

vodenim tokovima nekog područja. Ponekad podzemne vode prihranjuju vode površinskih tokova, dok pri nailasku valova velikih voda vode iz otvorenih riječnih tokova prihranjuju podzemne vode. Potrebno je naglasiti da su pri analizama vodenih zalaha u kršu veoma važni upravo podaci o piezometarskim razinama koji pokazuju utjecaje viših i nižih kraških horizonata na otjecanje (posebno kroz ponore i estavele) u analiziranom kraškom polju.

Na mreži stanica hidrometeorološke službe u SFR Jugoslaviji razine podzemnih voda opažaju se jednom u tri, pet ili čak deset dana, već prema brzini kolebanja razine podzemne vode. Osnovna obrada ovih podataka gotovo da je identična s obradom vodostaja u otvorenim riječnim tokovima. Razlikuje se samo u dva elementa. Za podzemne vode određuju se korelacijske ovisnosti između razine u piezometrima međusobno i s razinom vode u rijeci. Osim toga, crtaju se karte s hidroizohipsama.

Mreža hidroloških stanica. Hidrološki i s njima vezani klimatološki podaci opažaju se, mjere, prikupljaju i publiciraju radi što kvalitetnijih informacija koje služe za gospodarenje vodama. Najvažniji podaci koji se prikupljaju mrežom organiziranih stanica jesu: padavine i snježni pokrivač, vodostaji i protoci, isparivanje, evapotranspiracija, transport suspendiranog i vučenog nanosa, kvaliteta vode, temperatura vode, led, razine podzemne vode i vlažnost tla. Budući da se svi ne mogu mjeriti i opažati na istoj stanici, organizirana je posebna mreža stanica za padavine, posebna za vodostaje itd. Vrlo je važno da se sve mreže stanica projektiraju i organiziraju tako da odgovore zajedničkom zadatku, a taj je da dadu najveću moguću informaciju o hidrološkim procesima koji se odvijaju na pojedinim slivovima. Zbog stohastičkog karaktera hidroloških veličina potrebno je da se na mreži stanica podaci prikupljaju neprekinuto u dužem vremenskom razdoblju. Posebno je nužno da mreže kišomjernih i snjegomjernih stanica budu usklađene s mrežom vodomjernih stanica kako bi se mogla određivati vodena bilanca sliva.

Hidrološka mreža stanica ima osnovnu i dopunsku mrežu stanica te mrežu stanica za posebne potrebe. Stanice osnovne mreže imaju duže i homogenije nizove opažanja, a njihovi se podaci publiciraju u hidrološkom godišnjaku. Stanice dopunske mreže obično imaju kraće nizove podataka mjerenja i s vremenom se ili ukidaju ili prema potrebi pretvaraju u stanice osnovne mreže. Ako se stanice uspostavljaju za specifične potrebe projektiranja i izvedbe nekog hidrološkog objekta, tada se one i ukidaju s prestankom razloga njihovog postavljanja.

U hidrološkom godišnjaku SFR Jugoslavije publiciraju se, osim navedenih, i sljedeći podaci: o suspendiranom nanosu, o pojavi leda na rijekama, o temperaturi vode i kvaliteti vode. Svi spomenuti podaci služe kao osnovni polazni materijal za više hidrološke analize i za projektiranje i izvođenje hidrotehničkih objekata.

LIT.: H. Addison, Hydraulic measurements. Chapman and Hall Ltd., London 1946. — A. T. Troškolanski, Theorie et pratique des mesures hydrauliques. Dunod, Paris 1962. — Г. В. Железников, Теоретические основы гидрометрии. Гидрометеиздат, Ленинград 1968. — W. H. Graf, Hydraulics of sediment transport. McGraw-Hill Book Co., Inc. New York 1971. — В. В. Орлова, Гидрометрия. Гидрометеиздат, Ленинград 1974. — Guide to hydrological practices. WMO publication, Geneva 1974. — S. Jovanović, O. Bonacci, M. Anđelić, Hidrometrija. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 1977.

O. Bonacci

proturječne zahtjeve. Tako krila u horizontalnom letu moraju omogućiti što manje otpore uz zadani uzgon, pri slijetanju minimalne brzine i staze slijetanja, a pri polijetanju što bolje penjanje uz ograničenu stazu polijetanja letjelice. Takvi složeni zahtjevi, koji su istodobno i proturječni jer su krila dobrih karakteristika u horizontalnom letu loša za slijetanje odnosno polijetanje i obrnuto, rješavaju se ugradnjom uređaja za hiperpotisak. Za tu se svrhu krilo gradi s konstrukcijskim dodacima koji se pri slijetanju i polijetanju aktiviraju radi iskorišćivanja. Povećanje uzgona potrebno pri polijetanju ili slijetanju proizvodi se upotrebom vrlo različitih uređaja za hiperpotisak. Konstrukcijskim elementima postižu se kompromisna rješenja koja zadovoljavaju sve režime leta, ne umanjujući u većoj mjeri zahtijevane sposobnosti letjelice.

