

vitamin B₂) vrlo su važni za žive organizme. Pteridini su također korisni protiv određenih vrsta leukemije.

Triazin. Od tri moguća triazina poznat je samo 1,3,5-triazin. Triazinski prsten lako se otvara u razrijeđenoj kiselini, te daje mravlju kiselinu i amonijak. I nukleofilni napad dovodi do otvaranja prstena. U reakciji triazina s natrij-amidom dobije se natrij-cijanid i amonijak. Triazini se mogu pripraviti adicijom azida na olefine. Cijanuril-klorid (2,4,6-triklor-1,3,5-triazin) je važan u industriji boja. S amonijakom lako prelazi u melamin (2,4,6-triamino-1,3,5-triazin), koji je sastavni dio melaminformaldehidnih smola za električne izolatore. Neki supstituirani triazini upotrebljavaju se kao kemoterapeutici i insekticidi.

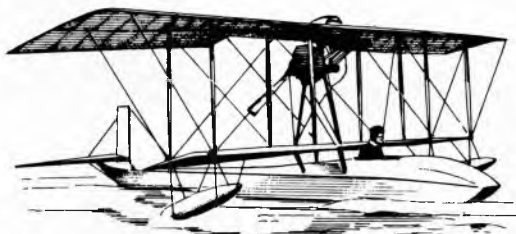
LIT.: R. M. Acheson, Introduction to the chemistry of heterocyclic compounds. Interscience Publishers, Inc., New York 1960. — Advances in heterocyclic chemistry, Monographies, A. R. Katritzky et al., Eds. Academic Press, New York, Vol. 1, 1963. . . . — H. M. Palmer, Heterocyclic compounds. Arnold, London 1967. — R. T. Morrison, R. N. Boyd, Organic chemistry. Allyn and Bacon, Inc., Boston 1973.

K. Humski

HIDROAVION (hidroplan), leteći stroj iz kategorije dinamičkih letećih strojeva (v. *Avion*, TE1, str. 562) prilagođen za polijetanje s vode, slijetanje na vodu i plovljenje po vodi. Hidroavion opremljen stajnim trapom koji omogućava polijetanje i slijetanje na tvrdo tlo naziva se amfibijom.

Razvoj hidroaviona omogućili su teoretski radovi D. Bernoullija, J. S. Russela i W. Froudea, na kojima se temelji hidrodinamika, i eksperimenti mnogih graditelja letjelica koji su veoma brzo otkrili izvjesne prednosti polijetanja s vode i slijetanje na vodu. U tome su znatan doprinos dali Francuz A. Pénaud (1871), Englez C. M. Ramus (koji je 1872. otkrio prednost stepenice na dodirnoj površini plovka s vodom), Austrijanac W. Kress (1901), Amerikanac S. P. Langley i Francuz G. Voisin, koji je 1905. godine prvi poletio s rijeke uz pomoć motornog čamca jer nije raspolagao motorom dovoljno snažnim za postizanje brzine odljepljivanja. Prvi je poletio s vode i sletio na vodu Francuz H. Fabre 1910. na jezeru Barre na hidroavionu sa tri plovka bez stepenice, koji su svojim oblikom jedno vrijeme služili kao uzor i drugim konstruktorima.

Ratne flote velikih pomorskih država počele su eksperimentirati s upotrebom hidroaviona za ratne svrhe već 1910—1911. godine, a 1912. održano je prvo natjecanje hidroaviona u Monacu. Prvi tip hidroaviona proizveden u većem broju bio je francuski leteći čamac Donnet-Lévêque iz 1913. godine (sl. 1), koji je oblikom svog hidrotropa poslužio kao uzor za gradnju većine hidroaviona koji će biti upotrijebljeni u prvome svjetskom ratu.



Sl. 1. Hidroavion Donnet-Lévêque iz 1913.

U prvome svjetskom ratu najširu primjenu našao je laki hidroavion za izvidanje. Snaga motora tih hidroaviona bila je 100—200 KS, mogli su da razviju brzinu 120—140 km/sat i mogli su ostati u zraku 4—6 sati. Engleska mornarica već u početku rata uvodi brodove nosače hidroaviona. Prvi uspješan torpedni napad izvršen je 1915. u Mramornom moru (Savezničke operacije u Dardanelima) lansiranjem torpeda s hidroaviona tipa Short 184 (sl. 2). U toku prvoga svjet-



Sl. 2. Torpedni hidroavion Short iz 1915.

skog rata hidroavion je znatno tehnički usavršen i konstruirano je mnogo tipova izviđačkih, torpednih i lovačkih hidroaviona. Znatno je porastao i njihov broj, pa su npr. na kraju rata hidroavioni sačinjavali 55% ukupne snage francuskog ratnog zrakoplovstva. To je već nagovještavalo ono što će se dogoditi u razdoblju između dva rata — da će hidroavion nadmašiti avion gotovo u svim važnijim performansama i obujmu primjene.

Jedan od razloga za takav razvoj bila je potreba za uvođenjem preko-oceanskih zračnih veza. Hidroavioni nisu zahtijevali gradnju dugačkih pista i, kako im dužina zaleta nije bila ograničena, mogli su ponijeti i 20% korisnog tereta više nego avioni. Sposobnost hidroaviona da se održe na vodi i na uzburkanom moru bila je također jedan od faktora koji su utjecali na to da se u preko-oceanskom putničkom i poštanskom prometu upotrebljavaju isključivo hidroavioni. Era velikih putničkih hidroaviona započela je gradnjom gigantskog letećeg čamca Dornier Do-X (1929. godine: sl. 3) koji je mogao ponijeti 170 putnika, a završila je gradnjom najvećeg ikad konstruiranog hidroaviona, Hughesovog Herculesa, predviđenog za 700 putnika, koji je izvršio samo jedan pokusni let 1947. godine (zbog poteškoća s materijalom za vrijeme rata izrađen je kao drvena konstrukcija).



Sl. 3. Hidroavion Dornier Do-X iz 1929.

Iako je aerodinamički otpor hidroaviona tadašnje konstrukcije bio osjetno veći od otpora aviona istih dimenzija, neograničena dužina zaleta hidroaviona i njegova mogućnost slijetanja većim brzinama (uređaji za hiperpotisak i smanjenje brzine slijetanja još nisu postojali) omogućavale su primjenu većih specifičnih opterećenja krila i upotrebu snažnijih motora, pa su od 1927. do 1939. godine apsolutni rekord u brzini leta držali specijalno građeni hidroavioni. U tome je posebno bilo važno takmičenje za Schneiderov pehar koji su naizmjenično osvajali Amerikanci, Italijani i Englezi na trkačkim hidroavionima tvrtki Curtiss (SAD), Macchi (Italija) i Supermarine (V. Britanija, sl. 4). Iskustva s tim letjelicama poslužila su kao osnova za stvaranje lovačkog aviona niskokrilca, koji će doživjeti svoj vrhunac u drugome svjetskom ratu.



Sl. 4. Hidroavion Supermarine S 6B (Schneiderov pehar 1931)



Sl. 5. Hidroavion SM iz 1924.



Sl. 6. Hidroavion IO iz 1926.



Sl. 9. Hidroavion SIM-XII-H iz 1937.



Sl. 7. Hidroavion FA iz 1931.



