

Dimenzionisanje trupa

Konstrukcija i tehnologija proizvodnje letelica

Zlatko Petrović & Aleksandar Grbović & Jelena Svorcan &
Miloš Petrašinović

2019/2020.



Uvod	Dužina trupa – prva procena	Gabariti kabine	Putnički prostor	Strukture	Komande
ooo	oooooooo	oooooooooooooooo	oooooooooooooooo	oooooooo	oooooooo

Sadržaj

Uvod

Dužina trupa – prva procena

Gabariti kabine

Kabinski prostor za putnike

Primeri struktura letelica

Komande



Uvod – 1/3

Trup letelice je višenamenska komponenta:

- Obezbeđivanje prostora za posadu, putnike, teret, ostale komponente. . .
- Zadovoljavajuće aerodinamičke karakteristike,
- Zaštita unutrašnjih elemenata,
- Nošenje krila (uzgonskih površina), motora, stajnih organa. . .
- Prenos i pouzdano podnošenje opterećenja (uprkos svim otvorima koji postoje u strukturi trupa),
- . . .



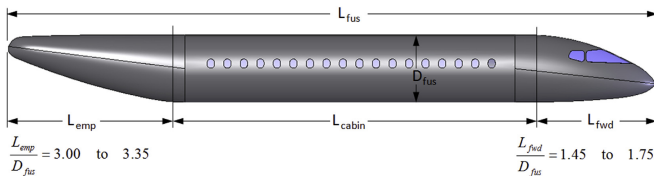
Uvod – 2/3

Pri dizajnu trupa letelice treba voditi računa o:

1. Prostoru za svakog putnika,
2. Pomoćnim prostorijama naročito kod većih aviona,
3. Pravilnom rasporedu i uređenju pilotske kabine,
4. Obliku i veličini vetrobranskih staklenih površina,
5. Evakuacionim izlazima,
6. Sistemima koji prolaze kroz strukturu trupa (kontrole, električni, kiseonički),
7. Lakom pristupu odeljcima za teret,
8. Strukturalnim ojačanjima...



Tipični oblici



Dužina trupa – prva procena – 1/8

Trend za letelice sa jednim motorom:

$$L_F = 0.538 \cdot b + 1.66$$

Trend za letelice sa dva motora:

$$L_F = 1.224 \cdot b - 5.76$$

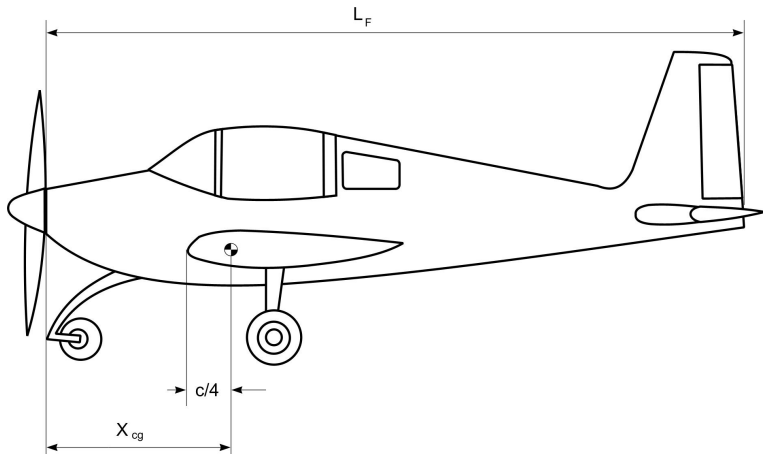
gde je b – razmah krila letelice. Relativno rastojanje od nosa trupa (bez elise) do težišta letelice $\bar{X}_{cg} = X_{cg}/L_F$ za avione sa jednim i sa dva motora:

$$\bar{X}_{cg1} = 0.31(\pm 0.022), \quad \bar{X}_{cg1} \in (0.286, 0.355),$$

$$\bar{X}_{cg2} = 0.385(\pm 0.023), \quad \bar{X}_{cg2} \in (0.349, 0.418)$$



Dužina trupa – prva procena – 2/8



Dužina trupa – prva procena – 3/8

- Položaj težišta u odnosu na vrh nosa se određuje:

$$X_{cg} = \bar{X}_{cg} \cdot L_F$$

- Dalje projektovanje trupa – “od iznutra ka spolja” (trup treba da obuhvati sve unutrašnje komponente).
- Voditi se principom minimalne okvašene površine.
- Izbegavanje otcepljenja strujanja.
- Princip minimalne mase.
- Analitički izrazi za definisanje unutrašnjosti kabinskog prostora nisu dovoljno pouzdani, neophodno je **ručno** komponovati kabinski prostor!



Dužina trupa – prva procena – 4/8

Na našem primeru ultralakog aviona težine $W_o = 4630$ N, površine krila $S = 11.35$ m², vitkosti $\mathcal{R} = 7.68$:

- razmah krila je $b = \sqrt{S \cdot \mathcal{R}} = 9.34$ m,
- dužina trupa je $L_F = 0.538 \cdot b + 1.66 = 6.68$ m,
- položaj težišta u odnosu na vrh nosa je
 $X_{cg} = \bar{X}_{cg} \cdot L_F = 2.07$ m.



