

1871. i 1884.

Prvi aerotuneli prekidnog rada  
izgrađeni u Engleskoj.

11.265 km/h

Najbrži zabeležen  
let avionom (NASA X-43)

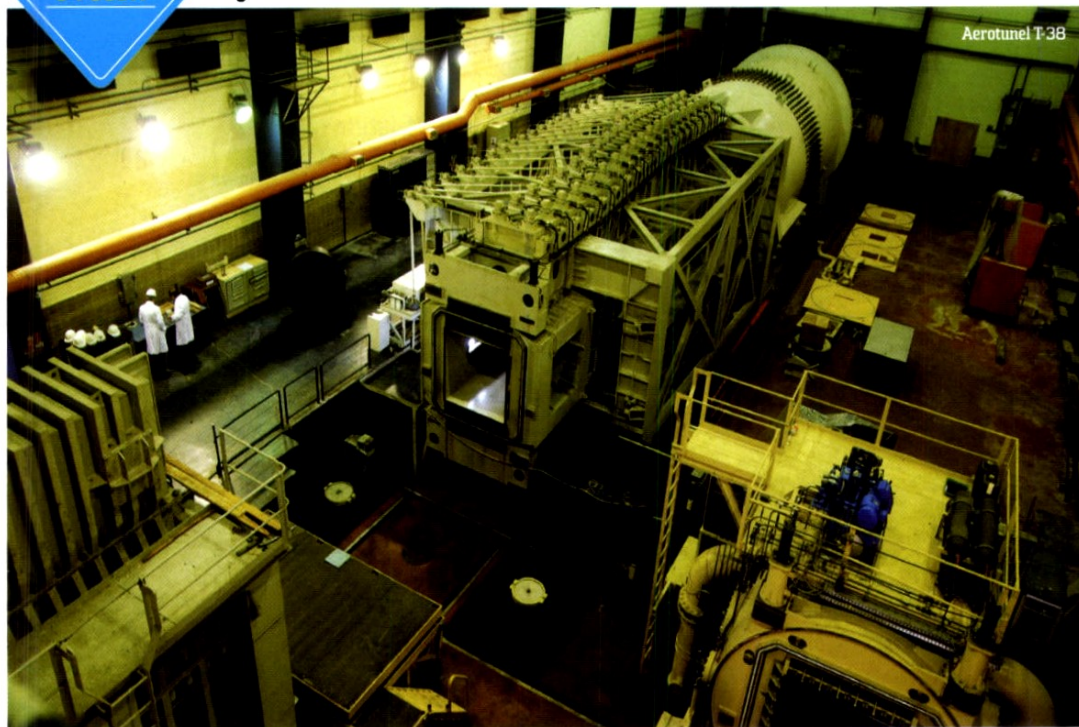
10,9 km/h

Brzina letelice  
braće Rajt.



Vojnotehničkom institutu

PIŠE Gradimir Joksimović



## Teorijska osnova letenja

Ljudi su oduvek zavidili pticama. San o letenju je bio jedan od većitih snova čovečanstva. Od pračoveka do kraja industrijske revolucije čovek je s poštovanjem, strepnjom i nadanjem gledao u nebo, a ideja o njegovom osvajanju činila se kao poslednja granica.

**T**AKO JE BILO sve do 17. decembra 1903. godine, kada su se Orvil i Vilbur Rajt za 12 sekundi preleteli 37 metara, tri metra iznad zemlje, prosečnom brzinom od 10,9 kilometara na čas.

Letenje danas uzimamo zdravo za gotovo. Međutim, Džambo džetovi, projektili, spesh šatlovi, brzi trkački automobili i čamci, trkački bicikli, pa i neki tipovi kompjuterskih čipova možda nikada ne bi bilo napravljani da nije bilo jednog tehnološkog dostignuća - aerotunela.