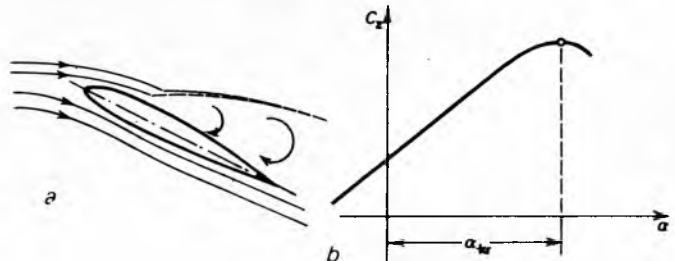
Prema tome, osnovni su zadaci uređaja za hiperpotisak: a) postizavanje što većeg dijapazona brzina, b) poboljšanje stabilneta i manevarskih karakteristika pri malim brzinama, c) povećanje kuta planiranja bez povećanja brzine pri slijetanju, d) smanjenje dužine zaleta i povećanje kuta penjanja u polijetanju.

Krilo koje je povoljno za režime maksimalnih brzina letjelice obično nije dobro za polijetanje i slijetanje. Takvo krilo ne posjeduje zadovoljavajući odnos uzgona prema otporu, odnos koji određuje kut planiranja pri slijetanju, a u istim uvjetima ne može ostvariti dovoljno visok uzgon koji određuje minimalnu brzinu slijetanja. Da bi se u primjeni postigle sve potrebne odlike krila, često je potrebno izmijeniti aerodinamički koeficijent maksimalnog uzgona $C_{z_{max}}$, vrijednost kuta planiranja pri maksimalnom uzgonu $(C_x/C_z)_{C_{z_{max}}}$, i faktor penjanja (C_z^3/C_x^2) . Istodobno treba nastojati umanjiti djelovanje svih uzroka koji stvaraju aerodinamički otpor pri velikim brzinama, i uvećati i kontrolirati otpore za smanjenje brzina slijetanja.

Brzina slijetanja praktično je jednaka minimalnoj brzini horizontalnog leta i određena je izrazom:

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2}{\rho C_{z_{max}}} \left(\frac{G}{S} \right)} \quad (1)$$

gdje je ρ gustoća zraka, G masa letjelice, S površina krila, a $C_{z_{max}}$ maksimalna vrijednost aerodinamičkog koeficijenta uzgona. Za zadanu se letjelicu poznate mase brzina slijetanja može smanjiti povećanjem površine krila S (što je moguće, ali u vrlo ograničenoj mjeri), ili povećanjem maksimalne vrijednosti koeficijenta uzgona. Povećanje je maksimalne vrijednosti, u stvari, promjena aerodinamičkih svojstava krila koja se može realizirati mijenjanjem geometrijskih karakteristika. Za praktične primjene hiperpotisak se ostvaruje dodatnim konstrukcijskim rješenjima koja mijenjaju osnovni oblik poprečnog presjeka, ili aeroprofila krila.



Sl. 1. Krilo pri kritičnom napadnom kutu. a odvajanje strujnica na gornjaci krila, b krivulja $C_z = f(\alpha)$

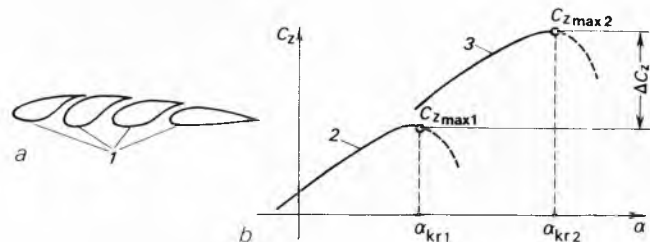
HIPERPOTISAK, povećanje uzgona dobiveno dodatnim uređajima, tj. pomoćnim konstrukcijama koje mijenjaju osobine osnovnog aerodinamičkog tijela (prema grč. *ἕπερ* hiper preko, nad, iznad; riječ potisak upotrebljena je kao sinonim za uzgon).

