertikalnih repnih površina (tzv. klasične koncepcije repnih površina) dosta je česta upotreba leptirastog ili V-repa. Tada se površine ugrađuju pod međusobnim kutom  $\sim 90^\circ$ , a posebnom kinematskom vezom mogu preuzeti funkciju običnih repnih površina. Ako se obje površine simultano otklanaju naviše ili naniže, preuzimaju ulogu visinskog kormila, a ako se pokreću suprotno jedna drugoj, djeluju kao smjerno kormilo (sl. 85). Kad djeluju kao smjerno kormilo, pobuđuju manji neželjeni moment nagiba koji se ispravlja krilcima. Upravljanje i tehnika pilotiranja identični su bez obzira na vrstu repnih površina. I obični i V-rep mogu biti jednodijelni ili dvodijelni.



Sl. 84. Vertikalne repne površine drvene izvedbe



Sl. 85. Princip djelovanja repnih V-površina.

**Pilotска kabina** nalazi se u prednjem dijelu trupa. Pored komanda leta i pilotskog sjedišta u njoj se nalaze: ploča s instrumentima, uredaj za kisik (visinski inhalator), radio-stanica, registrirajući barometar (barograf) i dr. U školske i trenažne jedrilice ne ugrađuju se inhalator i radio-stanica; od instrumenata ugrađuju se samo osnovni: brzinomjer, variometar, visinomjer i poprečna libela. Visokosposobne jedrilice imaju pored toga: kontrolnik leta (umjetni horizont), variometar to-

