

Gradnja letal

U v o d

V leksikonu Cankarjeve založbe je zapisano: »Letalo je zračno vozilo, težje od zraka, leti z izkoriščanjem dinamičnega vzgona zraka, ki teče ob krilu.«

Od prvega zgodovinskega poleta bratov Wright dne 17.decembra 1903 je minilo že več kot sto let. Od takrat pa do danes se je način izdelave letal stalno izpopolnjeval. Novi materiali so omogočali lažje in bolj varne konstrukcije, zanesljivi motorji pa daljše polete. Osnovna zamisel letala pa se ni veliko spreminjala.

V učbeniku, ki ste ga pravkar odprli, se boste seznanili z osnovnimi sestavnimi deli letala in materiali iz katerih so zgrajeni. Učbenik je namenjen športnim pilotom, ki se morajo v času šolanja seznaniti z gradnjo letala.

Da nastane tak učbenik, se moram najprej zahvaliti sebi in svoji volji, da sedim pred računalnikom in pišem. Velika zahvala gre moji ženi Albini, ki je avtorica vseh skic v učbeniku. Recenzijo osnutka je opravil Marjan Klenovšek, univ.dipl.ing.. Zahvala velja tudi letalskemu mehaniku Ferdu Kočevanju in Petru Klinarju, univ.dipl.ing., ki sta mi omogočila dostop do strokovne literature.

Učbenik poklanjam v spomin pravkar preminulemu dolgoletnemu sekretarju Zveze letalskih organizacij Slovenije, Mirku Bitencu, ki se je z vsem srcem zavzemal za napredek letalskega športa v Sloveniji. Hvala Mirko!

Celje, 5.1.2005

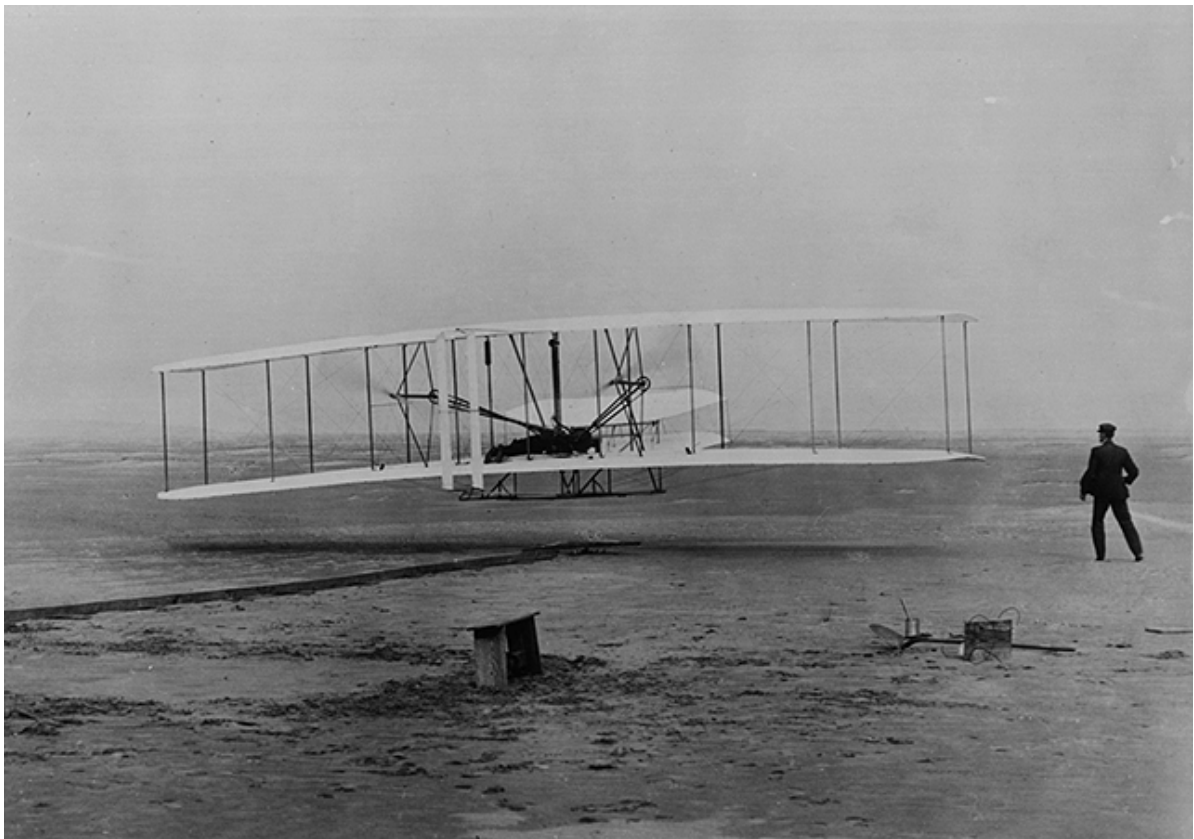
Učitelj jadr. in motornega letenja
Peter Karner

