

Rezime:

U radu su analizirane sile koje deluju na padobranski sistem pri njegovom aktiviranju na različitim visinama i brzinama leta. Najveća opterećenja javljaju se u momentu završetka procesa punjenja kupole padobrana vazduhom. Zbog toga se pri proračunima posebna pažnja posvećuje kupoli i elementima veze kupole sa ostalim elementima padobranskog sistema. Prikazana je metodologija proračuna padobranskih sistema bez kočice padobrana, kao i sa jednim ili više kočice padobrana.

Ključne reči: kupola padobrana, kočice padobran, sila otpora.

CALCULATION OF THE ELEMENTS OF PARACHUTING SYSTEMS

Summary:

The study analyzes the forces affecting a parachuting system at the moment of its opening at different heights and flight velocities. The strain peak occurs at the moment when the filling of the parachute cupola with air is to be finished. Therefore, a special attention during calculations is paid to the cupola and the elements connecting it with the rest of the parachuting system. The study presents the calculation methodology for a parachuting system without a brake-parachute and for systems with one or more brake-parachutes.

Key words: parachute cupola, brake-parachute, resistance force, parachute calculation.

Uvod

Padobrani su našli veoma široku primenu: za odbacivanje različitih tereta od aviona, spuštanje ljudstva vazdušno-desantnih jedinica, instrumenata iz pilot-balona i radio-sondi, izviđačkih letelica i dr. Primenjuju se na različitim visinama (od nekoliko desetina metara do nekoliko desetina kilometara) i pri različitim brzinama leta (podzvučnim, transoničnim i nadzvučnim). Zbog toga se pri proračunima moraju uzeti u obzir uslovi primene radi obezbeđenja zahtevane pouzdanosti padobranskih sistema.

U daljem tekstu prikazan je proračun čvrstoće kupole padobrana, kao najbitnijeg konstrukcionog elementa padobranskog sistema, a na kraju je definisana i metodologija proračuna ostalih elemenata padobranskih sistema.

Proračun čvrstoće kupole padobrana

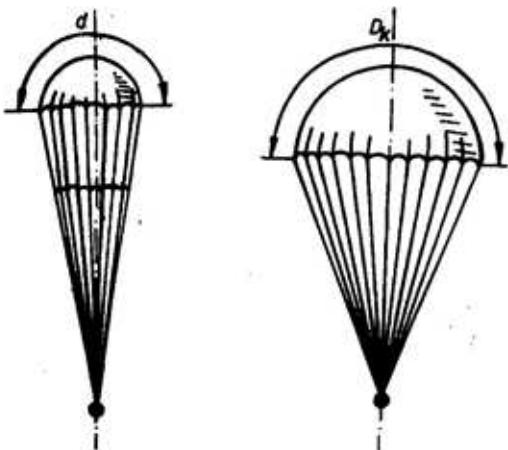
Pri procesu punjenja kupole padobrana vazduhom, na tkanine od kojih su izradene kupole i užad, dejstvuju opterećenja promenljivog intenziteta. U nizu

slučajeva, intenzitet opterećenja je nekoliko desetina puta veći od mase sistema teret-padobran.

Da bi se obezbedila pouzdanost rada padobranskog sistema, potrebno je izvršiti dimenzioniranje elemenata konstrukcije, tako da intenzitet unutrašnjih naprezanja ne bude veći od dozvoljenih. Na osnovu proračuna čvrstoće kupole određuju se elementi konstrukcije i mesta na kojima dolazi do najveće koncentracije naprezanja, a zatim se, na osnovu najvećih vrednosti naprezanja, proračunavaju dimenzije elemenata konstrukcije kojima se obezbeđuju zahtevana čvrstoća i pouzdanost rada.

Pri procesu punjenja vazduhom kupola dobija oblik usečenog konusa sa polusfernom kapom (sl. 1).

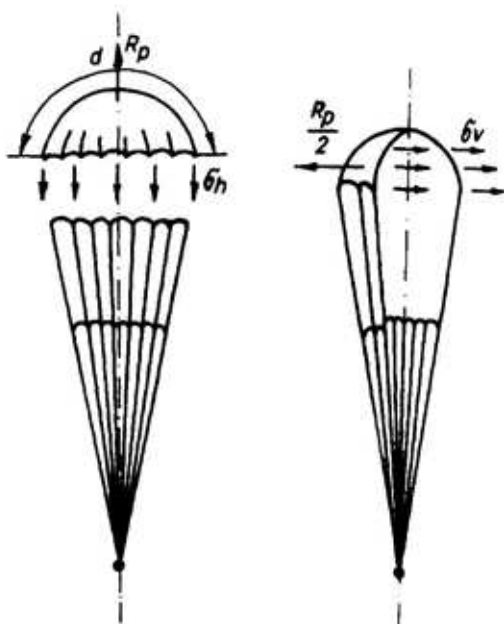
Kupola ima oblik ravnog kruga, prečnika D_k , a napunjeni deo kupole ima površinu koju obrazuje krug prečnika d . Tokom procesa punjenja kupole prečnik d se povećava i jednak je prečniku D_k u momentu kada je završeno punjenje kupole vazduhom.