## JEDRILICA, ZRAČNA

## PODACI, IZMJERE I KARAKTERISTIKE RAZLIČITIH JEDRILICA

Naziv	Konstruktor	Država	Raspon krila m	Duljina m	Površina krila m <sup>2</sup>	Izdjeđenje	Masa prazne jedrilice u letu kg	Masa jedrilice u letu kg	Ostvarenje krila kg/m <sup>2</sup>	Finsa	Brzina pri opam. finskih km/h	Min. brzina propadanja m/s	Brzina pri min. propadanju km/h	Profil krila u korijenu	Profil krila na kraju	Broj sjedala	Materijal	Godina građnje
<i>Klizaci</i>																		
Vrabac SG. 38	I. Šoštarić E. Schneider	Jugosl. SR Nj.	10,00 10,41	6,30 6,28	15,00 16,00	7,00 6,76	90 105	170 195	11,30 12,20	10 10	11,7 52	1,17 1,30	47 48	Gö 535		1 1	D D	1939
<i>Školske jedrilice</i>																		
Grunau Baby IIa Musa Čavka	E. Schneider S. Obad I. Šoštarić	SR Nj. Jugosl. Jugosl.	13,57 11,50 12,7	6,09 5,64 6,60	14,20 13,75 16,70	12,80 9,60 9,70	170 127 205	250 207 115	17,60 15,05 12,30	17 18,5 16,5	55 66,50 56,50	0,85 0,95 0,90	50 59 52	Gö 535 NACA 6312	simetričan	1 1 1	D D D	1936 1938 1940
<i>Školski dvojesedi</i>																		
Specht Kobac V. G. 151 Libis 17	E. Scheibe B. Cijan B. Vaić, A. Kuhar A. Cvjetković	SR Nj. Jugosl. Jugosl.	13,50 16,00 16,30	7,26 20,50 21,90	16,60 12,50 12,20	11,00 287	190 467	390 21,30	23,50 20,3	18 71,5	75 66,5	0,95 0,94	65 66,5	Sikorsky GS 1 NACA 4412		2 2	DM DM	1953 1959
<i>Trenažne jedrilice</i>																		
Jastreb Galeb II	I. Šoštarić B. Cijan	Jugosl. Jugosl.	15,00 14,50	6,85 6,40	15,70 15,00	14,30 14,05	192 177	292 267	18,60 17,7	21 21	70 74,5	0,90 0,83	60 56,5	Gö 549 B 5	CAGI 731 B 1	1 1	D D	1946 1948
<i>Akrobatske jedrilice</i>																		
Soko Lo-100 Mačka	I. Šoštarić A. Vogt M. Ilić	Jugosl. SR Nj. Jugosl.	15,20 10,00 10,00	6,85 5,17 5,67	15,30 10,90 10,00	15,10 9,20 10,00	212 145 160	302 245 260	19,8 28 26,00	24 85 21,5	75,2 83 83	0,75 0,80 0,98	62 72 74,3	Clark Y Clark Y	Clark Y	1 1 1	D D D	1947 1952
<i>Visokosposobne jedrilice standardne klase 15 m</i>																		
Orlik Triglav II	Kocjan J. Koser, S. Hrovat	Poljska Jugosl.	15,00 15,00	6,50 6,83	14,80 13,25	15,20 17,00	160 175	245 265	16,5 20,0	24 27	75 75	0,67 0,67	62	Gö 549	M-6	1 1	D D	1948
Schweizer I-23 Spatz	E. Schweizer E. Scheibe	SAD SR Nj.	13,36 15,00	6,33 6,00	13,84 11,70	12,90 19,00	183 140	269 250	19,6 21,3	27 29	74 73	0,72 0,64	58 62	d = 14%		1 1	M DM	1948 1953
Iindenka Kartik KS-II Trener Cobra	M. Ilić S. Ramamirtham V. Kučera W. Okarmos	Jugosl. Indija Jugosl. Poljska	15,00 15,00 15,00 15,00	7,03 7,37 6,70 7,05	12,34 13,54 12,97 11,60	17,09 16,60 17,35 19,40	235 230 225 237	355 320 335 385	28,3 32,6 25,8 33,2	31,4 31 31 38	79 75 65 97	0,66 0,60 0,72 0,68	73 72 78 73	Gö 549 NACA 64; 618 Wortman FX 61-168	CAGI 731 FX-60-1261	1 1 1 1	D D D D	1948 1965 1969 1969
Schweizer	E. Schweizer	SAD	15,00	5,84	9,65	23,30	181	272/422	28/44	39				FX 67-K-170	FX 67-K-150	1	M	1973
Libele Bryan HP-18	Schreder	SR Nj. SAD	15,00 15,00	6,40 7,16	9,80 10,66	23,00 21,10	200 191	330 417	33,7 39,1	35 40	90	0,56 0,52	67	FX 67-K-170		1 1	AUS AUS	1973 1975
VSO-10	J. Janovec	ČSSR	15,00	7,00	12,00	18,75	234	380	31,7	36,2	94	0,63	72	FX 61-163	FX 60-126	1	DM + AUS	1976
Delfin VTC-3 ASW 20	T. Dragović Z. Gabriel G. Waibel	Jugosl. Jugosl. SR Nj.	15,00 15,00	7,20 6,82	12,82 10,50	17,55 21,43	222 250	325 375/454	25,3 32/43	31 43	87	0,70 0,60	75 73	NACA 63-615		1 1	D D	1978
<i>Hidrojedrilice</i>																		
Seeadler Jadran H-49 Split	H. Jakobs KB Ljubljana F. i V. Hranueli	SR Nj. Jugosl.	17,40 15,00	7,42 7,00	18,40 13,25	16,50 17,00	240 195	330 280	17,9 21,2	17,8 25	70 70	0,8 0,75	65 60,3	NACA 2415	N-71	1 1	D D	1955
<i>Visokosposobne jedrilice otvorene klase</i>																		
Austria D-30 Weīhe Orao IIc Slingsby Sky CVV 7 Pinocchio KB-9	Kupper AK Darmstadt H. Jakobs B. Cijan, S. Obad F. N. Slingsby V. Brit. E. Preti D. Cener M. Slanovec	SR Nj. SR Nj. SR Nj. Jugosl. Jugosl. Jugosl. Jugosl.	30,00 20,10 18,00 19,00 19,00 18,00 18,00	34,97 12,00 8,30 7,75 7,59 7,85 7,00	25,70 33,60 18,34 17,70 17,80 18,00 16,00	17,70 20,30 20,30 18,70 18,70 19,00 19,50	330 275 335 356 356 364 274	420 22,9 33 25,7 25,7 30,3 22,7	30 35 70 85 36 30 33	12 27 70 75 36 30 33	30 70 75 70 74 66 83	0,48 0,60 0,58 0,60 0,60 0,61 0,71	62 66 50 75 66 58 80	Gö 652 NACA 23012 Gö 549 Gö 549 R RAF 34 NACA 4415 NACA 643-618	M-6 M-12 RAF 34 NACA 4415 NACA 643-618	1 1 1 1 1 1 1	D D D D D D D	1931 1938 1938 1948 1952 1952 1954
Breguet 901 PIK-13 SZD-8 Jaskolka D-36	Franck Koskinen Finnska Poljska SR Nj.	Franc. Jugosl. Jugosl. Jugosl.	17,32 17,50 16,00	7,00 7,10 14,60	15,00 14,60 21,00	20,00 18,34 17,70	211 230 230	340 290 19,9	23,5 30 30	36 86 70	0,60 0,70 0,70	72 65 65	NACA serija 63 Gö 549		1 1 1	D D D	1954 1954 1954	
Kestrel 17 ASW-17	G. Waibel, W. Lemke, H. Friess	SR Nj. SR Nj.	17,00 20,00	6,72 7,55	11,60 14,84	25,00 27,00	260 405	400 495	43 32	97 44	0,55 0,53	74 82	FX 62-K-131 FX 60-126		1 1	AUS AUS	1969 1971	
BK-7	B. Karvalydis	SSSR	17,80	7,20	12,30	25,50	290	380	30,9	43	0,52		FX 62-K-131	FX 67-K-170	1	AUS	1972	
Jantar	A. Kurbiel	Poljska	19,00	7,11	13,38	27,00	290	420	31,4	47	0,50	75	FX 67-K-170	FX 67-K-150	1	AUS	1973	
FS-29	AK Stuttgart	SR Nj.	13,30 19,00	7,16 7,16	8,56 12,65	20,47 28,54	357	450	52,6 35,6	44	100	0,54	74	FX-73-170	FX-73-K-170	1	AUS	1975
<i>Visokosposobni dvojesedi</i>																		
Košava Cirus HS 62	M. Ilić A. Kisovec N. Hrisatović	Jugosl. Jugosl.	19,20 17,00	8,33 8,70	21,12 18,38	17,30 15,73	336 365	575 545	27,2 29,65	33,5 28	87 88	0,66 0,85	75 85	Gö 549 NACA 63-618 M	CAGI 731	2 2	D D	
Bergfalke 4 Blanik Calif A-21	E. Scheibe	SR Nj. CSSR	17,20 16,20	8,00 8,40	17,50 19,15	16,90 13,70	300 307	505 500	28,85 26,1	34 28	85 88	0,68 0,82	75 80	Wortman 1502 NACA 63 <sub>a</sub> 615	M-12 NACA 63 <sub>a</sub> A 612	2 2	DM M	1969 1965
	C. Ferrin L. Sonzio	Ital.	20,38	16,19	25,65	436	644	39,8	43	105	0,60	85	FX 67-K-170	FX-60-126	2 2	M M	1970	