Kazalo

1. Gradnja letala	7
1.1 Glavni elementi letala	7
2. Principi konstruiranja	7
3. Obremenitve letala	8
3.1 Obremenitve v horizontalnem letu	8
3.2 Obremenitev v evolucijah	8
3.3 Izvor vibracij na letalu	9
3.1 Flater	9
4. Gradiva za izdelavo letal	10
4.1 Les	10
4.2 Aluminijeve zlitine	10
4.3 Magnezijeve zlitine	11
4.4 Jekla in titan	11
4.5 Težke kovine in njihove zlitine	11
4.6 Armirana plastika	11
4.7 Druga gradiva	12
4.8 Zaščita kovinskih delov	12
4.9 Zaščita nekovinskih delov	12
4.10 Lepila	12
4.11 Konstruktivni elementi	13
4.12 Deformacije materiala	14
5. Krilo	16
5.1 Razvrstitev kril	16
5.1.1 Namestitvev krila	17
5.1.2 Število kril	17
5.1.3 Geometrijska delitev krila	18
5.1.4 Delitev krila po načinu izdelave	18
5.1.5 Delitev krila po vrsti gradiva	20
5.2 Sestavni deli krila	21
5.2.1 Nosilec krila	21
5.2.2 Vzдолžnice krila	21
5.2.3 Rebra krila	22
5.2.4 Oplata krila	22
5.2.5 Priključni okovi krila	24
5.2.6 Krilca	25
5.2.7 Zakrilca	27
5.2.8. Mehanizem krilc in zakrilc	28
5.2.9 Predkrilce	28
5.2.10 Načini odstranjevanja ledu	28
5.2.11 Funkcionalnost krila	30
5.3 Obremenitev krila	31
5.3.1 Aerodinamična obremenitev krila	31
5.3.2 Nihanje krila med letom	32
6. Trup	33
6.1 Konstrukcijske izvedbe trupov	33
6.1.1 Rešetkast trup	33
6.1.2 Škatlast trup	34
6.1.3 Lupinast trup	34
6.1.4 Trupi iz armirane plastike	35
6.2 Obremenitev trupa	35
7. Repne površine	36
7.1 Splošni pogoji	36
7.2 Delitev repnih površin	36
7.3 Opis horizontalnih repnih površin	38
7.4 Opis vertikalnih površin	39
7.5 Opis repnih površin »V« oblike	40
7.6 Trimer	40
7.7 Obremenitev horizontalne repne površine	42