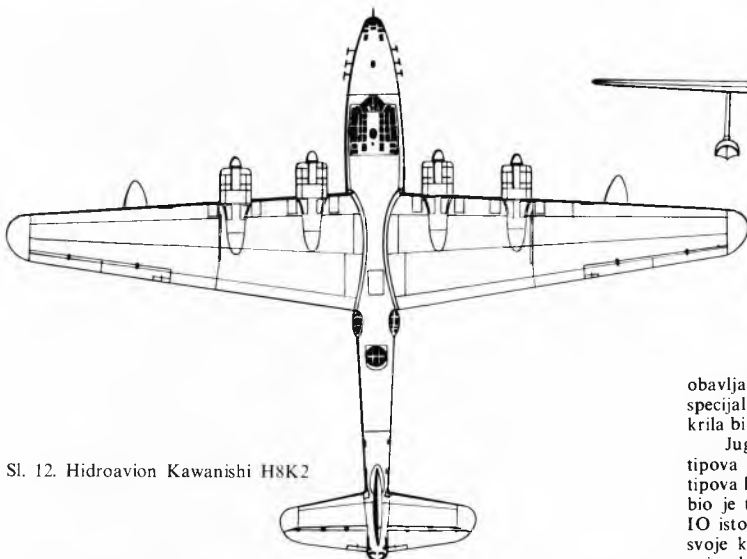
Sl. 10. Hidroavion SIM-IV-H iz 1938.



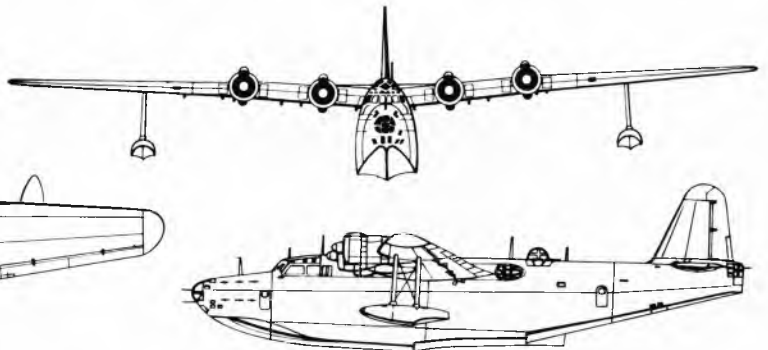
Sl. 8. Hidroavion PVT-H iz 1936.



Sl. 11. Amfibija Catalina PBY-5A



Sl. 12. Hidroavion Kawanishi H8K2



Katapultiranje hidroaviona, tehnički riješeno još u toku prvoga svjetskog rata, postalo je normalnom praksom, pa su od 1925. godine na sve bojne brodove i krstarice postavljeni katapultni za hidroavione, koji su, osim izvidanja,

obavljali i korekturu vatre brodskih topova. Obavljeni su eksperimenti i sa specijalnim hidroavionima malih dimenzija za podmornice, koji su sklopljenih krila bili smješteni u posebne spremnike podmornice dok je ona bila uronjena.

Jugoslavensko je mornaričko zrakoplovstvo između dva rata, uz nekoliko tipova hidroaviona strane proizvodnje (Dornier, Fairchild, Fleet), imalo i više tipova hidroaviona domaće konstrukcije i proizvodnje. Prvi školski hidroavion bio je tip SM (Mickl 1924. sl. 5), a zatim 1926. slijedi izviđački hidroavion IO istog konstruktora (sl. 6). Poznati naš konstruktor R. Fizir adaptira 1931. svoje konstrukcije školskog aviona FN i trenajno-akrobatskog FA u hidroavionsku verziju (sl. 7). U razdoblju do 1941. grade se u nas hidroavioni tipa PVT-H (sl. 8: konstruktorska grupa R. Fizir, S. Milutinović, Lj. Ilić, K. Sivčev) te SIM-XII-H (sl. 9) i SIM-VI-H (sl. 10) S. Milutinovića. Prvu jugoslavensku amfibiju konstruirao je R. Fizir 1929. godine.



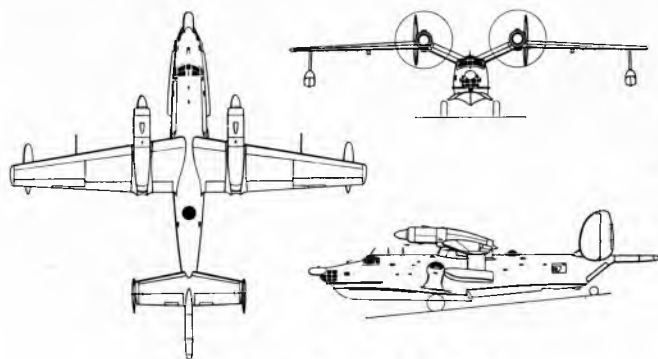
Sl. 13. Hidroavion Martin Mariner



Sl. 14. Hidroavion Dornier Do 24



Sl. 15. Hidroavion Princess Saunders-Roe SR 145



Sl. 16. Hidroavion Saunders-Roe SR A/I

U drugome svjetskom ratu upotrebljavani su na svim frontovima brojni hidroavioni i amfibije. Kako su oni prema općim performansama zaostajali za avionima, manje su korišteni za neposredne napade a više za praćenje i zaštitu konvoja, izvidanje, borbu protiv podmornica, kao polagači i čistači magnetskih mina, za spasavanje posada aviona oborenih u more i za transport.

Brza izgradnja mreže velikih vojnih i civilnih aerodroma poslije drugoga svjetskog rata sve više je oduzimala jedinu izrazitu prednost koja je preostala hidroavionima, a to je mogućnost polijetanja s prirodnih vodenih površina i slijetanje na njih. Zbog toga je broj novih konstrukcija hidroaviona opadao iz godine u godinu. Britansko ratno zrakoplovstvo odustalo je od gradnje mlažnog lovačkog hidroaviona tipa Saunders Roe SR A/I (sl. 16), iako je prototip pokazao dobre letne i eksploatacijske osobine. Postepeno se primjena hidroaviona u ratnom zrakoplovstvu svela praktično samo na patroliranje, izvidanje i spasavanje na moru. Opao je i broj novih tipova sportskih i turističkih hidroaviona. Uglavnom još upotrebljivi veliki patrolni hidroavioni našli su, međutim, potpuno novo polje primjene u akcijama gašenja šumskih požara. Na hidroavionima su ugrađene specijalne pumpe koje u toku glisiranja po vodi pune rezervoare, konstruirane tako da se mogu brzo isprazniti nad mjestom požara. Od 1967.

godine tvrtka Canadair proizvodi leteće čamce tipa CL-215, specijalno konstruirane za gašenje šumskih požara (sl. 17) koji pri brzini glisiranja oko 110km/h napune u roku 15-20 sekunda rezervoare sa 5,5m³ vode.

Laki hidroavioni pokazali su se u našoj zemlji veoma korisni za održavanje veze s otocima, za patroliranje, kurirsku i prijevoznu službu. Oni nalaze svoje mjesto i u koncepciji opće narodne obrane na Jadranu i u primorskim oblastima, jer su jednostavniji za upotrebu i održavanje i često ekonomičniji od helikoptera. Po svemu sudeći, za različite specifične namjene i uvjete hidroavion će još dugo ostati nezamjenjiva letjelica (sl. 18 i 19).