Sl. 1 - Oblik kupole pri procesu punjenja - vazduhom

Razmatraće se presek kupole napunjene vazduhom, horizontalnom i vertikalnom ravni, kako je to prikazano na sl. 2.

Napon u tkanini, od koje je izrađena kupola padobrana, u horizontalnom preseku je σ_h , a u vertikalnom preseku σ_v . Dužina tkanine, u horizontalnom preseku, koja je izložena istezanju usled sile otpora R_p jednaka je πd .



Sl. 2 - Određivanje vrednosti napona σ_h i σ_v

Napon u tkanini kupole, u horizontalnom preseku je:

$$\sigma_h = \frac{R_p}{\pi d} \quad (1)$$

Dužina tkanine u vertikalnom preseku, koja je izložena istezanju usled sile $R_p/2$, jednaka je d (pod uslovom da je deo kupole, koji je ispunjen vazduhom, oblika polusfere). Napon u tkanini kupole, u vertikalnom preseku je:

$$\sigma_v = \frac{R_p}{2d} \quad (2)$$

Deobom izraza (1) i (2) dobija se da je:

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_h} = \frac{\pi}{2}$$

odnosno,

$$\sigma_v = 1,57 \sigma_h \quad (3)$$

Presek u kojem tkanina, od koje je izrađena kupola, ima najveće vrednosti napona, naziva se kritičnim presekom. Na osnovu jednakosti (2) i (3) dobija se da kupola ravnog oblika najveću vrednost napona ima u vertikalnom preseku, pri $R_p = R_{pmax}$ i vrednosti prečnika d .

Za određivanje prečnika kritičnog preseka d_{kr} smatra se da, u momentu popunjenosti kupole vazduhom do dobijanja vrednosti kritičnog preseka, na kupolu deluje sila R_{pmax} , a brzina sistema teret-padobran, jednaka je brzini V . Tada se dobija da je:

$$R_{pmax} = \rho V^2 C_{skr} S_{kr} \quad (4)$$

gde je $C_{skr} S_{kr}$ – karakteristika kupole u odnosu na kritični presek.

Na osnovu jednakosti (4) dobija se da je:

$$S_{kr} = \frac{R_{pmax}}{\rho V^2 C_{skr}} \quad (5)$$

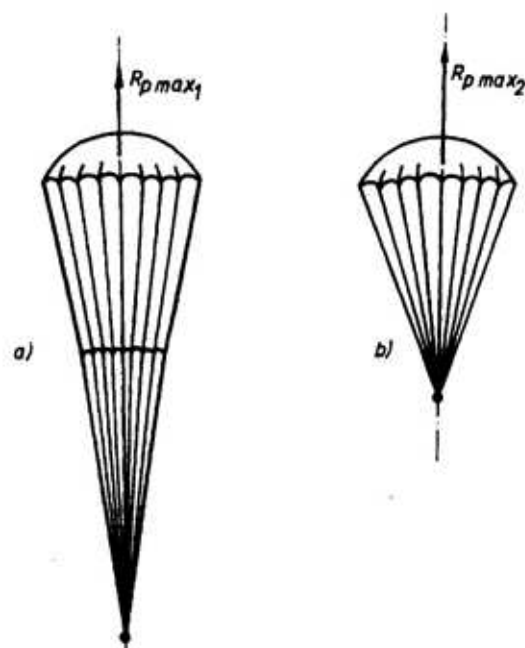
$$d_{kr} = \sqrt{\frac{4R_{pmax}}{\pi \rho V^2 C_{skr}}} \quad (6)$$

U izrazima (4), (5) i (6) nepoznata vrednost je samo C_{skr} – koeficijent otpora kupole, koja je napunjena vazduhom samo do površine S_{kr} .

Deo kupole koji nije napunjen vazduhom ima oblik konusnog nastavka, čija veća osnova prelazi u deo napunjen vazduhom površine S_{kr} . Konusni nastavak (sl. 3a) daje delimično napunjenoj kupoli povoljan aerodinamički oblik, zbog čega je sila R_{pmax1} manja od sile otpora potpuno napunjene, izolovane kupole, površine S_{kr} .