Najčešći razlog zbog kojeg se koristi hiperpotisak jest nedovoljna sposobnost krila letjelica da bez dodatnih uređaja proizvedu potrebnu veličinu uzgona pri slijetanju i polijetanju. Aerodinamička tijela, odnosno površine koje imaju funkciju da proizvedu uzgon, moraju redovno zadovoljiti složene i često

Prekoračenje maksimalne vrijednosti aerodinamičkog uzgona, za konvencionalne oblike aeroprofila koji zadovoljavaju zahtjeve u putnim režimima letenja (krstarenja) uzrokuje odvajanje strujanja na gornjaci krila pri kritičnim napadnim kutovima. Povećavanje napadnih kutova iznad kritičnih vrijednosti, kao što je poznato, dovodi do opadanja uzgona uz nelinearne ovisnosti uzgona o napadnom kutu (sl. 1).

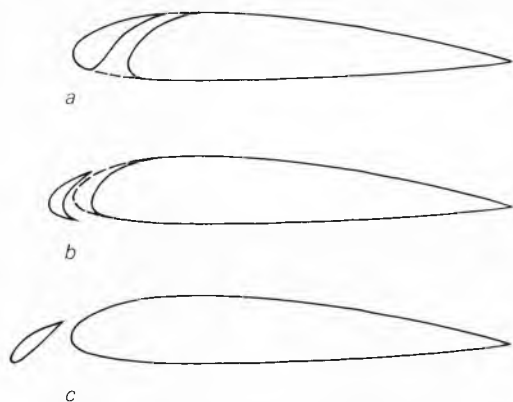
Procijepi — kanali za stvaranje hiperpotiska. Odvajanje je zračnih strujnica od površine aerotijela složeno zbivanje, pra-

čeno prijelazom uređenog kretanja strujnica (laminarnog strujanja) u neuređeno, vrtložno strujanje (turbulentno strujanje), koje dovodi do promjena u raspodjeli pritiska i naglo smanjuje dostignuti uzgon. Pokusi su pokazali da je moguće odložiti prijevremeno odvajanje strujnica od gornjake aeroprofila, ako se dodatnim sredstvima poveća kinetička energija strujanja na gornjaci smanjenjem potencijalne energije u drugim zonama aeroprofila. Prva rješenja Constantina i Lachmanna izvedena su u obliku statičkih procijepa – kanala, koji povezuju donjaku s gornjacom krila, a aktiviraju se tek pri povećanim napadnim kutovima, odlažući pojavu otcjepljenja uz znatno povećanje maksimalne vrijednosti uzgona. Maksimalni je uzgon ovim sredstvima ostvarivan pri vrlo velikim napadnim kutovima, što je otežavalo ugradnju stajnih organa (velika visina stajnog trapa), a smanjivalo je i vidljivost iz pilotske kabine pri slijetanju (sl. 2).



Sl. 2. Procijepi Constantin-Lachmann. a geometrija procijepa, b krivulje $C_z = f(\alpha)$. 1 procijepi, 2 krivulje $C_z = f(\alpha)$ za krilo bez procijepa, 3 za krilo s procijepima

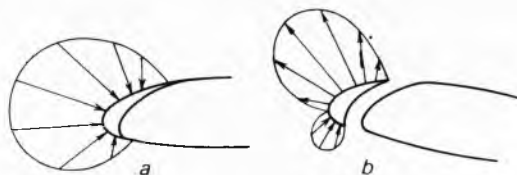
Pretkrilca. Drugo rješenje za stvaranje hiperpotiska jesu krilca ugrađena ispred napadne ivice krila, pa se zato nazivaju pretkrilcima. Povećani pritisak na donjaci krila u blizini napadne ivice iskorišćuje se za povećanje kinetičke energije na donjaci krila pri povećanim napadnim kutovima. S prednjim dijelom krila pretkrilce oblikuje kanal kroz koji struji zrak od donjake, gdje je uvećani pritisak, odnosno potencijalna energija, ka gornjaci, gdje je umanjeni pritisak obzirom na atmosferski.



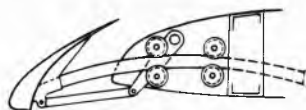
Sl. 3. Pretkrilca. a procijep u napadnoj ivici krila, b pretkrilce kao pomični dio napadne ivice krila, c krilo s fiksnim samostalnim pretkrilcem