Sl. 17. Amfibija Canadair CL-215



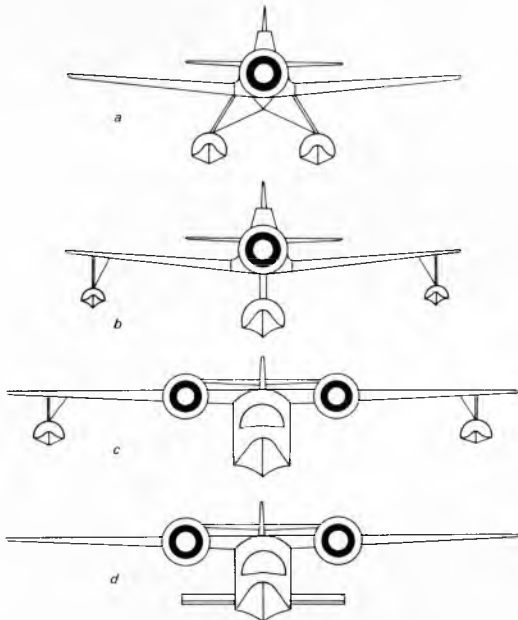
Sl. 18. Hidroavion Aero 2H



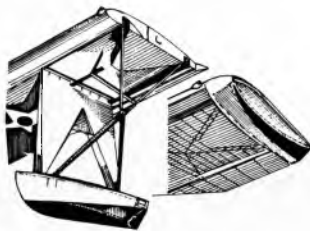
Sl. 19. Hidroavion Utva 60H

Konstruktivske koncepcije hidroaviona. Ostavljajući postrani konstruktivske koncepcije s obzirom na broj motora, položaj krila i dr. koje mogu utjecati na opće konstruktivsko rješenje hidroaviona, oni mogu biti hidroavioni s *plovcima* (sl. 20a i b) i hidroavioni s *hidrotrupom-čamcem* (sl. 20c i d). Od eksperimenata s uvlačivim hidrokrlima ili hidroskijama odustalo se nakon loših iskustava s hidroavionom Sea Dart u SAD 1952. godine. Uvjeti stabilnosti na vodi zahtijevaju da hidroavion s plovcima ima ili dva plovka ili jedan centralni plovak s pomoćnim plovcima (*balonetima*), sl. 20b. Leteći čamac, ukoliko nije građen kao dvo-trupac, također mora imati balonete (sl. 20c) ili *bočne plovke* (*krnje*) (sl. 20d). Bočni plovci (krnje) daju hidroavionu odličnu stabilnost na uzburkanom moru, ali pružaju veći aerodinamički otpor od baloneta. Baloneti se, zbog svojih dimenzija, rijetko kada uvlače (na hidroavionu Catalina PBY kao baloneti su služili ivičnjaci krila oblikovani kao plovci, koji su se spuštali za kretanje po vodi, sl. 21).

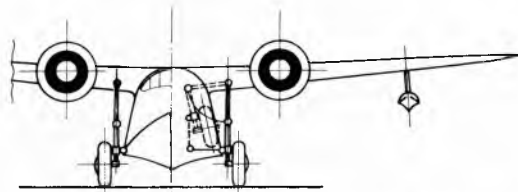
Plovni trap u obliku plovaka ili hidrotropa s pomoćnim osloncima veoma je složen sustav, prvenstveno zbog toga što su uvjeti dobrog aerodinamičkog i dobrog hidrodinamičkog oblikovanja kontradiktorni, te je u svakom konkretnom slučaju potrebno pronaći optimalno kompromisno rješenje. Pri tome treba zadovoljiti uvjete dobre stabilnosti plovaka ili hidrotropa u mirovanju, za vrijeme vožnje i manevriranja po vodi, ostvariti potpunu sigurnost polijetanja i slijetanja na uzburkanom moru (dozvoljena visina valova i brzina vjetrova propisuju se u skladu sa zahtjevima koje nameće namjena i kategorija hidroaviona), osigurati što manji hidrodinamički otpor pri startu uz formiranje što manjih valova, prskanja i pjene te poduzeti mjere za sprečavanje uzdužnog klanjenja i poskakivanja hidroaviona po vodi pri polijetanju i slijetanju.



Sl. 20. Konfiguracija plovnog trapa. a hidroavion sa dva plovka, b hidroavion s centralnim plovkom i bočnim balonetima, c hidroavion s hidrotropom-čamcem i bočnim balonetima, d hidroavion s hidrotropom-čamcem i bočnim plovcima (krnjama)



Sl. 21. Ivičnjak-balonet u izvučenom i uvučenom položaju



Sl. 22. Stajni trap amfibije (crtkano u uvučenom položaju)

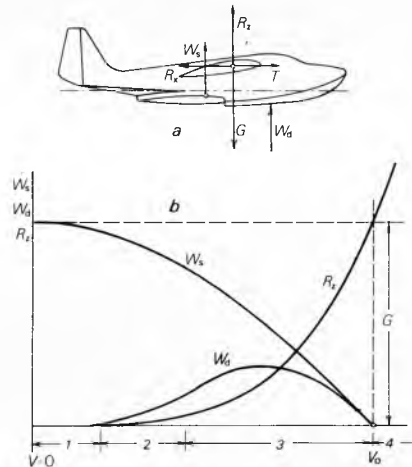
Zahtjevi koji se obično postavljaju konstruktorima aviona — što manji aerodinamički otpor i što manja težina letjelice — uglavnom su u suprotnosti s ovim uvjetima.

Kad to zahtijeva konfiguracija terena ili uvjeti eksploatacije, primjenjuju se hidroavioni opremljeni osim plovnim također i stajnim organima (stajnim trapom). Ta je koncepcija poznata pod nazivom *amfibija*. Kako se za polijetanje, odnosno slijetanje

može istovremeno koristiti samo jednim od spomenutih organa (tj. prema tome da li se polijeće, odnosno slijeće na kopno ili vodu), to se stajni trap izvodi s mogućnošću uvlačenja, te je za vrijeme kretanja po vodi i leta uvučen (sl. 22). Premda amfibija opterećena dodatnom težinom stajnog trapa uz jednaku pogonsku snagu mora imati slabije performanse u usporedbi s avionom ili hidroavionom, svestranost njene primjene to nadoknađuje, tako da se danas u eksploataciji nalazi više amfibijskih koncepcija nego čistih hidroavionskih.

Stabilnost na vodi. Osnovne geometrijske karakteristike plovka. Osnovni je uvjet za održavanje hidroaviona na vodi, dok je u stanju mirovanja ili polaganog kretanja, da je sila teže koja djeluje na masu hidroaviona u ravnoteži sa silom hidrostatičkog uzgona ($G = mg = W_0$), tj. da je masa vode koju istisne trup ili plovci (deplasman) jednaka masi hidroaviona; dakle, $\rho V = m$, gdje je V volumen uronjenog dijela, ρ gustoća vode (za morsku vodu $\rho \approx 1025 \text{ kg m}^{-3}$), a m ukupna masa hidroaviona.

Porastom brzine pojavljuje se hidrodinamička uzgonska sila W_d koja sve više nadomještava hidrostatički uzgon, hidroavion počinje glisirati. S daljim porastom brzine pojavljuje se aerodinamička sila uzgona R_z koja pri nekoj određenoj brzini, tzv. *brzini odljepljivanja*, postaje jednaka sili teže koja djeluje na masu hidroaviona te hidroavion prelazi u režim leta (sl. 23a, b).