Vrednost koeficijenta C_{skr} može se proračunati na osnovu odnosa:

$$\frac{C_{skr}}{C_{xp}} = \frac{R_{pmax1}}{R_{pmax2}}$$



Sl. 3 – Promena sile otpora:

- a) R_{pmax1} – sila otpora koja deluje na delimično napunjenu kupolu, do površine S_{kr} ,
 b) R_{pmax2} – sila otpora koja deluje na napunjenu kupolu, površine S_{kr}

na osnovu kojeg se dobija da je

$$C_{skr} = C_{xp} \frac{R_{p \max 1}}{R_{p \max 2}} \quad (7)$$

gde je:

$R_{p \max 1}$ – sila otpora koja deluje na delimično napunjenu kupolu (sl. 3a), sa površinom polusfere S_{kr} ,

$R_{p \max 2}$ – sila otpora koja deluje na napunjenu kupolu, površine S_{kr} (sl. 3b).

Pri aktiviranju padobranskog sistema na maloj visini koeficijent otpora je $C_{skr} \approx 0,5 C_{xp}$.

Dimenzije polusfere „kape“ kupole padobrana uvećavaju se pri punjenju kupole vazduhom. Neka je površina napunjenog dela kupole S , a njen prečnik d . Napon u tkanini u vertikalnom preseku, prema izrazu (2), je:

$$\sigma_v = \frac{R_p}{2d}$$

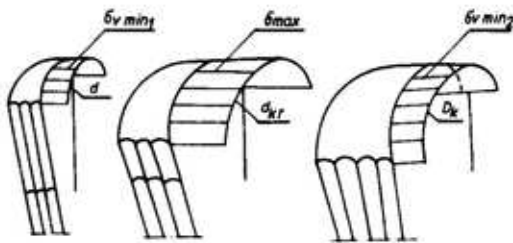
Imajući u vidu da je $R_p = \rho V^2 C_{skr} S$, ili

$$R_p = \rho V^2 C_{skr} \frac{d^2 \pi}{4},$$

dobija se da je

$$\sigma_v = \frac{\pi}{8} \rho V^2 C_{skr} d. \quad (8)$$

To znači da će se, od početka punjenja kupole vazduhom do napunjenosti koja odgovara površini S_{kr} , napon u tkanini povećavati od $\sigma_{v \min}$ do $\sigma_{v \max}$, proporcionalno prečniku d .



Sl. 4 – Šema promene napona σ_v u tkanini

Od momenta napunjenosti kupole, koji odgovara površini S_{kr} , do momenta napunjenosti, koji odgovara površini S_p , smatraće se da na kupolu deluje sila koja je po vrednosti bliska sili otpora $R_{p \max}$. U navedenom slučaju će se, imajući u vidu promenu prečnika od d_{kr} do D_k , a da sila otpora $R_{p \max}$ ima konstantnu vrednost, napon u tkanini smanjivati od

$$\sigma_{v \max} = \frac{R_{p \max}}{2d_{kr}} \text{ do } \sigma_{v \min} = \frac{R_{p \max}}{2D_k}, \text{ gde je}$$

D_k – prečnik kupole.

Šematski prikaz promene napona σ_v u tkanini, od koje je izrađena kupola, pri punjenju kupole vazduhom (kupola je, pri izradi, oblika ravnog kruga), prikazana je na sl. 4.

Pri aktiviranju padobranskog sistema na većim visinama, maksimalna sila otpora može delovati na kupolu napunjenu vazduhom, u momentu ulaska sistema teret–padobran u gušće slojeve atmosfere, pri velikim brzinama kretanja sistema. Kupola padobrana je sa teretom spojena pomoću n užadi. Čvrstoća užadi biće dovoljno velika, u slučaju kada je njihova ukupna čvrstoća za m puta veća od stvarne sile otpora. U ovom slučaju m predstavlja koeficijent sigurnosti čvrstoće.

U skladu sa opterećenjem koje deluje na kupolu sa užadima (sl. 5), dobija se da je:

$$mR_{p\max} = n P \cos \alpha m' \quad (9)$$

gde je:
 n – broj užadi,
 P – čvrstoća užadi na kidanje (daN),
 m' – koeficijent, kojim se uzima u obzir da sva užad nisu podjednako opterećena u istom trenutku.