Dužina trupa – prva procena – 5/8

```
% primer - trup
clear all, clc

% ulaz
Wo = 4630;           % tezina, [N]
S = 11.35;           % površina krila, [m^2]
AR = 7.68;           % vitkost krila, [-]
b = sqrt(S*AR);      % razmah krila, [m]
c = 1.23;             % tetiva krila, [m]

% dužina trupa, prva procena
Lf = 0.538*b + 1.66;
disp('Duzina trupa [m]'), disp(Lf)
% rastojanje izmedju nosa trupa i tezista letelice
Xcg = 0.31*Lf;
disp('Procenjeni polozej tezista [m]'), disp(Xcg)
```



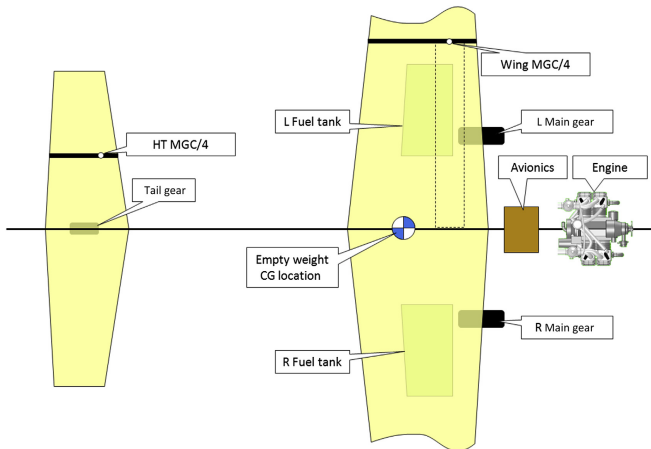
Dužina trupa – prva procena – 6/8

Principi projektovanja trupa

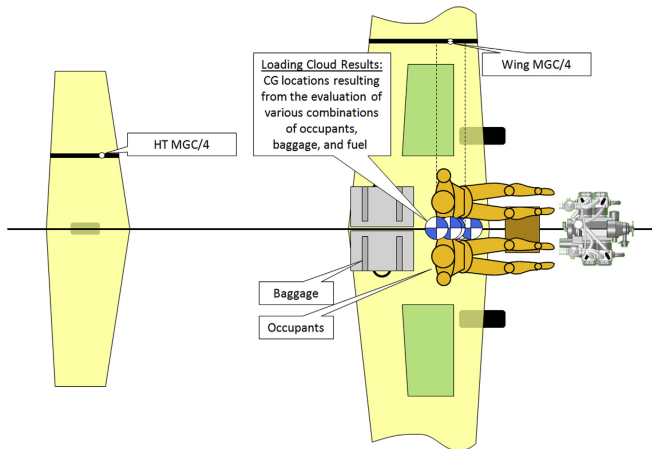
- **Prva etapa** – Projektovanje poprečnog preseka trupa najmanjeg obima.
- **Druga etapa** – Određivanje dužine trupa.
- Formule daju orijentacione vrednosti, sledeći korak je oblikovanje trupa u bočnoj projekciji i u pogledu odozgo.
- Kraći trup – manja težina, ali veće repne površine, veći otpor?
- **Treća etapa** – Ponavljaju se prethodne dve ukoliko nismo zadovoljni rezultatom.



Organizacija



Organizacija



Gabariti kabine – 1/15

- Zavise od broja članova posade.
- Količina posla u letelici definiše broj članova posade.
- Zapremina treba da bude što manja, ali da obezbedi normalno pilotiranje.
- Kod lakih letelica nema pregrade između posade i putnika.
- Ukoliko postoji pregrada mora se obezbediti veza sa putnicima preko prozora ili vrata.
- Prostor kabine se može prilagođavati **individualnim** potrebama pilota ili se bazirati na statistici.
- Podaci koji slede se baziraju na statistici, a ne na individualnim potrebama!



Gabariti kabine – 2/15

Uglovi

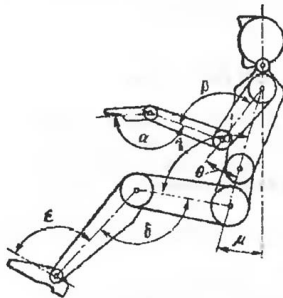


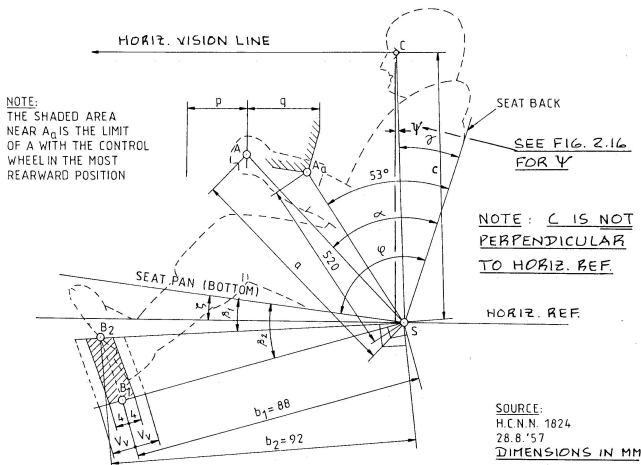
Таблица 6.1

Суставной угол	Значения, град
μ	15 ... 20
α	170 ... 190
γ	85 ... 100
δ	90 ... 120
θ	10 ... 15
ϵ	85 ... 95