8. Sistemi komand	43
8.1 Zahteve	43
8.2 Delitev komand	43
8.3 Načini krmarjenja	46
8.3.1 Krmarjenje letala okoli prečne osi	46
8.3.2 Krmarjenje letala okoli vzdolžne osi	46
8.3.3 Krmarjenje letala okoli navpične osi	47
8.4 Upravljanje zakrilc	48
8.5 Zračne zavore	49
8.6 Predkrilce	50
8.7 Hidravlično upravljanje krmilnih površin	50
8.8 Električno in elektronsko upravljanje krmilnih površin (Fly-By-Wire)	51
9. Podvozje	52
9.1 Naloga	52
9.2 Izvedbe podvozja	53
9.2.1 Klasično podvozje	53
9.2.2 Fiksno podvozje v obliki tricikla	56
9.3 Uvlačljivo podvozje	58
9.4 Obremenitev podvozja	59
9.4.1 Obremenitev podvozja v mirovanju	58
9.4.2 Obremenitev podvozja pri pristanku	59
9.4.3 Upogibanje osi kolesa	60
9.5 Blažilniki (amortizerji)	61
9.5.1 Vrste vzmeti in blažilnikov	61
9.6 Zavore	63
9.7 Gume	66
9.8 Plovci in plavajoči trupi	67
9.9 Smuči	69
10. Pripomočki na letalih	70
10.1 Vlečna kljuka	70
10.2 Pripomočki za zaviranje in pospeševanje	71
10.2.1 Zračne zavore	71
10.2.2 Padalo	71
10.2.3 Štartna raketa in katapult	71
11. Kabina	72
11.1 Namen kabine	72
11.1.1 Kabina za pilota in posadko letala	74
11.1.2 Potniška kabina	74
11.1.3 Prostor za tovor	75
11.2 Pilotski sedež	75
11.3 Kabina pod tlakom	76
12. Namestitev motorja	77
12.1 Položaj motorja	77
12.1.1 Nosilec motorja	77
12.1.2 Dušenje vibracij motorja	79
12.1.3 Obremenitev nosilca motorja	79
12.1.4 Okrov motorja	79
13. Izračun masnega središča	80
13.1 Določanje masnega središča s tehtanjem	80
13.2 Postopek tehtanja	84
13.2.1 Priprava	84
13.2.2 Niveliranje	84
13.2.3 Tehtanje	84
13.2.4 Masno središče	84
14. Naprave in sistemi na letalu	89
14.1 Pitojev tlačni sistem	89
14.2 Sistem za napajanje motorja z gorivom	90
14.3 Vžigalna naprava	91
14.4 Vakuumski sistem	92
14.5 Sistem za uvlečenje podvozja	93
14.6 Sistem za odstranjevanja ledu	94