Pretkrilca mogu biti izvedena kao procijep u napadnoj ivici krila (sl. 3a), kao njen pomični dio (sl. 3b), ili da samostalna pretkrilca budu fiksno ugrađena ispred napadne ivice krila (sl. 3c, profil pretkrilca geometrijski neovisan o osnovnom aeroprofilu krila). Fiksna pretkrilca ispred napadne ivice povećavaju otpor krila, naročito u zoni malih vrijednosti C_x , dakle oko maksimalne finese, što znatno utječe na brzinu leta aviona, a posebno na maksimalnu brzinu. Zbog toga se fiksna pretkrilca primjenjuju na avionima za koje brzina nije najvažnija nego im je glavna karakteristika mogućnost polijetanja i slijetanja s kratkih terena i let s minimalnim brzinama. Da bi se uklonio taj nedostatak, na avionima većih brzina ugrađuju se pretkrilca koja se u letu mogu uvući

u konturu osnovnog aeroprofila krila, a služe samo pri polijetanju i slijetanju ili u režimu leta minimalnom brzinom. Ovo uvlačenje, odnosno izvlačenje pretkrilaca, može se obaviti ili mehanizmom kojim rukuje pilot (sistemom poluga ili servouređajem, sl. 15c) ili automatski. Do automatskog aktiviranja pretkrilaca dolazi se pri velikim napadnim kutovima zbog djelovanja potpritiska na gornjaci krila (sl. 4). Sistem opruga pridržava pretkrilca u zatvorenom položaju, a dozvoljava otvaranje pri određenim brzinama i napadnim kutovima krila (sl. 5). Pretkrilca se ugrađuju ili po cijelom rasponu napadne ivice krila (sl. 6), ili na njenim krajevima u zoni krilaca (elerona) da bi se u toj zoni spriječilo otkidanje strujnica pri velikim napadnim kutovima.



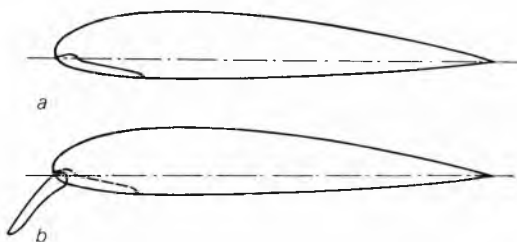
Sl. 4. Raspodjela uzgona na napadnoj ivici krila: a pri malim, b pri velikim napadnim kutovima



Sl. 5. Mehanizam automatskog otvaranja pretkrilca



Sl. 6. Pomično pretkrilce na cijeloj dužini napadne ivice krila



Sl. 7. Krueger-pretkrilce: a u zatvorenom, b u oborenom položaju

Posebna vrsta pretkrilca, tzv. Krueger-pretkrilce, izvedena je tako da djeluje kao uređaj koji povećava krivinu aeroprofila i, ujedno, ali uz manji efekt, povećava površinu krila (sl. 7 i 8).



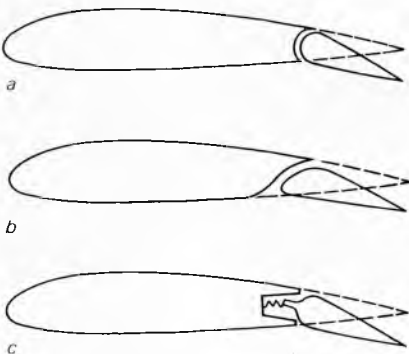
Sl. 8. Krilo mlaznog aviona s oborenim Krueger-pretkrilcima i aerodinamičkom kočnicom na gornjaci krila



Sl. 9. Pokretna napadna ivica krila kao pretkrilce

Sličan efekt postizava se sistemom pretkrilaca u kojima se obara za neki kut napadna ivica krila (sl. 9). Taj se sistem, kao i Krueger-pretkrilca, u principu nikad ne upotrebljava sam, nego uvijek u kombinaciji sa sistemom zakrilaca.

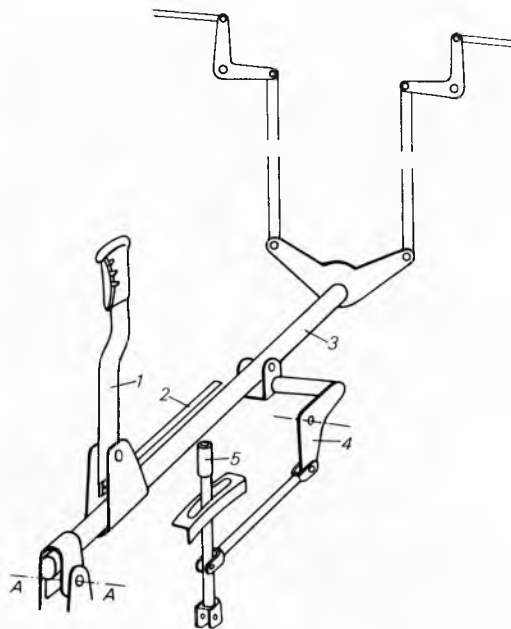
Krilca (krilca krivine). Obrtni, zadnji dio krila zove se krilce i služi za mijenjanje osnovne krivine aeroprofila, što znači i za mijenjanje ovisnosti uzgona o napadnom kutu uz znatno povećanje maksimalne vrijednosti uzgona. Krilce je po svom obliku dio osnovnog aeroprofila, iako je od njega ponekad odvojeno profiliranim kanalom za uvećanje kinetičke energije strujnica na gornjaci, ili je krilce spojeno elastičnom pregradom koja sprečava strujanje od donjake ka gornjaci kad namjena to zahtijeva (sl. 10).



