

# Fakultet strojarstva i brodogradnje

## Osnivanje zrakoplova



## 2. Uvod u projektiranje zrakoplova

## ŠTO JE ZRAKOPLOV ?

..... sve letjelice koje "plove" unutar Zemljine atmosfere gdje je zrak dominantan fluid, tj. zrakom plove: "aeronauti", "aircraft" i "rotorcraft"; pri čem smo isključili: "astronaute" i "spacecraft", kao i "hovercraft"

- ◆ Pojam *zrakoplov* obuhvaća *sve letjelice* koje imaju svojstva letjeti ili ploviti u plinovitom mediju kojeg nazivamo zrak. Razmatrajući općenito, zrakoplov (aircraft) je sredstvo konstruirano tako da se održava u atmosferi iznad Zemljine površine, za koju može čak biti i sputano nekom vezom, ali koja ga ne podupire.
- ◆ Komplementarno navedenom, prema Zakonu o zračnom prometu Republike Hrvatske, definicija zrakoplova glasi: "**Zrakoplov je svaka naprava koja se održava u atmosferi zbog reakcije zraka, osim reakcije zraka u odnosu na zemljinu površinu**" (podupiruću silu - op.a.).

2

## Razvoj zrakoplova



Safety –problematika 20-tog stoljeća; 21. stoljeće nameće Security !?

- ◆ Povijesni pregled razvoja konstrukcije zrakoplova
- ◆ Podjela zrakoplova (aerostati, podjela aerodina)
- ◆ Pregled konstrukcijskih koncepcija aero-plana i roto-plana (*aircraft & rotorcraft*)

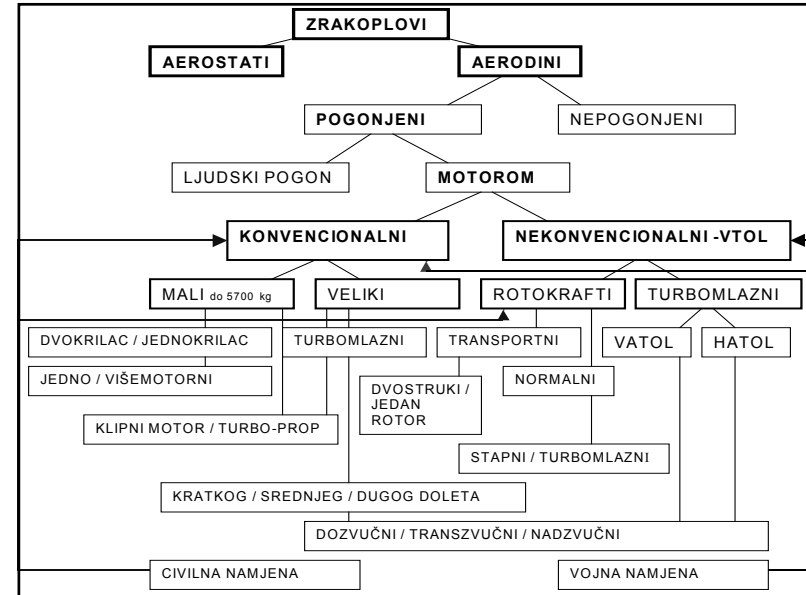
1903 - 2003 = 100 godina leta – težih od zraka



Pregled razvoja konstrukcije zrakoplova ukazuje nam da je zrakoplov rezultat rada i doprinosa mnogih nacija i sveukupnog znanja čovječanstva .....

- ◆ **SVA PRIJEVOZNA SREDSTVA**, a zrakoplov možda najviše - kruna su znanja i razvoja znanosti i tehnologije određenog vremena.
- ◆ **SAZNANJA** - od kemije, materijala, matematike, informatike..., pa do tehničko-tehnoloških procesa, **DIKTIRAJU MOGUĆU REALIZACIJU** neke konstrukcije u danom trenutku; konstruiranje zrakoplova započelo je željama, preko legenda i skica do prvih početnih uspjeha.
- ◆ Da bi danas mogli konstruirati dozvučne i nadzvučne FLY- BY- WIRE zrakoplove, ETOPS, EKO-GREEN, GNSS itd. značajkama, učimo temelje i stečena saznanja koja su tome prethodili....

4



### Aerostati - Aerodini

- ◆ **Aerostati** su letjelice lakše od zraka, koje se održavaju u atmosferi na visini na kojoj istiskuju vlastitu masu zraka (aerostatskim uzgonom). Osnovne podgrupe su baloni (vezani ili slobodni) i zračni brodovi. Kod zračnih brodova, aerodinamički uzgon kojeg stvara trup svojim cilindričnim oblikom može biti dosta značajan, ali ne u dovoljnoj mjeri da bi obezvrijedio klasifikaciju aerostata.
- ◆ Osnovni **aerodini** – letjelice teže od zraka, održavaju se u zraku dinamičkom interakcijom okolišnog zraka i letjelice stvarajući aerodinamičke sile, a tzv. “aerodoni”, su jedrilice koje se tako održavaju u letu uz prirodnu vlastitu stabilnost i nemaju pokretnih upravljačkih površina. Primjeri su: papirnate bačene ili odgurnute jedrilice, jednostavni slobodno-leteći modeli i avioni koji nastave letjeti bez djelovanja posade. Aerodonetika (aerodionetics) je nauka koja se bavi proučavanjem jedrenja - “klizajućeg leta” (gliding flight) s ili bez upotrebe upravljačkih površina.
- ◆ Zrakoplov ne treba obvezno imati vlastiti način pogona (baloni plove tako da lete zajedno s ukupnim gibanjem atmosfere, dok su zmajevi sputani a plove uslijed djelovanja okoline atmosfere koja ih gibajući se prolazi), niti treba obvezno imati neki upravljački sustav, niti neki izvor aerodinamičkog ili aerostatičkog uzgona (npr. mlazni VATOL[1] zrakoplov ne mora biti ništa više do motora izgrađenog tako da usmjeruje ispušne mlazove prema dolje).
- ◆ Slobodno-padajuće svemirske letjelice su isto zrakoplovi (aerodoni), ako nakon ponovnog ulaska u atmosferu, oblik letjelice uzrokuje dovoljan omjer uzgona i otpora (tj. ima finesu:  $F_L/F_D$ ), i “jedri” iznad veće izdužene udaljenosti, bez obzira da li može ili ne kontrolirati svoju trajektoriju – putanju.

[1] VATOL – Vertical Attitude Take Off and Landing

5

- ◆ Postoje različite podjele zrakoplova, koje se u osnovi zasnivaju na podjeli zrakoplova prema glavnim kriterijima:

- ◆ načinu generiranja uzgona, (aerostati; aerodini)
- ◆ maksimalnoj masi u polijetanju, (mali; veliki)
- ◆ pogonskoj grupi (stapni, mlazni, raketni)
- ◆ performansama, (konvencionalni; nekonvencionalni; dozvučni; nadzvučni)
- ◆ konstrukcijskim koncepcijama (dvokrilac; ...)
- ◆ namjeni, (vojni; civilni)



- ◆ Za kratki sažeti opis i klasifikaciju nekog zrakoplova često se navode njegove osnovne značajke iz svih vrsta podjela, na primjer: fiksni mali turbo-prop. akrobatski niskokrilac, mješovite metalne konstrukcije s uvlačivim podvozjem.

- ◆ Iz primjera, osim izričito navedenog, zaključujemo i mnoge druge karakteristike i značajke tog zrakoplova jer opisuju: zrakoplov maksimalne mase u polijetanju do 5700 kg (mali), pogonjen jednim turbo-prop-motorom (ne navodi se - višemotorni), s fiksnim krilom smještenim ispod trupa (niskokrilac), naročito ojačane konstrukcije (akrobatski) s uvlačivim podvozjem konzolnog tipa (uvlačimo samo konzolne trapove) za slijetanje na zemlju (nije naveden hidroavion ili amfibija) s klasičnim stabilizatorima (nije naveden canard). Maksimalna putna brzina se kreće oko 350-450 km/h (ograničenje mlaznog motora s propelerom), načinjen od duraluminija (metalni, malih brzina), tankostijene konstrukcije ojačane okvirima (mješovit – semi-monocoque), strukturalne čvrstoće oko 6-8g (akrobatski). Nije navedena namjena, te može biti višenamjenski, to jest športski, školski, izviđački itd. Uz napomenu namjene u opisu podjele, npr. borbena - trenažni, mogao bi odgovarati opisu zrakoplova npr. Pilatus PC-9 (za obuku vojnih pilota u RH) ili PZL130-Orlik.

7

## PROPULZIJA

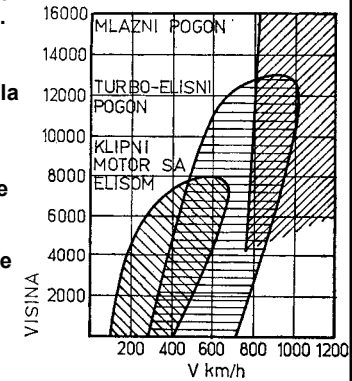
- ◆ Tijekom devetnaestog stoljeća brojni su vizionari predviđali da je za upravljeni let letjelicom težom od zraka nužna prikladna pogonska snaga koja će omogućiti podizanje sa zemlje.
- ◆ Neodgovarajući pogon (parni motori) – glavni su razlog neuspjeha Du Templea, Adera i Mozhajskog .... trebalo je razviti motor dovoljne snage a istodobno male težine (*Power loading : P/W*).
- ◆ Godine 1860. Francuz J. J. Etienne Lenoir izgradio je prvi praktični plinski motor, jednocilindrični, a pogonsko gorivo bio je rasvjetni plin. Slijede kontinuirana daljnja usavršavanja na takvim motorima s unutarnjim izgaranjem, te su 1876. godine Otto i Langen razvili četverotaktni plinski motor - preteču suvremenih automobilskih motora.
- ◆ Godine 1885. u isto vrijeme, ali odvojeno, Nijemci Gottlieb Daimler i Karl Benz razvili su četverotaktni benzinski motor i tako je “rođena” industrija motornih automobila, koja je osigurala tehnologiju i brojne iskusne mehaničare za buduću razvoj zrakoplovstva....

8

- ◆ Propulzija je bila “ključ za otvaranje vrata” k letenju s aerodinom, a pokretačka je filozofija mnogih poboljšanja u aeronautici općenito, pa tako i zrakoplovnog inženjerstva od prvog leta 1903. godine do danas, letjeti brže, više i dalje, sa što većom masom.

- ◆ Tijekom razvoja zrakoplovstva, snaga motora je rasla od 12 hp,<sup>[2]</sup> kolika je bila snaga motora braće Wright na Flyeru I iz 1903. godine, do 2200 hp snage radijalnih motora iz 1945. godine, a analogno su se uvećavale i letne brzine od 28 do 500 mph, dok danas mlazni i raketni motori omogućuju letenje brzinama mnogostruko većim od brzine zvuka.

- ◆ <sup>[2]</sup> Veličina snage izražena u jedinici hp (horse power), konjske snage; 1 hp=746 W.



10

## Doing it Wright!

- ◆ **1903. WILBUR & OTTO WRIGHT U.S.A.:** prvo uspješno polijetanje pogonjenog aerodina ....