Na osnovu izraza (9) dobija se da je potrebna čvrstoća užadi:

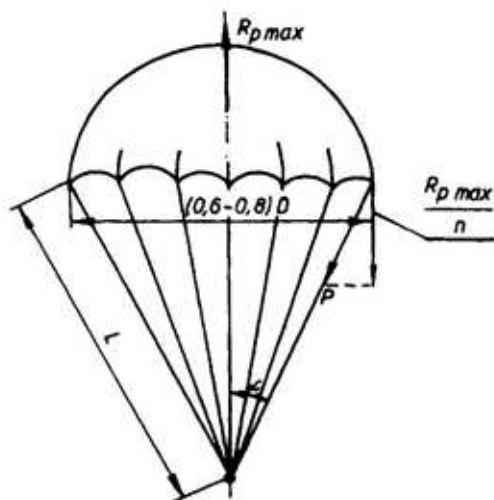
$$P = \frac{mR_{p\max}}{n \cos \alpha m'} \quad (10)$$

Sa sl. 5 vidi se da je:

$$\sin \alpha = \frac{(0,3-0,4)D}{L}$$

Imajući u vidu da je $L = (0,8-1,2)D$, dobija se da je:

$$\sin \alpha = \frac{(0,3-0,4)}{(0,8-1,2)} = 0,25-0,5, \text{ i}$$



Sl. 5 – Sile koje deluju na kupolu i užad

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,866 - 0,968.$$

Postavljajući poslednju jednakost u (10), dobija se da je:

$$P = \frac{mR_{p\max}}{(0,866-0,968)nm'} \quad (11)$$

Vrednost koeficijenta sigurnosti uzima se u granicama $m = (1,5 - 4,0)$, a vrednost koeficijenta $m' = 0,666$, kada sila otpora $R_{p\max}$ deluje na kupolu pri punjenju vazduhom i $m' = 1,0$ kada sila otpora $R_{p\max}$ deluje na kupolu napunjenu vazduhom, pri ulasku sistema teret-padobran u guste slojeve atmosfere sa velikom brzinom leta.

U zavisnosti od visine na kojoj se aktivira padobranski sistem i njegove brzine kretanja V , u momentu početka procesa punjenja kupole vazduhom, na kupolu, oblogu kupole (tkaninu kupole) i užad deluju opterećenja različita po intenzitetu. Prema tome, pouzdana čvrstoća kupole može se realizovati samo ako se izvrši pravilan proračun maksimalnih opterećenja.

Maksimalno opterećenje u oblozi kupole, u odnosu na kritični presek, proračunava se na osnovu formule:

$$\sigma_{v\max} = \frac{\pi}{8} \rho V^2 d_{kr} S_{kr} \quad (12)$$

Izbor tkanine za izradu kupole vrši se iz uslova obezbeđenja pouzdanosti čvrstoće, tj. „vremenska“ čvrstoća tkanine na kidanje mora da bude veća od maksimalnog napona koji deluje na tkaninu, a koji je posledica punjenja kupole vazduhom:

$$\sigma_{ik} = m\sigma_{vmax}, \quad (13)$$

gde je:

σ_{ik} – „vremenska“ otpornost tkanine na kidanje (daN/m),

m – koeficijent sigurnosti čvrstoće,

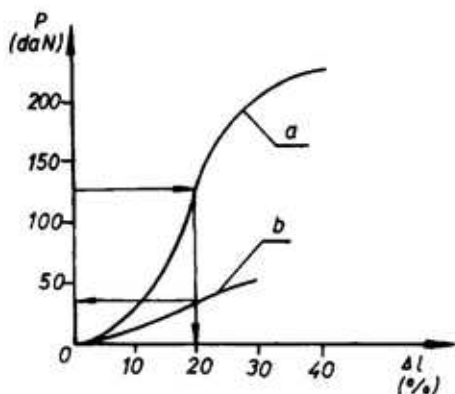
σ_{vmax} – maksimalna vrednost napona u tkanini (daN/m).

U vertikalnom preseku napona σ_{vmax} je 1,57 puta veći od napona σ_{hmax} u horizontalnom preseku kupole. Zbog toga je celishodno da niti tkanine, koja se karakteriše većim izduženjem, budu postavljene normalno na vertikalni presek. Obično niti potke tkanine imaju veće izduženje, zbog čega je poželjno da budu sa koncentričnim rasporedom.

Vrpce koje se koriste za ojačanje kupole moraju imati manje izduženje u odnosu na tkaninu (sl. 6), jer se u protivnom tkanina može pokidati.

Na sl. 6 vidi se da, pri opterećenju od 125 daN, koje deluje na vrpcu za ojačanje, relativno izduženje vrpce iznosi 20%, dok je za isto toliko izduženje tkanine potrebno svega 35 daN.

Izbor vrednosti koeficijenta sigurnosti m padobranskog sistema uslovljen je faktorima kao što su:



Sl. 6 – Dijagrami izduženja:
a) – vrpce b) – tkanine

- namena,
- vek upotrebe,
- uslovi čuvanja i upotrebe,
- predviđeni broj upotreba,
- karakteristika i vrste vlakana tkanine od koje se izrađuju kupola i užad padobrana.