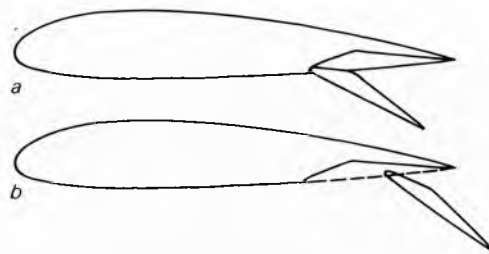
Sl. 10. Krilca krivine. a jednostavno krilce, b krilce s procijepom, c krilce s elastičnom pregradom

U specijalnim slučajevima primjenjuje se zajedno s aktiviranjem zakrilaca, potkrilaca ili krilaca krivine simultano obaranje na niže i krilaca nagiba (elerona), a da pri tom krilca nagiba zadržavaju svoje diferencijalne otklone. To se postizava različitim rješenjima kinematike komanda upravljanja, od kojih je jedno prikazano na sl. 11.

Potkrilca. Potkrilca (ponekad nazvana kopcima) ugrađuju se kao ravne ili profilirane ploče na donjaci zadnjeg – izlaznog dijela krila, tako da obaranjem povećavaju krivinu aeroprofila uz povećani otpor. Služe kao uređaj za hiperpotisak pri slijetanju i polijetanju, i to s manjim kutom otklona za polijetanje, a s većim za slijetanje. Potkrilca ili kapci imaju vrlo različite konstrukcijske forme. Pri povećanju uz-



Sl. 11. Kinematika uređaja za simultano obaranje krilaca nagiba. 1 pilotska palica, 2 komanda visinskog kormila, 3 torzijska cijev i poluge komanda krilaca, 4 kutna poluga za zakretanje torzijske cijevi oko osi A-A, 5 poluga komande za obaranje krilaca



Sl. 12. Potkrilca, a Schrenk-potkrilce, b Zap-potkrilce

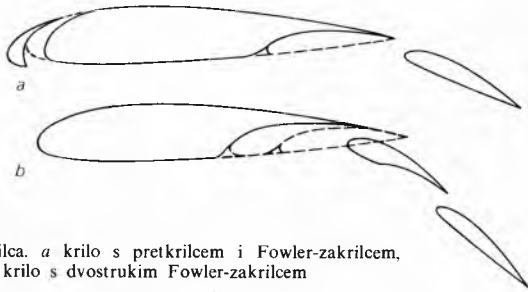
gona ne povećavaju kritični napadni ugao, što je za konstrukciju letjelice vrlo povoljno (sl. 12).

Zakrilca. Najbolji efekti za stvaranje hiperpotiska dobivaju se primjenom zakrilaca koja se izdvajaju iz osnovnog aeroprofila, povećavajući istodobno krivinu i efektivnu površinu krilu (sl. 13 i 14). Vrlo se često zakrilca različitih iz-

