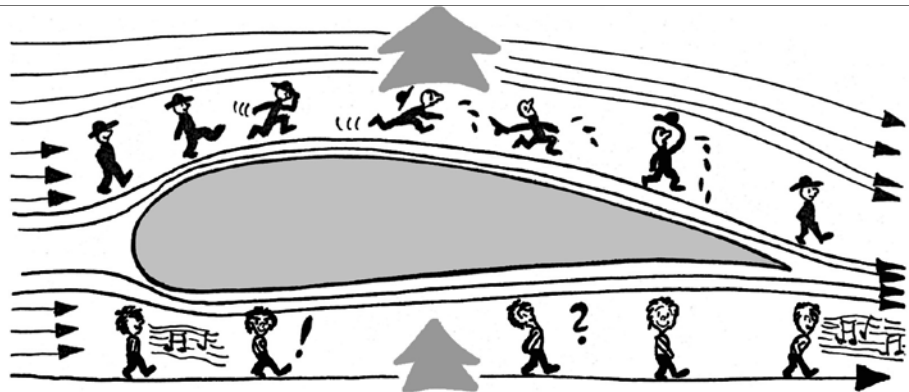


AERODINAMIČKI TUNELI. U njima se najčešće ne ispituju pravi avioni, već njihovi umanjeni modeli. Aerodinamički tuneli su cevi kroz koje struji vazduh pokretan snažnim ventilatorima. Specijalni filtri (sita), postavljeni u ovakav tunel, imaju zadatak da usmere struju vazduha i smanje vrtloženja. Model se fiksira u suženom delu cevi, gde su strujanja najbrža, kao kod venturi-cevi. To je radni deo tunela. Model koji se ispituje senzorima je vezan za instrumente koji mere sve sile koje nastaju kao posledica kretanja vazduha oko modela. Propuštanjem obojenih gasova ili lepljenjem stotina i stotina končića na model moguće je dobiti sliku opstrujavanja (strujni spektar) ispitivanog predmeta u različitim položajima.

KRILO

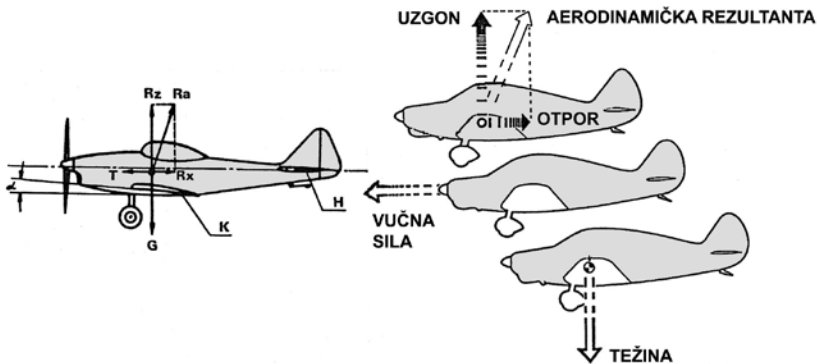
Kad je avionsko krilo već tako savesno ispitano, pogledajmo ga i iz profila.

Zapazićemo da je gornja površina krila (*gornjaka*) zakrivljena, tj. ispupčena. Donja površina krila (*donjaka*) relativno je ravna. S razlogom. Ispupčenje gornje površine krila može da se uporedi s odgovarajućim suženjem u venturi-cevi. Drama stvaranja uzgona odigrava se na sledeći način: vazduh koji juriša na prednju (*napadnu*) ivicu krila račva se na dva kraka: jedan struji preko gornjake, a drugi teče duž donjake. Na putu ka zadnjoj (*izlaznoj*) ivici krila gornja struja vazduha, zbog veće zakrivljenosti aeroprofila, mora da pređe nešto duži put od struje vazduha na donjaci. A da bi ga obe prevalile za isto vreme, struja vazduha na gornjoj površini krila prinuđena je da hita brže. Zbog toga nastaje razlika u pritiscima: statički pritisak vazduha na donjaci krila je povišen, a na gornjaci snižen, pa nastaje vertikalna komponenta uzgona. Krilo – i ceo avion sa njim – poleće!



Kako nastaje uzgon na aerofilu

Sada je lako shvatiti koje sile deluju na avion u letu: motor na posredan način, obrtanjem elise, stvara *vučnu* (ili, kod mlaznih aviona – *potisnu*) silu T , koja deluje u smeru leta. Noseće površine aviona, a to su krila i horizontalni rep, stvaraju silu *uzgona* R_z i, istovremeno s trupom štetnu silu *čeonog otpora* R_x . Sila težine aviona G suprotstavlja se sili uzgona, delujući vertikalno nadole.



Sile koje deluju na avion u letu

Molim vas da sada izađete na pistu i proučite fenomen poletanja. Primetićete avion koji stoji nepokretan na početku staze za poletanje. U ovoj, pasivnoj fazi tek za početog leta na njega deluje samo jedna sila: sila vlastite težine. Ali, čim pilot gurne ručicu gasa napred, obrtaji motora se dramatično povećavaju, elisa počinje da grabi ogromne količine vazduha i pomera avion s mrtve tačke. Dok ubrzava, vazduh počinje da pokazuje svoje pravo lice: sve više raste čeonni otpor. I tako, dok je letelica još na zemlji, prinuđena je da savladava em čeonni otpor vazduha, em još i otpore kotrljanja.