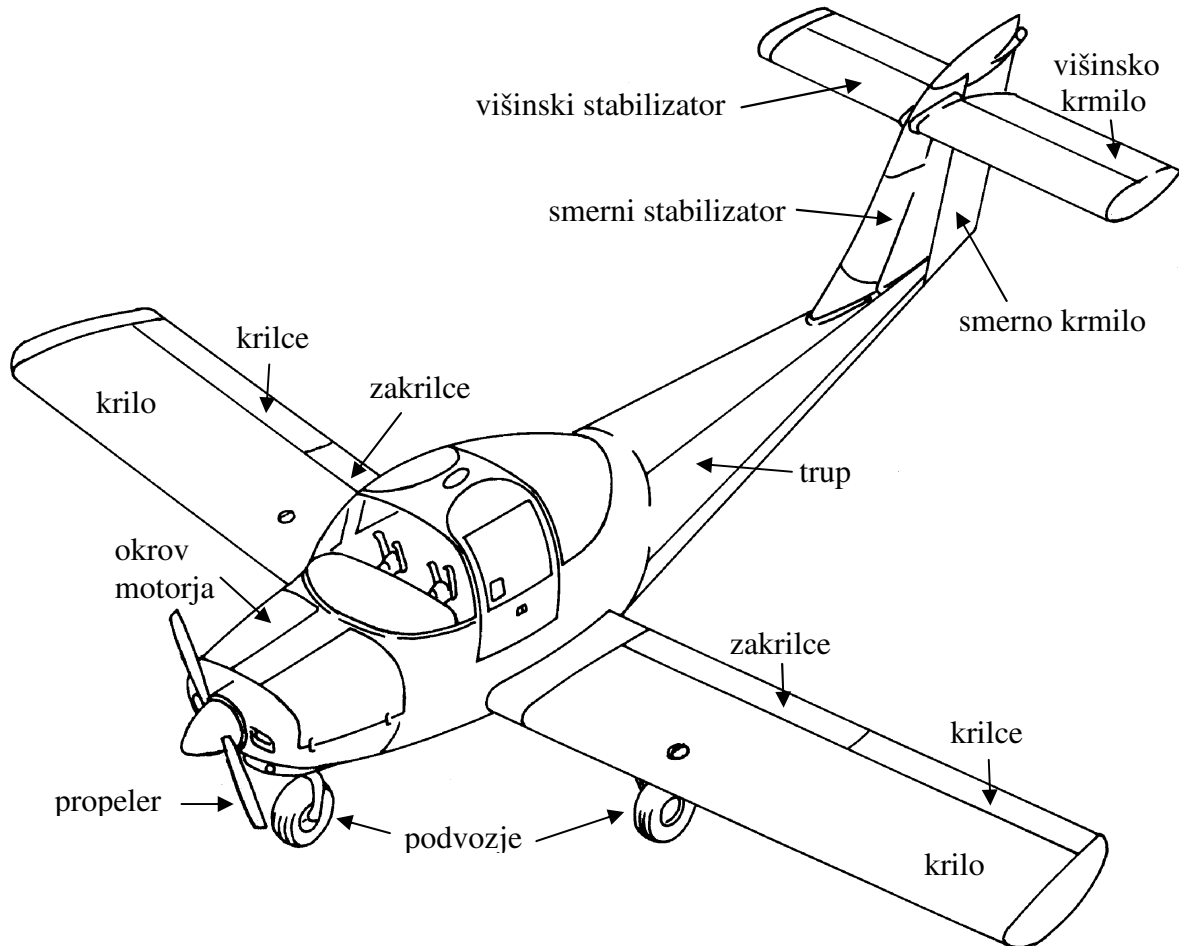
15.0 Letalski instrumenti	95
15.1 Zakon o ohranitvi mase	95
15.2 Zakon o ohranitvi energije	95
15.3 Razporeditev instrumentov	97
15.4 Instrumenti namenjeni pilotiranju	97
15.4.1 Merilnik hitrosti	97
15.4.2 Umetni horizont	98
15.4.3 Višinomer	100
15.4.4 Kontrolnik leta s kroglico	100
15.4.5 Indikator zavoja	105
15.4.6 Žirokompas	105
15.4.7 Variometer	106
15.4.8 Kompas	106
15.4.9 LX 700 GPS	107
15.5 Motorski instrumenti	107
15.5.1 Merilnik vrtilne frekvence	107
15.5.2 Termometri	109
15.5.3 Merilniki tlaka	110
15.5.4 Merilnik količine goriva	111
15.5.5 Ampermeter	112
16.0 Sem ter tja po instrumentalni plošči	113



Slika zgodovinskega poleta bratov Wright

1. Gradnja letala

1.1 Glavni deli letala



Slika 1: Glavni deli letala

2. Principi konstruiranja

Pri konstruiranju letal konstruktorji iščejo najugodnejše letalne lastnosti in aerodinamične karakteristike ob upoštevanju ekonomskih zahtev.

1. Letalne lastnosti se kažejo:

- v maksimalni horizontalni hitrosti, pri polni moči motorja,
- v čim daljši razdalji (doletu), ki jo letalo lahko preleti brez pristanka,
- v največji možni doseženi višini (plafonu),
- v hitrosti vzpenjanja oziroma skrajševanju časa, ki je potreben, da letalo doseže določeno višino leta,
- v nosilnosti, ki je izražena v številu potnikov, masi tovora itd,
- v čim nižji pristajalni hitrosti.

2. Aerodinamične karakteristike

Konstruktorji izboljšujejo aerodinamiko krila, trupa in repnih površin in skušajo najti rešitve s čim manjšim zračnim uporom.

3. Ekonomske zahteve

Proizvodnja letala in njegovo vzdrževanje morata biti enostavna in poceni.