## PODACI, IZMJERE I KARAKTERISTIKE RAZLIČITIH JEDRILICA

Naziv	Konstruktor	Država	Raspon krila m	Duljina m	Površina krila m <sup>2</sup>	Izduženje	Masa prazne jedrilice kg	Masa jedrilice u letu kg	Opterećenje krila kg/m <sup>2</sup>	Finesa	Brzina pri optim. fnesi km/h	Min. brzina propadanja m/s	Brzina pri min. propadanju km/h	Profil krila u koriđenu	Profil krila na krajtu	Broj sjedala	Materijal	Godina gradnje
Jedrilice leteće krilo																		
Fauvel A. V. 36 Marske Monarch	Ch. Fauvel J. Marske	Franc. SAD	12,00 11,89	3,10 3,51	14,20 16,26	10,00 8,70	110 100	190 204	13,4 12,55	20	64	0,85 0,91	56 51,5	NACA 43112	1 1	D D+ AUS	1951 1976	
Motorne jedrilice																		
Sportavia Sperber		SR Nj.	17,02	7,70	19,00	15,25	460	680	35,8	26	98	0,89	75	NACA 23015	NACA 23012	2 2	D D AUS	1972 1965 1978
Fauvel AV 222 Sole 77	Ch. Fauvel I. Šoštarić	Franc. Jugosl.	16,40 16,40	5,22 7,62	23,00	11,70	325 480	550 730		26 25	85 90	0,75 0,56	70 67					

Kratice za materijal konstrukcije: D drvo, M metal, DM drvo i metal, AUS armirana umjetna smola

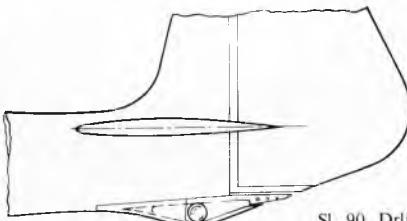
talnog tlaka, grubi i fini visinomjer, pokazivač klizanja, kompas, vanjski i unutrašnji termometar i dr. (v. *Avionski instrumenti*, TE1, str. 611).