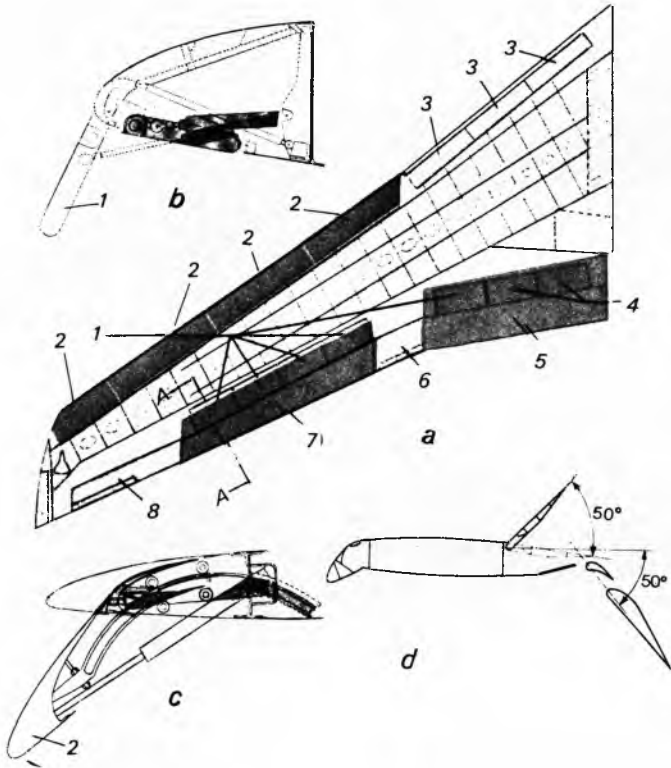


Sl. 13. Krilo mlaznog aviona s oborenim Fowler-zakrilcima; na gornjaci vidi se izvučena aerodinamička kočnica, tzv. spoiler

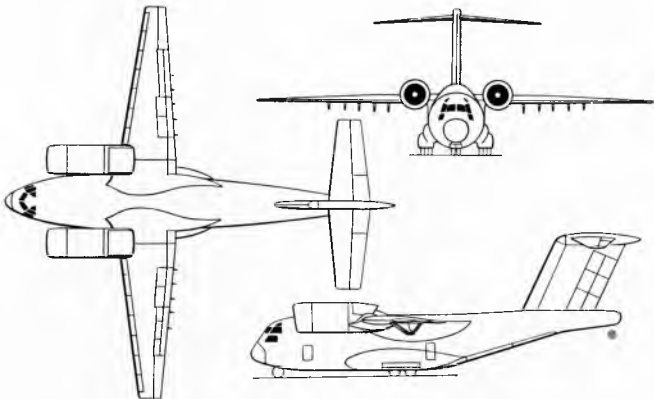
vedbi primjenjuju u kombinaciji s pretkrilcima, a ponekad i u kombinaciji s iskorišćivanjem dodatne kinetičke energije posebnog izvora.



Sl. 14. Zakrilca. a krilo s pretkrilcem i Fowler-zakrilcem, b krilo s dvostrukim Fowler-zakrilcem



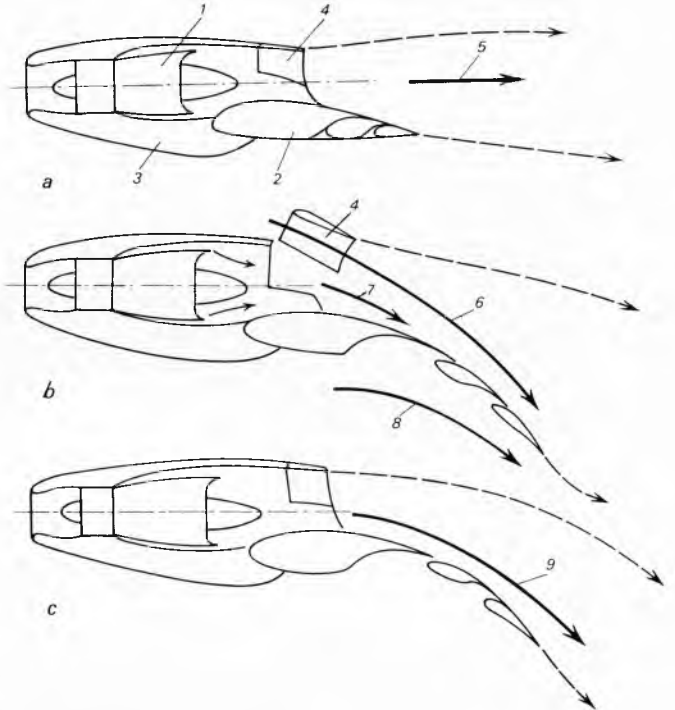
Sl. 15. Shema avionskog krila s uređajima za hiperpotisak. a raspored na krilu, b detalj Krueger-pretkrilca, c detalj pretkrilca s procijepom aktiviranog hidrauličnim putem, d presjek A-A s aktiviranim uređajima za hiperpotisak. 1 aerodinamičke kočnice, 2 pretkrilca, 3 Krueger-pretkrilca, 4 aerodinamičke kočnice za manevar na tlu, 5 unutrašnja Fowler-zakrilca, 6 unutrašnja krilca nagiba, 7 vanjska Fowler-zakrilca, 8 vanjska krilca nagiba



