

točka istovremeno i u stvari je blago propadanje sa visine ispod 0,20 m, pri čemu veći deo energije udara amortizuje stajni trap, i završava se zaustavljanjem aviona. Kočenje radi skraćivanja dužine sleta vrši se samo ako to zahteva dužina staze.

**Akrobatski let** obuhvata sve letove izvan normalnih letova. Akrobatski let karakterišu nagle promene brzine, položaja aviona, veličine preopterećenja i pravca i visine leta. Preopterećenje u akrobacijama ne sme da izazove fiziološke poremećaje posade, niti da pređe dopuštena naprezanja konstrukcije aviona. Posada sa anti-ge odelom dobro podnosi ubrzanje 5 g do 6 g (5...6 puta veće od ubrzanja zemljine teže) a bez njega 3 g do 4 g. Akrobacija se izvodi pomoću normalnih i složenih figura. Normalne figure su: *borbeni zaokret*, *petlja*, *valjak*, *prevrtanje*, *imelman* i *ranversman*, dok složene figure mogu predstavljati normalne figure kada se namerno vrše van horizontalne i vertikalne ravni: *penjući valjak*, *kosa petlja*, *koso prevrtanje* i *kosi imelman* ili su pak složene figure proizašle iz normalnih figura unekoliko izmenjene promenom pravca ili tempom izvođenja: *lagani valjak*, *preturanje* itd., ili različitim kombinacijom normalnih i složenih figura: *dvostruki borbeni zaokret*, *položena osmica*, *vertikalna osmica*, *vertikalno S*. Zasebnu grupu složenih figura čine figure sa klizanjem: *list*, *zvono*.

*Borbeni zaokret* je promena pravca aviona za 180° u neustaljenom koordiniranom penjućem zaokretu za što kraće vreme i uz što veći dobitak visine, a sa izlaznom brzinom većom od 130% najmanje horizontalne brzine. *Petlja* je let aviona u vertikalnoj ravni po zatvorenoj krivulji, promenljivoj poluprečnika krivine sa izlaskom u pravcu uvođenja. Avion se uvodi u petlju punim gasom koji se smanjuje ili oduzima po prelasku gornje mrtve tačke. Preopterećenja u toku cele petlje moraju biti pozitivna. *Valjak* je okretanje aviona za 360° oko njegove uzdužne ose sa izlaskom u pravcu uvođenja i bez promene visine. Kod laganog valjka dolazi do negativnog preopterećenja, a kod brzog valjka do većeg naprezanja materijala. *Prevrtanje* je promena pravca za 180° sa gubljenjem visine u vertikalnoj ravni. U suštini, to je kombinacija poluvaljka i druge polovine petlje. U prevrtanju ne treba da dođe do negativnog preopterećenja. *Imelman* je brza promena pravca za 180° u vertikalnoj ravni sa dobijanjem visine. Sastoji se od prve polovine petlje i druge polovine valjka. *Ranversman* je promena pravca leta aviona za 180° u propinjanju okretanjem oko upravne ose aviona. Pri brzini kao za petlju, avion se uvodi u propinjanje, i kada brzina opadne, avion se okreće oko upravne ose. Zatim, avion ulazi u spuštanje pod uglom iste veličine kao i u propinjanju, i po dostizanju određene brzine prevodi se u horizontalni let. *List* je uzastopno klizanje s krila na krilo, tako da let aviona, posmatran odspreda, liči na padanje otkinutog lista. *Zvono* je gubitak brzine aviona u propinjanju pod uglom blizu 90° sa prelaskom u klizanje na rep, okretanje oko poprečne ose sa prelaskom u obrušavanje.

*Letenje na ledima* dopušta se jedino na specijalno za tu svrhu građenim avionima. U letenju na ledima komande aviona u odnosu na horizont imaju obrnuto dejstvo, ali im je dejstvo u odnosu na ose aviona i dalje normalno.

LIT.: Pilot's Flying Manual, London 1949. — *Encikl. Tehn. Znanja*: Tehnika vazduhoplovstva, Beograd 1951. — ICAO, Règles de l'air, Annexe 2, Montreal 1952; Aérodomes, Annexe 14, Montreal 1953. — *I. Cor*, Infrastructure, Paris 1956. — *Vojna enciklopedija* 1., Beograd 1958. — *Ing. R. Marković*, Radiouređaji u vazduhoplovstvu, Beograd 1939. — *O. B. Belasun*, Радиотехнические средства самолетовождения, Москва 1956. — *R. A. Smith*, Radio aids to navigation, Cambridge 1947. — *John S. Hall*, Radar aids to navigation, New York and London 1947. — *Etienne*, La défense contre l'incendie des aérodomes, Paris 1957. — Zbornik vazduhoplovnih propisa — AIP, Beograd 1959. — *Pravila letenja JRV*, Beograd 1955. Sv. Po.