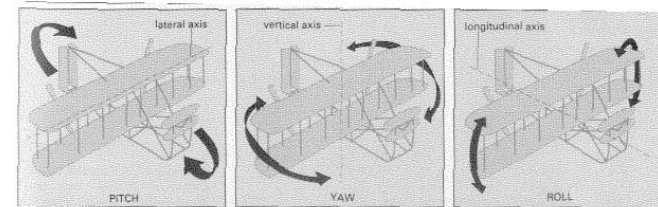


9

## NACA od 1915.

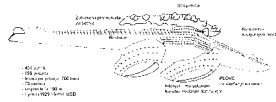
- ◆ Nakon što je 1908. Henry Farman dobio “Grand Prix de’Aviacion” za prvi zaokret avionom, a 6 mjeseci kasnije Wright izveo isto (daleko lakše i elegantnije s konceptom “wing wrapping” –preteća ailerona), pažnju u daljnjem razvoju konstrukcije NACA\* je usmjerila na performanse, upravljivost, stabilnost i aerodinamičko usavršavanje konstruktivnih elemenata zrakoplova.

\* Uspostavljena odlukom Vlade USA 03.03.1915. - 12 članova, koji su se sastajali jednom godišnje – svakog tećeg ponedjeljka u Listopadu... Nakon lansiranog Sputnika I .... 29.srpnja 1958. odlukom Kongresa USA uspostavljena NASA ....

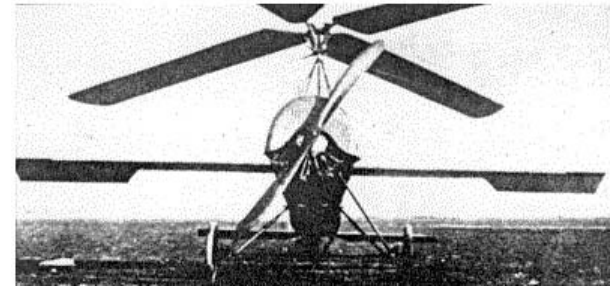


11

## Zašto koncepcija hidroaviona za početak razvoja zračnog transporta?



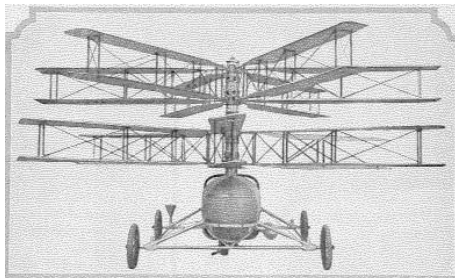
- ♦ Prvi zrakoplov predstavnik kombiniranog koncepta CTOL[1] i VTOL[2] zrakoplova, ili zrakoplov RTOL[3] koncepta, možemo reći da je "giroplan", španjolskog konstruktora Juana de la Cierva, jer se, kad se zavrti rotor, mogao uzdići u zrak nakon kratkog zaleta. Imao je skraćeno fiksno krilo i jedan rotor. Za transversalnu upravljivost, koristi vertikalni stabilizator. Službeno, konstruktor Juan de La Cierva, letio je (9. siječnja 1923.) više od 2,5 milje – 4 km, na visini od 80 ft – 24,38 m.
- ♦ [1] CTOL – Conventional Take-Off & Landing – konvencionalno polijetanje i slijetanje
- ♦ [2] VTOL – Vertical Take-Off & Landing – vertikalno polijetanje i slijetanje
- ♦ [3] RTOL – Reduced Take-Off & Landing – skraćeno polijetanje i slijetanje



14

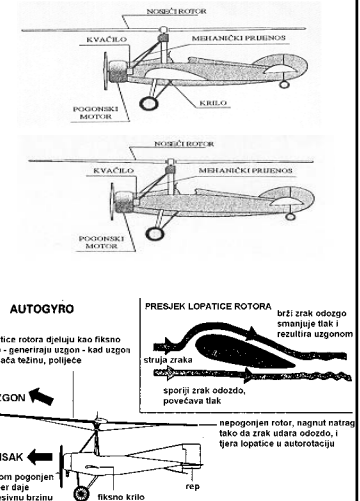
## Paralelni razvoj koncepcije roto-plana (rotorcraft):

- ♦ 13. studenog 1907. priznato je Paulu Cornu-u prvo polijetanje "rotorkrafta" (lebdio 20 sekundi na visini od oko 5 ft = 1,524 m, motor Antoinette hlađen vodom, 24 hp, rotor promjera 20 ft.). Međutim, to je bilo uspješno polijetanje, ali ne i letenje helikopterom.
- ♦ Povijest bilježi da je prvi put helikopter lebdio čitavu minutu, 11. siječnja 1922; Izgradio ga je Španiard Marquis Pateras de Pescara. Bio je pogonjen motorom Hispano Suiza od 170 hp, s dva rotora, a svaki je rotor imao 6 dvokrilih lopatica s mogućnošću promjene napadnog kuta lopatica. Promjena kuta lopatica, omogućavala je autorotaciju rotora u slučaju otkaza motora.



13

- ♦ Prvi pokušaj kombiniranja tehničko-tehnoloških karakteristika CTOL[1] i VTOL[2] zrakoplova bio je već u povijesnom pregledu spomenuti "žirokopter", koji je preteča RTOL[3] zrakoplova, a konstrukcijski za razliku od CTOL zrakoplova ima rotor, dok za razliku od helikoptera kao predstavnika VTOL zrakoplova, ima horizontalni i vertikalni stabilizator. Postoje izvedbe bez i s kvačilom (može i u letu pokretati rotor motorom), te izvedbe s prikraćenim krilom ili bez.
- ♦ [1] CTOL - Conventional Take-Off & Landing - konvencionalno polijetanje i slijetanje
- ♦ [2] VTOL - Vertical Take-Off & Landing - vertikalno polijetanje i slijetanje
- ♦ [3] RTOL - Reduced Take-Off & Landing - skraćeno polijetanje i slijetanje



15

- ◆ Prvi priznati helikopter u svijetu, kojim se moglo letjeti brzinom od 145 km/h i letjeti unatrag bio je Colibry (izgradio ga je Nijemac A. Fletner 1940. godine). Bila je to savršenija verzija helikoptera Fw61., Nijemca H. Fockea iz 1936. godine s dva rotora.
- ◆ Helikopter konstruiran još prije rata u Americi, s jednim glavnim rotorom i jednim repnim rotorom VS-300, kakve poznajemo i danas, djelo je - ruskog emigranta Igora Sikorskog.
- ◆ Vojska je prepoznala prednosti vertikalnog polijetanja i slijetanja, jer bez PSS koja je laki i veliki cilj neprijatelju, i najbolji avioni ostaju na zemlji.



16

## VTOL koncept



## Aerodinamika helikoptera

- ◆ Presjek lopatice rotora je aeroprofil, baš kao i presjek krila aviona...
- ◆ Za objašnjenje kako helikopter "leti u mjestu" tj. lebdi, koriste se dvije teorije, koje čine dva dijela istog objašnjenja, mada počinju s različitim postavki:
- ◆ Teorija momenta i
- ◆ Teorija elementa lopatice



- Na zahtjev USAF<sup>[1]</sup> i USN<sup>[2]</sup>, NACA<sup>[3]</sup> (današnja NASA) radi ispitivanja novih modela između 1948-1950. USN ugovara 1951. s proizvođačima Convair i Lockheed programe XFV-1 i XFV-1, popularni "Pogo" ("Tailsitter"-slijeće "na rep"), a uspješno polijetanje izvršeno je 1954. godine. Paralelno, USAF je ugovorio s Ryan Aeronautical Co. projektiranje mlaznog zrakoplova Pogotipa, nazvanog "Vertijet" s oznakom X-13, koji je uspješno poletio 11. travnja 1956. godine, kao prvi mlazni VTOL zrakoplov. Međutim, niti jedna od tih uspješnih konstrukcija nije ušla u serijsku proizvodnju.
- U istom razdoblju kompanija Bell Aircraft ispitala je zrakoplov s dva mlazna zakretna motora (uz trup), nazvan ATV (Air Test Vehicle), koji je poletio 1954. godine. Taj uspjeh potaknuo je rad na novoj koncepciji zakrećućih motora te su razvijana dva koncepta - XV-3 (koncept tiltrotor<sup>[4]</sup>) i XV-14 (koncept zakretanja ispušnog mlaza ili vektoriranje mlaza). Uspješno polijetanje i prevođenje u horizontalni let izvršeno je 1958. Nastavak istraživanja preuzela je NASA i pod oznakom XV-14A, deset godina kasnije simulirala prilaz i slijetanje na Mjesec u sklopu Apollo programa.
- Pojavljuje se mnoštvo konceptskih rješenja VTOL zrakoplova u 50-im godinama, kao Rotodyne engleske kompanije Fairey Aviation Ltd., komercijalni zrakoplov s 48 putnika i krstarećom brzinom od 85 mph (četverokraki rotor za polijetanje i mlazni motori za horizontalni let). Američka koncepcija tog vremena, s dvostrukom pogonskom skupinom, bio je McDonell XV-1, vertifan (Fan-in-wing tj. propulzor ugrađen u krilo) zrakoplov, a XV-5A/B poletio je 25. svibnja 1964. godine, od kada započinje era tilt-rotora.



- <sup>[1]</sup> USAF - United States Air Force - zračne snage Sjedinjenih Američkih Država
- <sup>[2]</sup> USN - United States Navy - mornarica Sjedinjenih Američkih Država
- <sup>[3]</sup> NACA - Natinal Advisory Committee for Aeronautics - američki Nacionalni

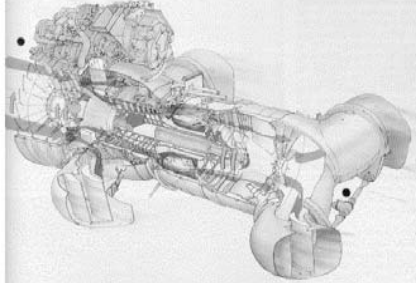


◆ **Pogonski motor VTOL zrakoplova Harrier - Rollce Royce Pegasus**

◆ S operativno-eksploatacijskog gledišta, VTOL zrakoplov značajno pojednostavljuje instrumentalno slijetanje u lošim meteorološkim uvjetima. Helikopter, npr. može "napipati" put u uvjetima magle, dok to prizemljuje sve CTOL zrakoplove. VTOL mogućnosti stoga smanjuju rezervno gorivo za kruženje ili alternaciju do drugog aerodroma. S druge strane, gorivo utrošeno za slijetanje može biti značajno, dok CTOL zrakoplov troši zanemarivu količinu goriva za slijetanje.

◆ Slijedeći efekt koji ide u prilog VTOL zrakoplova je mogućnost u optimalizaciji opterećenja krila ( $W_0/S_{l1}$ ). Za mnoge CTOL zrakoplove opterećenje krila, određeno je zahtjevanim značajkama za slijetanje ili polijetanje. Sposobnosti VTOL-a odstranjuju ta razmatranja, s omogućavanjem možda manjeg krila, koje onda smanjuje težinu i utrošak goriva.

◆ Tehničko-tehnološke karakteristike VTOL zrakoplova prvo je prepoznala vojska, jer s vojnog stajališta, ako bi neprijatelj uništio piste zrakoplovnih baza, jedino bi VTOL zrakoplovi mogli polijetati i djelovati. Intenzivna su istraživanja na iznalaženju mlaznog, supersoničnog VTOL zrakoplova. Za mlazni VTOL zrakoplov, najbolje rješenje za vertikalni uzgon tek se treba dokazati. Do danas se operativno koristi nekoliko dozvučnih VTOL konstrukcija (npr. Harrier i ruski YAK-36).