Minimalna vrednost koeficijenta sigurnosti $m = 1,5$ primenjuje se kod padobrana za jednokratnu upotrebu, koji se čuvaju u uslovima pri kojima ne može da dođe do gubitka čvrstoće tkanina zbog uticaja okoline.

Padobrani za spasavanje pilota imaju koeficijent sigurnosti $m = 2,0$.

Metodologija proračuna padobranskih sistema

Definisanje metodologije proračuna padobranskih sistema polazi od pretpostavke da su poznate vrednosti sledećih parametara:

G_b – sila težine tereta (daN),

S_b – površina poprečnog preseka tereta (m^2),

C_{xb} – koeficijent otpora tereta,

C_{xp} – koeficijent otpora padobrana (pri konstantnoj brzini leta),

C'_{xp} – koeficijent otpora padobrana u momentu punjenja kupole (pri brzini V_p),

V_k – vertikalna brzina prizemljivanja (m/s),

V_a – brzina aviona u momentu odbacivanja tereta (m/s),

h_{max} , h_{min} – maksimalna i minimalna visina mogućeg aktiviranja padobranskog sistema (m),

n – dozvoljeno preopterećenje pri kočenju sistema u momentu aktiviranja padobranskog sistema.

Tok proračuna je sledeći:

1. Na osnovu funkcionalne zavisnosti

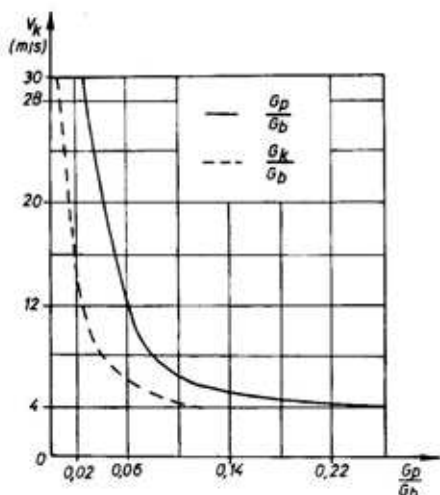
sti $\frac{G_p}{G_b} = f(V_k)$ (sl. 7) i zadate brzine V_k određuje se približna sila težine padobrana G_p .

Grafikoni funkcionalne zavisnosti sila težine kupole padobrana i tereta, prikazani na sl. 7, dobijeni su statističkom obradom realizovanih konstrukcija padobranskih sistema.

2. Proračun površine kupole padobrana obavlja se na osnovu formule:

$$S_p = \frac{16(G_b + G_p)}{C_{xp} V_k^2} - \frac{C_{xb} S_b}{C_{xp}} \quad (14)$$

Nakon određivanja sile težine padobrana, a na osnovu izradene konstrukcione dokumentacije, obavlja se preciznije određivanje površine kupole padobrana.



Sl. 7 – Funkcionalne zavisnosti $\frac{G_p}{G_b} = f(V_k)$ i

$$\frac{G_k}{G_b} = f(V_k)$$

3. Proračun sile R_{pmax} koja deluje na kupolu padobrana, pri punjenju vazduhom, treba da obezbedi da pri kretanju sistema teret–padobran preopterećenja budu u granicama zadatih vrednosti n . Ako se pretpostavi da se u momentu delovanja sile R_{pmax} sistem kreće vertikalno dobija se da je:

$$n_y = \frac{R_{sist}}{G_{sist}} - 1 \quad (15)$$

Na osnovu izraza (15) dobija se da je:

$$R_{sist} = (n_y + 1)G_{sist} \quad (16)$$

Imajući u vidu da je:

$$R_{sist} = \rho V_p^2 \left(C'_{xp} S_p + \frac{C_{xb} S_b}{2} \right)$$

$$R_{pmax} = \rho V_p^2 C'_{xp} S_p$$

dobija se da je

$$R_{pmax} = R_{sist} \frac{C'_{xp} S_p}{C'_{xp} S_p + \frac{C_{xb} S_b}{2}}$$

odnosno

$$R_{pmax} = (n_y + 1)G_{sist} \frac{2C'_{xp} S_p}{2C'_{xp} S_p + C_{xb} S_b} \quad (17)$$

U izrazima (16) i (17) V_p predstavlja brzinu kretanja sistema u momentu kada je kupola padobrana potpuno napunjena vazduhom.