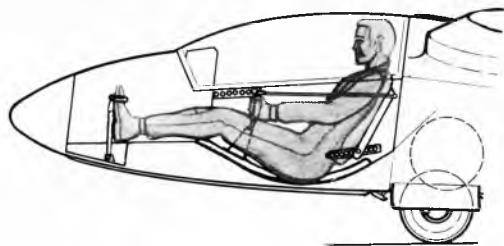
Sl. 86. Izgled pilotske kabine jedrilice



Sl. 89. Stajni trap izveden kao kotač sa skijom (na uvlačenje)

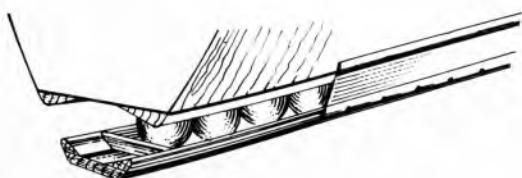


Sl. 90. Drljača s gumenim amortizerom



Sl. 87. Položaj pilota u kabini jedrilice

**Stajni trap.** Pod trupom se jedrilice nalazi uređaj za kretanje po tlu za vrijeme polijetanja, slijetanja i manevriranja. Školski i treнаžni jednosedi imaju skiju vezanu za trup preko gumenih amortizera koji preuzimaju udarce (sl. 88). Teže visokosposobne jedrilice imaju kotač ili kotač sa skijom (sl. 89). Kotač se često djelomično ili potpuno uvlači radi smanjenja otpora u letu. Teže jedrilice, dvosedi, imaju kotač s amortizerima. Kotač znatno olakšava manevriranje jedrilicom na tlu. Na zadnjem dijelu trupa postavlja se mala skija drljača koja štiti zadnji dio trupa od udarca pri polijetanju i slijetanju, s amortizerom od gume ili opruge (sl. 90).



Sl. 88. Skija s gumenim amortizerima

**Komande leta.** Sustav komanda jednak je kao u avionima (v. *Avion*, TE1, str. 562). Sustav veza između komandi pilota i kontrolnih površina u modernim visokosposobnim jedrilicama obično je krut, tj. izведен od cijevi. Školske i treнаžne jedrilice imaju jednostavnije, tzv. meke veze izrađene od čelične pletene užadi. Pored osnovnih komanda za upravljanje položajem jedrilice u letu, postoje i komande zakrilaca, trimera, zračnih kočnica, komande za otkačivanje od sredstava za vuču (vitlo, avion) te komande za uvlačenje i izvlačenje kotača ili skije, odnosno bočnih plovaka u hidrojedrilici.

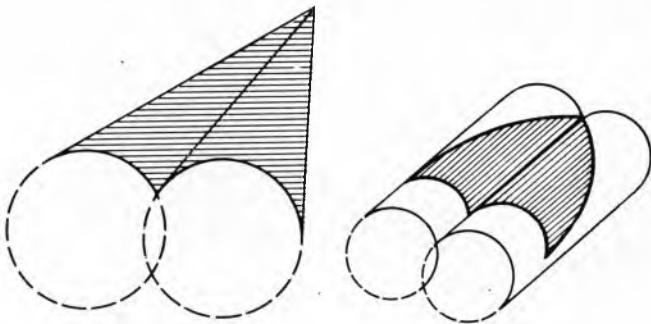
### ZMAJ

Zmajevi (Rogallovo krilo) nastali su kao rezultat istraživanja nove opreme za svemirske programe. Američki aerodinamičar F. M. Rogallo (po kojem ova vrsta letjelica i nosi ime) ispitivao je mogućnost primjene složivog autostabilnog krila sposobnog da leti brzinama 0,1...4,9 maha. Nakon niza eksperimenta ta je ideja zbog tehničkih poteškoća napuštena, ali ideja takvog krila, u nešto modificiranom obliku, našla je svoju primjenu kao rezvizit za sportsko letenje, koji je vrlo brzo stekao mnogobrojne pristalice. Relativno slaba aerodinamička svojstva u usporedbi s jedrilicama, nadoknađena su jednostavnošću gradnje, niskom cijenom, jednostavnom tehnikom pilotiranja i osjećajem pravog leta *poput ptice*, jer mu je let sa zmajem vrlo sličan.

Noseća površina tzv. koničnog Rogallova krila zapravo je površina dobivena presjekom dvaju stožaca (sl. 91). To je najčešća izvedba. U aerodinamičkom pogledu nešto bolje krilo koje ima površinu nastalu presjekom dvaju cilindara (sl. 92). I pored toga, rijetko se upotrebljava zbog težeg pilotiranja i što lako gubi uzgon (naročito je opasan za početnike).