**AEROTEHIKA**, kompleksna grupa od više raznih, većinom srodnih naučnih disciplina ili njihovih pojedinih grana, koje su postale neophodne kao sredstvo za stvaranje, projektovanje, konstrukciju i dalji razvitak vazduhoplovnih sprava ili letelica ma kakve vrste.

Od samog početka stvaranje vazduhoplova, kao i njihov dalji razvitak, bilo je uslovljeno stanjem aerotehnike, makar i u primitivnoj formi, a s druge je strane konstruktorska i stvaralačka delatnost vršila stalan pritisak i davala podstrek za dalji uporedan razvitak pojedinih teorijskih grana aerotehnike. Tako su se dve srodne vrste stvaralačke delatnosti povezale u jednu nerazlučnu organsku celinu. Ovakav spreg, pored dosadanih postignutih uspeha u samim vazduhoplovnim konstrukcijama, dao je i neke rezultate od opštijeg značaja, kao npr. neke nove vrste konstrukcionih

materijala (lake legure i sl.) koji odavno nalaze sve širu praktičnu primenu i izvan domena vazduhoplovnih konstrukcija.

Aerotehnika spada u relativno mlade nauke, i njen realan početak može da se poveže sa prvim ostvarenjem čovekovog leta u balonu — «aerostatu» 1783, koji predstavlja u istoriji datum ostvarenja vekovnog čovekovog sna da savlada prirodnu silu teže i da se odlepi od zemlje.

Iako se ne može osporiti široko i enciklopedijsko naučno obrazovanje i znanje slavnog Leonarda da Vinci iz XV v. i ozbiljnost s kojom je on obrađivao svoje konstruktivne studije i projekte letućih mašina, baš praktičan neuspeh jednog od najvećih umova i naučnika svoga doba najbolje ilustruje nerazvijenost aerotehnike onog doba, kao i opšte mašinske tehnike, a naročito tehnologije konstrukcionog materijala. Ne treba zaboraviti da je Leonardo najviše proučavao baš aerodinamičke letće mašine sa složenim sistemima pogona i komandovanja.

Zbog takvog niskog nivoa aerotehnike bilo je potrebno da prođe preko 250 godina od Leonardovih projekata do stvarnog prvog čovekovog leta. I taj let je u ono doba bio moguć jedino u vidu *statičke letće mašine* — *balona* ili *aerostata*. Za prvi uspehi let upotrebljen je bio balon od svilene materije ispunjen toplim vazduhom, a odmah zatim prešlo se na upotrebu vodonika. Kako se vidi, za taj prvi uspeh dovoljno je bilo poznavanje osnovnih fizičkih i hemijskih zakona, kao i najprimitivnije tehnologije tekstila.

Tako se rodio prvi vazduhoplov, koji je za dugo vremena orijentisao ceo dalji tok razvitka u pravcu *statičke letće mašine*, balona. Ali je od samog početka balon ispoljio svoj osnovni nedostatak, bespomoćnost i neupravljivost, jer je bio potpuno prepušten volji i pravcu vetra. Sa ciljem da se omogućiti upravljanje balonom i plovdba bez obzira na pravac vetra, balon je počeo da se usavršava i da menja svoj izgled, te je na kraju dobio oblik profilisanog vretenastog tela sa krmenim površinama i sa motornim pogonom pomoću elisa. Tako je stvoren upravljivi balon, *dirizabl* (od franc. dirigable *upravljiv*).