$l_{11}$   $W_0/S$  - wing loading - Maksimalna težina zrakoplova u omjeru s površinom krila (određuje dimenzije)

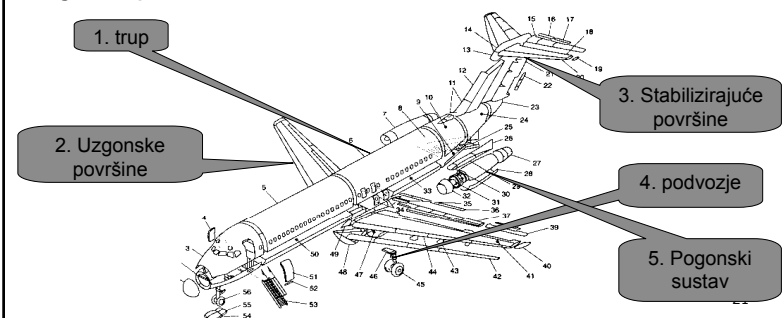
20

**Namjena i performanse determiniraju oblik**



◆ Osnovni konstruktivni dijelovi zrakoplova čine sveukupnu konstrukciju zrakoplova (aircraft structure), koja treba biti u funkciji aerodinamičkog oblika te zaštite putnika, tereta i zrakoplovnih sustava od okolnih uvijeta tijekom leta, odnosno osiguravanja uvijeta za siguran i upravljiv let.

◆ Bez obzira na namjenu ili značajke zrakoplova, od prvog dana rođenja pogonjenog aerodina pa do današnje treće generacije zrakoplova, sve zrakoplovne konstrukcije sastoje se i izgrađene su od pet osnovnih konstruktivnih dijelova;



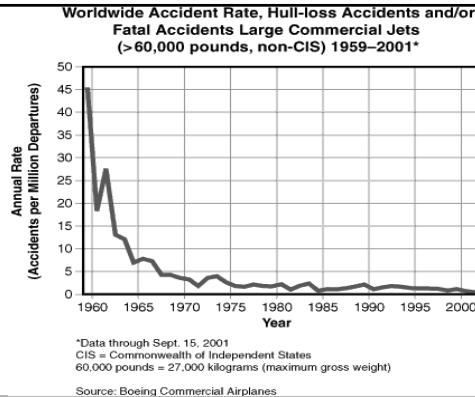
**Zračni promet označuje 20-to stoljeće; Saznanja stečena tijekom razvoja pretočena su u zrakoplovne standarde. Zašto zajednička zrakoplovna regulativa - FAR-JAR ?**

◆ Očigledna je činjenica - ukoliko dijelimo isto okruženje s različitim "temelja" za uspostavu i organizaciju željenog nivoa sigurnosti tj. korištenjem različitih zrakoplovnih standarda možemo ugroziti zajedničku sigurnost. Stoga za postizanje zajedničke sigurnosti na globalnom nivou, sve članice ICAO su usvojile unifikaciju standarda i slijede ICAO SRP. Međutim, ekonomske, političke i kulturne razlike između zemalja članica ICAO, rezultirale su s različitim primjenama zajedničkih standarda opravdajući to s pravom suvereniteta koju im daje ICAO konvencija.

◆ ICAO SRP - International Civil Aviation Organization Standard Recommended Procedures

◆ Kontinuirani rast zračnog prometa rezultirao je s povećanim brojem nesreća i katastrofa, naročito u visoko-razvijenim zemljama. Kao rezultat i odgovor (a i iz ekonomskih razloga) izdvojile su se 2 regije - North American & European - primjenjujući pooštreno pridržavanje zrakoplovnih standarda kako bi postigle zadovoljavajući nivo sigurnosti - FAR i JAR. Stoga su i standardi gradnje zrakoplova unificirani sukladno s FAR/JAR regulativom (Part 21;23;25;27;29.....itd.) ... globalna standardizacija

**FANTASTIČNO  
POSTIGNUĆE  
KOMERCIJALNOG  
ZRAČNOG  
PROMETA -  
ZA KRAJ  
20-tog  
STOLJEĆA  
Safety – O.K.**



- ◆ Izvor: Strateški plan FAA (Jan. 2001); vjerojatnost preživljavanja u transportnom zrakoplovu u SAD, prema Dr. Arnold Barnett dosegla je  $5,8 \times 10^6$  prema 1 tj. ako letite jednom dnevno, u 22,000 godina nećete poginuti na komercijalnom putničkom letu u SAD. (Survivability is developed measure by Dr. Arnold Barnett, of passengers odds of surviving next flight; it relates probability of not being in a fatal accident and probability of not surviving if fatal accident occurs).
- ◆ Početak 21. stoljeća u zrakoplovstvu označuje SECURITY !

## Osnovne discipline u zrakoplovstvu

- ◆ Aerodinamika proučava interakciju zrakoplova s okolišnim zrakom i tako generirane sile, koje su funkcija brzine, gustoće zraka, geometrijskog oblika zrakoplova i njegovog postavnog kuta na smjer nadolazeće struje zraka.
- ◆ Mehanika leta zrakoplova razmatra *zrakoplov kao kruto tijelo* koje se giba zračnim prostorom po nekoj putanji i na koje djeluju inercijalne, propulzivne, gravitacijske i aerodinamičke sile i momenti. Objedinjeno, aerodinamika i mehanika leta čine Teoriju leta.
- ◆ Dinamika leta zrakoplova, kao dio mehanike leta, definira i opisuje letačka svojstva zrakoplova (performanse) u zadanim uvjetima. Putanja koju neki zrakoplov može slijediti ograničena je s aerodinamičkim i propulzivnim značajkama te strukturalnom čvrstoćom zrakoplova za primijenjena opterećenja.
- ◆ Značajke strukture zrakoplova objedinjujemo pod pojmom zrakoplovne konstrukcije, te nam interakcija aerodinamike, mehanike leta i konstrukcije određuju performanse, stabilnost i upravljivost zrakoplova.

26

## “AEROSPACE ENGINEERING” DISCIPLINE SU:

- ◆ Aerodinamika
- ◆ Astronautika
- ◆ Nauka o konstrukciji (Structures)
- ◆ Nauka o materijalima
- ◆ Mehanika leta, Performanse, Stabilnost & upravljivost
- ◆ Propulzija
- ◆ Osnivanje zrakoplova - *Aircraft Design* – je integracija svih

25

## Teorija leta

- ◆ Da bi neko tijelo održali u ravnoteži u zraku, potrebna nam je neka sila koja će ga poduprijeti (djelujući suprotno masi), te ako se to tijelo još i giba – onda smo stvorili zrakoplov.
- ◆ Silu koja nam podupire tijelo u zraku, nazvali smo uzgon (*lift*).

27

## Aerodinamika

- ◆ AERODINAMIČKA DJELOTVORNOST je od vitalne važnosti za svaku konstrukciju zrakoplova. Dimenzionalnom analizom iznašli smo analitičke izraze za dvije osnovne komponente aerodinamičke sile, poznate kao:

$$\text{UZGON} = F_L = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_L = q S C_L$$

- ◆  $\text{OTPOR} = F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D = q S C_D$
- ◆ U realnom fluidu su primjenjive ali koeficijenti moraju biti funkcija dodatnih varijabli, kao npr. oblika tijela, napadnog kuta tijela u odnosu na struju zraka, te karakteristika fluida, pa je u realnom fluidu:
- ◆ aerodinamička sila = f (oblika, veličine, napadnog kuta, brzine, značajke fluida)
- ◆ Uz gustoću zraka razmatranu u idealnom fluidu, u realnom fluidu razmatramo dodatne značajke kao viskoznost, elastičnost, stlačivost i turbulentne karakteristike. Također će i tijelo svojom "glatkoćom" utjecati na rezultirajuću aerodinamičku silu. Podsjetimo se kako uzgon doista nastaje....

28

## Koeficijent uzgona ( $C_L$ )

- ◆ Kvantitet generiranog uzgona zavisi o:

- Planformnoj površini ( $S$ ), gustoći zraka ( $\rho$ ), brzini leta ( $V$ ), koeficijentu uzgona ( $C_L$ )

$$\text{Uzgon} = F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L = q C_L$$

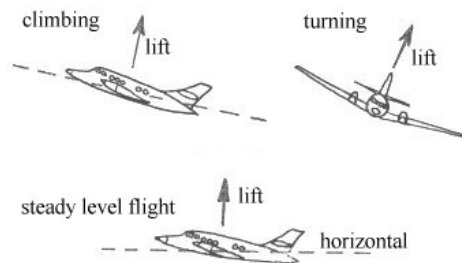
- ◆  $C_L$  je mjera djelotvornosti uzgona i uglavnom zavisi od:

- Oblika sekcije, planformne geometrije, napadnog kuta ( $\alpha$ ), efekta stlačivosti (Mach - broj), efekta viskoznosti (Reynold - broj).

30

## Uzgon - definicija

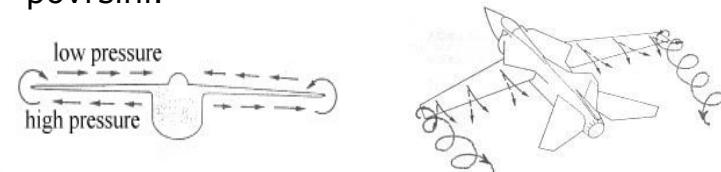
- ◆ Komponenta aerodinamičke sile generirana na zrakoplovu - okomita na smjer leta.



29

## Vortex-i na kraju krila – Wing-Tip (Trailing) Vortices

- ◆ Debalans tlaka "gura" zrak prema van na donjoj površini & unutra na gornjoj površini.



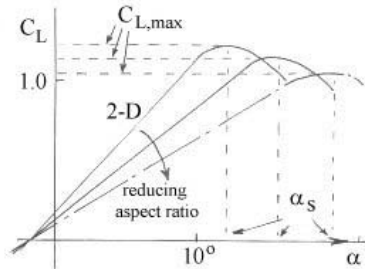
- ◆ Rotaciono gibanje duž TE spaja se u par kontra-rotirajućih vrtloga na kraju krila - *wing tips*.

31



## Gradijent krivulje uzgona (nagib) (a)

- ◆ Teoretske 2-D vrijednosti za gradijent krivulje uzgona ( $a = dC_L/d\alpha$ ) je  $2\pi$  po radijanu = 0.11 po stupnju.



32

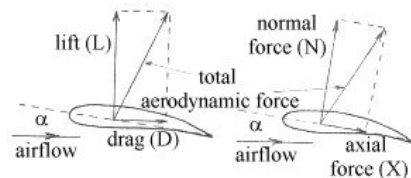
## Procjena uzgona

- ◆ Mnogi aspekti osnivanja zrakoplova zahtijevaju valjane procjene  $C_L$  za relevantne uvijete leta.
- ◆ (reference: *Howe ili Raymer ili Roskam*)
- ◆ Razmatra se samo za sljedeće faze leta :
  - $C_L$  Take Off -vrijednost adekvatna za inicijalno penjanje.
  - $C_L$  Krstarenje -razmatramo ograničenja buffetingom, Mach brojem & plafonom leta.
  - $C_L$  Manevriranja - max. raspoloživi  $C_L$  za borbene tipove a/c.
  - $C_L$  Slijetanja - za prilaz zasnovan na max. mogućoj vrijednosti s izvučenim uređajima za povećani uzgon (HLD).