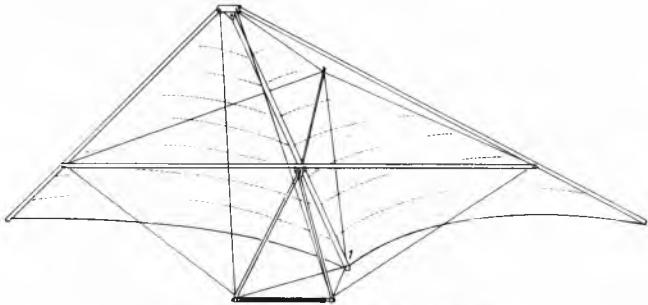
## JEDRILICA, ZRAČNA

Konstrukcija zmaja vrlo je jednostavna. Sastoji se od sustava duraluminijskih cijevi i žičanih zatega te tzv. trapeza za koji se drži, odnosno na kojem sjedi pilot, koji je specijalnim pojasom vezan za čvorište konstrukcije (ležeći položaj pilota u mnogim je zemljama zabranjen kao opasan). Preko konstrukcije nategnuto je platno od sintetskih vlakana (Nylon, Dralon i sl.) koje tvori nosivu površinu zmaja. Izlazna je ivica slobodna, bez ikakva ukrućenja. Kako je to krilo autostabilno, ne postoji nikakve površine za upravljanje, a potrebne evolucije pilot izvodi pomicanjem tijela, dakle mijenjanjem težišta. Izgled i konstrukcija takve letjelice vidi se na sl. 93.



Sl. 91. Površina Rogallova krila izvedena presjekom dvaju stožaca

Sl. 92. Varijanta Rogallova krila izvedenog presjekom dvaju valjaka



Sl. 93. Konstrukcijska shema zmaja

Srednje su karakteristike tih letjelica: raspon od 6...8m, površina 16...23 m<sup>2</sup>, kut strijele 78...140°, finesa 1:4...1:7. Kako je to krilo autostabilno, pri smanjenju napadnog kuta hvatište se sile uzgona pomiče naprijed i vraća zmaj u prvočitni položaj, a pri povećanju napadnog kuta hvatište se sile uzgona pomiče prema natrag te se napadni kut smanjuje. Može se desiti da zbog loše konstrukcije zmaj nema dovoljnu autostabilnost, i da se npr. smanjenjem napadnog kuta pomakne hvatište sile uzgona unatrag, što uzrokuje obrušavanje zmaja pod vrlo strmim kutom, iz kojeg se položaja vrlo teško ili nikako ne može izaći. Zato let na zmajevima nepogodne konstrukcije može biti vrlo opasan. Napadni kutovi, pri kojima su dobro konstruirani zmajevi autostabilni i sigurni za letenje, iznose 15 do 50°. Kad je kut manji od 15°, pojaviće se lepršanje krila, pri čemu se potpuno gubi uzgon i



Sl. 94. Zmaj-planér s krutim krilom

let se više ne može kontrolirati. Promjena težišta pomicanjem položaja pilota nema tada utjecaja na ishod leta. Također su velika opasnost nagla i jaka strujanja prema tlu, koja mogu smanjiti napadni kut na vrijednost manju od 15° i uzrokovati navedene posljedice. Relativno mnogo nesreća dešava se upravo zbog nepoznavanja strujanja prouzrokovanih reljefom terena i vjetrom, te zbog nedovoljne autostabilnosti.



Sl. 95. Eksperimentalni zmaj s motorom

Bolja svojstva od zmajeva, prije svega bolju finesu, imaju *zmajevi-klizači* s polukrutim krilima (sl. 94). Njima se također upravlja pomicanjem težišta, ali iziskuju veću uvježbanost pilota. Neki su od njih opremljeni i jednostavnim komandama leta, što u znatnoj mjeri povećava njihovu manevarsку sposobnost a time i sigurnost. Takvi klizači imaju finesu i do 12.

### PERSPEKTIVA RAZVOJA

Svakako da razvoj plastičnih jedrilica nije završen. U toku su pokušaji gradnje krila promjenljivog oblike i promjenljivog raspona da bi se povećala dubina poprečnog presjeka (zakrilca *Fowler* uzduž cijelog raspona). Novi materijali (uglavu vlakna umjesto staklenih), lakši za obradu, postaju po cijeni pristupačni, a svaka nova jedrilica donosi sve bolja konstruktivno-tehnološka rješenja, pa se sa sigurnošću može predskazati sve veća primjena armiranih umjetnih smola u zrakoplovnom jedriličarstvu. Za velike serije za sada se još uvijek postižu niži troškovi proizvodnje upotrebom metala (karakteristično za SAD). Potkraj 1975. godine u SR Njemačkoj registrirano je 4670 jedrilica. Od toga 1358 plastičnih, 98 metalnih, a 3214 od drva ili mješovite izvedbe od drva i metala. Slično je i u ostalim zemljama.