Ali do ove krajnje faze razvitka balona trebalo je da prođe mnogo vremena, jer je trebalo stvoriti odgovarajući noseći laki kostur celog balona sa krmenim površinama i postaviti na njega motorni pogon. Pored toga, a u cilju boljeg osiguranja od požara, i vodonik za punjenje je zamenjen helijumom. Za ovaj uspeh već nije bila dovoljna samo fizika i hemija, nego je trebalo dobro razviti i upoznati i aerodinamiku, statiku rešetkastih lakih konstrukcija, kao i tehniku lakih benzinskih motora. Kulminacija napora i uspeha na stvaranju i usavršavanju upravljivih balona pada u sam početak XX v., istovremeno sa stvaranjem automobila i njihovih lakih benzinskih motora, koji su omogućili pogon i balonima. Istovremeno vrše se i sistematska proučavanja i eksperimentalna merenja aerodinamičkih pojava i zakona u brojnim naučnim institutima. Svi ti povoljni uslovi daju mnogo podstreka pristalicama stare i napuštene ideje *dinamičke letće mašine* da ponovo okušaju sreću. Ovog puta, pod znatno povoljnijim uslovima, ni rezultat nije izostao. Dva brata, Amerikanci Orville i Wilbur Wright, ušli su 19. XII 1903 u istoriju kao prvi konstruktori i piloti koji su na svojoj dinamičkoj letćoj mašini uspehi da polete pomoću motornog pogona. Iako je ovaj njihov prvi let bio izveden na svega nekoliko stopa visine i nekoliko desetina metara dužine, on je ipak predstavljao veliku prekretnicu u razvoju vazduhoplovstva, koje je dotad skoro isključivo išlo putem razvoja *statičkih letćih mašina*. Zbog toga je i sasvim opravdano što se ovaj datum uzima kao početak vazduhoplovstva u pravom smislu te reči, naročito kad se pode sa stanovišta dosada postignutih uspeha i brzina, a s obzirom na to da je ubrzo posle toga balon izgubio utakmicu sa dinamičkom letćom mašinom.

Od toga dana, u stvari, počinje nagli razvitak aviona i njegovo ubrzano usavršavanje. U početku je to išlo teže i sporije i plaćano je brojnim i čestim ljudskim žrtvama, sve dok se nisu podrobnije proučili i upoznali teorijski naučni osnovi i zakoni aerodinamike, koji su konstruktorima pružili mogućnost realnijih predviđanja i predračuna. Svako teorijsko-naučno i konstruktivno rešenje kojeg od bitnijih problema iz avionskih konstrukcija bilo je praćeno naglijim i osetnim skokovima u performansama aviona. To su bile vrlo jasne i markantno obeležene etape u razvitku aviona. Kao primer treba navesti: elisu sa promenom koraka u letu, uvlačenje stajnih organa, primenu sistema hiperpotiska (zakrilca, pretkrilca

itd.) i, naročito, revolucionarno rešenje novog pogona pomoću turbomlaznih motora, koji je omogućio dosada najveći mogući skok u pogledu brzine vazduhoplova do daleko preko granica brzine zvuka. Ovaj neobični uspeh novog turbomlaznog motora proiziŝao je iz dve pozitivne okolnosti: eliminacije elise i neverovatne koncentracije, odnosno akumulacije snage u relativno malom i lakom motornom agregatu.

Taj vratolomno brzi razvoj aviona, koji nema takmaca u istoriji razvoja ma koga drugog saobraćajnog sredstva, ubrzo je doveo do toga da dotadašnji podvizi postignuti sa upravljivim balonima budu dostignuti i ubrzo i prestignuti. Balon je već posle nepune dve decenije od postanka aviona izgubio utakmicu i bio osuđen na povlačenje. Glavni uzroci njegove inferiornosti bili su: goleme dimenzije i u vezi s tim veliki aerodinamički otpor a mala brzina balona (do ~ 150 km/čas), podložnost glomaznog i sporog balona strahovitom uticaju vetrova, koji su praktično onemogućavali njegovu plansku regularnu službu leta, a naročito premo okeana, za koju je službu on bio prvenstveno zamišljen i projektovan; delikatnost, složenost, opasnost i skupoća manevrisanja na zemlji sa tako glomaznim objektom; relativno visoka nabavna cena samog balona i potrebnih hangara velikih dimenzija. Za bolju ilustraciju prednjih problema treba navesti glavne konstruktivne karakteristike poslednjeg tipa dirižabla »Zeppelin« iz 1934: dužina 248 m, prečnik balona 41,20 m i ukupni deplasman 190 000 m<sup>3</sup>.

Razvatak aerotehnike, naročito dinamičkih letućih mašina, bio je naročito brz u periodima dva svetska rata, kada su sve vojne uprave uložile velike napore i sredstva za unapređenje te tehnike koja im je odlično poslužila u ratne svrhe kao izviđačko i borbena sredstvo.

Naoružani sve novijim i brojnijim saznanjima i naučnim dostignućima iz pojedinih naučnih grana aerotehnike, konstruktori aviona nisu se više zadovoljavali dotadašnjim ustaljenim formulama aviona, nego su svoje stvaralačke ideje počeli da šire i na sve novije koncepcije dinamičkih letućih mašina.