Gabariti kabine – 3/15

Uglovi



Gabariti kabine – 4/15

Uglovi

Symbol	Wheel Control	Stick Control
a	67 (+/- 4)	63 (+/- 4)
ξ	7° (+/- 2°)	7° (+/- 2°)
p = Forward motion of point A:	18 (+/- 2)	16 (+/- 2)
q = Rearward motion of point A:	22 (+/- 2)	20 (+/- 2)
r = Sidewise motion of point A from center*:	-----	15 (+/- 2)
d = Distance between handgrips of wheel*:	38 (+/- 5)	-----
e = Wheel rotation from center*:	85° (max.)	-----
v = Distance between rudder pedal center lines*:	38 (+/- 12)	45 (+/- 5)
α	64° (+/- 3°)	70° (+/- 3°)
β_1	22°	same
β_2	10°	same
c	77 (+/- 2)	same
γ	21° (+/- 1°)	same
φ	102° (+/- 2°)	same
V_v = Adjustment range of pedals from center position B:	7 (+/- 2)	same
U_v = Forward and aft pedal motion from center position B*:	10 (+/- 2)	same
S_h = Horizontal adjustment range of S from center position*:	< 10	same
S_v = Vertical adjustment range of S from center position*:	8 (+/- 1)	same

• Not shown in Figure 2.7.

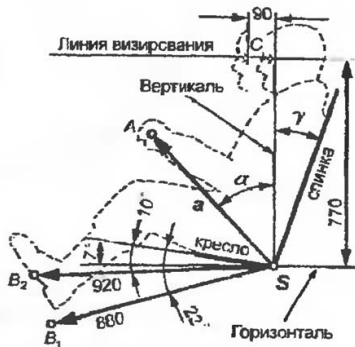


Gabariti kabine – 5/15

Proračunske tačke kabine

Таблица 6 2

Параметр	ШК	РУС
а, см	67 (±4)	63 (±4)
α, градус	45 (±3)	48 (±3)
Ход «на себя»	18 (±2)	16 (±2)
Ход «от себя»	22 (±2)	20 (±2)



Slika: ŠK – volan, RUS – palica. Maksimalno zakretanje volana 85° , maksimalno bočno kretanje palice: 150 ± 20 [mm].



Gabariti kabine – 6/15

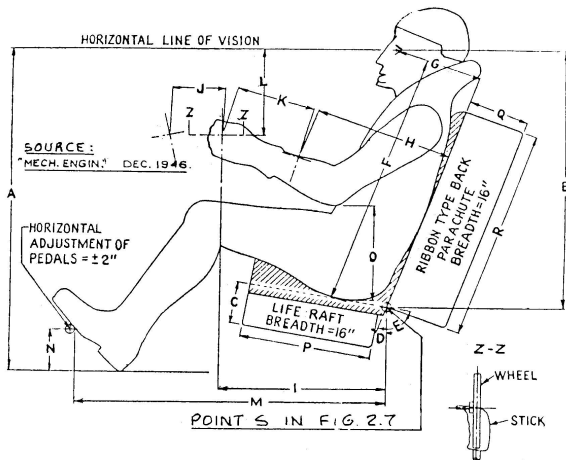
Individualne potrebe

- Položaj pedale.
- Položaj vertikale.
- Utiče na veličinu poprečnog preseka letelice.
- Pedale moraju biti ispod nivoa sedenja.
- Tačka B_1 odgovara volanu, a tačka B_2 palici.
- Hod pedale ± 100 [mm] uz dopunsko podešavanje od 75 [mm].
- Rastojanje između osa pedala za volan: 380 ± 20 [mm], za palicu: 450 ± 50 [mm].
- Rastojanje tačaka B_1 i B_2 do poda kabine > 100 [mm].
- Zazor u krajnjem prednjem položaju > 25 [mm].



Gabariti kabine – 7/15

Uglovi i mere



Gabariti kabine – 8/15

Uglovi i mere

For Wheel Type Controllers:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
			deg.	deg.						
37	30.25	5	21	101	29.75	10.00	16.63	19	6	9
39	30.75	5	19	101	30.25	9.75	15.75	19	6	9
41	31.50	5	16	101	31.00	9.75	15.13	19	6	9
43	31.75	5	16	101	31.25	10.00	15.13	19	6	9

A	L	M	N	O	P	Q	R
37	10.00	36.0	5	9.25	15	7	25
39	10.50	35.0	5	9.25	15	7	25
41	10.75	34.5	5	9.25	15	7	25
43	11.00	34.5	5	9.25	15	7	25

For Stick Type Controllers:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
			deg.	deg.						
37	30.25	5	21	101	29.75	10.00	14.50	19	6	9
39	30.75	5	19	101	30.25	9.75	13.75	19	6	9
41	31.50	5	16	101	31.00	9.75	13.50	19	6	9
43	31.75	5	16	101	31.25	10.00	13.00	19	6	9

A	L	M	N	O	P	Q	R
37	11.50	36.0	5	9.25	15	7	25
39	13.75	35.0	5	9.25	15	7	25
41	15.50	34.5	5	9.25	15	7	25
43	17.50	34.5	5	9.25	15	7	25

Seat adjustment: Horizontal: +/- 1.5 in. and Vertical: +/- 3.5 in.



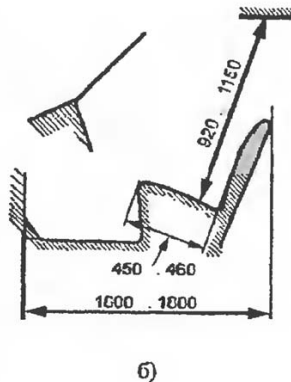
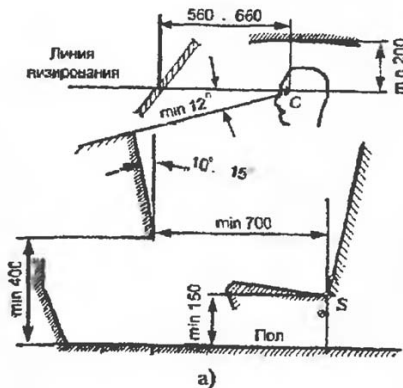
Gabariti kabine – 9/15

- Ugao zabacivanja sedišta od 5° pri poletanju do 19° pri krstarenju.
- Mnogi laki avioni imaju fiksni ugao između $13^\circ \div 16^\circ$.
- Pojasevi moraju obezbediti funkciju leta ne ometajući je.
- Karakteristične (minimalne) dimenzije kabinskog prostora koje obezbeđuje siguran let su date na sledećem slajdu.