Oko 3/4 svih jedrilica ima raspon od 15m. Na to su utjecali propisi FAI i standardnoj klasi. Vrlo dobra letačka i manevarska svojstva takvih jedrilica i ekonomičnost u eksploataciji razlog je da su zastupljene u tako velikom postotku, iako mnogi konstruktori smatraju da je optimalni raspon 16...17m. Novi propisi neograničene klase raspona 15m (dozvolja upotrebu sredstava za povećanje uzgona i vodenog balasta) novi su poticaj za razvoj te klase jedrilica.

Jedrilice manjeg raspona, tzv. mini-klasa, nisu se uspjele održati u međunarodnoj konkurenциji.

U otvorenoj kategoriji jedrilica prevladavaju rasponi ~20m, te se zapravo može govoriti o posebnoj klasi jedrilica. Veći rasponi krila nisu dali očekivane rezultate, a konstruktivni i eksploracijski problemi potvrdili su neopravданo većih raspona.

Jedrilice raspona 15m imaju površinu 10...12m<sup>2</sup> (krajnje vrijednosti 8.5...14.5m<sup>2</sup>), što daje vitkost krila 18...20 (krajnje vrijednosti 16...26).

Velika izduženja smanjuju inducirani otpor, što je važno za male brzine, no prouzrokuju znatno povećanje težine krila, što povećava minimalne brzine i povećava propadanje.

Opterećenje krila suvremenih jedrilica iznosi 23...28 kg/m<sup>2</sup>. Upotrebom vodenog balasta može se opterećenje krila, ako je potrebno (izrazito povoljne aerološke prilike), povećati i do 45kg/m<sup>2</sup>.

Pored laminarnih aeroprofilja (NACA i druge serije), od 1950. godine razvijali su se i laminarni aeroprofilji posebno konstruirani za jedrilice. Najpoznatiji su oni koje su proračunali i konstruirali F. X. Wortmann i R. Eppler i koji su imali znatan utjecaj na razvoj jedrilice od armiranih umjetnih smola. Tome treba svakako dodati i specijalne aeroprofile za ostvarenje promjenljivog oblike krila (npr. FX 67-VC-170/136).

U posljednje su se vrijeme razvili i posebni aeroprofilii za horizontalne i vertikalne repne površine, a također je danas uobičajeno da se i trup izvodi iz aeroprofila.

LIT.: R. Jaeschke, Flugzeugberechnung. Oldenbourg Verlag, München-Berlin 1939. — H. Jacobs, Werkstattpraxis für den Bau von Gleit- und Segelflugzeugen. O. Maier Verlag, Ravensburg 1940. — S. Frati, L'aliante.

Hoepli, Milano 1946. — S. Pivko, Primjenjena aerodinamika. Tehnička knjiga, Beograd 1949. — C. D. Perkins, R. E. Hage, Airplane performance, stability and control. J. Wiley and sons, New York 1949. — B. Čijan, Vazduhoplovno jedriličarstvo. Tehnička knjiga, Beograd 1950. — W. J. Duncan, The principles of the control and stability of aircraft. Cambridge Laminarprofile für Segelflugzeuge. Aero-Revue, Heft 11, 1963. — F. Dubs, Aerodynamik der reinen Unterschallströmung. Birkhäuser Verlag, Basel-Stuttgart 1966. — J. B. Desfayes, Delta. Benteli Verlag, Bern 1975. — D. Geistmann, Die Entwicklung der Kunststoff Segelflugzeuge. Motorbuch Verlag, Stuttgart 1976. — G. Brüttig, Die berühmtesten Segelflugzeuge. Motorbuch Verlag, Stuttgart 1976. — Jane's all the World's Aircraft. J. W. R. Taylor, London 1976—1977.

B. Vajić

**JOD** (Iodium, I), kemijski element s atomskim brojem 53 i relativnom atomskom masom 126,904, četvrti po redu u sedmoj skupini periodnog sustava. Ispravni simbol joda je I, iako se često rabi i slovo J. Jedini stabilni izotop joda jest  $^{127}\text{I}$ . Broj radioaktivnih izotopa joda neprestano se povećava zahvaljujući otkriću novih umjetnih izotopa, među kojima postoje velike razlike u poluvremenu raspada. U slijedećem nizu svrstani su poznati nestabilni izotopi joda prema rastućoj masi atoma, a poluvrijeme raspada u zagradi izraženo je u sekundama (s), minutama (m), satima (h), danima (d) ili godinama (g):  $^{117}\text{I}$  (7 m),  $^{118}\text{I}$  (14 m),  $^{119}\text{I}$  (19 m),  $^{120}\text{I}$  (1,3 h),  $^{121}\text{I}$  (2,1 h),  $^{122}\text{I}$  (3,5 m),  $^{123}\text{I}$  (13,3 h),  $^{124}\text{I}$  (4,2 d),  $^{125}\text{I}$  (60 d),  $^{126}\text{I}$  (13 d),  $^{128}\text{I}$  (25,1 m),  $^{129}\text{I}$  (1,7 · 10<sup>7</sup> g),  $^{130}\text{I}$  (12,3 h),  $^{131}\text{I}$  (8,07 d),  $^{132}\text{I}$  (2,3 h),  $^{133}\text{I}$  (21 h),  $^{134}\text{I}$  (52 m),  $^{135}\text{I}$  (6,7 h),  $^{136}\text{I}$  (83 s),  $^{137}\text{I}$  (23 s),  $^{138}\text{I}$  (6 s) i  $^{139}\text{I}$  (2 s). Od tih izotopa najveću primjenu ima  $^{131}\text{I}$ , koji se upotrebljava kao radioaktivni obilježivač.