4. Na osnovu sile R_{pmax} proračunava se dozvoljena brzina tereta V_{0doc} u mo-

mentu početka punjenja kupole glavnog padobrana vazduhom, na osnovu formule:

$$V_{0\text{ doz}} = \sqrt{\frac{8R_{p\text{ max}} \left(K \frac{V_k^2}{\Delta} + 2\sqrt{S_p} \right)}{KV_k^2 C_{xkp} S_p}} - \frac{\sqrt{S_p}}{K} \quad (18)$$

5. Proračun brzine kretanja sistema teret-padobran, od V_a do V_0 , koja predstavlja brzinu sistema u momentu otvaranja izvlačućeg padobrana i izvlačenja kupole i užadi glavnog padobrana na ukupnu dužinu, tj. na početku procesa punjenja kupole glavnog padobrana vazduhom, vrši se na osnovu poznatih formula iz spoljne balistike za proračun parametara na trajektoriji leta sistema teret-padobran. Ako je brzina V_0 veća od $V_{0\text{ doz}}$ neophodna je primena kočećeg padobrana pomoću kojeg se smanjuje brzina sistema od V_a do $V \leq V_{0\text{ doz}}$.

6. Proračun površine kočećeg padobrana obavlja se iz uslova da je kritična brzina tereta, sa kočećim padobranom (kritična brzina predstavlja konstantnu brzinu kojom se teret kreće nakon otvaranja kupole kočećeg padobrana), jednaka $V_{kr\text{ kp}} = V_{\text{ doz}}$. Na osnovu toga dobija se da je:

$$S_{kp} = \frac{2G_{\text{ sist}}}{\rho_h V_{kr\text{ kp}}^2 C_{xkp}} - \frac{C_{xb}}{C_{xkp}} S_b$$

Zamenom vrednosti $V_{kr\text{ kp}} = V_{0\text{ doz}}$ ova jednakost dobija oblik:

$$S_{kp} = \frac{2G_{\text{ sist}}}{\rho_h V_{0\text{ doz}}^2 C_{xkp}} - \frac{C_{xb}}{C_{xkp}} S_b \quad (19)$$

gde je:

ρ_h – gustina vazduha na visini na kojoj se aktivira padobranski sistem,

C_{xkp} – koeficijent otpora kočećeg padobrana,

S_{kp} – minimalna površina kočećeg padobrana kojom se obezbeđuje smanjenje brzine tereta do $V_{0\text{ doz}}$.

7. Proračun maksimalnog opterećenja, koje deluje na kupolu kočećeg padobrana u momentu kada je ona potpuno napunjena vazduhom, kao i brzine sistema teret-padobran, $V_{0\text{ kp}} \approx V_a$, obavlja se na osnovu formule:

$$R_{kp\text{ max}} = \frac{V_{kr\text{ kp}}^2}{8} C_{xkp} S_{kp} \frac{KV_a^2 + \sqrt{S_{kp}}}{K \frac{V_{kr\text{ kp}}^2}{\Delta} + 2\sqrt{S_{kp}}} \quad (20)$$

gde je:

$$V_{kr\text{ kp}}^2 = \frac{16G_{\text{ sist}}}{C_{xkp} S_{kp} + C_{xb} S_b}$$

Δ – relativna gustina vazduha na visini na kojoj se kupola kočećeg padobrana puni vazduhom.

Ako je sila $R_{kp\text{ max}}$ jednaka ili nešto veća od sile $R_{p\text{ max}}$, koja deluje na kupolu glavnog padobrana, ukupna masa padobranskog sistema ima minimalnu vrednost. Ako se sila $R_{kp\text{ max}}$ znatno razlikuje od sile $R_{p\text{ max}}$, potrebno je površinu kupole kočećeg padobrana zameniti površinom:

$$S_{kp}^* = S_{kp} \frac{R_{p\text{ max}}}{R_{kp\text{ max}}} \quad (21)$$

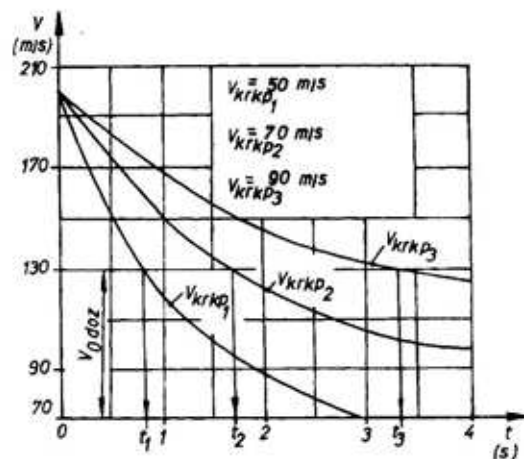
Povećanje površine kočećeg padobrana dovodi do smanjenja vremena kočenja tereta ili smanjenja brzine tereta u momentu početka punjenja kupole glav-

nog padobrana vazduhom. Kao rezultat povećanja površine kupole koćećeg padobrana, opterećenje na kupolu glavnog padobrana je manje, pa je potrebna manja kupola glavnog padobrana. Smanjenje površine koćećeg padobrana pri $R_{kp} > R_{pmax}$ zahteva primenu dva ili više koćećih padobrana. Najpre se aktivira koćeći padobran male površine, koji smanjuje brzinu kretanja tereta u određenom vremenskom intervalu, a zatim se aktivira drugi koćeći padobran, koji je veće površine, pri čemu se dobija da je $R_{kp2} \approx R_{pmax}$.