34

## Okomita (Normalna) sila & uzgon

- ◆ Ukupna aerodinamička sila može se rastaviti u komponente relativno s tetivom ili sa smjerom leta;



$$L = N \cos \alpha - X \sin \alpha$$

$$D = N \sin \alpha - X \cos \alpha$$

- ◆ Komponenta okomita na tetivu je okomita sila - normal force.
- ◆ Komponenta okomita na smjer struje zraka je uzgon - lift.

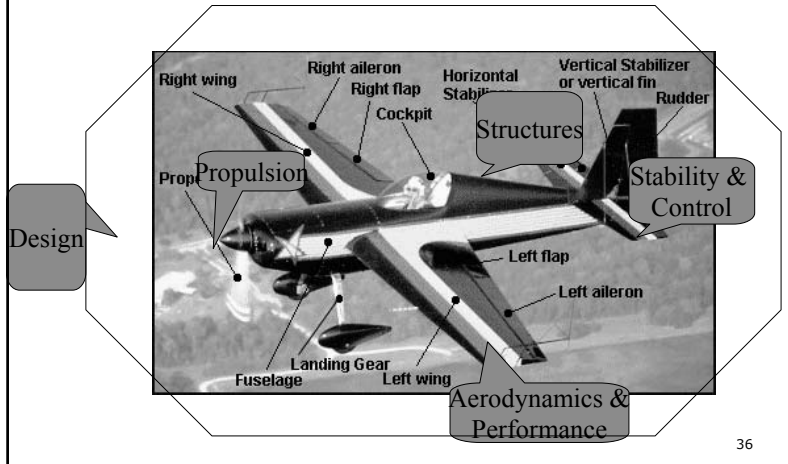
33

## Tipične vrijednosti povećanja uzgona za zakrilca u režimima polijetanja i slijetanja

Tip zakrilca	$\Delta C_L$	
	Take Off	Take Off
Plain - obično	0.3	0.6
Single slotted - 1 prorez	0.5	1.0
Double slotted Fowler - 2 proreza Fowler	0.7	1.35
Triple slotted - trostruki prorez	0.8	1.55

35

## Osnivanje zrakoplova objedinjuje i koristi različite discipline ...

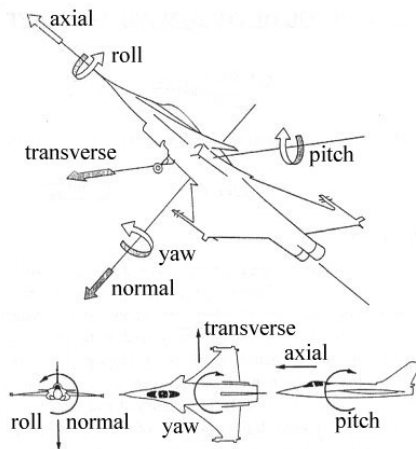


## Aerodinamičke upravljačke površine za 6 sloboda gibanja (6 DOF):

- ◆ Kormila visine – *Elevator* - controls pitch angle (propinjanje);
- ◆ Krilca - *Ailerons* - controls roll angle (valjanje);
- ◆ Kormilo smjera - *Rudder* - controls yaw angle (skretanje);
- ◆ "Canard" je horizontalna površina za upravljanje i/ili stabiliziranje (smješten blizu nosa zrakoplova); može biti i površina za generiranje uzgona (*lifting canard*).....
- ◆ *Trimer*... "fino" podešavanje na bilo kojoj upravljačkoj površini
- ◆ Površine koje nisu primarno namijenjene upravljanju:
  - Zakrilca i pretkrilca - *Flaps & slots* - povećavaju uzgon i otpor (*lift & drag*);
  - Zračne kočnice - *Air brakes* - povećavaju otpor (*drag*);
  - "Kvaritelji" – *Spoilers* – smanjuju uzgon (*lift*);

38

## Npr. : Za zrakoplov je karakteristična - sloboda gibanja bez ograničenja - po i oko sve 3 osi gibanja zrakoplova



37

## ENGLISH UNITS

- ◆ Zrakoplovna industrija (naročito U. S. aerospace industries) koristi jednakopravno SI & anglosaksonske;
  - mass :  $lb_m$  or in slugs
  - Distance : feet
  - Time: seconds
  - Force: lbf (pronounced pound force)
  - Pressure: psi (pounds per square inch), or in atm
  - energy: Btu (British thermal units)
  - Power: HP
  - Temperature: Fahrenheit or degree Rankin ( $^{\circ}R$ )
- ◆ **Note:**
  - 1 slug = 32.2  $lb_m$
  - 1 atm = 14.7 psi (14.7 pounds per square inch)
  - $0^{\circ}F = 460^{\circ}Rankin$
  - Fahrenheit to Rankin conversion by adding  $460^{\circ}$  to  $^{\circ}F$
  - 1 BTU = 778.15760 ft lb
  - 1 HP = 550 ft.lb/s

39

## S. I. UNITS Système International d'Unites

- ◆ Većina Europskih i Azijskih naroda koristi;
  - masa - kg
  - dužina - m (meters)
  - vrijeme - seconds
  - sila - N (Newton)
  - tlak - N/m<sup>2</sup>, or in atm
  - energija - Joules
  - snaga- Watts (Joule/sec)
  - temperatura - Celsius ili stupanj Kelvin (° K)

40

## Pojedini faktori konverzije

- ◆ 1 ft = 0.3048 m
- ◆ 1 slug = 14.594 kg
- ◆ 1 slug = 32.2 lb<sub>m</sub>
- ◆ 1 lb<sub>m</sub> = 0.4536 kg
- ◆ 1 lb = 4.448 N
- ◆ 1 atm = 114.7 psi = 2116 lb/ft<sup>2</sup> = 1.01 x 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>
- ◆ 1° K = 1.8° R
- ◆ pretvaranje Celsius u Kelvin, dodajemo 273° na Celsius
- ◆ 1HP = 745.69987 Watts
- ◆ g = akceleracija gravitacije = 32.2 ft/s<sup>2</sup> = 9.8 m/s<sup>2</sup>
- ◆ 1 knot = 6080 feet/sec

42

## Primjeri

- ◆ Wright Flyer težio je 340 kg;
  - Njegova težina u English Units:
$$340kg \times \left(\frac{1 \text{ slug}}{14.594 \text{ kg}}\right) \times \left(\frac{32.2lb_m}{1 \text{ slug}}\right) = 750lb_m$$
- ◆ Njegova površina krila je bila 46.5 m<sup>2</sup> ;
  - Površina u English units:
$$46.5m^2 \times \left(\frac{1ft}{0.3048m}\right)^2 = 500ft^2$$
  - Brzina mu je bila 56 km/h = 35mph

41

## AEROSPACE TERMINOLOGIJA

- ◆ Uvijek točno (inženjerski) definirajte pojmove;
- ◆ GW=Gross Weight= Nominalna težina za standardnu misiju prije nego što a/c poleti (ili spacecraft).
- ◆ Težina posade: Težina posade i obvezne opreme (padobran, kisik, itd.)
- ◆ P/L= Payload Weight = težina korisnog tereta za koji je a/c konstruiran (težina putnika, prtljage, robe itd. za a/c ; satelita, opreme za snimanje itd. za spacecraft)
- ◆ Fuel Weight: Gorivo zahtijevano za misiju plus rezerva
- ◆ Empty Weight = koliko je a/c ili spacecraft težak kada je prazan (može uključivati zarobljeno gorivo)
- ◆ GW = Crew weight+ P/L + Fuel Weight + Empty Weight

43

## AEROSPACE TERMINOLOGIJA

- Wing Loading = Aircraft Weight/Wing Area  $\left(\frac{lb}{ft^2}, \frac{N}{m^2}\right)$
- Power Loading = Aircraft Weight/ Nominal Engine Power  $\left(\frac{lb}{HP}, \frac{N}{Watt}\right)$
- Aspect ratio, AR = (Wing Span)<sup>2</sup> / Wing Area
- Taper ratio = Root Chord/ Tip Chord
- Specific Fuel Consumption, sfc = (Fuel Weight)/ (Power x Hour)
- Empty Weight Fraction = Empty Weight/ Gross Weight
- Payload Fraction = Payload Weight/ Gross Weight

44

## Značajke :

- ◆ Općenite značajke osnivanja su;
  - Timski rad;
  - Kreativnost zasnovana na znanju;
  - Iterativni proces;
  - Velik, složen sustav s aktivnostima integracije;
  - Obavlja se postupno po stupnjevima;
- ◆ Tri stupnja u osnivanju su:
  - Konceptualno konstruiranje
  - Preliminarno konstruiranje
  - Detaljno konstruiranje

46

## O PROJEKTIRANJU ZRAKOPLOVA

Uvod;  
Faze osnivanja zrakoplovne konstrukcije;  
Inicijacija za novu konstrukciju;  
Formuliranje projektnog zahtjeva - performanse (nosivost; brzina; dolet; istrajnost leta itd.);  
Konceptualni projekt i projektne varijante;  
Standardi u projektiranju zrakoplova i njihov utjecaj na izbor parametara letjelice;

## SPECIFIKACIJE I STANDARDI

- ◆ Konstruktor mora udovoljiti:
  - Zahtjevima kupca, koji će kupiti i koristiti sredstvo (tj. Croatia Airlines, Adriatic Airways, Lufthansa, Delta, TWA itd.);
  - Zahtjevima državne regulative - (U.S. FAR,, European JAR, Military standards itd.)

47

## **Specifikacije i zahtjevi kupca**

- ◆ Performanse:
  - Payload & volumen
  - Koliko daleko i koliko brzo ćemo to prevoziti
  - Koliko dugo i na kojoj visini
  - Komfort putnika
  - instrumenti, ground & flight kvalitete rukovanja
- ◆ Troškovi:
  - ◆ Cijena sustava i rezervnih dijelova, koristan životni vijek, maintenance hours / flight hour
- ◆ Potvrđena narudžba: broj a/c, opcije, dinamika isporuke, plan plaćanja.....

48

## **AEROSPACE DESIGN UKLJUČUJE:**

- ◆ Puno analiziranja;
- ◆ Testiranja na zemlji & simulacija ; (tj. testiranje modela a/c u aerotunelu, simulacija leta, "drop tests", full scale mock-up, testiranja zamora)
- ◆ Probnih letova;
- ◆ Oprez: U osnivanju konstrukcije koristimo prethodno stečena i iskustvena saznanja, tj. statističke i empirijske podatke za komparativnu analizu novih i starih konstrukcija, – a dimenzionalna analiza je valjana uz iste mjerne jedinice.....

50

## **Tipični državni standardi i regulativa**

- ◆ Civilni;
  - FAA/JAA Civil Aviation Regulations definiraju stvari kao što su strukturalna čvrstoća, akustika, eko influencija, pouzdanost, take-off & landing performanse, vrijeme evakuacije u opasnosti.....
- ◆ Vojni;
  - Vojska može igrati dvostruku ulogu; i kao kupac i kao regulator,
  - MIL SPECS (Vojni standardi)
  - Može uspostaviti min. standarde za misiju, turn-around time, čvrstoću, stabilnost, speed-altitude-maneuver sposobnosti, detect-ability, vulnerability.....