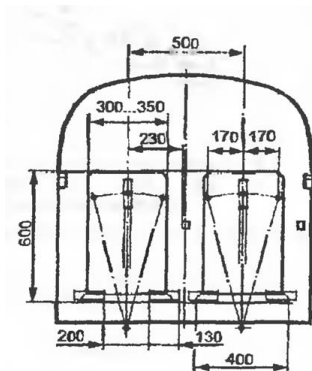
Gabariti kabine – 10/15

Dužina kabine



Gabariti kabine – 11/15

Širina kabine

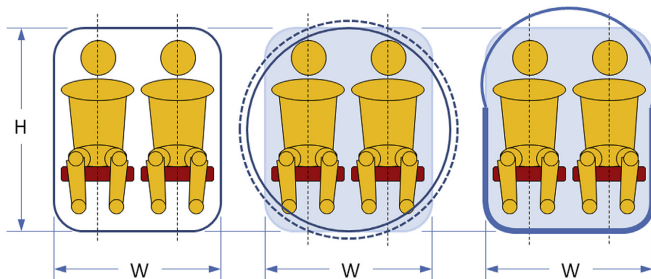


Slika: Srednje rastojanje između sedišta 760 [mm], minimalno 500 [mm].
Širina kabine između 900 [mm] i 1100 [mm]!



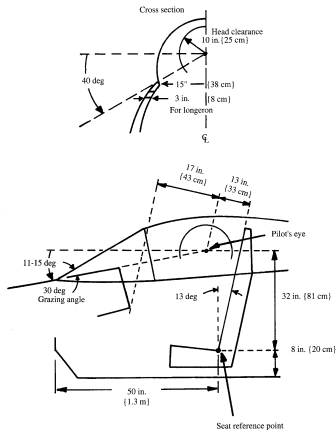
Gabariti kabine – 12/15

Širina kabine



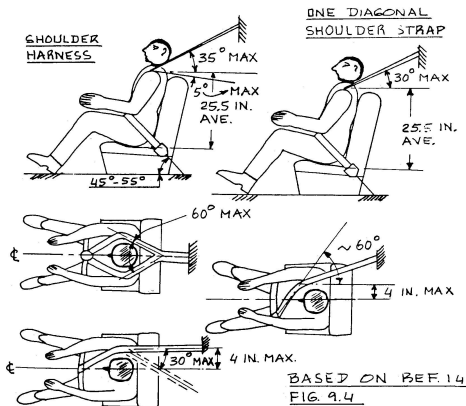
Gabariti kabine – 13/15

Vidljivost



Gabariti kabine – 15/15

Pojasevi



Kabinski prostor za putnike – 1/15

- Dimenzije zavise od broja putnika N_P .
- Dužina putničke kabine [m]:

$$L_{pk} = 0.694 + 0.414 \cdot N_P$$

- Visina kabine [m]:

$$h_{pk} = 1.09 + 0.0428 \cdot N_P$$

- Širina kabinskog prostora za putnike [m]:

$$b_{pk} = 1.03 + 0.0506 \cdot N_P$$



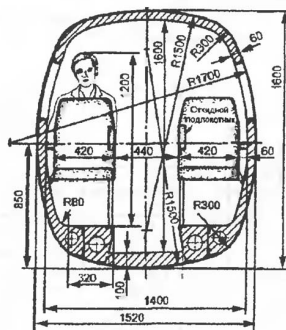
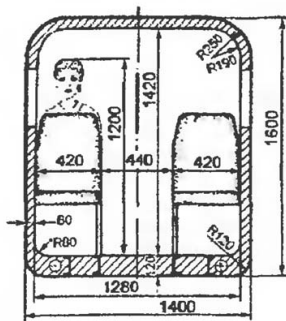
Kabinski prostor za putnike – 2/15

```
% nastavak skripta...  
% kabinski prostor za putnike  
Np = 2; % broj putnika  
Lpk = 0.694 + 0.414*Np;  
disp('Duzina putnicke kabine [m]'), disp(Lpk)  
hpk = 1.09 + 0.0428*Np;  
disp('Visina putnicke kabine [m]'), disp(hpk)  
bpk = 1.03 + 0.0506*Np;  
disp('Sirina putnicke kabine [m]'), disp(bpk)
```



Kabinski prostor za putnike – 3/15

Oblik poprečnog preseka

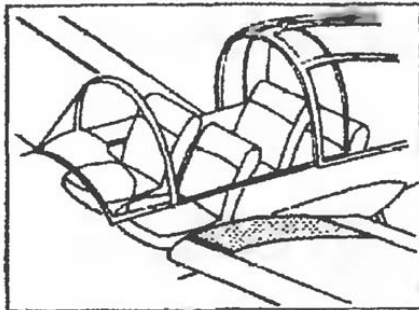


Slika: Do visine leta $h < 3000$ [m] može pravougaoni presek. Ako je visina leta $h > 5000$ [m] najpovoljniji presek je krug.