Sl. 23. Kretanje hidroaviona pri polijetanju: a sile koje djeluju na hidroavion, b tok vertikalnih sila u polijetanju. G težina hidroaviona, T vučna sila, R_z uzgon, R_x otpor, W_0 hidrostatička sila uzgona, W_d hidrodinamička sila uzgona, V brzina, V_0 brzina odljepljivanja; 1 režim plivanja, 2 prijelazni režim, 3 režim glisiranja, 4 režim leta

Radi sigurnosti plovidbe, boljih maritimnih svojstava i što manjeg gaza, uzima se deplasman potpuno uronjenog trupa, odnosno plovka, dva puta veći od ukupne mase hidroaviona. Na to se, pri projektiranju, radi eventualnog daljeg usavršavanja letjelice (što najčešće rezultira povećanjem mase) dodaje i rezerva 10...15%.

Najveća širina plovka ili hidrotropa b , obično na stepenici, važan je geometrijski parametar plovnog trapa i najčešće se usvaja kao referentna veličina za hidrodinamičke koeficijente.

Kompromisnim rješavanjem kontradiktornih hidrodinamičkih uvjeta dobivena je za moderne plovke s klinastim dnom i stepenicom iskustvena formula

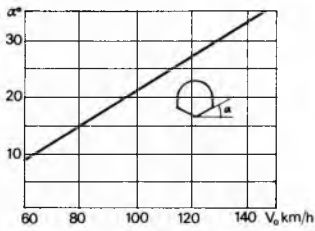
$$b = \frac{0,367}{V_0} \sqrt[3]{\frac{m}{\text{ctan } \alpha}}, \quad (1)$$

gdje je V_0 brzina odljepljivanja u km/h, α kut klina plovka prema horizontalu.

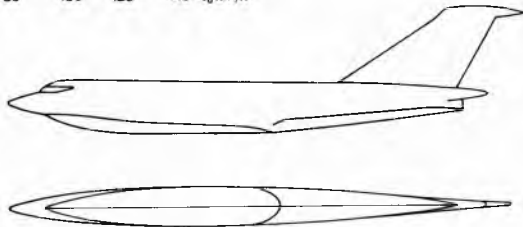
Veći kut α ublažava udarce pri slijetanju i u vožnji po valovima (bolja maritimna svojstva), ali zahtijeva veću snagu za postizavanje potrebne brzine odljepljivanja od vode zbog većeg hidrodinamičkog otpora (sl. 24).

Vitkost plovka, odnosno hidrotropa λ (omjer njegove duljine l i širine b), određuje se iz uvjeta optimalnog optjecanja vode

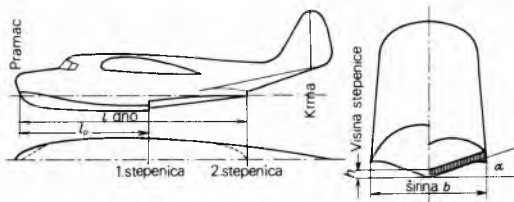
oko plovka i treba da iznosi $\lambda_{opt} = 7 \dots 8$. U novijim se konstrukcijama u nekim slučajevima uzima λ čak i $10 \dots 12$ kako bi se poboljšale aerodinamičke karakteristike hidrotrupa, žrtvujući u izvjesnoj mjeri hidrodinamičke i maritimne karakteristike. U ekstremnim se slučajevima ide još dalje, te se hidrotrup oblikuje bez stepenice (sl. 25).



Sl. 24. Ovisnost kuta klina stepenice o brzini odljepljivanja



Sl. 25. Hidrotrup bez stepenice



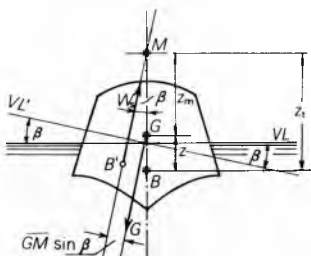
Sl. 26. Geometrijski parametri hidrotrupa

Udaljenost težišta deplasmana modernog plovka, odnosno hidrotrupa, od pramca iznosi $x = 0,45 \dots 0,48l$ i mora ležati na vertikali težišta cijelog hidroaviona. Duljina prednjeg dijela do stepenice na plovcima i hidrotrupovima s jednom stepenicom obično je $l_p = 0,5 \dots 0,55l$, odnosno $\approx 0,2b$ (sl. 26).

Ako je hvatište vučne sile vrlo nisko, kao npr. u hidro-jedrilici, položaj se stepenice nalazi na $0,10 \dots 0,15b$ iza težišta. Općenito se može reći da je udaljenost težišta iza stepenice to veća što je hvatište vučne sile više i što je ta sila veća. Tako npr. u hidroavionu za Schneiderov pehar ta je vrijednost iznosila $\approx 0,32b$.

Metacentar. Kad hidroavion pliva na vodi, on može da oscilira oko uzdužne osi (njihanje) ili poprečne osi (posrtanje). Dok hidrotrup, odnosno plovak leži na vodi u neutralnom položaju, dakle bez nagiba (kut $\beta = 0$), sila uzgona W_s ima hvatište u težištu istisnine B (sl. 27) i leži na zajedničkoj vertikali s težištem G hidroaviona. Nagne li se hidrotrup za stanoviti kut β , mijenja se i oblik njegovog uronjenog dijela, a time i položaj težišta istisnine, te će sila uzgona W_s imati sada hvatište u B' , dok težište hidroaviona ostaje kao i ranije u točki G . Sjecište sile uzgona nagnutog hidrotrupa s njegovom simetralom naziva se **metacentrom** (točka M), a udaljenost u tom položaju od sjecišta M do težišta G **metacentarskom visinom** z_m .

Ako hidroavion ima poprečan nagib, onda se govori o **poprečnom metacentru** i poprečnoj metacentarskoj visini (sl. 27),



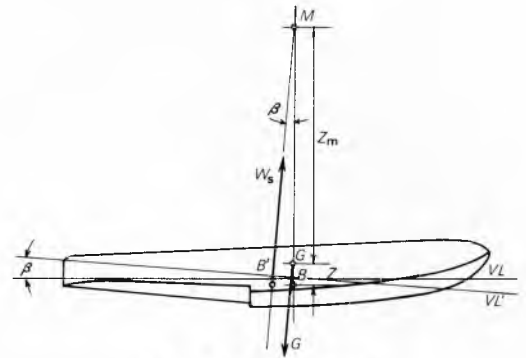
Sl. 27. Poprečni metacentar

a ako ima uzdužni nagib, onda o **uzdužnom metacentru** i uzdužnoj metacentarskoj visini (sl. 28).

U nagnutom položaju hidroaviona, iz hvatišta sile uzgona W_s u točki B' djeluje, s obzirom na točku B , nagibni moment $Gz \sin \beta$ i povratni moment, tzv. moment stabiliteta $W_s z_i \sin \beta$. Rezultirajući moment jest

$$G(z_i - z) \sin \beta = G z_m \sin \beta, \tag{2}$$

gdje su oznake prema sl. 27.