Elektronska konfiguracija joda, [Kr] 4d<sup>10</sup>5s<sup>2</sup>5p<sup>5</sup>, slična je onoj od ostalih halogenih elemenata, jer se u vanjskoj ljusci nalazi sedam elektrona, pa jod pokazuje veliku sklonost da primi jedan elektron i tako popuni vanjsku ljusku. Elektronska konfiguracija aniona joda, I<sup>-</sup>, jednaka je elektronskoj konfiguraciji plemenitog plina ksenona.

Jod je otkrio 1811. godine francuski kemičar B. Courtois kada je dobio ljubičaste pare djelovanjem vruće sulfatne kiseline (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) na pepeo morskih trava. Courtois je nazvao te pare, koje su se kondenzirale u crnu kristaličnu tvar, supstanciju X. Engleski kemičar H. Davy utvrdio je da je supstancija X po svojstvima slična kloru i predložio ime jod prema grč. *ιοειδής* (*ljubičast*). Prema drugoj verziji, ime jodu dao je francuski kemičar J. L. Gay-Lussac, koji je i prvi opisao svojstva joda.

Prava sirovina za dobivanje joda bio je pepeo morskih trava, a to je još i danas u Japanu glavni izvor joda. Da se jod nalazi kao pratalac čilske salitre u obliku minerala lautarita, bezvodnog kalcij-jodata, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, otkriveno je 1840. godine, pa su nitrat iz Čilea postali i ostali do danas glavno vrelo za tehničko dobivanje joda. Jod je 1920. godine otkriven i u vodama slanih izvora u SAD, koji danas postaju sve važniji za dobivanje joda.

Prema količini u Zemljinoj kori jod se ubraja u relativno rijetke elemente, kao što su npr. kositar, antimon, cezij i bor. U malim koncentracijama jod se nalazi u stijenama, mineralima, moru i podzemnim slanim vodama. Čovječe tijelo sadrži jod u obliku aromatske aminokiseline tiroksina, koja se stvara u štitnoj žlijedzi. U malim količinama jod se nalazi u mnogim biljnim i životinjskim dijelovima. Velike količine joda nalaze se u oceanima, gdje u prosjeku jedan kubični kilometar morske vode sadrži 55 t joda. Iako je koncentracija joda u moru niska (oko 0,05 dijelova na milijun), neke alge mogu ekstrahirati jod iz morske vode i akumulirati ga do te mjere da smeda vrsta algi *Laminaria* u osušenom stanju sadrži 0,45% joda.

### ELEMENT JOD

**Svojstva.** U elementarnom stanju jod je crna krutina sastavljena od ljusaka koje imaju slabi kovinasti sjaj. Ortormopske je kristalne strukture. Zagrijavanjem na atmosferskom tlaku jod lako sublimira uz pojavu ljubičastih para. Jod se tali na 113,5°C, a vri na 184,4°C. Gustoća joda iznosi 4,94 g cm<sup>-3</sup>.

Kao i ostali halogeni elementi, jod se u elementarnom stanju nalazi u obliku dvoatomnih molekula, u kojima su atomi povezani kovalentnim vezama. Veze među molekulama su slabe, a posljedica su van der Waalsovih privlačnih sila.

Topljivost joda u vodi je veoma mala i iznosi 0,33 g u litri vode na 25°C. Takva je otopina (*jodna voda*) smeđozute boje,

iako bi se mogla očekivati ljubičasta boja prema jodu. Ta promjena boje upućuje na međusobno djelovanje molekula vode i joda. Molekule vode zbog svog jakog dipolnog značaja polariziraju velike molekule joda. Na taj se način javljaju među njima privlačne sile i nastaje smede obojeni kompleksni spoj joda s vodom.