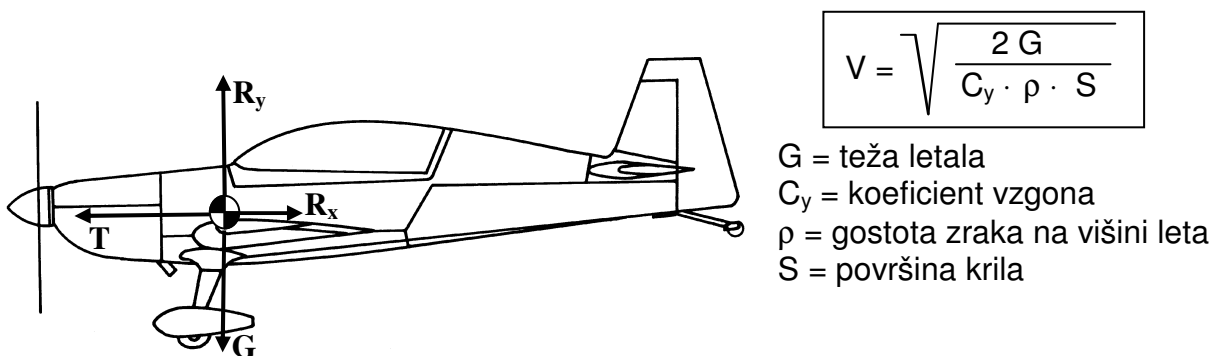
3. Obremenitve letala

3.1 Obremenitve v horizontalnem letu

V horizontalnem letu je letalo obremenjeno z naslednjimi silami:

- silo teže (G),
- silo vzgona (R_y),
- silo upora (R_x),
- vlečno ali potisno silo (T).

Pogoj za horizontalni let je, da so vse horizontalne in vertikalne sile uravnotežene. Sila vzgona mora biti enaka teži letala, sila upora pa enaka vlečni ali potisni sili. Sila vzgona je funkcija koeficienta vzgona krila, gostote zraka, kvadrata hitrosti in površine krila. Hitrost horizontalnega leta izračunamo po obrazcu:



Slika 2: Sile v horizontalnem letu

3.2 Obremenitev v evolucijah

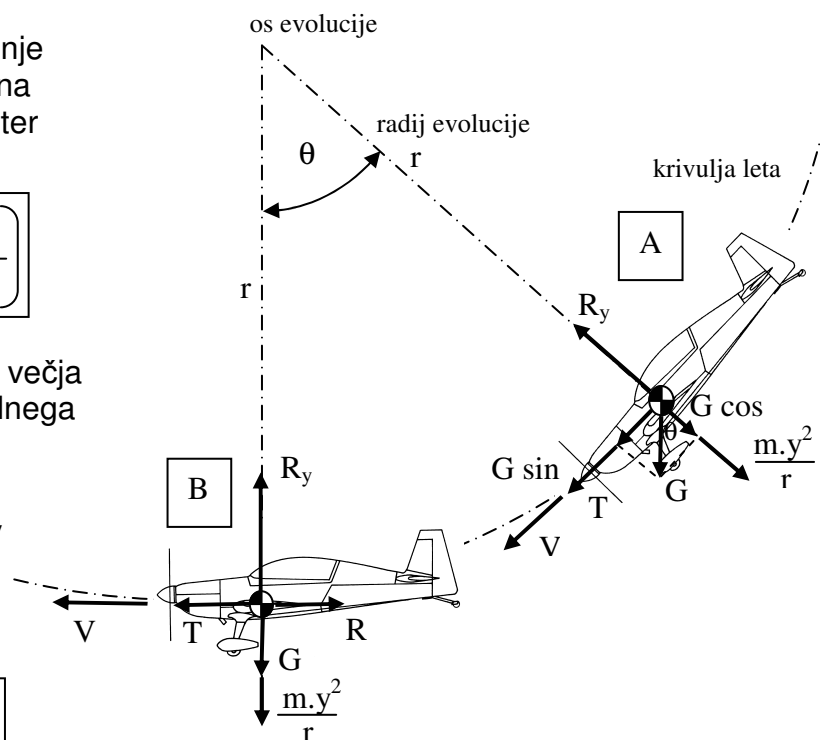
Na letalo delujejo naslednje sile: sila teže letala, vlečna sila, sili vzgona in upora ter centrifugalna sila.

$$R_y = G \left[\cos\theta + \frac{V^2}{g \cdot r} \right]$$

Sila vzgona v evoluciji je večja od sile vzgona horizontalnega leta za $\cos\theta + (V^2/g \cdot r)$.