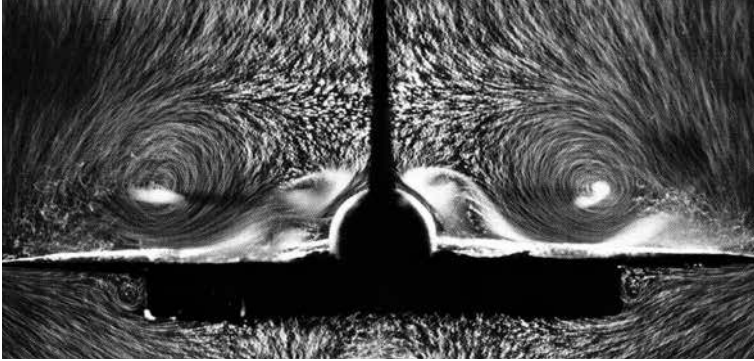
Jasno je da su sada sve sile probuđene. Prednjači vučna sila, a tako će biti sve dok avion ubrzava. Konačno, kada sila uzgona dostigne određenu vrednost, a ona mora da bude jednaka celokupnoj težini aviona, on tek ovlaš dodiruje tlo točkovima.

Na svu sreću, avionski motor ima još snage u rezervi. Vazduh sve brže struji oko avionskih krila, sila uzgona nadjačava težinu i odnosi konačnu pobeđu u ovoj delikatnoj trci s poslednjim metrima piste... Letelica je u vazduhu!

Avion se penje. Šta to znači? Ništa drugo osim da vučna sila mora da bude veća nego u horizontalnom letu. A da bi avion zadržao nepromenjenu visinu leta, vučnu silu treba smanjiti. U ustaljenom letu, kada avion održava nepromenjenu vazдушnu brzinu, vučna sila je izjednačena sa silom čeonog otpora. Ako ubrzava, vučna sila je veća od sile otpora, a ako usporava, moramo dopustiti sili čeonog otpora da nadjača vučnu silu. Kada avion krene u poniranje, vučna sila svakako mora da bude manja

od one u horizontalnom letu. E, to su trenuci predaha za avionski motor jer je tada glavna pogonska snaga — sila Zemljine gravitacije.

Na tananoj ravnoteži ovih sila počiva neizmerna čarolija letenja.



Strujnice vazduha koje avion generiše tokom poletanja i nastavka leta kroz atmosferu

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE KRILA. Krilo je to koje nosi avion i od njega najviše zavisi kako će se avion ponašati u letu. Od oblika krila, površine i ugla pod kojim je postavljeno u odnosu na smer kretanja vazduhoplova zavisi i kvalitet aerodinamičkih sila. Sve veće brzine zahtevale su neprekidno aerodinamičko usavršavanje i krila i aviona u celosti.

KONTURE KRILA, gledane iz ptičje perspektive, mogu da budu različitog oblika:

- *pravougaono krilo* se primenjivalo u početku razvoja avijacije. Jednostavno je i lako za izradu, ali, nažalost, pokazuje vrlo loše aerodinamičke osobine;

- *pravougaono krilo sa zaobljenim krajevima* je u tom pogledu nešto bolje, ali i dalje daleko od savršenstva;

- *trapezasto krilo* je još povoljnije od pravougaonog, što se naročito odnosi na *trapezasto krilo sa zaobljenim krajevima*. Do sredine XX veka rado je korišćeno na većini aviona;

- *elipsasto krilo* u aerodinamičkom smislu daje najbolje rezultate. Nažalost, izrada ovakvog krila prilično je komplikovana. Jedan od retkih aviona koji je mogao da se pohvali elipsoidnim krilom bio je legendarni lovac iz Drugog svetskog rata spitfajer konstruktora Redžinalda Mičela. „Dajte nam spitfajerova krila, pa ćete videti šta možemo!”, govorili su nemački piloti svojim starešinama;

- *strelasto krilo* je našlo primenu kod aviona velikih brzina, kao neuporedivo podjednije od svih ostalih oblika. I, konačno,

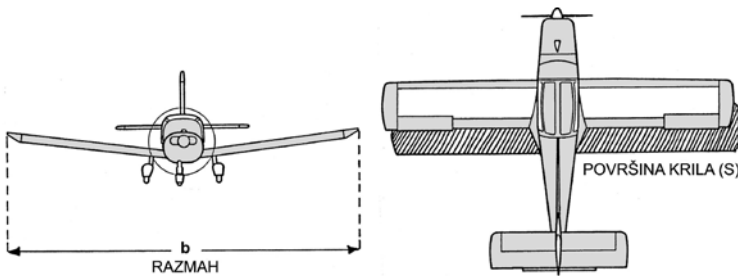
- *delta krilo*, koje ima i najsavršeniji oblik, koristi se za avione i rakete veoma velikih brzina, koje višestruko nadmašuju brzinu zvuka.