Tako su najpre stvoreni za upotrebu na vodi *hidroavioni* ili *hidroplani*, koji su u stvarnosti zadržali sve osnovne oblike normalnih aviona. Neposredno posle njih stvoreni su kombinovani tipovi *amfibija*, koji treba da budu sposobni za operacije sa zemlje i sa vode.

Zatim se javlja težnja ka skraćivanju staza poletanja i sletanja, koja je vodila ka novoj formuli obrtnog nosećeg sistema, *rotora*. Tako se stvara kategorija *žiroplana*. Prva vrsta praktično uspele konstrukcije ove kategorije bio je *autožiro* sa samoobrtanim rotorom na principu vetrenjače i sa klasičnom vučom pomoću elise. Tek druga vrsta ove kategorije, tipa *helikopter*, praktično je potpuno postigla postavljeni cilj, omogućivši potpuno vertikalno poletanje i sletanje, kao i lebdenje u mestu. Ali helikopter je pored navedenog uspeha u poletanju i sletanju pokazao i mnoge svoje organske nedostatke, kao problematičnost stabilizacije, konstruktivnu složenost i relativno malu horizontalnu brzinu. Zbog toga je konstruktorima postavljen novi zadatak: stvoriti koncepciju aviona koji će biti sposoban za vertikalno ili bar vrlo kratko uzletanje i sletanje, a da to ne bude na štetu njegove horizontalne brzine. Ti problemi dobili su svoje međunarodne skraćene nazive: »VTOL« i »STOL« (Vertical take-off and landing i Short take-off and landing). To se zasada rešava uglavnom pojačanjem ili pogodnom dispozicijom motornog pogona, skretanjem mlaza itd. Prve probe u cilju studija stabilnosti i upravljivosti ovakvih mašina izvedene su sa tzv. *letećim motorima* i *letećim platformama*.

Pored prednjeg neposrednjeg načina rešenja pomoću aviona javlja se i mogućnost konstruktivne kombinacije objedinjenja dobrih osobina aviona i helikoptera pomoću komandovanih (obrtnih) motora, rotora ili celog krila. To je u poslednje vreme vrlo aktuelna kategorija *konvertoplana*, koji se nalaze još u početnoj fazi svog razvika.

Konačno, današnje savremeno stanje moderne tehnike omogućilo nam je i stvaranje famoznih letućih vasionkih satelita. Iako satelit ne stvara aerodinamičku uzgonsku silu kao druge naše letelice, on ipak u svojoj suštini spada u dinamičke leteće mašine, jer se održava u letu savlađujući svoju težinu suprotnim dejstvom centrifugalne sile prouzrokovane vlastitom brzinom, a ova brzina je stvorena dinamičkim pogonom pomoću raketnog motora.

LIT.: M. Арлазоров, Человек на крыльях, Москва, 1950. — C. H. Gibbs-Smith, A history of flying, London 1953. — Hébrard, L'aviation des origines à nos jours, Paris 1954. — A. Bié i G. Salomon, L'aéronautique, son histoire, Paris 1956. — G. Wißmann, Die Luftfahrt, Berlin 1960. Si. M.

**AEROTUNEL (aerodinamički tunel)** je opitno postrojenje za stvaranje jednolike vazdušne struje radi određivanja aerodinamičkih svojstava tela.

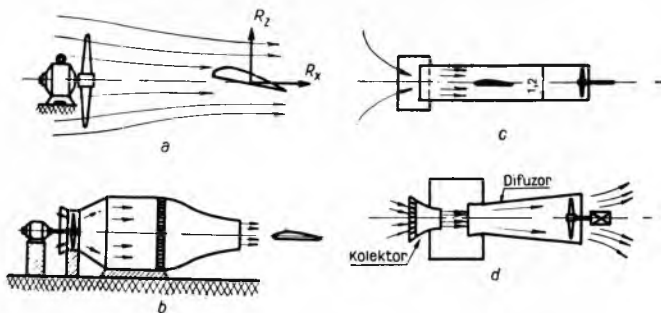
Prvi aerotunel odnosno prvo postrojenje za stvaranje umetne vazdušne struje načinio je F. H. Wenham 1871 u Velikoj Britaniji. Njegov zemljak H. Philips načinio je 1884 aerotunel koristeći ejektorsko dejstvo sabijenog vazduha.

Čuveni ruski naučnik N. E. Zukovski načinio je 1891 aerotunel prečnika od dve stope.