Sila vzgona je največja v položaju B, kjer mora uravnotežiti težo letala in centrifugalno silo.

$$R_y = G \left[1 + \frac{V^2}{g \cdot r} \right]$$



Slika 3: Sile v evoluciji

Kadar je kot θ enak nič, potem je $\cos\theta = 1$. Ta vrednost je upoštevana v enačbi za položaj B.

Vrednost $\frac{V^2}{G \cdot r}$ predstavlja centrifugalni pospešek.

Koeficient uporabne obremenitve (n_u) nam pove kolikokrat večja od teže je lahko sila vzgona letala pri danem režimu letenja. Njegova vrednost pri sodobnih letalih se giblje do 14.

$$n_u = 1 + \frac{V^2}{g \cdot r}$$

Povečevanje njegove vrednosti ne bi bilo smiselno, saj pilot klub sodobni opremi ne bi zdržal tako velike obremenitve. Dobro treniran pilot zdrži kratkotrajno obremenitev do $n_u \approx 8$.

Preobremenitvam se izognemo s postopnim prehodom med režimi leta. Figure akrobatskega letenja pa izvajamo z dovoljeno hitrostjo in primernim radijem leta. Akcelometer (merilnik pospeškov) je instrument s katerim merimo obremenitev letala.

Koeficient preobremenitve je enak zmnožku koeficienta uporabne obremenitve in varnostnega faktorja (f). Visok varnostni faktor pomeni, da bo konstrukcija letala delovala zanesljivo, ne bo pa najlažja. Zato je smotno določiti nizek, a še vedno dovolj varen varnostni faktor. Za posamezne dele letala znaša od 1,5 do 2.

$$n = n_u \cdot f$$

3.3 Izvori vibracij na letalu

Na letalu imamo dosti različnih virov vibracij. Najpomembnejša vira sta motor in propeler. V vsaki konstrukciji se pojavlja tudi upor (upor materiala), ki zmanjšuje (duši) intenzivnost vibracij. Če na nihajoče dele delujejo še zunanje sile, se amplituda nihanja lahko hitro poveča do take mere, da je ogrožena konstrukcija letala. Ta pojav imenujemo mehanska resonanca (je sonihanje teles, če je njihova lastna frekvenca enaka frekvenci vzbujevalnega nihanja), nihanje pa resonančno nihanje.

3.3.1 Flater (ang.: flutter)

Flater (ali drhtenje) je ime za pojav povečanih nihanj krila ali repnih površin, ki največkrat nastanejo zaradi prevelike hitrosti leta. Pojavlja se kot močno tresenje komand in konstrukcije letala ter povzroča zvijanje in nihanje kril z veliko amplitudo. Nihanje je lahko tako silovito, da lahko letalo v zelo kratkem času razpade. **Pri prvih znakih flaterja, je potrebno takoj odvzeti plin in zmanjšati hitrost leta!**

Bafting je posebna oblika tresenja horizontalnih repnih površin. Nastane zaradi vrtinčenja zraka, ki se je, zaradi prevelikega vpadnega kota, odtrgal od krila. Bafting sam po sebi ni nevaren, nevaren postane le, če rep pade v resonanco. Njegov vpliv zmanjšamo, če repne površine vgradimo izven dosega turbuletnega toka zraka.

Pri nekaterih letalih se bafting uporablja kot opozorilni znak pilotom, da letijo na kritičnem vpadnem kotu. Namerno tresenje višinskega krmila povzročijo kratke trikotne letve (turbulatorji), ki so vgrajene na sprednjem robu krila in vrtinčijo zrak.