Avioni sa *promenljivom geometrijom krila* balansiraju između potrebe za što većom

brzinom u letu i što manjom brzinom aviona na sletanju i poletanju. Pilot, pomoću složenog mehanizma, bira najpovoljniju konfiguraciju krila dok se priprema za određeni manevar.

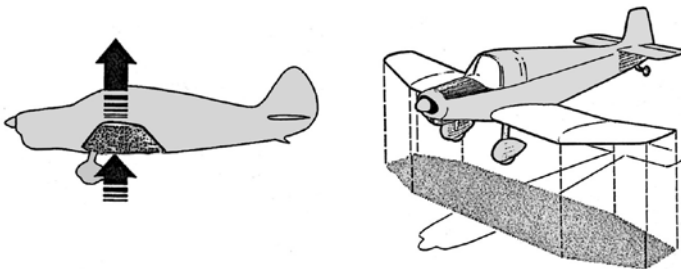
AEROPROFIL KRILA je ono što vidimo na poprečnom preseku krila. Profili se razlikuju po debljini i obliku. Deblji profili koriste se na sporijim, a tanki na bržim avionima. Što se oblika tiče, profili mogu da budu simetrični i nesimetrični. *Simetrični profili* imaju podjednako zakrivljenje (ispupčenje) i gornje i donje površine, pa omogućavaju efektivnije manevrisanje avionom u akrobacijama, naročito u leđnom letu. U *nesimetrične profile* spadaju svi ostali, dakle oni čija je donja kontura ravna, udubljena ili donekle ispupčena. Aeroprofil značajno utiče na većinu aerodinamičkih sila koje deluju na krilo.

RAZMAH ILI RASPON KRILA označava rastojanje od jedne do druge krajnje tačke krila, po poprečnoj osi aviona. To znači da treba da ga posmatramo frontalno, sprema ili otpozadi.



Razmah i površina krila

POVRŠINA KRILA je površina avionskog krila projektovanog na horizontalnu ravan. U podacima o nekom avionu ona se označava kao *noseća površina krila*.



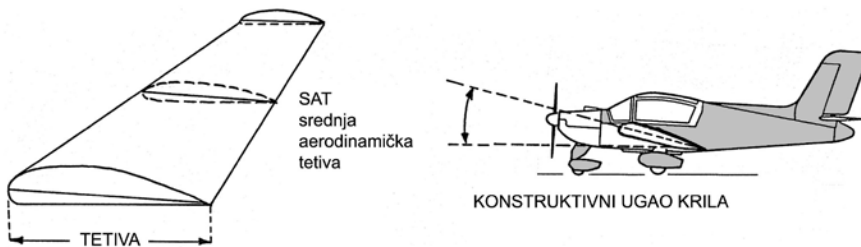
Krilo kao noseća površina (levo) i površina krila (desno)

VITKOST KRILA se izračunava iz aritmetičkog odnosa između kvadrata razmaha krila (b) i površine krila (S). Dakle, formula za izračunavanje vitkosti krila glasi:

$$\text{vitkost} = b^2/S$$

Avion kojim je sovjetski pilot Čkalov izveo prvi let preko Severnog pola imao je, recimo, vitkost krila 25. Vitkost krila kod većine aviona obično je od 5 do 12, u jedrilica od 18 do 24, a kod lovaca kategorije 2 maha svega 2 (i slovima: dva)!

TETIVA AEROPROFILA je najkraće rastojanje od napadne do izlazne ivice krila. Tetiva polovi simetrične profile tačno po sredini, dok se kod nesimetričnih profila ova zamišljena linija proteže poput zategnute tetive na luku. Tetiva aeroprofila ima istu dužinu duž celog razmaha krila jedino kod pravouganog krila, dok je kod ostalih oblika njena dužina na raznim segmentima krila promenljiva. Inače, tetiva aeroprofila je osnovna linija za određivanje napadnih uglova krila.



SREDNJA AERODINAMIČKA TETIVA ne izaziva glavobolju kod pravougaonog krila, pošto je sasvim svejedno na kom delu njegovog razmaha je merimo. Međutim, kod strelastih, trapezastih i ostalih oblika krila srednja aerodinamička tetiva (skraćeno SAT) predstavlja srednju vrednost svih tetiva duž njihovog razmaha. SAT delimo na 100 jednakih delova (100%), a zašto — saznaćemo ubrzo, čim se pozabavimo centrom potiska krila i centražom aviona.

KONSTRUKCIONI UGAO KRILA je ugao koji tetiva krila zaklapa s uzdužnom osom aviona. Taj ugao je, razumljivo, nepromenljiv — osim u izuzetnim slučajevima viđenim kod egzotičnih tipova aviona za vertikalno poletanje i sletanje; kod njih krila, zajedno s motorima, mogu da rotiraju oko poprečne ose aviona.

GEOMETRIJSKI NAPADNI UGAO KRILA je napadni ugao između tetive krila i linije neporemećene vazdušne struje. Postavljanjem aeroprofila (još bolje, aviona) pod različite