Sl. 28. Uzdužni metacentar

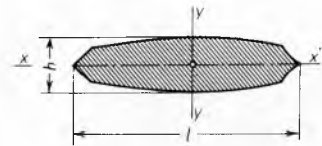
Metacentarska visina z_m jest mjera hidrostatickog stabiliteta hidrotrupa, odnosno plovka, a omjer z_i/z naziva se **faktorom stabiliteta FS**

$$FS = \frac{z_i}{z} = \frac{z + z_m}{z} = 1 + \frac{z_m}{z} \tag{3}$$

Položaj metacentra M hidrotrupa ili plovka određuje se prema formuli

$$z_i = \frac{I_w}{V}, \tag{4}$$

gdje je I_w moment inercije vodne linije (konture uronjenog dijela) hidrotrupa ili plovka za odgovarajuću os oscilacija (sl. 29), a V volumen istisnute vode.



Sl. 29. Kontura (vodna linija) uronjenog dijela hidrotrupa ili plovka

Kao uvjet statičke stabilnosti na vodi za hidroavion se propisuju poprečna i uzdužna visina metacentra. Prva se određuje prema formuli

$$z_m \approx 0,396 k_m \sqrt[3]{m}, \tag{5}$$

gdje se koeficijent k_m uzima $0,75 \dots 1,4$, već prema tipu hidroaviona. Niža vrijednost primjenjuje se na velike hidrotrupove s relativno niskim položajem težišta, a viša na male hidroavione s relativno visoko postavljenim težištem. Za hidroavione sa dva plovka upotrebljava se formula

$$z_m \approx 16 k_{m1} \frac{ls^2 b}{m}, \tag{6}$$

gdje je s razmak (trag) plovaka. Koeficijent k_{m1} uzima se $17,7 \dots 20,8$.

Visina uzdužnog metacentra mora biti veća od visine poprečnog oko 50%. Tada vrijedi

$$z_m \approx 0,594 k_{m2} \sqrt[3]{m}, \tag{7}$$

odnosno

$$z_m \approx 16 k_{m2} \frac{nb l^3}{m}, \tag{8}$$

gdje je n broj plovaka, a k_{m2} koeficijent koji iznosi 1,9...2,4. Iz uvjeta za visinu poprečnog metacentra može se izvesti izraz za razmak (trag) plovaka

$$s = 0,157 \sqrt{\frac{k_m m^2}{k_{m1} \sqrt{lb}}} \quad (9)$$

Na hidroavionima s hidrotrupom (letećim čamcima) ili hidroavionima sa jednim centralnim plovkom stabilnost na vodi ostvaruje se pomoću baloneta. Baloneti se postavljaju tako da dodiruju vodu pri nagibu $\beta \approx 1 \dots 2^\circ$, a do potpunog zaronjavanja baloneta dolazi pri $\beta \approx 8^\circ$. Baloneti treba da osiguraju dovoljno velik povratni moment kako u statičkim uvjetima tako i pri nesimetričnom opterećenju hidroaviona i bočnom vjetru. Prema iskustvu, dopunski je nagibni moment zbog bočnog vjetra i ostalih sila

$$\Delta M \approx G k_0 \sqrt[3]{G}, \quad (10)$$

gdje je k_0 koeficijent koji ovisi o razmahu krila b_k , te je $k_0 = 0,0238 + 0,00052b_k$.

Kako je statički nagibni moment jednak $Gz \sin \beta$, onda je ukupni nagibni moment

$$M = G(z \sin \beta + k_0 \sqrt[3]{G}), \quad (11)$$

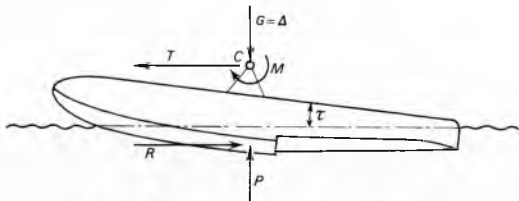
iz čega slijedi da volumen potpuno uronjenog baloneta mora biti

$$V_B = \frac{G}{d}(z \sin \beta + k_0 \sqrt[3]{G}), \quad (12)$$

gdje je d udaljenost osi baloneta od osi trupa.

Hidrodinamičke karakteristike plovnog trapa, potrebne za proračun polijetanja i slijetanja hidroaviona, određuju se eksperimentalnim ispitivanjem u hidrokanalima, na modelima ili u prirodnoj veličini. Opći uvjet koji plovni trap treba da zadovolji jest da svojom zapreminom osigurava dobru plovnost na vodi, a oblikom da pruža što manji otpor pri kretanju po površini vode i u letu.

Ukupna hidrodinamička sila i moment pri kretanju plovnog trapa po vodi dobiva se svodenjem elementarnih sila na rezultirajuću silu i moment s obzirom na unaprijed odabranu točku. Ukupna sila obično se razlaže na dvije komponente, horizontalnu R koja je sila otpora i vertikalnu koja je sila potiska $P = G = gm$ (sl. 30).



Sl. 30. Sile i momenti na plovnom trapu

Hidrodinamička sila otpora i potiska te njihov moment M s obzirom na težište hidroaviona izražava se hidrodinamičkim koeficijentima

$$C_R = \frac{R}{\rho b^3}, \quad (13a)$$

$$C_M = \frac{M}{\rho b^4}, \quad (13b)$$

$$C_A = \frac{\Delta}{\rho b^3}, \quad (13c)$$

gdje je, pored poznatih veličina, ρ gustoća vode, a b referentna, uvjetno usvojena duljina (obično maksimalna širina plovka ili hidrotrupa). Hidrodinamički koeficijenti ovise o obliku plovnog trapa i mijenjaju se s promjenom njegovog opterećenja i promjenom položajnog kuta τ koji se naziva hidrodinamičkim napadnim kutom. Upravo zbog te ovisnosti o opterećenju plovnog trapa, hidrodinamički koeficijenti su znatno složenije funkcije od aerodinamičkih, pa se npr. karakteristike otpora

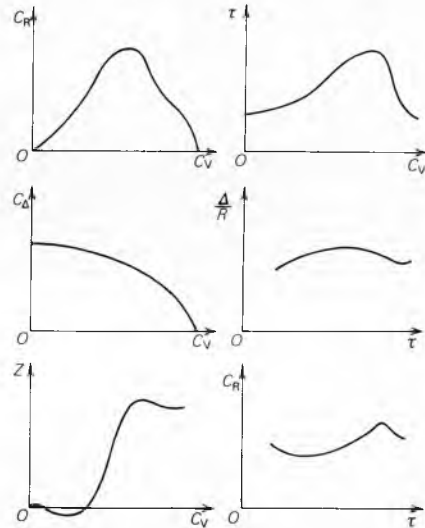
jednog tipa plovka ne mogu prikazati samo jednom krivuljom nego serijom krivulja u dijagramu $C_R = f(\tau)$.

U toku eksperimentalnog ispitivanja plovnih trapova na modelima ili u prirodnoj veličini mjere se sila hidrodinamičkog otpora R , sila potiska (opterećenje na vodi) Δ i moment M za različite vrijednosti kuta τ i brzine V . Koeficijenti određeni ispitivanjem na modelima izražavaju se u ovisnosti o Froudeovom broju $Fr = V^2/gb$ ili tzv. koeficijentu brzine

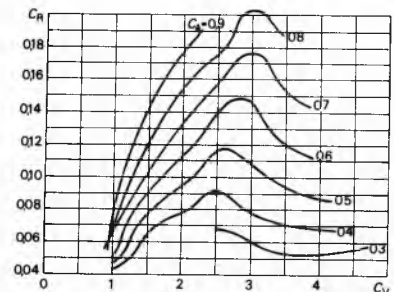
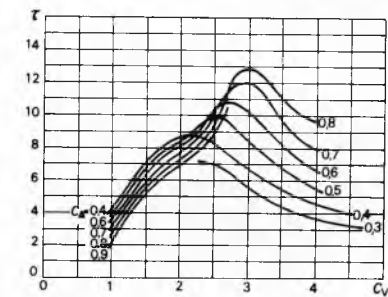
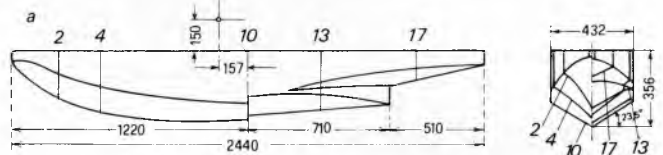
$$C_V = \frac{V}{\sqrt{gb}} \quad (14)$$

i prevode na stvarne uvjete.