Aerotunele inženjeri koriste da bi testirali aerodinamičke parametre različitih objekata, od automobilskih stakala do supersoničnih aviona. Aerodinamika kao nauka proučava protok vazduha ili gasova oko objekta u pokretu. Uz bolje razumevanje načina na koji se vazduh kreće oko i preko objekata, proizvođači mogu da osmi-

sle i naprave brže, bezbednije, pouzdanije i efikasnije proizvode. Aerotuneli obezbeđuju kontrolisanu sredinu za ovu vrstu testiranja. Oni predstavljaju šuplje cevi sa mehanizmima za stvaranje kontinuiranog ili prekidnog protoka vazduha. Neki tuneli su male veličine i služe za testiranje veoma malih objekata. Drugi tuneli su masivne strukture u kojoj inženjeri testiraju modele vozila i vazduhoplova koji su skalirani ili čak u prirodnoj veličini.

Krećanjem vazduha u tunelu simuliraju se uslovi koji postoje tokom kretanja objekta, dok različiti senzori i merni instrumenti postavljeni u tunelu i na objektima koji se testiraju inženjerima pružaju dragocene podatke o tome kako objekti reaguju na kretanje. Tokom ovih ispitivanja mere se stacionarne i nestacionarne aerodinamičke sile i momenti, lokalni statički pritisci i ispituje se oblik opstrujavanja primenom



Proizvodnja aerovage u VTI, obrada elektroerozijom

metoda vizuelizacije. Pored korišćenja za razvoj raznih vrsta letelica, aerodinamika aerotunela je od velikog značaja za rešavanje problema pri projektovanju automobila, brodova, vozova, mostova, antenskih stubova i drugih objekata.

### TRISONIČNI AEROTUNEL T-38

U Vojnotehničkom institutu u Beogradu, u okviru Aerodinamičke laboratorije postoji trisonični aerotunel T-38, koji je konstruisan u sklopu programa razvoja novog nadzvučnog aviona i perspektivnih



## Putem adrese

<http://goo.gl/ipgrp> možete preuzeti snimak **Širen vizualizacije strujanja** na Mahovom broju 2,5 oko standardnog modela HB-2 u aerotunelu T-38

programa razvoja raketa, koji su bili aktuelni početkom osamdesetih godina prošlog veka. Za projektanta aerotunela je izabran, u to vreme svetski lider za ovaku vrstu aerotunela, kompanija DSMA iz Toronta. Ugovor je potpisan 1980. godine, izgradnja završena 1983. godine, a aerotunel je tehnički primljen i pušten u rad 1986. godine. Izgradnjom ovog aerotunela omogućeno je ispitivanje složenih modela i primena velikog broja metoda aerotunelskih merenja. Aerotunelska tehnika u Vojnotehničkom institutu je dostigla veoma visok nivo tako da su aerotuneli postali vodeći eksperimentalni kompleks u jugoistočnoj Evropi.

Trisonični aerotunel T-38 je aerotunel prekidnog dejstva sa nadpritiskom i kvadratnim radnim delom dimenzija 1,5 m × 1,5 m. Atmosferski vazduh, kome je oduzeta vlaga, se komprimuje u pet cilindričnih rezervoara ukupne zapremine 2600 kubnih metara pod pritiskom do 20 bar, pomoću petostepenog centrifugalnog kompresora snage 3.6 MW. Ukupna masa komprimovanog vazduha pod pritiskom od 20 bar je 65000 kg. Debljina zidova rezervoara je 30 mm, prečnik jednog cilindra je 3,75 m, a dužina oko 45 m. Kompresor se napaja električnom energijom preko dalekovoda direktno iz termoelektrane „Nikola Tesla“ u Obrenovcu. Tokom rada aerotunela uspostavlja se

strujanje vazduha između rezervoara i slobodne atmosfere. Ispitivanja u aerotunelu T-38 moguća su u tri opsega brzina – subsoničnom, transoničnom i supersoničnom u intervalu Mahovih brojeva od 0,2 do 4 i velikih Reynoldsovih brojeva do 140 miliona/m. Raspoloživo vreme rada aerotunela je od 6 s do 60 s u zavisnosti od Mahovog broja i zaustavnog pritiska ispitivanja. Model se u radnom delu aerotunela preko repnog držača (stinga) postavlja na mehanizam koji obezbeđuje kretanje po propinjanju i valjanju, tako da se mogu postići željeni aerodinamički uglovi. Omogućeno je kontinualno i kretanje modela korak-po-korak tokom merenja. Aerotunel T-38 je osposobljen da podrži veliki broj testova na modelima aviona i projektila.