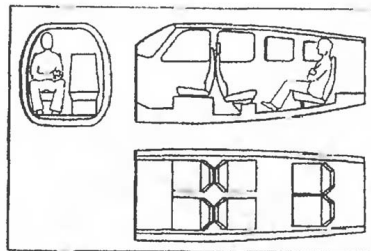
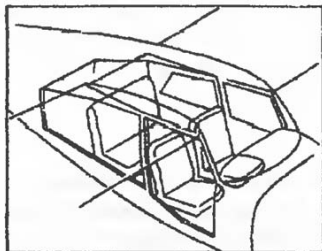
Kabinski prostor za putnike – 4/15

Niskokrilac

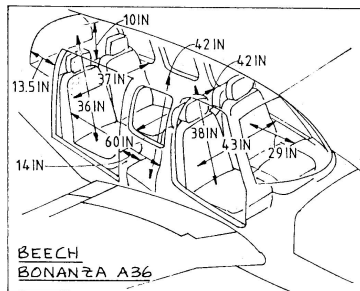
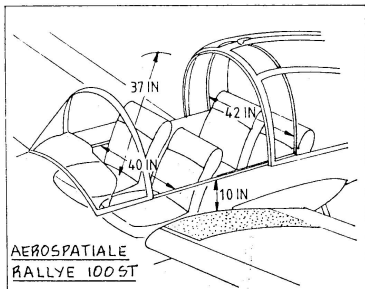


Kabinski prostor za putnike – 5/15

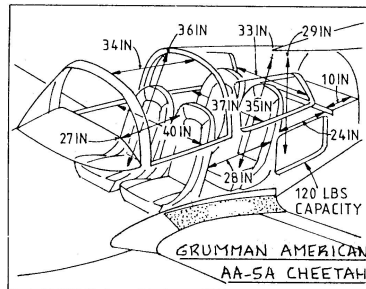
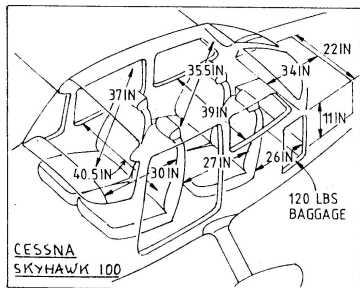
Visokokrilac



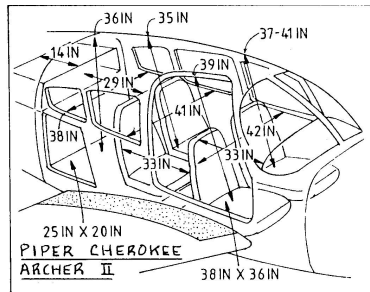
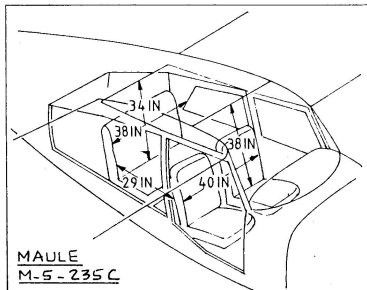
Kabinski prostor za putnike – 6/15



Kabinski prostor za putnike – 7/15



Kabinski prostor za putnike – 8/15

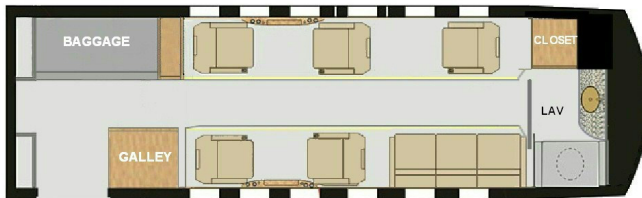


Kabinski prostor za putnike – 9/15

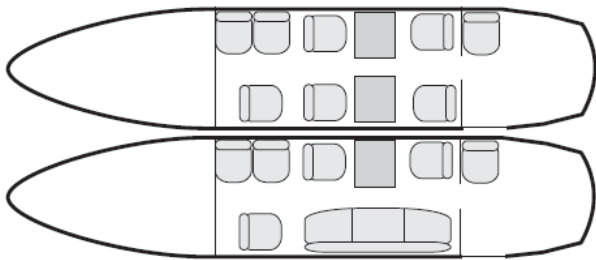


Kabinski prostor za putnike – 10/15

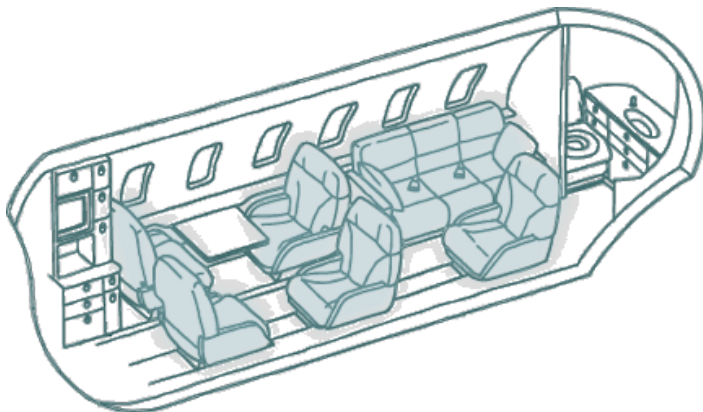
Hawker 800A, N123HK - Cabin Interior Diagram