Eksperimentalno određene karakteristike plovnih trapova daju se obično u obliku tablica i dijagrama (sl. 31). Analiza njihovih promjena pokazuje da koeficijent C_R raste s povećanjem

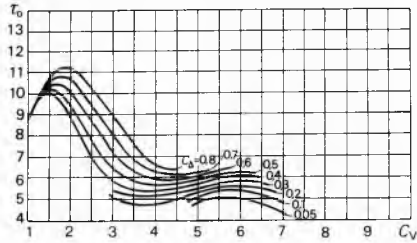


Sl. 31. Način prikazivanja hidrodinamičkih koeficijenata dobivenih eksperimentalnim ispitivanjem



Sl. 32. Hidrotrup NACA M-11: a dimenzije i oblik, b dijagrami promjene hidrodinamičkog napadnog kuta τ i koeficijenta hidrodinamičkog otpora C_R u ovisnosti o koeficijentu brzine C_V , za različite vrijednosti koeficijenta opterećenja C_A u oblasti potkritičnih brzina

C_v , prolazi kroz maksimum za C_{V_k} , a zatim opada i postaje jednak nuli za C_{V_0} , koji odgovara brzini polijetanja V_0 . Brzina V_k , kojoj odgovara koeficijent C_{V_k} , zove se kritična brzina i iznosi 35...40% brzine V_0 . Pri toj brzini hidrodinamički otpor jest najveći i ona se nalazi između dva režima kretanja plovnog trapa po vodi, i to režima plivanja ($V < V_k$) i režima glisanja ($V > V_k$). Oko kritične brzine plovni trap izronjava i kreće se na stepenici do odvajanja od vodene površine (polijetanje hidroaviona). Uz krivulju otpora $C_R = f(C_v)$ daju se obično i dijagrami promjene koeficijenta $C_A = f(C_v)$, dijagrami promjene finese (Δ/R) u ovisnosti o napadnom kutu τ , krivulje promjene težišta z u ovisnosti o C_v , dijagrami promjene C_R i C_M u ovisnosti o hidrodinamičkom napadnom kutu τ i drugi (sl. 32 i 33).



Sl. 33. Rezultati ispitivanja hidrodinamičkih koeficijenata na modelu hidrotropa NACA M-11 u oblasti natkritičnih brzina (τ_0 je u ovom režimu optimalni hidrodinamički kut)

Proračun polijetanja hidroaviona. Osnovne podatke za proračun polijetanja daje karakteristični skup koeficijenata od kojih je najvažnija krivulja $\Delta/R = f(V/V_0)$. U postupku proračuna treba najprije odrediti brzinu odljepljivanja od vode V_0 , a zatim Δ/R za različite vrijednosti brzina ili omjera V/V_0 . Nakon toga određuje se deplasman Δ za različite brzine prema formuli

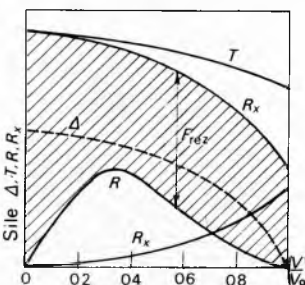
$$\Delta = G \left[1 - \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 \right] \quad (15)$$

i odgovarajući hidrodinamički otpor iz odnosa $R = \frac{\Delta}{\Delta/R}$.

Nadalje treba odrediti aerodinamički otpor R_x ovisan o brzini (gdje je C_x koeficijent otpora, q dinamički pritisak $= \frac{1}{2} \rho V^2$, S referentna površina),

$$R_x = C_x q S \quad \text{ili} \quad R_x = G \left(\frac{C_x}{C_z} \right) \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 \quad (16)$$

i vučnu silu T za određene brzine (sl. 34). Rezultirajuća sila $F_{rez} = T - (R + R_x)$ daje hidroavionu ubrzanje $a = \frac{F_{rez}}{m}$. Iz



Sl. 34. Uz proračun polijetanja hidroaviona: dijagram promjene sile koje djeluju u horizontalnom smjeru ovisne o V/V_0 : T vučna sila, R_x sila aerodinamičkog otpora, R sila hidrodinamičkog otpora, Δ deplasman plovka ili hidrotropa, F_{rez} rezultirajuća sila. Donja krivulja R_x prikazuje tok sile otpora, a kako se površina ispod ove krivulje preklapa s površinom sile R , njena je površina zbog geometrijskog zbrajanja još jednom ucrtana u gornjem dijelu dijagrama

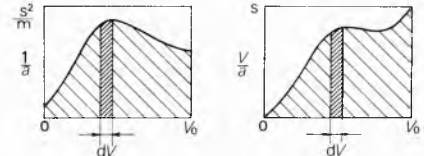
konstruiranog dijagrama $1/a = f(V)$ dobiva se vrijeme starta (vrijeme do postizanja brzine V_0)

$$t = \int_0^{V_0} \frac{1}{a} dV, \quad (17)$$

a na sličan način dobiva se i duljina starta (polijetanja)

$$L = \int_0^{V_0} \frac{V}{a} dV \quad (18)$$

iz konstruiranog dijagrama $\frac{V}{a} = f(V)$, sl. 35.



Sl. 35. Uz proračun polijetanja hidroaviona: konstruiranje i integracija dijagrama $1/a = f(V)$ i $V/a = f(V)$

Konstrukcija hidrotropa i plovaka. Osim po karakterističnom obliku, čiji je najupadljiviji detalj posebno oblikovano dno s jednom ili dvije stepenice, hidrotropovi i plovci konstrukcijski se gotovo nimalo ne razlikuju od trupova klasične izvedbe. Radi se obično o drvenim, mješovitim ili metalnim konstrukcijama kutijastog (sl. 36) ili ljuskastog (sl. 37) tipa sa svim elementima klasične izvedbe trupa — okvirima, uzdužnicama, ramenjačama, oplatom, okovima itd. Za izradbu okvira hidrotropa i plovaka upotrebljavaju se isti elementi i profili koji normalno nalaze primjenu u izradbi trupova klasičnih aviona. Ista je situacija i s uzdužnicama (stringerima). Jedina specifičnost u uzdužnim konstrukcijskim elementima jest posebno ojačana kobilica hidrotropa (plovka) radi zaštite pri manipulaciji na navozu.

Bočni pomoćni plovci (baloneti) konstrukcijski se rješavaju na sličan način, samo što njihova konstrukcija zbog manjih opterećenja može biti jednostavnija.