### KAKO RADI

Princip prekidnog dejstva aerotunela zasniva se na potencijalnoj energiji razlike pritiska vazduha između dva prostora velike zapremine. Spajanjem ta dva prostora s brzo-otvarajućim ventilom, potencijalna energija se pretvara u kinetičku. Na taj način se postižu velike brzine strujanja u ograničenom vremenu trajanja, od prostora većeg, prema prostoru manjeg pritiska.

Aerotuneli u kojima se postižu brzine strujanja vazduha jednake i veće od brzine zvuka, za razliku od podzvučnih i okozvučnih, imaju mlaznik. Mlaznik se sastoji od konvergentnog i divergentnog dela i grla. U grlu se postiže brzina zvuka. Od geometrije mlaznika zavisi postignuti Mahov broj, u radnom delu aerotunela. Jednoj vrednosti Mahovog broja odgovara jedna određena geometrija mlaznika. Odnosno, u radnom delu aerotunela postiže se željeni Mahov broj, uspostavljanjem odgovarajuće geometrije mlaznika.

Kod trisoničnog aerotunela T-38 u Vojnotehničkom institutu (na skici), gornja i donja fleksibilna ploča mlaznika se automatski podešavaju. Ploče su urađene od specijalnog čelika debljine 25 mm, dužine 11,6 m i širine 1,5 m. Operator aerotunela putem računara zadaje željeni Mahov broj, a računar, zatim, prema odgovarajućoj geometriji, zadaje potrebne pozicije svakom od 19 hidrauličnih pokretača koji pomeraju ploče (za ispitivanja na visoko-transoničnim i supersoničnim brzinama). Primera radi, na Mahovom broju 4 ploče su u grlu na rastojanju manjem od 100 mm. Za ispitivanja na Mahovim brojevima manjim od 1 (subsonične i nisko-transonične brzine) ploče su paralelne i njihovo međusobno rastojanje je približno visini radnog dela aerotunela.



Rezervoari aerotunela T-38



Radni deo aerotunela T-38



Osnovne komponente aerodinamičkog opterećenja

## VTI i Aerodinamička laboratorija

Vojnotehnički institut (VTI) je najveća vojna ustanova i sastavni je deo Ministarstva odbrane Republike Srbije. Akreditovan je kod Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj kao naučno-istraživačka institucija Republike Srbije. Integralni je deo Univerziteta odbrane, zajedno sa Vojnom akademijom i Vojnomedicinskom akademijom.

Glavni cilj delovanja VTI je razvoj naoružanja i vojne opreme (NVO), kao proizvoda visoke tehnologije. Ovaj cilj se uspešno ostvaruje, jer je u operativnu upotrebu Vojske Srbije usvojeno preko 1.300 sredstava NVO. Pri tome,

osvojene su brojne nove tehnologije, mnogi savremeni materijali i nove metode ispitivanja. VTI zapošljava nekoliko desetina lica sa najvišim naučnim i nastavnim zvanjima, a 80% zaposlenih VTI-a čini istraživački kadar. Aerodinamička laboratorija osnovana je 1952. godine i njene osnovne delatnosti su aerotunelska ispitivanja, projektovanje i izrada modela, aerotunelske opreme i instrumentacije. Osnovni zadatak aerodinamičke laboratorije je eksperimentalna podrška istraživanjima i razvoju u fazi projektovanja aviona, raketa i projektila. Laboratorija ima pet aerotunela i

radionicu za projektovanje i izradu modela. Aerotuneli su opremljeni modernom instrumentacijom, koja omogućava različita aerotunelska ispitivanja i merenja statičkih i dinamičkih karakteristika modela. Aerodinamička laboratorija je izradila i ispitala modele domaćih aviona, kao što su G-2 (GALEB), J-21 (Jastreb), J-22 (Orao), G-4 (Super Galeb), L-95 (Lasta), modele domaćih raketa, kao što su Osa (OSA), Zolja (ZOLJA), Bumbur, Oganj (OGANJ), Orkan (ORKAN), Grom (GROM AS), kao i veliki broj različitih modela za klijente iz inostranstva.

*Zahvaljujući* **mr Dijani Damjanović** iz Sektora za eksperimentalnu aerodinamiku i prototipove VTI na pomoći u realizaciji teksta