49

## **Osnivanje zrakoplova - uvodno**

Postoje dva jednako važna aspekta u tradicionalnom projektiranju zrakoplova:

- ◆ **Analiza konstrukcije.**
  - Analiziranje može započeti od idejne skice i rasporeda osnovnih elemenata zrakoplova.
  - Verifikacija postavki utvrđenih u prvoj fazi konceptnog osnivanja, kojim se popravljaju konceptna konstrukcija, kako bi udovoljila zahtjevima & ograničenjima tj. traženim značajkama
- ◆ **Skiciranje konstrukcije (layout);**
  - Skica, a kasnije i stvarni razvoj nacrtu zrakoplova u projektiranju, nije trivijalni posao skiciranja baziranog na rezultatima analize, već ključni element sveukupnog procesa konstruiranja, koji u konačnici određuje značajke, težinu i cijenu koštanja zrakoplova.
  - Dobra konceptna konstrukcija rezultira olakšanom postupnom evolucijom u radu pojedinih specijalista, bez velikih promjena, tj. podvozje je odgovarajuće, spremnici goriva su blizu težišta, strukturalni dijelovi lagani, motori jednostavni za ugradnju i sve se dobro uklapa.
  - To nije slučajnost, već proizvod velikog znanja i upornog mentalnog i fizičkog rada konstruktora.

51

## Osnivanje zrakoplova - uvodno

- ◆ Projektiranje je posebna disciplina u zrakoplovnom inženjerstvu - različita od analitičkih disciplina, kao što su aerodinamika, struktura, kinematika (upravljački sustavi) itd.
- ◆ Projektant mora biti iskusan u tim područjima kao i u mnogim drugim, no istovremeno mora znati i zakonitosti projektnog procesa
- ◆ Obično se projektiranje zrakoplova

52

## Faze osnivanja zrakoplova

(Raymer Model)

### Konceptualni pristup;

- ◆ Sva glavna pitanja postavljena i odgovorena;
  - Može li to funkcionirati?
  - Kako će izgledati?
  - Koji su zahtjevi primarni u osnivanju?
  - Koje "razmjene" trebamo razmatrati?
  - Koliko će težiti i koštati?



54

## Faze osnivanja

- ◆ Q: Koji je zrakoplov najbolji?  
A: Koji po namjeni, ekonomičnosti & performansama najbolje udovoljava zahtjevima !
- ◆ Konstruiranje započinje s RDTE (Research, Development, Testing, Evaluation), odnosno:
  - ◆ 1. Faza: **KONCEPTNO KONSTRUIRANJE**
    - započinje skiciranjem i pripremom feasibility studije;
    - a) rješava prvo pitanje .....koliki će biti "Life Cycle Cost" (LCC)?
    - b) rješava drugo pitanje.... koliko bi povećani troškovi RDTE mogli smanjiti LCC ?
    - c) determinira i odabire pristup :  
DESIGN - TO - COST  
DESIGN - TO - PRICE  
DESIGN - TO - OPTIMISATION
  - te završava s PERFORMANCE EVALUATION i COST STUDY analizama;  
(nastupa faza donošenja odluke: YOU bet on your house)
- ◆ 2. Faza: **PRELIMINARNO KONSTRUIRANJE;**
- ◆ 3. Faza: **DETALJNO KONSTRUIRANJE** .....tehnologija proizvodnje, alati, quality ... do izrade prototipa.

53

## Faza konceptnog konstruiranja

- ◆ Konceptno konstruiranje započinje konceptom, tj. novom idejom koju skiciramo i analiziramo, gdje se tijekom tog fluidnog procesa nove ideje i problemi pojavljuju kako istražujemo konstrukciju u sve više detalja. Svaki put ih analiziramo i dimenzioniramo, ponovno crtamo i unašamo izmjene, skiciramo i mijenjamo težine, količinu goriva, veličinu krila, motora itd. Početni testovi u zračnom tunelu često traže dodatne promjene u konfiguraciji.
- ◆ Rezultat tog procesa su;
- ◆ definirani konstrukcijski parametri;
- ◆ definirane dimenzije;
- ◆ definirane težine a/c;i
- ◆ Definirana konfiguracija novog modela zrakoplova, koji udovoljava svim ograničenjima i ima zahtjevane značajke.

55

## Faza preliminarnog konstruiranja

- ◆ Preliminarno konstruiranje započinje kada su glavne izmjene već unesene, i znamo osnovnu konfiguraciju. U ovoj fazi specijalisti za strukturu, podvozje, upravljačke sustave itd. konstruirat će i analizirati pojedinosti; utvrđuju se potrebna dodatna testiranja iz područja aerodinamike, propulzije, strukture, stabilnosti i upravljivosti. Slijedi izgradnja modela (mockup), a ključna aktivnost je "lofting" - krojenje. Preliminarna konstrukcija mora rezultirati prijedlozima †

## Faza detaljnog konstruiranja

- ◆ Detaljno konstruiranje nastavlja razvoj konstrukcije u punoj mjeri te počinje konstruiranje elemenata konstrukcije koji ulaze u proizvodnju. Na primjer, dok je konceptno konstruiranje i preliminarno konstruiranje promatralo krilo kao cjelinu, sada se konstruiraju detalji kao što su rebra, ramenjače, uzdužnice i oplata, od kojih se svaki element zasebno analizira. To uključuje utvrđivanje tehnologije i uspostavu serijske proizvodnje. Ti konstruktori često zahtijevaju modifikacije zbog lakše proizvodnje, što može utjecati na performanse ili težinu. Neki kompromisi su neizbježni, no konstrukcija mora udovoljiti osnovnim usvojenim postavkama.
- ◆ U toj fazi intenzivirana su testiranja pojedinih dijelova, gradi se simulator na kojem lete i kompanijski i kupčevi piloti, a detaljna konstrukcija završava izgradnjom zrakoplova (prototipa).

58

(Raymer-ov Model)

### Preliminarno osnivanje

- ◆ Zapoinje kada su sve glavne izmjene na konstrukciji već učinjene;
  - Konfiguracija i glavne karakteristike su "frozen".
  - Krojene "lofting" razvijeno.
  - Testiranja i alati za poboljšanje utvrđeni.
  - Glavni dijelovi konstruirani.
  - Procjene troškova dotjerane.
- ◆ Slijedi detaljno konstruiranje, proizvodnja, testiranje i faze certifikacije (kao po Howe's modelu).

57

## Definiranje projektnog zadatka

- ◆ Početak konstruiranja za konstruktora je skica koncepta novog zrakoplova. Specijalist za dimenzioniranje zna da ništa ne može započeti dok nisu načinjene početne procjene težina. Kupac, civilni ili vojni, smatra da sve počinje sa specifikacijom zahtjeva - tj. projektnim zadatkom. Svi su "u pravu", jer konstruiranje je iterativno zalaganje cijele grupe, prikazano tzv. "krugom procesa konstruiranja."

### Zahtjevi-projektni zadatak

Koncept konstrukcije

Analiziranje konstrukcije

Dimenzioniranje i usklađivanje

59

## Osnovni zahtjevi

- ◆ Zahtjev za novu konstrukciju će se lansirati kad izrastu i sagledaju se potrebe za zrakoplovom koji ima veće mogućnosti od postojećih.
- ◆ Uobičajeno zbog:
  - Zrakoplovi se bliže kraju korisnog životnog vijeka.
  - Postojeće konstrukcije zastarjele u odnosu na tehnološka dostignuća.
- ◆ Identifikaciju novih potreba može potaknuti:
  - Proizvodna organizacija (naročito ako je civilna).
  - Potencijalni korisnik (naročito vojni).

60

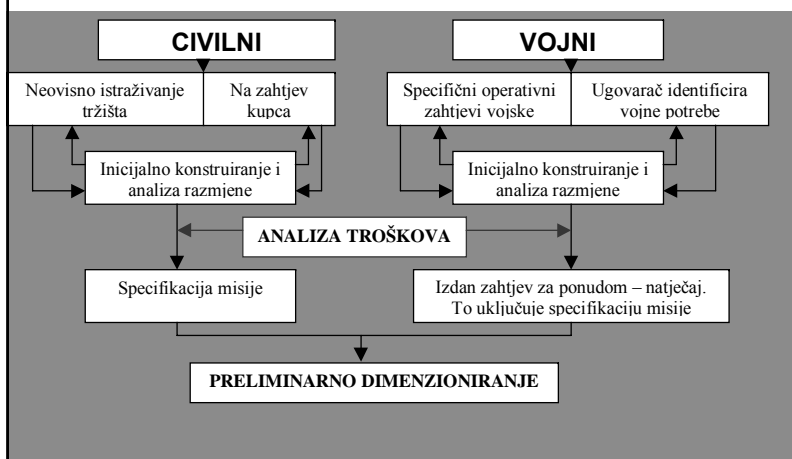
## Osnovni zahtjevi

- ◆ Utvrđeni inicijalni osnovni zahtjevi su obično kratki (sažeti), a uključuju klasu zrakoplova i glavne karakteristike performansi.
- ◆ Inicijalna izjava se uobičajeno dorađuje nakon konzultacija s adekvatnim operatorima i glavnim proizvođačima.



62

## INICIJACIJA ILI POTICAJ ZA KONSTRUIRANJE NOVOG ZRAKOPLOVA



## Opći zahtjevi

- ◆ Rezultati mnogo-godišnjih prethodno stečenih iskustava primjenjuju se za različite klase a/c;
- ◆ Djeluju kao:
  - Vodič konstruktoru;
  - Osnova za eventualno rješavanje traženog a/c za potencijalne operatore.
- ◆ Najvažniji za civilnu/generalnu avijaciju su:
  - FAR 25/23 (US), JAR 25/23 (Europe) - (Federal or Joint Airworthiness Requirements)



63



## Opći zahtjevi

- ◆ FAR i JAR pisani su u identičnom formatu sa samo par malih razlika – eventualni cilj je potpuna ujednačenost.
- ◆ Za vojne a/c koristimo:
  - DEF STAN 00-970 (UK), MIL SPECS (US)
  - MIL SPECS se zamjenjuju zahtjevima definiranim od strane individualnih proizvođača (Lockheed Martin, Boeing).



64

## Vojni standardi

- ◆ **VOJNI STANDARD MIL-STD-1530A (11), osnova je za :**
- ◆ **PROGRAM STRUKTURALNOG INTEGRITETA ZRAKOPLOVA (Aircraft Structural Integrity Program - ASIP). Obvezan je za sve odjele i agencije Ministarstva Odbrane (Dept. of defense) a specificira usvojene standarde za:**
  - (1) Pogonjene zrakoplove s posadom s fiksnim krilom ili podesivim fiksnim krilom (promjrnjlive geometrije);**
  - (2) helikoptere i V/STOL yrakoplove koji imaju slične karakteristike strukture kao (1).**
    - Uz navedeni standard, koriste se MIL-A-88xx mnogobrojni standardi koji utvrđuju vojne specifikacije po pojedinim faktorima.**

66

## Opći zahtjevi - standardi.....

- ◆ Povijest ne bilježi sve živote "nautičara", prije nego smo otkrili Ameriku, kao ni sve živote "aeronauta" prije nego je u Americi pred 100 godina prvi put poletio aerodin - ali povijest nas uči da stečena iskustva usvajamo i reguliramo kako bi spasili buduće živote, tj.;
- ◆ **Pri konstruiranju zrakoplova - koristimo prethodno stečena znanja i eksploatacijska iskustva - UCIMO NA GREŠKAMA - što čini osnovu za međunarodno usvojene STANDARDE (norme) i REGULATIVU (zrakoplovne zakone, propise) za SIGURNO LETENJE, koje globalno usklađujemo i usvajamo sporazumima, konvencijama...**

Stoga zrakoplovnom regulativom zahtjevano standarde i usvojene metode – iako ih ponekad smatramo konzervativnim, ograničavajućim ili "čudnim" – moramo prihvaćati i primjenjivati ne kao birokratski ili politički nametnut propis, već kao opravdano usvojeno pravilo - jer iako nisu kao u antičkoj Grčkoj pisani krvlju na janječem runu, nerijetko je stečeno iskustvo pretočeno u propis plaćeno nečijim životom....