U hidrotropovima, plovcima i balonetima potrebno je ostvariti vodonepropusnost konstrukcije, bar u onim dijelovima koji



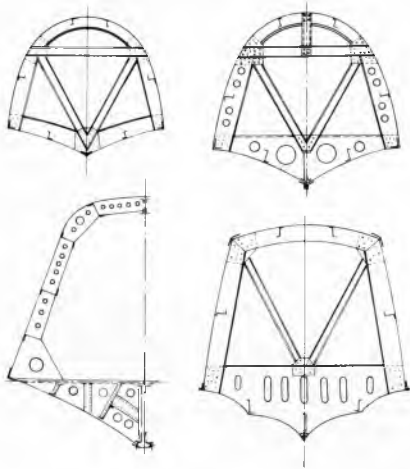
Sl. 36. Kutijasta konstrukcija metalnog hidrotropa



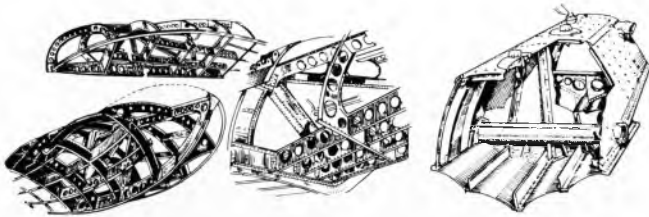
Sl. 37. Ljuskasta konstrukcija metalnog hidrotropa

dolaze u neposredni dodir s vodom. Da bi se očuvala plovnost hidrotropova, plovaka i baloneta, ako se lokalno ošteti konstrukcija, oni su podijeljeni na hermetički zatvorene komore. To se obično izvodi mjestimičnom zamjenom okvira pregradnim stijen-kama (nepropusnim pregradama).

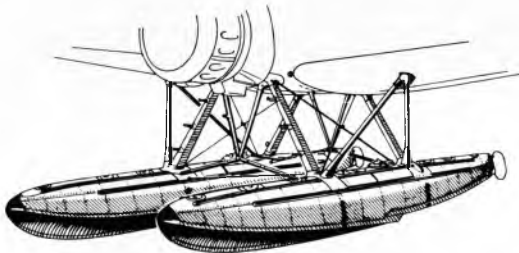
Na plovcima se na određenim mjestima postavljaju okovi za njihovo povezivanje s trupom i/ili krilima hidroaviona. Veza između plovaka i trupa i/ili krila može se izvesti u obliku



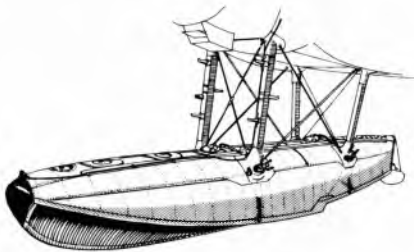
Sl. 38. Detalji konstrukcije okvira (rebara) metalnih hidrotropova



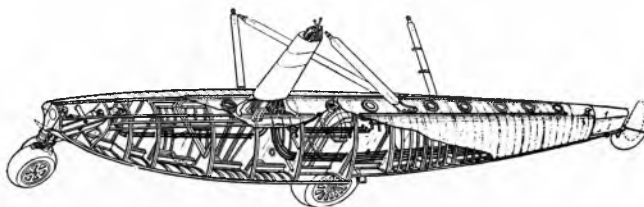
Sl. 39. Detalji konstrukcije metalnih plovaka



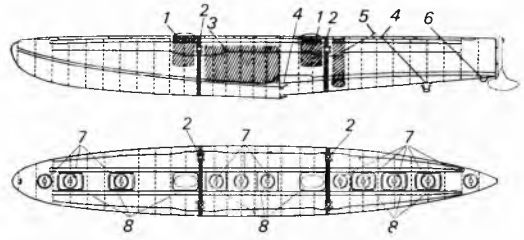
Sl. 40. Plovni trap sa dva plovka. Veza između plovka i trupa je rešetka od upornica i zatega



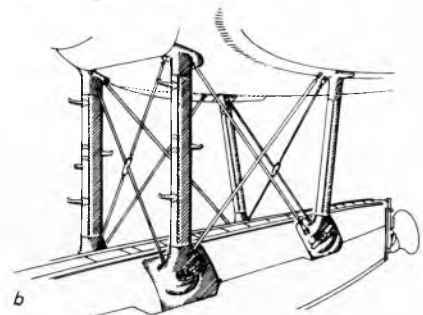
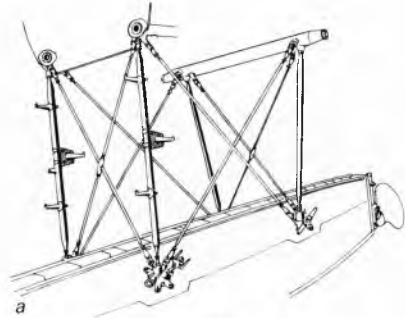
Sl. 41. Centralni plovak. Veza između plovka i trupa jesu četiri upornice i žičane zatege



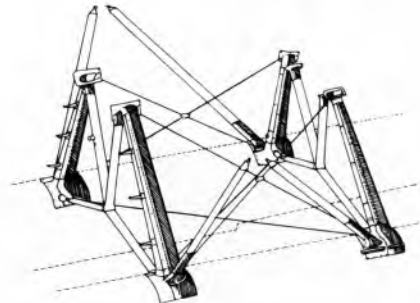
Sl. 42. Amfibijski plovak



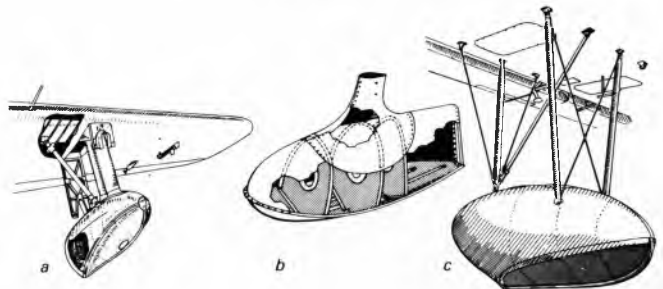
Sl. 43. Plovak mornaričkog hidroaviona. 1 uređaj za zamagljivanje, 2 priključak upornica, 3 rezervoar goriva, 4 okov za katapultiranje, 5 spremnik namirnica, 6 zaštitni okov, 7 kontrolni otvor, 8 poklopac



Sl. 44. Upornice centralnog plovka. a upornice i zatege, b oplata upornica



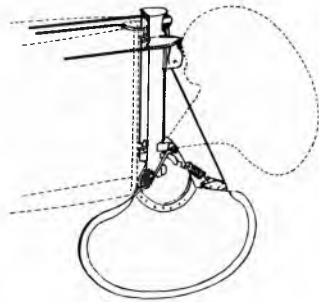
Sl. 45. Upornice dvostrukog plovka



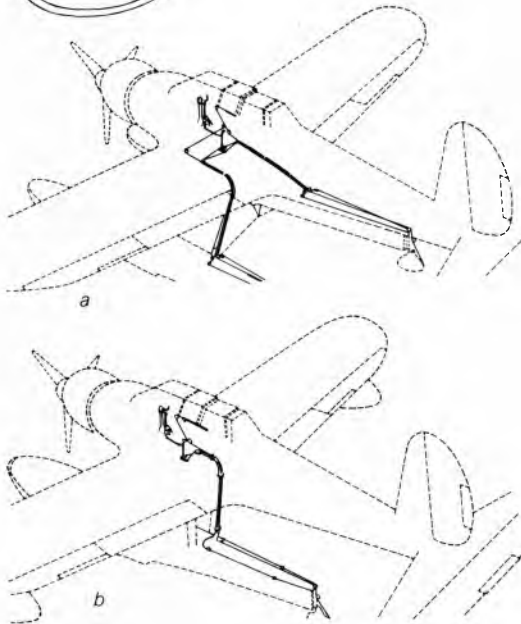
Sl. 46. Konstrukcijske varijante pomoćnih plovaka (baloneta). a neuvlačivi balonet hidroaviona BV 138 s otvorenim poklopcima za kontrolu spoja s krilom. b balonet ljuškaste konstrukcije, c balonet ljuškaste konstrukcije s upornicama i žičanim zategama

rešetkastog nosača sastavljenog od profiliranih štapova (sa žičanim zategama ili bez njih), ili u obliku jednog ili više profiliranih nosača mješovite ili luskaste konstrukcije.