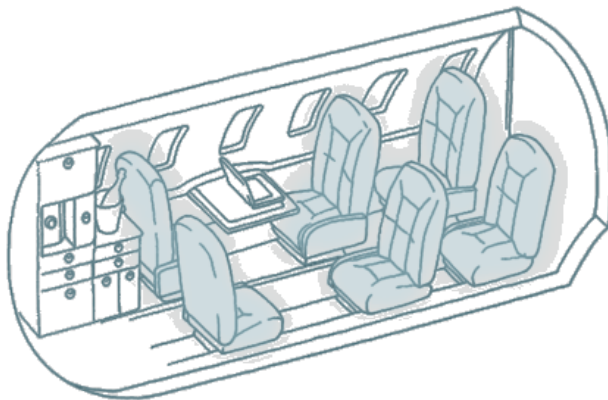
Kabinski prostor za putnike – 11/15



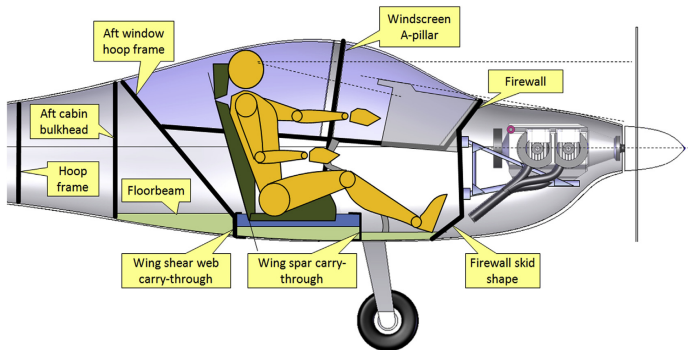
Kabinski prostor za putnike – 12/15



Kabinski prostor za putnike – 13/15



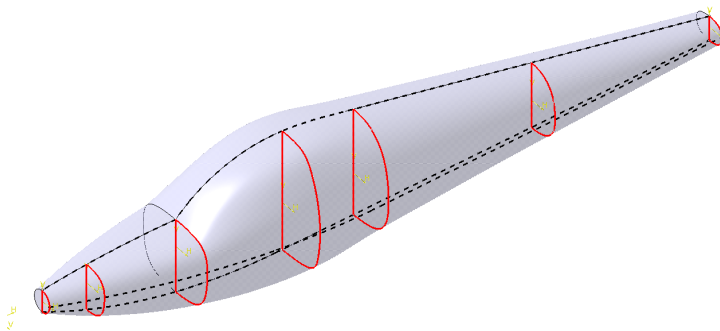
Kabinski prostor za putnike – 14/15



Slika: Primer lake letelice. . .



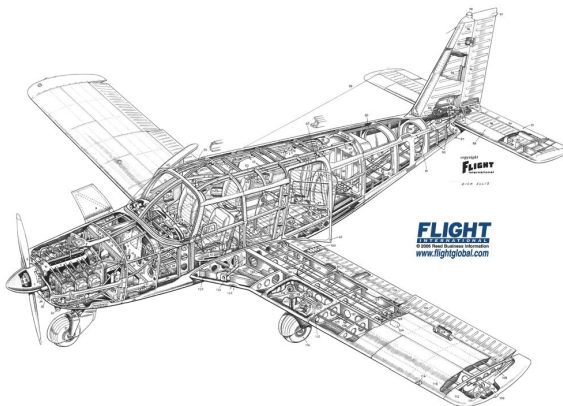
Kabinski prostor za putnike – 15/15



Slika: Primer lake letelice. . .