Konstruiranje uključuje proučavanje zahtjeva i standarda sukladno tipu i kategoriji zrakoplova, kojima u konačnici konstrukcija mora zadovoljiti.

65

## Civilni standardi

- ◆ **CIVILNI STANDARDI poznati su kao Standardi za plovidbenost (AIRWORTHINESS STANDARDS), a navedeni su u :**
  - FAR/JAR Part 23 (Utility, Normal, Acrobatic aircrafts)
  - FAR/JAR Part 25 (Transport category aircrafts)
  - FAR/JAR Part 27 (Normal category Rotorcrafts)
  - FAR/JAR Part 29 (Transport category Rotorcrafts)
- ◆ **PROIZVOĐAČ je obvezan sprovesti sve kategorije ispitivanja (uz analitička i sva eksperimentalna) i dokazati udovoljavanje svim specifikacijama - uključivo " STRUKTURALNE PROBNE LETOVE" da dokaže "STRUCTURAL LIMIT LOAD" pri ekstremima konstruirane letne envelope (V-n), te sprovesti opterećenja preko + i - LIMIT LOAD-a, tkzv. "STATIC GROUND TEST" da dokaže da konstrukcija udovoljava "DESIGN ULTIMATE STRENGHT".**

67

# STRUKTURA JAR/FAR NORMATIVA

## OPĆI ZRAKOPLOVNI PROPISI

- ▶ Part 1 - DEFINITIONS AND ABBREVIATIONS
- ▶ Part 11 - GENERAL RULEMAKING PROCEDURES
- ▶ Part 13 - INVESTIGATIVE AND ENFORCEMENT PROCEDURES

## JAR/FAR Part - normativi

### PROPISI ZA GRADNJU KONVENCIONALNIH ZRAKOPLOVA

- ▶ Part 21 - CERTIFICATION PROCEDURES FOR PRODUCTS AND PARTS
- ▶ Part 23 - AIRWORTHINESS STANDARDS: NORMAL, UTILITY, ACROBATIC, AND COMMUTER CATEGORY AIRPLANES
- ▶ Part 25 - AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES

### PROPISI ZA GRADNJU NEKONVENCIONALNIH ZRAKOPLOVA

- ▶ Part 25 - AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES
- ▶ Part 27 - AIRWORTHINESS STANDARDS: NORMAL CATEGORY ROTORCRAFT
- ▶ Part 29 - AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY ROTORCRAFT
- ▶ Part 31 - AIRWORTHINESS STANDARDS: MANNED FREE BALLOONS

### PROPISI ZA POGONSKU GRUPLU EKOLOŠKE ZAHTJEVE I SIGURNOST

- ▶ Part 34 - FUEL VENTING AND EXHAUST EMISSION REQUIREMENTS FOR TURBINE ENGINE POWERED AIRPLANES
- ▶ Part 35 - AIRWORTHINESS STANDARDS: PROPELLERS
- ▶ Part 36 - NOISE STANDARDS: AIRCRAFT TYPE AND AIRWORTHINESS CERTIFICATION
- ▶ Part 39 - AIRWORTHINESS DIRECTIVES

### PROPISI O ODRŽAVANJU I REGISTRACIJI ZRAKOPLOVA

- ▶ Part 43 - MAINTENANCE, PREVENTIVE MAINTENANCE, REBUILDING, AND ALTERATION
- ▶ Part 45 - IDENTIFICATION AND REGISTRATION MARKING
- ▶ Part 47 - AIRCRAFT REGISTRATION

### PROPISI O OSOBLENOSTI ZRAKOPLOVNOG OSOBLJA

- ▶ Part 61 - CERTIFICATION: PILOTS, FLIGHT INSTRUCTORS, AND GROUND INSTRUCTORS
- ▶ Part 63 - CERTIFICATION: FLIGHT CREWMEMBERS OTHER THAN PILOTS
- ▶ Part 65 - CERTIFICATION: AIRMEN OTHER THAN FLIGHT CREWMEMBERS

### OPĆI PROPISI O EKSPLOATACIJI

## OPĆI PROPISI O EKSPLOATACIJI

- ▶ Part 91 - GENERAL OPERATING AND FLIGHT RULES

## PROPISI O OPERATERIMA I SPECIFIČNIM EKSPLOATACIJAMA

- ▶ Part 119 - CERTIFICATION: AIR CARRIERS AND COMMERCIAL OPERATORS
- ▶ Part 121 - OPERATING REQUIREMENTS: DOMESTIC, FLAG, AND SUPPLEMENTAL OPERATIONS
- ▶ Part 125 - CERTIFICATION AND OPERATIONS: AIRPLANES HAVING A SEATING CAPACITY OF 20 OR MORE PASSENGERS + MAXIMUM PAYLOAD CAPACITY OF 6,000 POUNDS OR MORE
- ▶ Part 129 - OPERATIONS: FOREIGN AIR CARRIERS AND FOREIGN OPERATORS OF U.S.-REGISTERED AIRCRAFT ENGAGED COMMON CARRIAGE
- ▶ Part 137 - AGRICULTURAL AIRCRAFT OPERATIONS
- ▶ Part 135 - OPERATING REQUIREMENTS: COMMUTER AND ON-DEMAND OPERATIONS AND RULES GOVERNING PERSONS BOARD SUCH AIRCRAFT

## PROPISI O ŠKOLSKIM I SERVISNIM CENTRIMA

- ▶ Part 141 - PILOT SCHOOLS
- ▶ Part 142 - TRAINING CENTERS
- ▶ Part 145 - REPAIR STATIONS

## PROPISI O NADZORU I RADU DJELATNIKA FAA

- ▶ Part 183 - REPRESENTATIVES OF THE ADMINISTRATOR
- ▶ Part 193 - PROTECTION OF VOLUNTARILY SUBMITTED INFORMATION

# FAR Subpart - normativi

## Part 25 - AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES

- ▶ Subpart A--General
- ▶ Subpart B--Flight
- ▶ Subpart C--Structure
- ▶ Subpart D--Design and Construction
- ▶ Subpart E--Powerplant
- ▶ Subpart F--Equipment
- ▶ Subpart G--Operating Limitations and Information
- ▶ Appendix A
- ▶ Appendix B
- ▶ Appendix C
- ▶ Appendix D
- ▶ Appendix E
- ▶ Appendix F
- ▶ Appendix G--Continuous Gust Design Criteria
- ▶ Appendix H--Instructions for Continued Airworthiness
- ▶ Appendix I--Installation of an Automatic Takeoff Thrust Control System (ATTCS)
- ▶ Appendix J--Emergency Evacuation

# FAR 25.603 - Materials

## Subpart D--Design and Construction

Sec.	Material	25-46	12/01/78	
Sec. 25.601	General.	02/01/65		
Sec. 25.603	Materials.	25-46	12/01/78	
Sec. 25.605	Fabrication methods.	25-46	12/01/78	
Sec. 25.607	[Fasteners.]	25-23	05/08/70	
Sec. 25.609	Protection of structure.		02/01/65	
Sec. 25.611	[Accessibility provisions.]	25-23	05/08/70	
Sec. 25.613	Material strength properties and design values.	25-72	08/20/90	
Sec. 25.615	[Removed.]	25-72	08/20/90	
Sec. 25.619	Special factors.	25-23	05/08/70	
Sec. 25.621	Casting factors.		02/01/65	
Sec. 25.623	Bearing factors.		02/01/65	
Sec. 25.625	Fitting factors.	25-72	08/20/90	
Sec. 25.629	[Aeroclastic stability requirements.]	25-77	07/29/92	
Sec. 25.631	[Bird strike damage.]	25-23	05/08/70	
Sec. 25.653	Proof of strength.		02/01/65	
Sec. 25.655	Installation.		02/01/65	
Sec. 25.657	Hinges.	25-23	05/08/70	
Sec. 25.671	General.	25-23	05/08/70	
Sec. 25.672	[Stability augmentation and automatic and power-operated systems.]	25-23	05/08/70	
Sec. 25.673	[Removed.]	25-72	08/20/90	
Sec. 25.675	Stops.	25-38	02/01/77	
Sec. 25.677	Trim systems.	25-23	05/08/70	
Sec. 25.679	Control system gust locks.		02/01/65	
Sec. 25.681	Limit load static tests.		02/01/65	

Sec. 25.603

Federal Aviation Regulation

Part 25 AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES  
Subpart D--Design and Construction

Sec. 25.603  
Materials

The suitability and durability of materials used for parts, the failure of which could adversely affect safety, must be established on the basis of experience or tests.  
(b) Certain approved specifications such as military specifications, or Technical Standards Orders that ensure their safety, the strength and other properties assumed in the design data, and  
(c) Fair and accurate test results of environmental conditions, such as temperature and humidity, expected in service.

Amended: 25-46, 12/1/78

Comments

▼ Dependent History  
None of Forward Referencing Entries

Notice of Airworthiness Review Program No. 2, Notice No. 75-10, based on 02/23/75.  
Notice of Airworthiness Review Program No. 3, Notice No. 75-10, based on 03/03/75.  
Notice of Airworthiness Review Program No. 4, Notice No. 75-25, based on 06/09/75.  
Notice of Airworthiness Review Program No. 5, Notice No. 75-25, based on 06/09/75.  
Notice of Airworthiness Review Program No. 6, Notice No. 75-25, based on 06/09/75.

Final Rule Actions  
Final Rule: Notice No. 75-25, 40 FR 14025, 14055, 14279, based on 06/09/75.

