

LENGVŲ LĒKTUVŲ PROJEKTAVIMAS

I dalis

Aerodinamika, skridimo dinamika, medžiagų atsparumas ir kt.

Z. Kižys

II dalis

Liemens santvaros skaičiavimas

Propelerio projektavimas

Gumos amortizatoriai

R. Kalinauskas

Lietuvos aviakonstruktorių federacija

Prienai 1998

Parametrai ir dimensijos

- VAS - vidutinė aerodinaminė styga (vidutinis plotis)
 α - sparno atakos kampas
V - greitis [m/s]
 C_y - keliamosios jėgos koeficientas
 C_x - pasipriešinimo koeficientas
Y - keliamoji jėga [kg]
X - aerodinaminio pasipriešinimo jėga [kg]
 λ - proilgis (sparno ilgio ir pločio santykis)
G - skridimo svoris [kg]
P - trauka [kg]
 ρ - santykinis oro tankis = oro tankis / 9,8
q - oro srautas arba perkrovos koeficientas
K - aerodinaminė kokybė
S - sparnų plotas [m²]
HP - horizontali plokštuma
VP - vertikali plokštuma
 A_{HP} - HP koeficientas
 A_{VP} - VP koeficientas
g - apkrova bėginiam ilgio metrui [kg/m]
 σ - atsparumas tempimui arba gniuždymui [kg/mm²]; [kg-cm²]
 τ - atsparumas kirpimui (nupjovimui)
 M_{lenk} - lenkimo momentas [kg·m]
 M_{suk} - sukimo momentas [kg·m]
I - inercijos momentas [Cm⁴]

1. Projektavimo pradžia. Techninė užduotis

Lėktuvo (ir ne tik lėktuvo) projektavimą reikia pradėti nuo techninės užduoties sudarymo, tai yra įvertinant turimą variklį, agregatus ir medžiagas užsibrėžti sau, koks lėktuvas jums reikalingas, o nesivadovauti principu "kad tik skristų". Reikia atsakyti sau į šiuos klausimus:

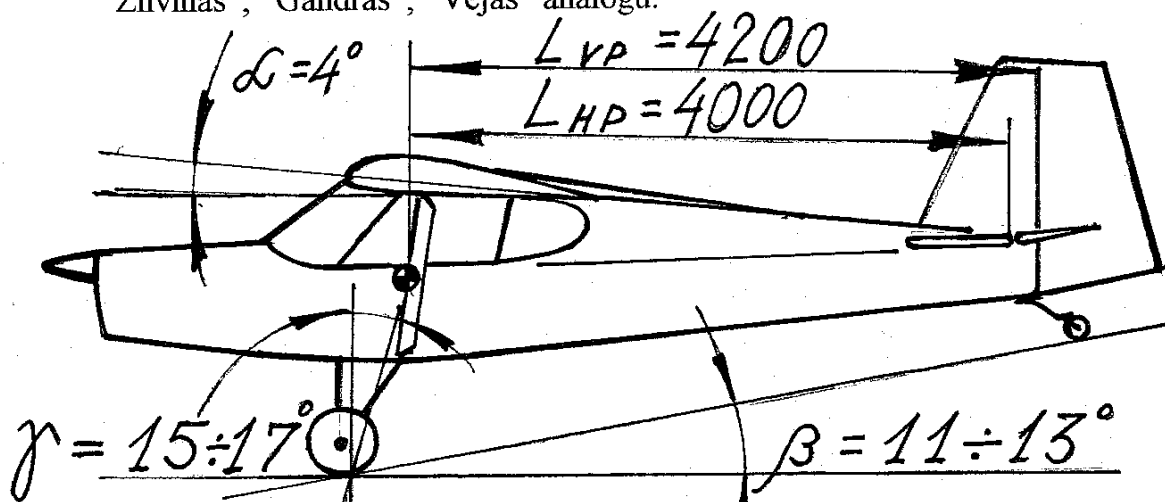
- vietų skaičius, komponuotė ir važiuoklės schema.
- skridimo svoris.
- V_{min} , $V_{kreiserinis}$, V_{max} , V_{kilimo} , prabėgimas kylant ir tupiant.
- medžiagų kainos, statytojo finansinės galimybės, turimos darbo sąlygos, darbo imlumas.