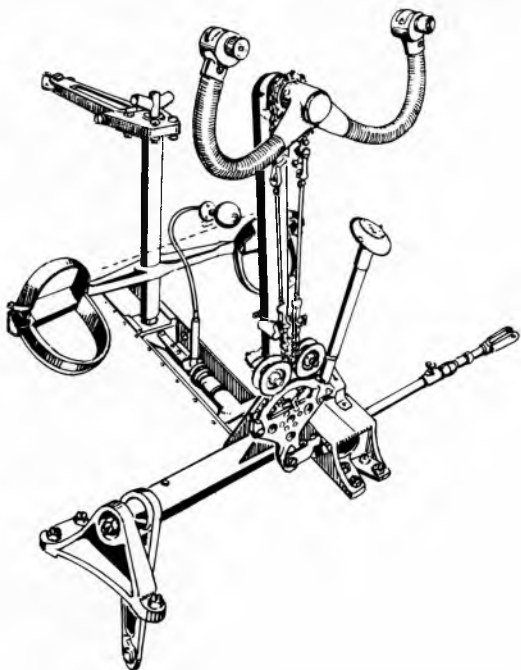
Ako je hidroavion predviđen za katapultiranje, na plovcima ili hidrotropu treba postaviti okove za pričvršćenje na klizač (kolica) katapultula i kuku za otpuštanje.



Sl. 47. Izgled vodnog kormila na plovku jednomotornog hidroaviona



Sl. 48. Komande za upravljanje vodnim kormilom: a kod jednomotornog hidroaviona sa dva plovka, b s centralnim plovkom



Sl. 49. Komande leta s palicom za upravljanje vodnim kormilom

Na kraju plovaka i hidrotropova jednomotornih hidroaviona postavlja se, radi lakšeg manevriranja na vodi, vodno kormilo kojim pilot upravlja iz kabine pomoću posebne komande, ili su vodovi vodnog kormila spojeni s nožnim komandama kormila pravca.

Za gradnju hidrotropova i plovaka mogu se upotrijebiti drvo, lake legure i čelični lim. Drveni hidrotropovi i plovci više se ne izrađuju zbog složenosti fabrikacije, hermetizacije i zaštite. Samo za izradbu plovaka lakih sportskih i turističkih hidroaviona ponekad se koriste drveni furniri (obično mahagoni) unakrsno lijepljeni voodootpornim sintetskim ljepljivima, a izvana zaštićeni armiranom umjetnom smolom. U novije vrijeme izrađuju se za lake hidroavione i plovci iz armirane umjetne smole ispunjeni krutom pjenastom masom (poliuretanska smola) što osigurava apsolutnu nepotonljivost. Lake aluminijske legure tipa Al-Cu-Mg (Duraluminij), koje se veoma mnogo upotrebljavaju u konstrukciji letjelica, nepođodne su za izradbu plovaka i hidrotropova zbog neotpornosti na korozijsko djelovanje morske vode. Najveću primjenu nalaze tzv. platinirani limovi legure Al-Cu-Mg, koji se postupkom valjanja presvuku tankim slojem čistog aluminija (komercijalni nazivi Alclad, Albondur, Bondurplat i dr.; v. *Aluminij*, TE1, str. 223). Najveću trajnost i otpornost pokazuju hidrotropovi i plovci izrađeni od legiranog nerđajućeg čeličnog lima. Negativna osobina čeličnih hidrotropova i plovaka jest njihova relativno velika težina.

LIT.: R. A. Saviile-Sneath, *Aircraft of the United States*, Vol. 2 & 3, Penguin Books, Harmondsworth 1946. — M. Nenadović, *Osnovi aerodinamičkih konstrukcija*. Naučna knjiga, Beograd 1950. — K. Munson, *Aircraft of World War I*. Ian Allan, London 1967. — S. Milutinović, *Konstrukcija aviona*. Građevinska knjiga, Beograd 1970. — Jane's all the World Aircraft. Jane's Yearbooks, London 1971-72, 1974-75. — Luftfahrt International. Publ. Arch. K. R. Pawlad, Nürnberg 1974-75.

N. Kršić

HIDROELEKTRANE (HE), postrojenja koja se grade na određenom potezu rijeke radi energetskog iskorištavanja potencijalne energije vode (v. *Elektrane*, TE3, str. 547). Takvo postrojenje je sklop građevina i uređaja za usporavanje vode i regulaciju protoka (brane i akumulacije) te za dovod i odvod vode (kanali, tuneli, tlačne cijevi) i strojnica sa strojevima kojima se potencijalna energija vode transformira u mehaničku (vodne turbine) a ta u električnu energiju (generatori).

U prirodnim uvjetima potencijalna i kinetička energija vode utroši se u koritu najvećim dijelom za svladavanje otpora trenja, za razaranje dna i obala, te za prijenos proizvoda toga razaranja. Energija dijela vodotoka ovisi o količini vode koja protječe koritom (protok $Q \text{ m}^3/\text{s}$) i o visinskoj razlici između dovoda i odvoda vode (pad $H \text{ m}$).

Na obalama gdje su razlike plime i oseke velike (zapadna obala Francuske, obala Velike Britanije, istočna obala Kanade i dr.) može se ta razlika iskoristiti hidroelektranama na plimu i oseku (v. *Elektrane*, TE3, str. 558).

Poseban tip su pumpno-akumulacijske hidroelektrane (PAHE). Razlika razine vode stvara se tada pumpanjem vode iz donjeg u gornji bazen, obično u toku noći, kada elektrane koje proizvode temeljnu energiju imaju viška energije (v. *Elektrane*, TE3, str. 558). Tako podignuta voda iskorištava se u razdoblju vršnog opterećenja za proizvodnju vrednije varijabilne energije. Razlika u vrijednosti tih energija čini taj pothvat rentabilnim iako se za pumpanje troši ~40% više energije nego što se može s istom vodom proizvesti.

Osnovni tipovi hidroelektrana. Prema smještaju strojnica u odnosu na branu razlikuju se dva osnovna tipa: pribranska i derivacijska hidroelektrana.

Najjednostavnije se podiže razina vode gradnjom brane i elektrane u koritu rijeke, gdje su obale dovoljno visoke. Ako su obale relativno niske, moraju se zaštititi nasipima uzduž korita, da se ne poplave velike površine zemljišta. Takva shema energetskog iskorištenja vodotoka odgovara *pribranskoj hidroelektrani*. Tada se sva energija toka ne utroši za svladavanje