Na sl. 8 prikazana je promena vremena kočenja sistema teret-padobran do brzine V_{0doz} pri vertikalnom kretanju sistema.

8. Izrađuje se konstrukciona dokumentacija kupola koćećeg i glavnog padobrana, kao i svih drugih elemenata padobranskog sistema, a zatim se proračunavaju čvrstoća i masa.

9. Na osnovu proračunom dobijenih vrednosti masa (sila težina) padobran-



Sl. 8 – Promena vremena kočenja sistema teret-padobran do brzine V_{0doz} u funkciji površine koćećeg padobrana V_{krkP}

skog sistema i tereta, proračunava se tačna vrednost površine kupole glavnog padobrana, na osnovu izraza:

$$S_p = \frac{16G_{sist}}{C_{xp}V_k^2} - \frac{C_{sb}}{C_{xp}} S_b \quad (22)$$

Pri izboru broja užadi n (koji predstavlja odnos perimetra kupole po njenoj donjoj ivici prema rastojanju između užadi) najčešće se uzima da je rastojanje između užadi 0,1 m kod koćećih padobrana i 1,0 m kod glavnog padobrana. Tako se dobija da je:

$$n = \frac{\pi D}{0,1 + 1,0} \quad (23)$$

Proračun čvrstoće užadi koćećeg padobrana obavlja se na osnovu izraza (9) do (11). Ako je sila P veća od sile P_1 , koju izdržava materijal od kojeg su izrađena užad (a koja je data u atestu materijala), povećava se broj užadi:

$$n_1 = n \frac{P}{P_1}$$

Dužina užadi bira se iz uslova:

$$L = (0,8 - 1,0) D \quad (24)$$

Pri proračunu mase padobranskog sistema moraju se uzeti u obzir i mase vrpce i njihovih veza sa elementima padobranskog sistema.

Radi udaljenja kupole koćećeg padobrana od tereta do rastojanja na kojem se onemogućava uticaj vazдушnih struja iza tereta na pravilan rad kupole, uzima se da je:

$$l_p = 5d + L \quad (25)$$

gde je:

l_p – rastojanje kupole kočjećeg padobrana u odnosu na teret,

d – prečnik tereta,

L – ukupna dužina kupole kočjećeg padobrana.

Kada padobranski sistem mora da ima više kočjećih padobrana, redosled proračuna je sledeći:

1. Površina prvog kočjećeg padobrana, pri zadatim vrednostima preopterećenja n_y i brzine V , u momentu početka punjenja kupole vazduhom proračunava se pomoću formule:

$$S_{kp1} = \frac{G_{sist}(n_y + 1)}{\rho C_{xkp} V^2} - \frac{C_{xb} S_b}{C_{xkp}} \quad (26)$$

Pretpostavlja se da je kretanje sistema teret-padobran vertikalno u odnosu na površinu zemlje.

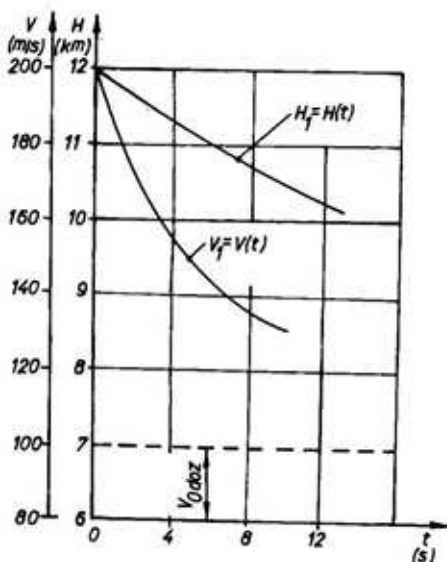
2. Proračunavaju se i grafički prikazuju promene brzine i visine kretanja sistema teret-padobran sa prvim kočjećim padobranom, u funkciji vremena (sl. 9).