Užsibrėžus techninę užduotį ir įvertinus savo galimybes galima pradėti braižyti lėktuvo bendro vaizdo, po to jo mazgų ir agregatų eskizus. Eskizų rekomenduojama braižyti kuo daugiau ir įvairių variantų iš kurių vėliau atrinksite geriausią. Šiame etape gali būti labai naudingi draugų patarimai ir kritika. Nebijokite pateikti eskizinį o vėliau ir galutinį projektą draugų kritikai.

Paruošus eskizinį projektą galima pereiti prie aerodinaminių skaičiavimų, kurių rezultatai greičiausiai daugiau ar mažiau pakeis eskizinį projektą, o gal ir privers projektuoti iš naujo.

2. Aerodinaminis skaičiavimas

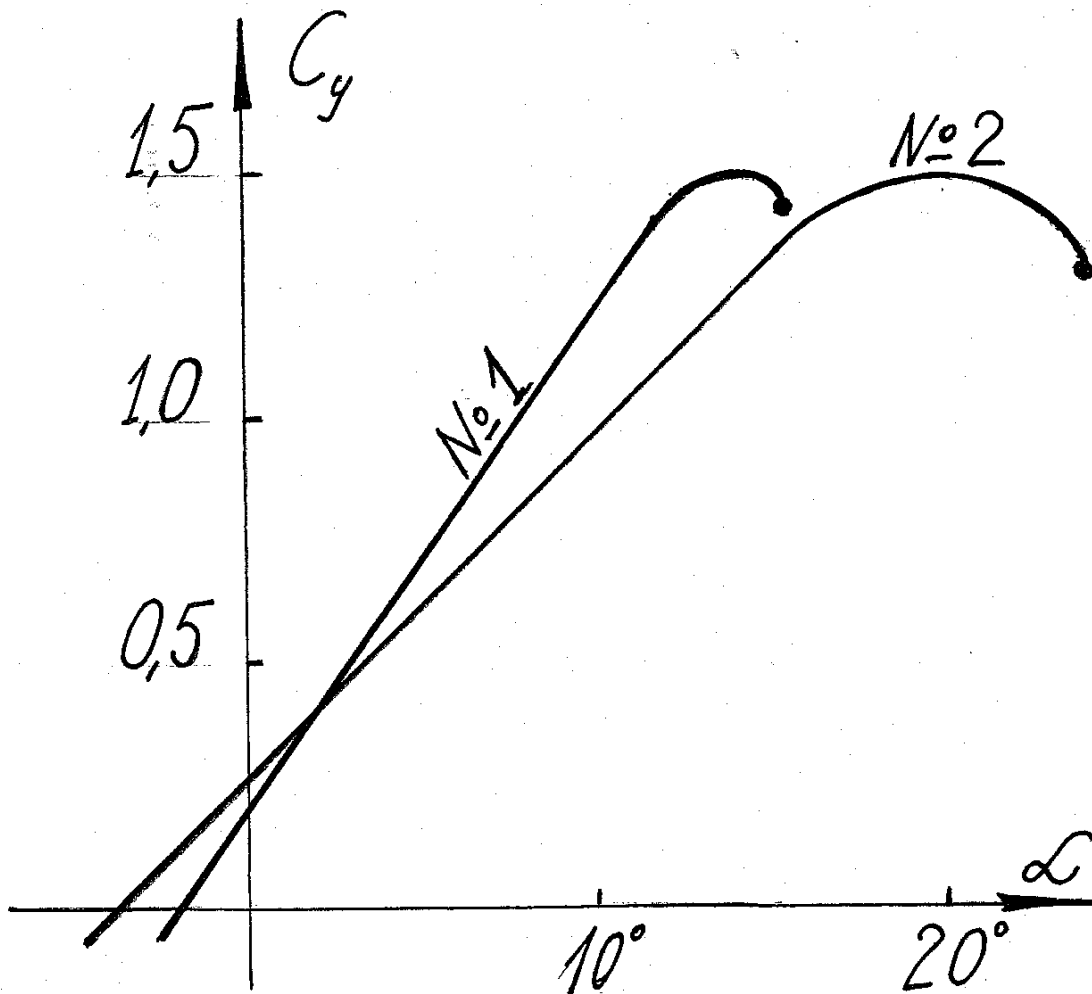
Nagrinėjant šį ir kitus apskaičiavimus remsimės išgalvoto lėktuvo kurį galima laikyti pastaruoju metu Lietuvoje pastatytų tokių lėktuvų kaip "Žilvinas", "Gandras", "Vėjas" analogu.