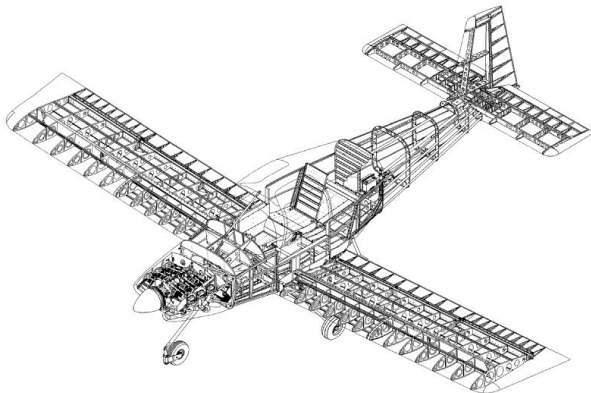
Primeri struktura letelica – 1/9



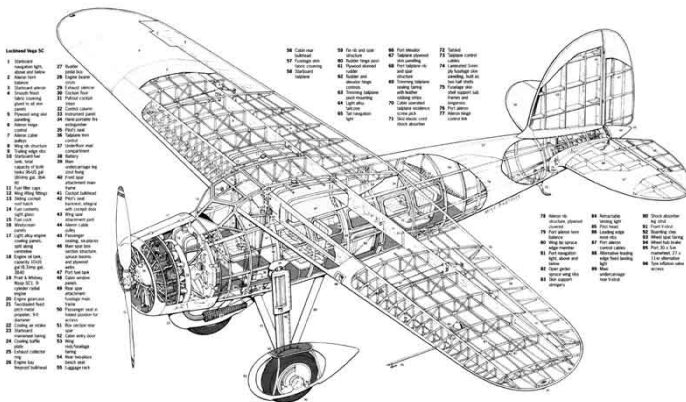
Slika: Piper Cherokee



Primeri struktura letelica – 2/9



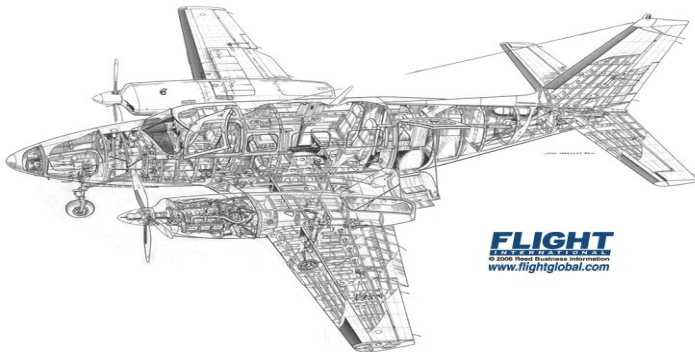
Primeri struktura letelica – 3/9



Slika: Lockheed Vega



Primeri struktura letelica – 4/9

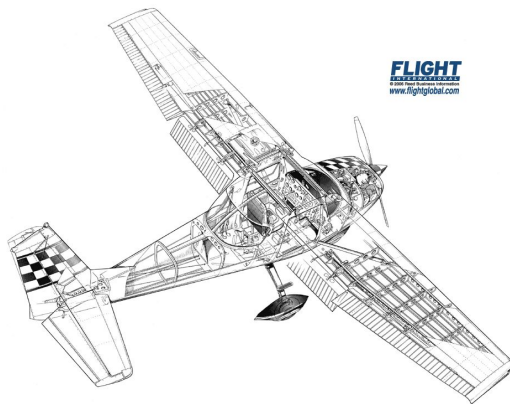


FLIGHT
INTERNATIONAL
© 2006 Flight Business Information
www.flightglobal.com

Slika: Piper Navajo Chieftan PA-350.



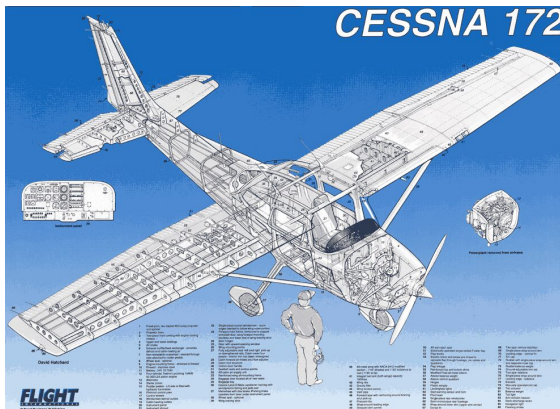
Primeri struktura letelica – 5/9



Slika: Cessna C150



Primeri struktura letelica – 6/9



Slika: Cessna 172



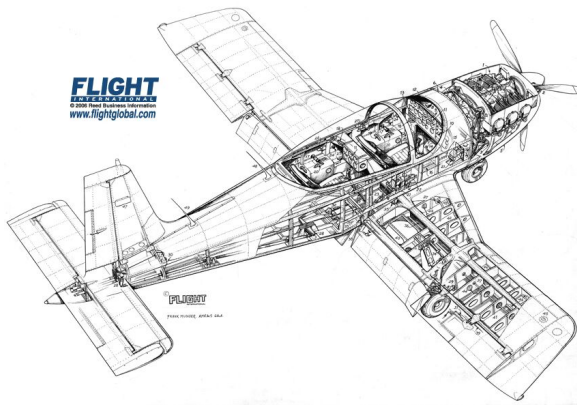
Primeri struktura letelica – 7/9



Slika: Cessna 206



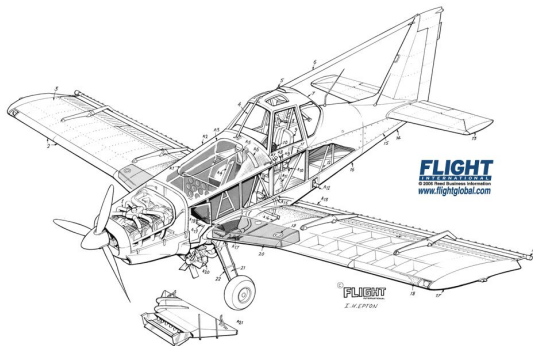
Primeri struktura letelica – 8/9



Slika: NDN Firecracker ND4



Primeri struktura letelica – 9/9



Slika: Piper PA-36 Pawnee Brave



Komande – 1/10

Komande lakog aviona

- Komande lakog aviona obuhvataju sistem prenosnika koji se protežu od kabine kroz trup, krilo i repne površine aviona.
- Omogućavaju upravljanje komandnim površinama, motorom (elisom) i ostalim uređajima.
- Osnovna podela:
 - ▶ komande leta,
 - ▶ komande motora,
 - ▶ ostalo.



Komande – 2/10

Komande leta

Komande leta služe za upravljanje avionom u prostoru (uzdužnom i poprečno-smernim pravcima).

Primarne komande:

- Krilca,
- Horizontalna krma (krmilo dubine),
- Vertikalna krma.

Let nije moguć bez ovih komandi!

Sekundarne komande:

- Zakrilce,
- Pretkrilce,
- Spojler,
- Tab,
- Spojleron,
- Flaperon,
- Aerodinamičke kočnice,
- Motorne kočnice,
- Kontrola vektora potiska.



Komande – 3/10

Hronološki:

- Mehaničke (direktne, reverzibilne) komande – sajlama, polugama, cevima, klackalicama; sile otkona su značajne pri većim brzinama leta,
- Uvođenje aerodinamičkih kompenzacija, ugradnja trimera,
- Primena hidrauličkih pokretača,
- Autopiloti, automatska stabilizacija,
- Električne komande, “fly-by-wire” – pilot upravlja kretanjem aviona, a ne direktno upravljačkim površinama; odgovarajući senzori i računar čine sastavni deo ovakvih sistema.