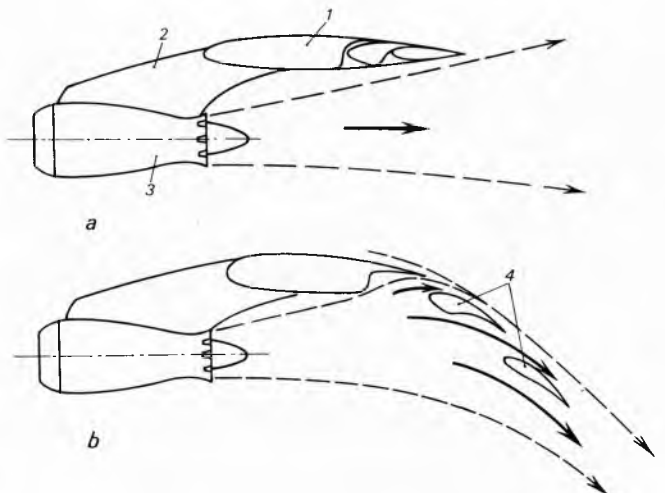
Sl. 16. Transportni avion Boeing YC-14 s uređajem za uvođenje energije ispušnih plinova na gornjaci krila

Hiperpotisak s uvođenjem dodatne energije. Energije se ispušnih plinova (mlaza) motora sve više iskorišćuju za stvaranje hiperpotiska. Mnoštvo je različitih sistema s kojima su izvođeni pokušaji. Uspješno su se, međutim, održala samo dva sistema: sistem uvođenja energije ispušnih plinova na gornjaci (H. Coanda – Belgija), sl. 16 i 17, i sistem uvođenja energije ispušnih plinova na donjaci krila (sl. 18 i 19).

Coandin sistem zasniva se na tzv. Coanda-efektu, u kojem mlaz fluida, koji struji iz mlaznice tangencijalno ili približno

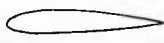
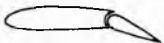



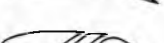




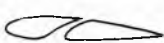
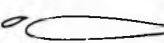







Sl. 17. Uvođenje energije ispušnih plinova (mlaza) na gornjaku krila (sistem Coanda). a režim krstarenja s osnovnim aeroprofilom, b režim slijetanja s reduciranom snagom motora i uvođenjem strujanja pomoću uvodnika 4, c režim starta prije polijetanja kad se stvara sniženi pritisak na povećanoj površini krila uz usmjeravanje vektora vučne sile naviše. 1 mlazni motor, 2 osnovni aeroprofil krila, 3 nosač motora, 4 uvodnik vanjskog strujanja pri slijetanju, 5 smjer strujanja u režimu krstarenja, 6 smjer vanjske struje pri slijetanju, 7 smjer strujanja ispušnih plinova pri reduciranoj snazi motora i smanjenoj količini ispušnih plinova, 8 smjer strujanja na donjaci zakrilaca pri slijetanju, 9 smjer ispušnih plinova pri polijetanju kad još nema strujanja na donjaci krila



Sl. 18. Uvođenje energije ispušnih plinova (mlaza) na donjaku krila. a režim krstarenja s osnovnim aeroprofilom, b režim polijetanja s uvođenjem strujanja ispušnih plinova; s reduciranom snagom motora i sličnom konfiguracijom zakrilaca izvodi se i slijetanje. 1 osnovni profil krila, 2 nosač mlaznog motora, 3 mlazni motor, 4 dvostruka Fowler-zakrilca s procijepima

RAZLIČITI UREĐAJI ZA STVARANJE HIPERPOTISKA

Uređaj za hiperpotisak	Povećanje uzgona, %	Kritični kut	Napomena	Shema uređaja
Osnovni aeroprofil		15°	Učinak uređaja za hiperpotisak ovisi o obliku aeroprofila	
Krilce krivine	50	12°	Hiperpotisak zbog povećanja krivine aeroprofila	
Potkrilce	60	14°	Hiperpotisak zbog povećanja krivine, ali se povećava i otpor	
Potkrilce Zap	90	13°	Hiperpotisak zbog povećanja krivine i povećane površine	
Krilce s procijepom	65	16°	Hiperpotisak zbog povećanja krivine i upravljanja graničnim slojem	
Krilce s dvostrukim procijepom	70	18°	Mijenja se krivina uz uvođenje kinetičke energije na gornjaku	
Zakrilce Fowler	90	15°	Povećava se krivina i površina uz upravljanje graničnim slojem	
Dvostruko zakrilce Fowler	100	20°	Isto kao i u prethodnom slučaju, ali sa složenijim uređajem	
Pretkrilce Krueger	50	25°	Nosno pretkrilce povećava krivinu i površinu	
Krilo s procijepom	40	20°	Upravljanje graničnim slojem na gornjaci	
Fiksno pretkrilce	50	20°	Upravljanje graničnim slojem na gornjaci	
Pokretno pretkrilce	60	22°	Mijenja se krivina i kontrolira otcjepljenje strujnica	
Pretkrilce i krilce s procijepom	75	25°	Povećava se krivina i kontrolira strujanje na gornjaci	
Pretkrilce i dvostruka zakrilca Fowler	120	28°	Iskorišteni svi faktori	
Pokretna napadna ivica, kočnica i dvostruko zakrilce			Povećava se znatno krivina i otpor s kočnicom	
Uvođenje energije mlaza na gornjaku profila			Sustav Coanda, krilo s dvostrukim zakrilcem	
Uvođenje energije mlaza na donjaku profila			Krilo s dvostrukim zakrilcima	