Minėtas lėktuvas yra spyrinis aukštasparnis monoplanas su traukiančiu propeleriu. Lėktuvo skridimo svoris 600 kg., sparnų ilgis 10 m, VAS - 1,5

m, plotas 15 m^2 , sparno profilis NACA 23012. Skaičiuosime kreiseriniam greičiui $V = 40 \text{ [m/s]} = 40 \times 3,6 = 144 \text{ [km/h]}$.

Skaičiavimą reikia pradėti nuo aerodinaminio sparnų profilio parinkimo, o šiuo konkrečiu atveju pagrįsti profilio NACA 23012 parinkimą. Profilių duomenys, t.y. jų keliamosios jėgos koeficiento C_y ir pasipriešinimo koeficiento C_x priklausomybė nuo atakos kampo α o taip pat profilio kontūro koordinatų lentelės randami profilių žinyuose. C_y ir C_x priklausomybė nuo α dažnai pateikiama ir grafikų pavidalu. Ypač daug informacijos duoda taip vadinama profilio poliare arba C_y priklausomybės nuo α grafikas.



Kreivė № 1 rodo profilio, kuris savo $C_{y \max}$ pasiekia esant nedideliems atakos kampams α charakteristiką. Pasiekus $C_{y \max}$ ir toliau nežymiai padidėjus α (lėktuvo vairolazdė "pertraukiama") keliamosios jėgos koeficientas sumažėja staiga ir dingsta prasidėjus oro srauto atitrūkimui nuo sparno, kurį žymi taškas grafiko gale. Aišku, kad šis oro srauto

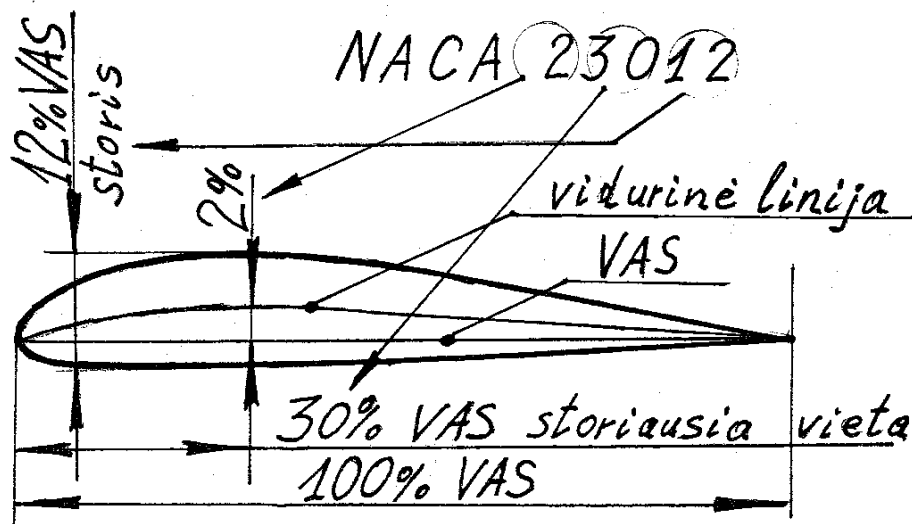
atitrūkimas nuo sparno paviršiaus reiškia sukūto pradžia, o taip pat tai įvyksta kiekvieno tupdymo metu. Kreivė № 1 būdinga laminariniams arba ploniems smailianosioms profiliams, tačiau šių profilių pasipriešinimo koeficientas C_x gali būti mažesnis negu kitų.