Subpart C-Structure

Sec. 25.301	Loads.	25-23	05/08/70
Sec. 25.302	Factor of safety.	25-23	05/08/70
Sec. 25.305	Strength and deformation.	25-86	03/11/96
Sec. 25.307	Proof of structure.	25-72	08/20/90
Sec. 25.321	General.	25-86	03/11/96
Sec. 25.331	Symmetric maneuvering conditions.	25-91	07/29/97
Sec. 25.333	Flight (maneuvering) envelope.	25-86	03/11/96
Sec. 25.335	Design airspeeds.	25-91	07/29/97
Sec. 25.337	Limit maneuvering load factors.	25-23	05/08/70
Sec. 25.341	Gust (and turbulence) loads.	25-86	03/11/96
Sec. 25.343	Design fuel and oil loads.	25-86	03/11/96
Sec. 25.245	High lift devices.	25-91	07/29/97
Sec. 25.349	Rolling conditions.	25-94	03/25/98
Sec. 25.351	[Yaw maneuver] conditions.	25-91	07/29/97
Sec. 25.361	Engine torque.	25-72	08/20/90
Sec. 25.363	[Side load on engine and auxiliary power unit mounts.]	25-91	07/29/97
Sec. 25.365	Pressurized compartment loads.	25-87	07/05/96
Sec. 25.367	Unsymmetrical loads due to engine failure.		02/01/65
Sec. 25.371	Gyroscopic loads.	25-91	07/29/97
Sec. 25.373	Speed control devices.	25-86	03/11/96
Sec. 25.291	Control surface loads: general.	25-86	03/11/96
Sec. 25.293	Loads parallel to hinge line.		02/01/65
Sec. 25.295	Control system.	25-72	08/20/90
Sec. 25.297	Control system loads.	25-72	08/20/90

**Tumač – kako udovoljiti standardu 25.301 – Loads, u A.C.**

**Advisory Circular**

Subject: TAXI, TAKEOFF AND LANDING ROLL DESIGN LOADS Date: 10/30/00 AC No: 25.491-1  
Initiated By: ANM-110 Change:

- ### OPĆI UVIJETI KOJIMA MORA UDOVOLJITI KONSTRUKCIJA ZRAKOPLOVA
- ◆ Svaka konstrukcija zrakoplova mora udovoljiti osnovnim uvjetima (structural considerations):
    1. STRUKTURALNE ČVRSTOĆE - (structural strenght)
    2. KRUTOSTI - (rigidity)
    3. POUZDANOSTI - (reliability)
    - 4) OTPORNOSTI - (crashworthiness)
    - 5) PROIZVODNOSTI - (producibility )
    - 6) PODOBNOSTI ZA ODRŽAVANJE - (mainatinability)
  - ◆ Ovisno o namjeni, moramo udovoljiti i nekim posebnim uvjetima:
    - a) posebnim konstrukcijskim (structural arrangements, load paths, primary forces)
    - b) aerodinamičkim (aerodynamic considerations)
    - c) otrivenosti radaru (radar detectability)
    - d) otkrivenost IC zrakama (infrared detectability)
    - e) vizuelnoj otkrivenosti (visual detectability)
    - f) zvučnoj otkrivenosti (aural detectability)
    - g) ranjivosti (vulnerability considerations)
- 74

### GRANIČNA STRUKTURALNA ČVRSTOĆA "LIMIT LOAD FACTOR - LLF" MIL -A- 8861 FAR/JAR 23/25

TIP ZRAKOPLOVA	LLF	LLF	TIP ZRAKOPLOVA
ATTACK a/c	+8.67 -3.00		NORMAL UTILITY ACROBATIC TRANSPORT
FIGHTER	+7.33 -3.00		
FIGHTER TRAINING	+7.33 -3.00		
BOMBERS (light)	+3.67 -1.67	+3.80 -1.50	
BOMBERS (heavy)	+2.00 -0.00	+4.40 -1.80	
CARGO (assault)	+3.00 -1.00	+6.00 -3.00	
CARGO (transport)	+2.50 -0.00	+ 2.50 -1.00 do +3.80	

◆ Najmanji polumjer zaokreta i najveći kutni pomak postiže zrakoplov na "kutnoj" brzini.... uz maksimalni dozvoljeni n i  $C_L$  maksimalno

◆ "Corner speed" često zovemo i "Coffin speed".....(visoki AOA)

The graph shows the relationship between lift coefficient ( $C_L$ ) and angle of attack ( $\alpha$ ). Key points include:
 

- $C_{lmax}$ : Maximum lift coefficient at the stall angle.
- Područje gubitka uzgona (stall): Region of lift loss.
- Limit load - n max: Maximum allowable load factor.
- LOM (Limit of Manoeuvring): Structural damage region at high angles of attack.
- ULLF (Upper Limit Load Factor): Upper boundary of the load factor envelope.
- V\* = kutna brzina: Corner speed.
- Vfpa (Vulnerability Flight Path Angle): Angle of attack at the corner speed.

- ### Feasibility Studija
- ◆ Slijedi osnovne zahtjeve da utvrdi dali se potražnja može udovoljiti s postojećom tehnologijom ili ne.
  - ◆ Potrebna je zbog kompleksnosti aeronautičkih projekata.
- 
- 75

## Feasibility Studija

- ◆ Također se koristi i u druge svrhe:
  - Kako najbolje udovoljiti osnovnim zahtjevima (adaptacijom postojećih a/c, velikom modifikacijom postojećih a/c, kompletno novom konstrukcijom (najveći rizik & trošak)).
  - Komparativne studije koncepta/konfiguracije se također izrađuju.
  - Pregled i revizija osnovno zahtjevanih karakteristika performansi
  - mogući *output* je definiranje detaljnog seta zahtjeva (specifikacija).
  - Procjena inicijalnih troškova

76

## Uloga zrakoplovnog inženjera.....

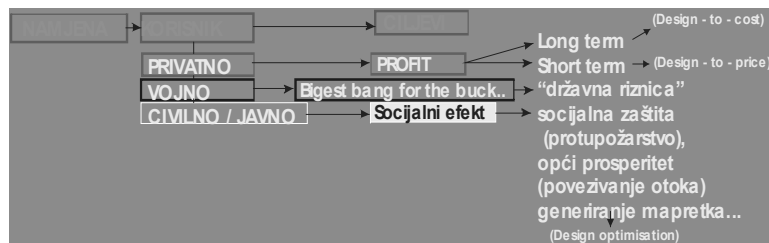
- ◆ Osnovni zadatak zrakoplovnog inženjera (u inicijalnom segmentu), je da u zadanom trenutku konstruira koncept ili odabere tip zrakoplova, koji će po svojim konstruktivnim karakteristikama i performansama optimalno udovoljiti trenutnim i budućim zahtjevima tržišta (korisnika);
  - zrakoplov koji udovoljava strateškim ciljevima razvoja, zahtjevima za sigurnost, eko-green, ekonomičnosti tj. omogućuje eksploataciju i održavanje zrakoplova uz istovremeno udovoljen uvjet maksimalne pravovremene raspoloživosti uz zadovoljavajući nivo sigurnosti.

78

## Feasibility studija

**U RAZMATRANJU BUDUĆE NOVE KONSTRUKCIJE - već u startu analiziramo ekonomičnost i pristup u konstruiranju "najboljeg" zrakoplova, a razmatranja će zavisiti o:**

- Namjenu a/c
- Korisniku a/c
- Ciljevima koje korisnik želi postići



## Feasibility studija

- ◆ Potrebno je iznaći zlatnu sredinu između sigurnosti i profita, odnosno pomiriti suprotnosti zahtjeva "tehnike i ekonomije". Stoga smo i u zrakoplovstvu, unutar procesa konstruiranja, uspostave i realizacije sustava zračnog prometa, neizbježno prinuđeni razmatrati prisutne raznovrsne i mnogobrojne troškove, diferencirane po svojoj prirodi, po kvantitetu i kvalitetu, financirane iz različitih izvora. Cjelokupna realizacija zračnog prometa podređena je interesu krajnjih korisnika koji pokrivaju sve te troškove. Sustav zračnog prometa uključuje mnogobrojne i raznovrsne učesnike, koji generiraju i raznovrsne troškove, no s obzirom na različitost prirode nastajanja troškova možemo ih podijeliti u dvije osnovne skupine:
  - ◆ troškovi konstruiranja i izgradnje zrakoplova,
  - ◆ troškovi eksploatacije zrakoplova.

79



## Detaljni zahtjevi / specifikacija

### Eksploatacija

- ◆ Ograničenja dimenzija & mase (*runway loading*).
- ◆ Broj članova posade.
- ◆ *Occupant environment* (*pressure, temperature*).
- ◆ Oprema za navigaciju/komunikaciju.
- ◆ Varijacije korisnog tereta & potrebne opreme.
- ◆ Ciljevi u održavanju.
- ◆ Aspekti prikrivenosti (vojni a/c).
- ◆ Extended twin engine operacije (ETOPS) – civil.

82

## Detaljni zahtjevi / specifikacija

- ◆ Pokriva mnoge aspekte, no ne sve značajne za fazu procesa sinteze.

### Performanse

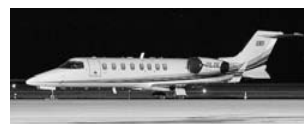
- ◆ Dolet s osnovnom masom korisnog tereta.
- ◆ Alternativni dolet/*payload* kombinacije (+ rezerve).
- ◆ Max (ili max normalna) operativna brzina.
- ◆ *Take-off & landing* ograničavajuća dužina piste.
- ◆ Performanse penjanja (vrijeme do visine, plafon, itd.).
- ◆ Zahtjevani manevri & akceleracije.

81

## Detaljni zahtjevi / specifikacija

### Općenito

- ◆ Potencijalni rast.
- ◆ Ciljevi koštanja, raspoloživost.
- ◆ Životni vijek strukture.
- ◆ Zahtjevi za ploidbenost (JAR 25, etc.).



83

## Detaljni zahtjevi / specifikacija - Primjer

### C-5 Specifični operativni zahtjevi – June 1963 (Selected Items)

- ◆ Osnovna konstruktivna misija: 100,000 - 130,000 lb za 4000 nm
- ◆ Alternativna misija: 50,000 lb za 5500 nm
- ◆ Faktor opterećenja: 2.5
- ◆ Max konstruktivni *payload*: 130,000 – 150,000 lb
- ◆ Brzina krstarenja: > 440 kt (TAS)
- ◆ Plafon krstarenja: > 30,000 ft
- ◆ Take-off @ max TOW: < 8000 ft
- ◆ Take-off @ 4000 normalnoj težini: < 4000 ft
- ◆ Landing s 100,000 lb & rezerva goriva za 4000 nm: < 4000 ft



84

## Nakon definiranog zadatka – specifikacije...(Raymer model)

- ◆ **Pristupajući konceptnom konstruiranju novog zrakoplova, konstruktor prvo razmatra trenutno raspoloživu tehnologiju i prethodne već proizvedene zrakoplove iste namjene - učenje na prethodnim iskustvima.**
- ◆ **To mu omogućuje prvo nagađanje dimenzioniranja kojim bi trebali udovoljavati zadanim performansama.**
- ◆ **Prve skice odmah uzimaju u obzir sve osnovne i specifične zahtjeve kojima konstrukcija mora udovoljiti. Kvalitetnije rješenje, uštedjet će naknadne izmjene kada analitički provjeravamo podobnost, bit će manje iteracija i revizija.**
- ◆ **Prema potrebi, odlučuje koliko povećavati fazu RDTE .... slijedimo shemu-**

86

## Detaljni zahtjevi / specifikacija - Primjer

### C-5 Specifični operativni zahtjevi - June 1963 (Selected Items) – (Cont.)

- ◆ Cargo odjeljak: dužina 100 – 110 ft, širina 16 – 17.5 ft, visina 13.5 ft.
- ◆ Cargo pod: skroz ravan, jedna puna sekcija, jedna 9x10ft, visina poželjna za kamion i nosivost poda.
- ◆ Motori: 6 x turbofan.
- ◆ Pouzdanost: 95% vjerojatnosti da dovrši misiju od 10 hr.
- ◆ Raspoloživost: June 1970.



85

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Selekcija konfiguracije:

- ◆ Prvi zadatak je selekcija jedne ili više konfiguracija.
- ◆ Nekonvencionalne konfiguracije su prihvaćene jedino ako imamo dominantan neobičan zahtjev.
- ◆ Uobičajeno se koristi dobro potvrđena konvencionalna konfiguracija za zadanu klasu a/c.
- ◆ Tehnološki napredak može stvoriti neke neprihvatljive koncepte u daljnoj fazi (npr. impakt sustava upravljanja i vektoriranja potiska na površine za stabilnost/upravljanje).
- ◆ Optimalna solucija često nije prihvaćena zbog nedostatka iskustva, nepouzdanih podataka za konstruiranje, otpor kupca itd.