U prvoj dekadi dvadesetog veka pojavili su se aerotuneli u više zemalja. U Engleskoj graditelji aerotunela bili su Stanton i Maxim, u Francuskoj Rateau i Eiffel, u Nemačkoj Prandtl, u Italiji Crocco, u Rusiji Zukovski i Rjabušinski.

U upoređenju sa savremenim aerotunelima ta prva postrojenja bila su sasvim skromna. Tako npr. ni jedan aerotunel izgrađen pre 1910 nije imao veću snagu od 100 KS, dok danas postoje aerotuneli snage i do 200 000 KS.

Prvobitno su za stvaranje vazdušne struje korišćeni ventilatori koji su neposredno duvali vazduh na model u ispitivanju (sl. 1a). Kasnije je ventilator ugrađivan u cev kroz koju je duvao vazduh na model. Cev je imala zadatak da umanji vrtloženje iza ventilatora i da koliko toliko stvori jednoliku struju. Ovo je tzv. *duvaljka* (sl. 1b).



Sl. 1. Razvoj ispitivanja sa nepokretnim modelom. a neposredno duvanje, b duvaljka Rateau (1909), c postrojenje »Rjabušinski« (1906) sa usisavajućim ventilatorom, d aerotunel tipa »Eiffel«

Dalji napredak u poboljšanju osobina vazdušne struje bila je upotreba ventilatora koji su usisavali vazduh kroz cev u kojoj se nalazio model (sl. 1c). Međutim, tek uvođenjem dvaju bitnih elemenata u konstrukciju aerotunela: kolektora i difuzora, što je učinio francuski naučnik Eiffel (1909), počinje stvarni napredak u tehničkim ostvarenjima aerotunela (sl. 1d).

Uslovi sličnosti pri ispitivanjima i stvarnom letu zahtevali su s jedne strane povećavanje brzina a s druge strane povećavanje dimenzija radnog dela aerotunela. Brzine strujanja u radnom delu od ~ 50...60 m/s u klasičnim aerotunelima narasle su u izvesnim specijalnim aerotunelima i do brzina 16...20 puta većih od brzine zvuka.

Površine poprečnih preseka radnog dela aerotunela kreću se u širokom dijazonu. Danas se mogu naći aerotuneli sa površinom poprečnog preseka radnog dela počev od svega nekoliko santimetara do blizu 300 m<sup>2</sup>.

Broj aerotunela 1914 jedva da je iznosio oko desetak, danas ima nekoliko stotina značajnijih postrojenja.

#### KONSTRUKTIVNA IZVOĐENJA I DELOVI AEROTUNELA

Načini stvaranja umetne vazdušne struje, odnosno izvođenja aerotunela, veoma su različiti i zavise od namene, pogonske grupe, brzine mlaza u radnom delu i dr. Danas postoji veliki broj vrlo različitih aerotunela kako po obliku, veličini, konstruktivnim rešenjima tako i po nameni i postignutim brzinama. U osnovi postoje dva glavna tipa aerotunela u pogledu izvođenja: protočni i povratni. *Protočni aerotunel* je postrojenje za stvaranje umetne vazdušne struje kroz koje za vreme rada protiču stalno nove količine vazduha (sl. 2a). *Povratni aerotunel* je postrojenje za stvaranje umetne vazdušne struje u kome za sve vreme rada kruži jedna ista količina vazduha (sl. 2b).

Glavni delovi protočnog aerotunela jesu: uvodni mlaznik (kolektor), radni deo, izlazni mlaznik (difuzor) i pogonska grupa sa usmerivačima i umirivačima.

Povratni aerotunel sem gornjih delova ima još i povratni vod koji se sastoji od kolena, povratnih difuzora i skretnih lopatica.

**Kolektor** je uvodni deo aerotunela u vidu cevi promenljivog oblika. Površina preseka kolektora smanjuje se po određenom zakonu od ulaza ka izlazu. Smanjenje površine preseka ima za posledicu povećavanje brzine strujanja vazduha, koja postiže svoju najveću vrednost na izlazu iz kolektora, tj. u radnom delu aerotunela. Odnos površine ulaznog i izlaznog preseka kolektora naziva se kontrakcijom

$$k = S_u/S_1. \quad (1)$$

Kontrakcija starijih tipova kolektora iznosila je ~ 5...6, a dužina im je bila obično jednaka dvostrukom prečniku izlaznog preseka. Veća kontrakcija, za određenu veličinu preseka radnog dela, zahteva i veće dimenzije aerotunela. Savremeni aerotuneli sa veoma niskom uzburkanošću imaju kontrakciju ~ 15...16, a postoje izvođenja sa kontrakcijom između 20 i 25.