Kreivė № 2 charakteringa profiliui, kuris $C_{y \max}$ pasiekia esant daug didesniems atakos kampams $\alpha \approx 20^\circ$ o toliau didinant α (traukiant vairolazdę) C_y dar ilgokai tolygiai mažėja kol galiausiai oro srautas nutrūksta. Galima sakyti, kad šiuo atveju oro srauto trūkimas nestaigus, o tai reiškia žymiai mažesni pavojų netikėtai nuvirsti į sukūką. Kreivė № 2 charakteringa nelaminariniams (paprastiems) profiliams su gana buka nosele. Panašią poliare turi profiliai R-II; R-III; NACA 43012; 23012; 23015; Clark Y. Šių profilių pasipriešinimo koeficientas C_x žinoma yra didesnis negu laminarinių, tačiau užtat lėktuvai su tokių profilių sparnais yra saugesni sukūto požiūriu. Be to šie paprasti profiliai gamybos eigoje nereikalauja didelio tikslumo ko negalima pasakyti apie laminarinius profilius. Ypač neįatūrus pagaminimo tikslumui rusiški profiliai R-II (BRO-11 "Zylė"; LAK-14), R-III (LAK-16, AN-2 užsparniai). Kiti profiliai amerikietiški. Ypač plačiai naudojami NACA 23012; 23015 kurių savybės autoriaus nuomone rodo kompromisą tarp laminarinių ir labai bukanosių bet turinčių didoką C_x R-III tipo profilių. Pravartu atsiminti, kad lengviems negreitiems lėktuvams su neįtraukiama važiuokle, o juo labiau su atvira kabina arba nekopotuotu varikliu skrendant kreiseriniu greičiu sparnų pasipriešinimas gali sudaryti tik 30÷50 % viso pasipriešinimo, o ir sparnų pasipriešinime didesnę dalį gali sudaryti ne būtent nuo profilio kontūro priklausantis profilineis o induktyvinis pasipriešinimas kuris dažnai neįvertinamas ir kuris priklauso nuo C_y^2 ir sparno prailgėjimo.

Išvada: profilio parinkimas turi nedaug įtakos V_{kreis} ir V_{max} todėl tikslinga pasirinkti profilį leidžiantį pasiekti mažesnę V_{min} ir leidžiantį pagaminti saugesnį lėktuvą.

Atsakykite sau į klausimą: Ar sutinku paaukoti 5 % V_{max} ir užtat turėti į sukūką nenoriai virstantį lėktuvą, kurio sparnų gamyba nebus sudėtinga?

Amerikietišku profilių šifravimas:

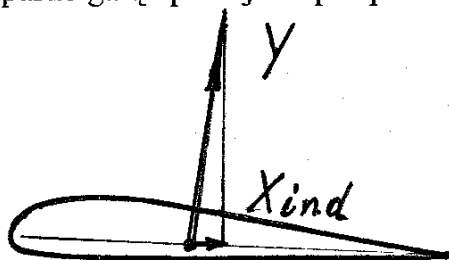


Iš brėžinio matyti, kad pirmas skaičius reiškia profilio kreivumą, t.y. vidurinės linijos didžiausią atstumą nuo VAS. Jei profilis turi didesnę kreivumą tai jo C_y kai α maži ir vidutiniai paprastai didesnis, bet didėjant α ir artėjant prie max C_y susilygina.

skaičius 30 (kartais nurodomas praleidžiant nulį) reiškia profilio storiausios vietos padėtį % ant VAS.

skaičius 12 reiškia profilio santykinę storį % nuo VAS. Taigi vien profilio šifras jau nemažai pasako apie jo savybes.

Aukščiau jau paminėjau sparnų induktyvinį pasipriešinimą, kurį sukelia keliamosios jėgos atstojamosios Y nukrypimas nuo vertikalės atgal ir sparno galų aptekėjimo pasipriešinimas.



$$C_{xi} = \frac{C_y^2}{\pi \cdot \lambda}$$

Paprastai C_{xi} skaičiuoti netenka, nes profilių žinyuose duodami eksperimento aerodinaminiam vamzdyje metu su tam tikro proilgio λ (kuris žinyuose irgi nurodomas) sparnu gauti pasipriešinimo koeficientai C_{xi} kuriuos įeina profilinis ir induktyvinis pasipriešinimai. Koks yra profilinis C_x galima sužinoti radus lentelėje arba poliarėje C_x kai $C_y=0$. Tolesnis C_x didėjimas gaunasi jau $C_{x_{ind}}$ sąskaita.

Taigi efektyviausia sumažinti sparno α ir viso lėktuvo pasipriešinimą mažinant C_{xi} , kuris atvirkščiai proporcingas sparno prailgėjimui λ – t.y. sparno ilgio ir VAS santykiui ir tiesiog proporcingas keliamosios jėgos koeficientui C_y kvadratu! (žiūr. formulę) Statistika rodo, kad geri rezultatai gaunami kai skrendant kreiseriniu greičiu $C_y = 0,3 \div 0,5$ kai $C_{y_{max}} \approx 1,5 \div 1,7$. Tai reiškia kad:

- 1) Sparno induktyvinis pasipriešinimas bus patenkinamas net esant nedideliam proilgiui $\lambda = 7 \div 8$

- 2) Mažas sukutuko pavojus, nes iki $C_{y \max}$ dar labai toli, o tai reiškia V_{kreis} bent 2 kartus didesnę už V_{min} , tada lėktuvas saugus skraidyti.