87

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Režim leta & selekcija pogonskog sustava

- ◆ Set operativnih uvijeta (Mach broj, nadmorska visina) obično je definirano u specifikaciji.
  - Ako je zadano samo općenito, tada treba razmotriti mogućnosti detaljnije za sintetiziranje procesa.
- ◆ Režim leta direktno definira tip motora koji će se koristiti.
  - klipni-propelerski, turbo-prop, turbofan, mali bypass turbofan, propfan, turbojet, ramjet, rocket, etc.
- ◆ Selekcija motora također će utjecati na konfiguraciju.

88

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Konfiguracija krila;

- ◆ Fundamentalno za performanse zrakoplova.
- ◆ Komplex s velikim brojem parametara treba razmatrati i dotjerivati za vrijeme procesa optimizacije.
- ◆ Glavni impact na uzgon, otpor & masu a/c i konstrukciju – sve treba razmatrati kada inicijalno odabiremo konfiguraciju.
- ◆ Inicijalni cilj je da stvorimo konfiguraciju s minimalnim brojem parametara koju koristimo u inicijalnoj sintezi.
- ◆ Ubrzo vodi do procjene opterećenja krila i tada do površine krila kada nam je poznata predviđena masa.

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Konfiguracija trupa;

- ◆ Dobar početak za sintetiziranje procesa.
- ◆ Često je utvrđena neovisno o uzgonskim površinama.
- ◆ Definiran payload je glavna vodilja i često je definiran specifikacijom.
- ◆ Potrebna posada utječe na konstruiranje prednjeg dijela trupa a često je sastav posade poznat.
- ◆ Radimo samo okvirne dimenzije – konfiguracije, kako bi mogli pristupiti početnim predviđanjima mase zrakoplova.
- ◆ Geometrija i dimenzije primarno su derivirane uz malu upotrebu analitičkih metoda, tako da nemamo jedinstveno rješenje. (*no single solution*)

89

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Procjene uzgona, otpora & mase;

- ◆ To su primarne karakteristike koje determiniraju performanse a/c sa zadanim motorom & režimom leta.
- ◆ Može se kadkada procijeniti koristeći tipične vrijednosti od prijašnjih sličnih a/c (ako je informacija raspoloživa).
- ◆ Ali preferira se upotreba jednostavnih analitičkih izraza za formuliranje inicijalnih vrijednosti u prvooj optimalizaciji.
- ◆ Složenije metode eventualno mogu biti potrebne.
- ◆ Visoki je stupanj međuzavisnosti s konfiguracijom krila.

91

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Prikaz performansi;

- ◆ Vitalni dio procesa sintetiziranja – načinjeno tako da izrazimo različite faze leta koristeći jednadžbe.
- ◆ Faze leta uključuju:
  - *take-off & initial climb, climb to operating altitude, ceilings, cruise, operating/maximum speed, manoeuvres, descent, approach & landing, baulked landing & missed approach.*
- ◆ Preporučene jednadžbe su specifične za proces konstruiranja:
  - Teoretski derivirane ali modificirane s empirijskim podacima.
  - Koriste se da dobijemo rane optimalne vrijednosti opterećenja krila - *wing loading*- i omjera potiska s težinom - *thrust/weight*.

92

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Parametrička analiza – 2. stupnja

- ◆ Odabrane vrijednosti opterećenja krila i omjera potiska s masom koristimo da izračunamo masu zrakoplova.
- ◆ Različite kombinacije se koriste da utvrdimo minimalnu (tj. optimum) vrijednost mase.
- ◆ Vodi k "*referee design*", koji se tada koristi kao osnova za detaljnije analize i procjene.
- ◆ Revidirana dimenzija krila slijedi direktno iz procedure, zajedno s inicijalnim prikazom repnog dijela trupa i podvozja.

94

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Parametrička analiza – 1. stupanj;

Skupi rezultate svih prethodnih zadataka.

- ◆ Kombinira dimenzije krila i trupa u cjelovitu konfiguraciju a/c.
- ◆ Prezentacija uzgona, otpora i motora korištenih u jednadžbama performansi da bi dobili varijaciju opterećenja krila (W/S) i omjera potiska s težinom (T/W) za svaku zahtjevanu performansu.
- ◆ Komparacija daje konstruktoru prostor da udovolji svim zahtjevima.
- ◆ Odabiremo pogodne vrijednosti za W/S (malo) i T/W (veliko).

93

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Optimalizacija;

- ◆ Osnovna značajka projektnog procesa.
- ◆ Ciljani kriterij nametnut – najčešće *masa* ali kadkada *troškovi*.

### Optimalizacija mase;

- ◆ Dimenzije & masa su usko povezane.
- ◆ Neobično je da ograničenja dimenzije vode konstrukciju (izuzeća – a/c koji operira s broda, veliki transportni putnički a/c s ograničenjem aerodromskog mosta za ukrcaj putnika).
- ◆ Općenito, lakši a/c je djelotvorniji s najvećim potencijalom za razvoj, pa je to kriterij optimalizacije.

95



## Sintetiziranje projektnog procesa

### Optimalizacija troškova

#### ◆ Nekoliko mogućih aspekata:

- Prvi trošak
- Operativni troškovi
- Troškovi ciklusa (LCC)



#### ◆ Teže je predvidjeti točne troškove nego predvidjeti masu



96

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Procedure optimalizacije

#### Grafičke metode

- ◆ Rezultate parametričke studije ucrtamo na graf i preklapimo, što nam daje konstruktivni prostor – "*design space*" koji udovoljava raznom zahtjevanim performansama;
- ◆ Time ograničimo broj parametara koje varirajući ih, možemo povoljno koristiti.

#### Matematičke metode

- ◆ Možemo koristiti mnogo parametara istovremeno, tj. koristeći metodu multi-varijabilne optimalizacije – *multi-variable optimization* (MVO).
- ◆ Zahtjeva snažne kompjuterske pakete.

98

## Sintetiziranje projektnog procesa

### Analiza derivirane (Referee) konstrukcije;

#### ◆ Uključuje upotrebu boljih analitičkih alata, uključivo:

- Predviđanje dimenzija za stabilizirajuće i upravljačke površine.
- Kompletiranje konfiguracije podvozja.
- Poboļšana procjena karakteristika uzgona, otpora i mase.
- Revidirane proračune performansi koristeći poboljšane *input* podatke i više elaboriranih metoda procjene.
- Ponovno razmatranje zahtjeva stabilnosti & upravljivosti.
- Ponavljanje procesa dok masa ne konvergira.

#### ◆ Studije osjetljivosti uključuju varijaciju određenih parametara da bi identificirali kritične konstruktivne elemente.

97

## Ostale aktivnosti

- ◆ Mnoge ostale aktivnosti se rade u tipičnom dodiplomskom grupnom projektu, zavisno o tipu a/c ali tipične su:
  - Strukturalna konfiguracija – krila, trupa, repnog dijela trupa.
  - *Stress* & strukturalna analiza i odabir materijala.
  - konstruiranje *intake/exhaust* sustava.
  - *flight deck & avionics* – rasporeda (ergometrija), *naoružanje selection/integration*.
  - *passenger/payload* odjeljci,
  - *reliability & maintainability*,
  - *survivability & stealth, defensive aids* podobnosti.
  - *hydraulics, pneumatics, electrics, ice protection, fire detection/suppression*, itd.

99

## Faza detaljnog konstruiranja

- ◆ To je najekstenzivnija faza u cijelom projektnom procesu;
- ◆ Svrha je da verificiramo ranije pretpostavke i izvedemo podatke potrebne za strojnu proizvodnju.
- ◆ Zahtijeva mnogo crtanja (danas uz pomoć kompjutera).
- ◆ Analiziraju se i istražuju najbolja rješenja performansi, troškova proizvodnje i operativnu eksploataciju.

100

## Certification

- ◆ Operativna dozvola za letenje (TC) izdaje se nakon što se proračunima & testiranjima konstrukcije demonstriralo na zadovoljavajući način Upravi za plovidbenost da je svim relevantnim zahtjevima udovoljeno.
- ◆ Kupac također zahtijeva demonstraciju performansi i sposobnosti a/c.



102

## Testiranje

- ◆ Proizvedeni dijelovi nakon detaljne faze konstruiranja se testiraju i na zemlji i u zraku.

### Ground Testing

- ◆ Uključuje testove u aerotunelu, testiranja strukturalnih elemenata i sustava.

### Flight Tests

- ◆ Verificiramo performanse i letne karakteristike stvarnog zrakoplova.
- ◆ SKUPO – zato se mora završiti vrlo brzo.

101

## Životni ciklus projekta

- ◆ Faza konstruiranja koja vodi do certifikacije može potrajati i dekadu;
- ◆ Troškovi razvoja konstrukcije rastu s vremenom dok se ne postigne certifikacija;
- ◆ Proizvođač nastavlja s podrškom zrakoplovu tijekom operativnog životnog vijeka – može potrajati i 50 godina (+ za uspješnu konstrukciju).

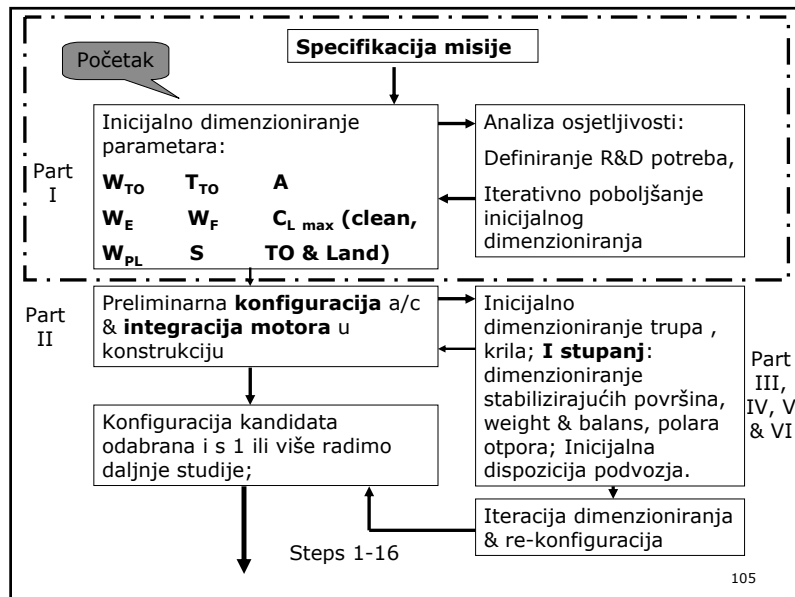


103

## Osnivanje zrakoplova - FSB

- ◆ U osnivanja zrakoplova evidentni su različiti pristupi;
- ◆ Design to cost;
- ◆ Design to price;
- ◆ Design optimization.
- ◆ Ovaj posljednji je u današnje vrijeme najzastupljeniji. Metode realizacije se djelomično razlikuju (Raymer-ova, Howe-ova, Roskam-ova). Idejno ćemo slijediti Raymer-ovu metodu “konceptnog konstruiranja” (od skice), međutim ista zahtijeva veliko “projektantsko” iskustvo i dobro poznavanje međuzavisnosti mnogih interdisciplinarnih kolegija.
- ◆ Kroz vježbe i za realizaciju projekta slijedit će se Roskam-ova *step-by-step* metoda koja koristi metodologiju “pješačkim” putem (bez sofisticiranih programa i snažnih kompjutera)
- ◆ Takvim pristupom, ideja je naučiti “zanat” zrakoplovnog inženjera – projektanta.

104



105