Topljivost joda u vodi znatno se povećava u prisutnosti jodid-iona, jer se stvaraju trijodid-ioni:



U tu se svrhu upotrebljava kalij-jodid. Mnoga organska otapala lako otapaju jod, a otopina je smede ili crvene boje zbog stvaranja kompleksa, ili ljubičaste boje zbog slobodnih I<sub>2</sub> molekula u otopini. Smede otopine dobivaju se otapanjem joda u etanolu (*jodna tinktura*), eteru, tekućem sumpor(IV)-oksidu (SO<sub>2</sub>) i acetonom, a ljubičaste je boje otopina joda u ugljik(IV)-sulfidu (CS<sub>2</sub>), kloroformu i ugljik(IV)-kloridu (CCl<sub>4</sub>). Crvenkastosmeđe otopine daju aromatska otapala, kao npr. benzen i mezitilen.

Specifična i karakteristična reakcija joda jest stvaranje intenzivno plave otopine sa škrubom. Pri tome nastaje kompleksni spoj plave boje, u kojem su atomi joda smješteni između linearnih polisaharidnih lanaca. Ta reakcija služi za dokazivanje i joda i škruba, a primjenjuje se i za određivanje oksidacijskih sredstava. U smjesi kalij-jodida i škruba oksidacijsko sredstvo će oksidirati jodid-ion u jod, koji će s prisutnim škrubom dati plavu boju.

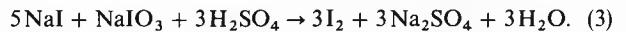
Od svih halogenih elemenata jod je najmanje elektronegativan, tj. najteže se reducira. S druge strane, jod se među halogenim elementima najlakše oksidira. Najvažnija reakcija joda je redukcija elementarnog joda u jodid-ion pomoću jačih reduksijskih sredstava, kao što su sumpor(IV)-oksid (SO<sub>2</sub>), sumporovodik (H<sub>2</sub>S) i tiosulfat-ion (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Umjereno jaka oksidacijska sredstva kao što su željezo(III)-ion i brom mogu oksidirati jodid-ion u elementarni jod.

Jod je biološki veoma važana. Nalazi se u svim tjelesnim stanicama i u ljudskom organizmu ima ga oko 50 mg, od čega se petina nalazi u štitnoj žlijedzi, u hormonu tiroksinu, C<sub>15</sub>H<sub>11</sub>O<sub>4</sub>NI<sub>4</sub>. Jod se može uzimati kao lijek u različnim oblicima, ali se iz probavnog trakta apsorbira samo kao jednostavni jodid-ion, pa je natrij-jodid najpogodniji spoj za oralno uzimanje. Normalnoj odrasloj osobi potrebno je godišnje oko 75 mg joda. Jod je potreban za rast stanica ljudskog i životinjskog organizma, a pomanjkanje joda u hrani uzrokuje teške poremećaje u metabolizmu i žlijedzama. Najveće smetnje javljaju se u funkcijama štitne žlijedze, pa može doći i do gušavosti. Pomanjkanje joda u ishrani nadoknađuje se dodavanjem natrij-jodida u kuhinjsku sol (oko 0,01% NaI). Preparati joda dodaju se i u stočnu hranu. Velike količine joda mogu biti štetne za organizam, a smrtna doza iznosi 2...3 g.

**Dobivanje elementarnog joda.** Najveći dio svjetskih potreba za jodom podmiruje se iz čilske salitre, koja sadrži 0,05...0,1% joda u obliku natrij-jodata, NaIO<sub>3</sub>, i kalcij-jodata, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Postupak se sastoji u tome da se najprije kristalizacijom iz vodene otopine čilske salitre uklanja natrij-nitrat, NaNO<sub>3</sub>, dok se ne postigne koncentracija oko 6 g NaIO<sub>3</sub> na litru otopine. Tada se odvoji dio otopine jodata i s točno određenom količinom natrij-hidrogensulfita reducira se jodata u jodid:



Dobivena otopina miješa se sa stehiometrijskom količinom matične otopine jodata, tako da se sav jod istaloži u obliku elementarnog joda:



Istaloženi jod se otfiltrira, ispirje vodom, suši i čisti sublimacijom. U trgovinu se šalje u drvenim bačvama.

U novije vrijeme sve je važnije dobivanje joda iz izvora slanih voda ili iz emulzija koje izlaze na površinu iz bušotine za naftu. Taj postupak je prvi put primijenjen još u vrijeme prvoga svjetskog rata, a danas je to glavni način dobivanja joda u SAD. Postupak se sastoji od tri glavne faze (sl. 1):