Ir priešingai kai lėktuvui skrendant C_y yra artimas $C_{y \max}$ dėl didelio $C_{x \text{ ind.}}$ toks didelio atakos kampo oro srauto atžvilgiu sparnas duoda didžiulį pasipriešinimą ir taip “perkabinas” lėktuvas vos paskrenda ir nors kiek sumažėjus variklio traukai, pakliuvus į blaškymą arba neatsargiai patraukus vairolazdę α padidėja ir C_y pasiekia maksimumą, oro srautas nutrūksta ir lėktuvas krenta į sukutuką. Tipiškas tokio nesaugaus lėktuvo pavyzdys – lėktuvas “Lešij” kurio katastrofos metu 1996 m. žuvo du pilotai.

Apskaičiuosime kokiu kreiseriniu greičiu turėtų skristi aukščiau minėtas pavyzdinis lėktuvas kad sparnų keliamosios jėgos koeficientas būtų $C_y=0,4$.

$$V_{\text{kreis}} = 4\sqrt{G/S \cdot C_y} \text{ [m/s]}$$

G – skridimo svoris [kg]
S – sparnų plotas [m²]

$$V_{\text{kreis}} = 4\sqrt{600 / 15 \cdot 0,4} = 40 \text{ [m/s]} = 144 \text{ [km/h]}$$

Iš profilio NACA 23012 duomenų lentelės arba poliarės matyti kad $C_y=0,4$ skrendant 40 m/s greičiu bus pasiektas esant 4° sparno atakos kampui oro srauto atžvilgiu, taigi sparno pastatymo kampas lėktuvo liemens atžvilgiu šiam skridimo režimui turi būti būtent toks. Profiliui R-III analogišku atveju atakos kampas $\alpha=2^\circ$ nes šis profilis yra didesnio kreivumo ir kelia geriau. Stabilizatorius liemens atžvilgiu paprastai statomas 0° kampu tačiau geriau numatyti šio kampo reguliavimo galimybę.

Koks bus lėktuvo V_{min} ?

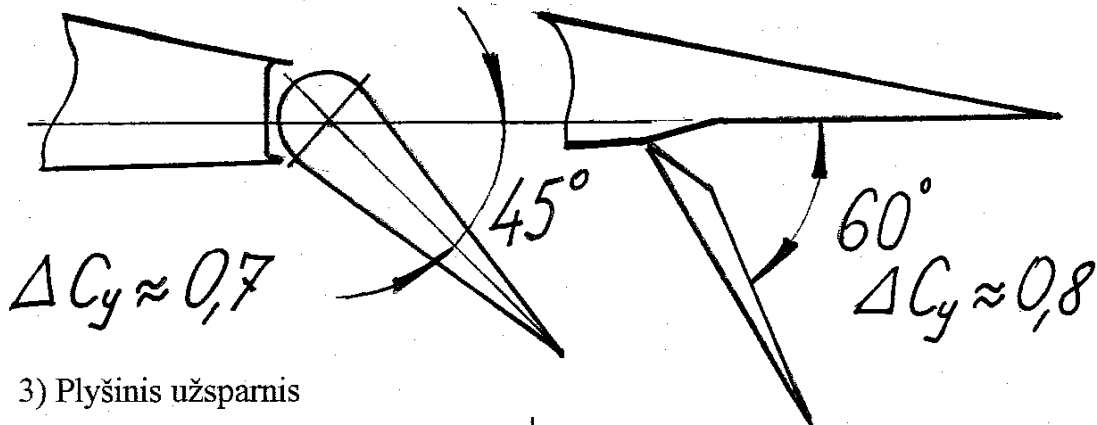
Šį greitį nesunku apskaičiuoti naudojant tą pačią formulę tik čia įstatome NACA 23012 profilio $C_{y \max} = 1,6$.

$$V_{\text{min}} = 4\sqrt{600 / 15 \cdot 1,6} = 20 \text{ [m/s]} = 72 \text{ [km/h]}$$