Kod lakih letelica, najviše su zastupljene klasične, mehaničke komande leta.

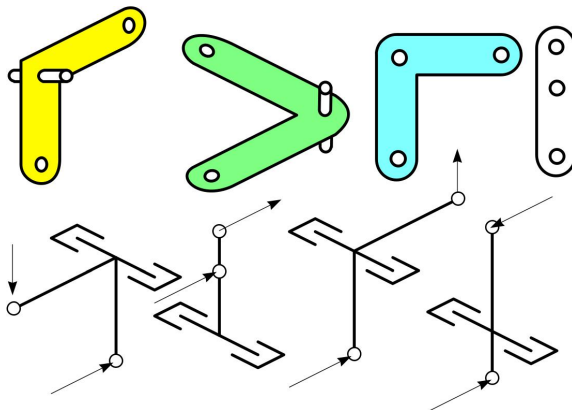


Komande – 4/10

- Mogu biti ručne (krilca, elevator) i nožne (krmilo pravca).
- Konvencija:
 - ▶ ručna komanda ka sebi – penjanje,
 - ▶ ručna komanda ulevo – naginjanje ulevo,
 - ▶ pritiskanje desnom nogom – skretanje udesno.
- Ručne najčešće u formi palice ili volana.
- Nožne najčešće u tri osnovne verzije: polužni, pedalni ili kližeći tip.
- Krute komande se uglavnom izrađuju od duralnih cevi.
- Meke uglavnom od čeličnih užadi.



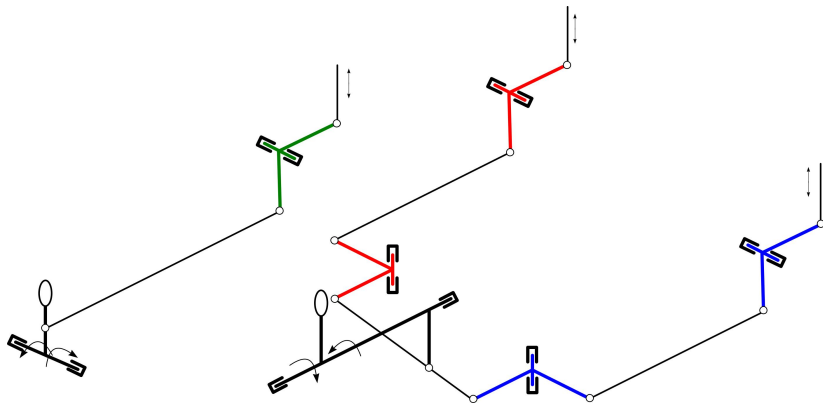
Komande – 5/10



Slika: Međuelementi



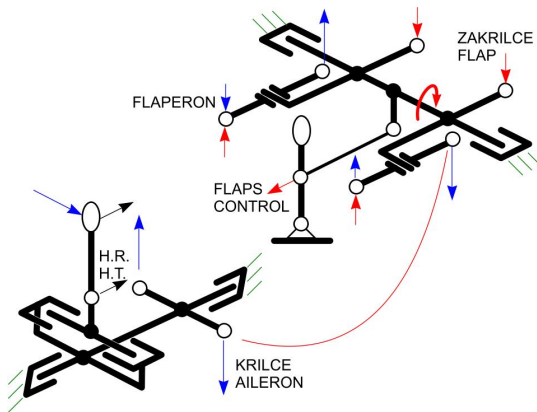
Komande – 6/10



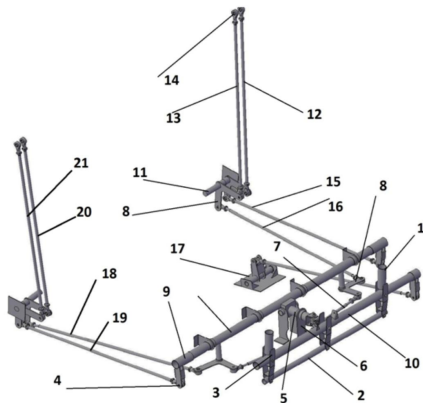
Slika: Ručne komande: elevators i krilca



Komande – 7/10



Komande – 8/10



Komande – 9/10

EASA – CS-VLA 143 – Maksimalne sile upravljanja

Values in daN of force as applied to the controls		Pitch	Roll	Yaw	Flaps, Trim tabs, landing gear etc
(a)	For temporary application:				
	Stick-----	20	10	-----	
	Wheel (applied to rim)-----	25	20	-----	
	Rudder pedal-----	-----	-----	40	
	Other controls-----	-----	-----	-----	20
(b)	For prolonged application -----	2	1·5	10	



Komande – 10/10

EASA – Granična opterećenja

Control	Maximum forces or torques in daN (D=wheel diameter)	Minimum forces or torques
Aileron:		
Stick -----	30 -----	17·8
Wheel* -----	22·2 D (mdaN)	17·8 D (mdaN)
Elevator:		
Stick -----	74 -----	44·5
Wheel (symmetrical) -	89 -----	44·5
Wheel (unsymmetrical)*	-----	44·5
Rudder -----	89 -----	58

*The critical parts of the aileron control system must also be designed for a single tangential force with a limit value of 1·25 times the couple force determined from the above criteria.

(c) The rudder control system must be designed to a load of 100 daN per pedal, acting simultaneously on both pedals in forward direction.