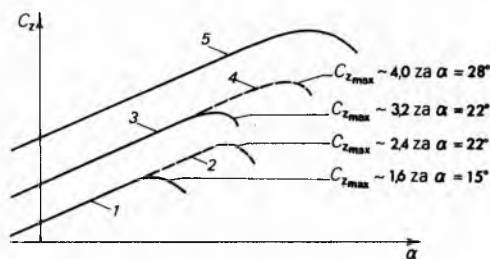
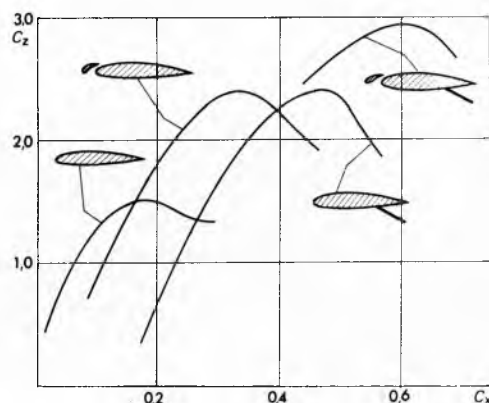


Sl. 19. Transportni avion NASA/DHC-8 Buffalo s uređajem za uvođenje energije ispušnih plinova na donjaku krila

tangencijalno uz neku površinu, prijanja uz površinu i dalje struji priljubljen uz nju (v. *Fluidika*, TE5, str. 474).

Oba sistema služe za transportne zrakoplove velike nosivosti i ekstremno malih staza polijetanja i slijetanja.

Strujanje ispušnih plinova iza izlaznog presjeka mlaznice motora izvodi se tako da bi ono oplakivalo što veću površinu krila. Ako se radi o Coanda sistemu oplakivanja gornjake, onda se već na startu razvija znatan potpritisak koji djeluje na uvećanu površinu gornjake, obično na središnjem

Sl. 20. Krivulje $C_z = f(\alpha)$ za karakteristične uređaje hiperpotiska. 1 krilo s osnovnim profilom, 2 povećanje uzgona zbog utjecaja pretkrilaca, 3 utjecaj pretkrilaca, odnosno krilaca krivine ili zakrilaca, 4 utjecaj zakrilaca i pretkrilaca, 5 krilo uz iskorišćenje dodatne energije ispušnih plinova

Sl. 21. Polare karakterističnih uređaja hiperpotiska

dijelu krila. Zahvaljujući još i efektu krivine zbog dvostrukih zakrilaca, dobiva se još i kombinacija klasičnog hiperpotiska s okretanjem vektora vučne sile mlaznog motora nagore. Zapravo, ovim sistemom dobivaju se izuzetno povoljni efekti kombinacijom klasičnog hiperpotiska, dodatnog smanjenja pritiska na gornjaci (što uvećava uzgon) i okretanja smjera vektora vučne sile mlaznog motora (što također uvećava uzgon).

LIT.: M. Nenadović, Osnovi aerodinamičkih konstrukcija. Aeroprofil. Prvi deo. Naučna knjiga, Beograd 1948. — W. J. Duncan, Control and stability of aircraft. Cambridge 1952. — S. Milutinović, Konstrukcije aviona. Građevinska knjiga, Beograd 1970. — M. Шульженко, Конструкция самолётов. Машиностроение, Москва 1971. — А. Бадягин и др., Проектирование самолётов. Машиностроение, Москва 1972. — A. Kermode, Mechanics of flight, Pitman, Nairobi 1972.

M. Momirski

HOLOGRAFIJA ili postupak rekonstrukcije valne fronte optički je postupak koji je obrazložio engleski fizičar D. Gabor još 1948. godine (za što je 1971. dobio Nobelovu nagradu). Pravi je interes za ovu disciplinu nastupio mnogo kas-