Imajući u vidu da je minimalna brzina kretanja sa prvim kočjećim padobranom veća od V_{0doz} , što predstavlja dozvoljenu brzinu kretanja u momentu početka punjenja kupole glavnog padobrana vazduhom, u konstrukciju padobranskog sistema se ugrađuje drugi kočćeci padobran, koji ima veću površinu u odnosu na prvi kočćeci padobran.

3. Površina drugog kočjećeg padobrana proračunava se na osnovu formule:

$$S_{kp2} = \frac{2G_{sist}}{\rho V_{k1}^2 C_{xkp}} - \frac{C_{xb} S_b}{C_{xkp}} \quad (27)$$

gde je $V_{k1} < V_{0doz}$.



Sl. 9 – Promena brzine i visine kretanja sistema teret-padobran u funkciji vremena

4. Proračunava se brzina kretanja tereta, pri kojoj je dozvoljeno punjenje kupole drugog kočjećeg padobrana vazduhom:

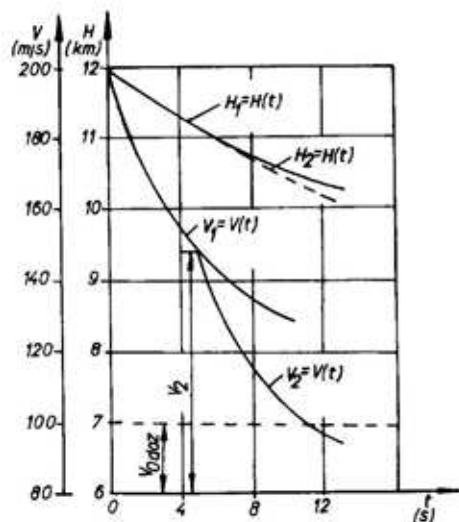
$$V_2 = \sqrt{\frac{G_{sist}(n_y + 1)}{\rho \left(C_{xkp} S_{kp2} + \frac{C_{xb} S_b}{2} \right)}} \quad (28)$$

Pretpostavlja se da se sistem bomba-padobran kreće vertikalno u odnosu na površinu zemlje.

5. Na osnovu dobijenih vrednosti za V_2 i S_{kp2} proračunavaju se i grafički prikazuju promene brzine i visine kretanja sistema teret-padobran sa drugim kočćecim padobranom, i funkciji vremena (sl. 10).

Na osnovu sl. 10 određuje se potrebno vreme kretanja sistema bomba-padobran sa prvim i drugim kočćecim padobranom, pri čemu se uzima u obzir po-

većanje brzine kretanja u momentu odbacivanja prvog kočećeg padobrana do početka punjenja kupole drugog kočećeg padobrana vazduhom. Ako je $V_2 > V_{0\text{dov}}$ u konstrukciju padobranskog sistema ugrađuje se i treći kočeći padobran, zatim sledeći sve dok se ne dobije da je $V < V_{0\text{dov}}$.



Sl. 10 – Promena brzine i visine kretanja sistema teret – drugi kočeći padobran u funkciji vremena

Dalji proračun padobranskog sistema obavlja se po navedenoj metodologiji proračuna.

Pri proračunima padobranskih sistema, koji sadrže kočeći (ili više kočećih) i glavni padobran, teži se da ukupna masa padobranskog sistema bude što je moguće manja.

Zaključak

Pri procesu punjenja kupole padobrana, na tkanine od kojih su izrađene kupola i užad padobrana deluju sile otpora vazduha promenljivog intenziteta. Sila otpora vazduha je najvećeg intenziteta u momentu potpunog punjenja kupole vazduhom, a zatim se smanjuje do konstantne vrednosti.

Sila otpora vazduha stvara napone u tkanini od koje je izrađena kupola padobrana. Ti naponi su pri vertikalnom preseku kupole za 1,57 puta veći od napona u horizontalnom preseku kupole.

Na osnovu maksimalne vrednosti sile otpora vazduha dimenzionišu se elementi kupole i užadi padobrana, a u skladu sa karakteristikama čvrstoće tkanine koja je odabrana za njihovu izradu.

Prikazana metodologija proračuna padobranskih sistema obezbeđuje proračun sistema bez kočećeg padobrana, kao i padobranskih sistema sa jednim ili više kočećih padobrana.

Literatura:

- [1] Lobanov, N. A.: Osnovi rasčeta i konstruiranja parašutov, Mašinstrojenje, Moskva, 1965.
- [2] Brown, B. D.: Parachutes, London, 1951.
- [3] Chorin, A.; Marsden, J.: A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics, Springer-Verlag, New York, 1990.
- [4] Courant, R.; Friedrichs, K.: Supersonic Flow and Shock Waves, Springer-Verlag, New York, 1976.
- [5] Qunus, C.; Boles, M.: Thermodynamics An Engineering Approach, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1989.