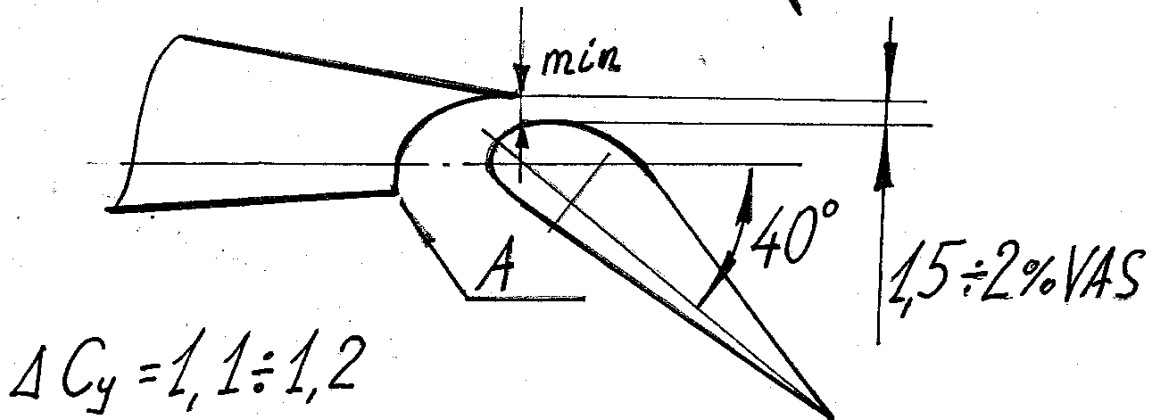
Norint dar sumažinti tūpimo greitį reikia sparno mechanizacijos. Koks yra užsparnių ir skydelių efektyvumas?

1) Paprastas užsparnis

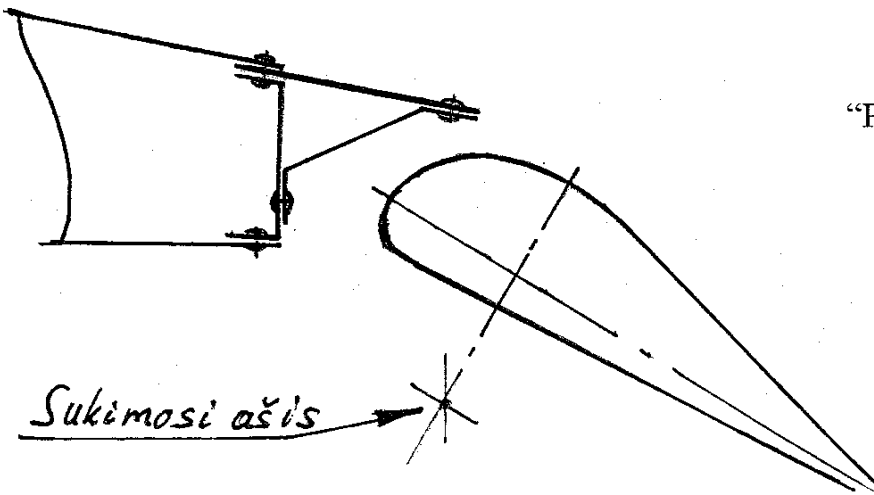
2) Skydeliai



3) Plyšinis užsparnis



Geriausius rezultatus t.y. didžiausią keliamosios jėgos koeficiento priedą ΔC_y duoda 40° kampu atlenktas plyšinis užsparnis kurį turi daugybė lėktuvų (Cessna, Piper, Vilga) beje atlenkus šį užsparnį 60° kampu ΔC_y beveik nesikeičia tiktai žymiai padidėja ΔC_x (tūpimo padėtis). Reikia pabrėžti, kad naudojant šio tipo užsparnius būtina kad plyšio siauriausia vieta būtų ties sparno užpakaline briaunele ir plyšio plotis sudarytų $1,5 \div 2\%$ sparno VAS. Priešingu atveju oro srautas per plyšį netekės ir užsparnis veiks tik kaip paprastas beplyšinis užsparnis su $\Delta C_y = 0,7$. Vietos "A" suapvalinimas tik nežymiai padidina užsparnio efektyvumą, todėl technologiniais sumetimais plyšio formą galima supaprastinti kaip parodyta piešinyje.



"Piper Cherokee" užsparnio plyšio konstrukcija

Sukimosi ašis

Kadangi užsparniai negali užimti viso sparnų ilgio tai jų ΔC_y dauginamas iš koeficiento k kuris įvertina užsparnių santykinį ilgį. Jeigu mechanizacija užima

50% sparno ilgio $k=0,6$

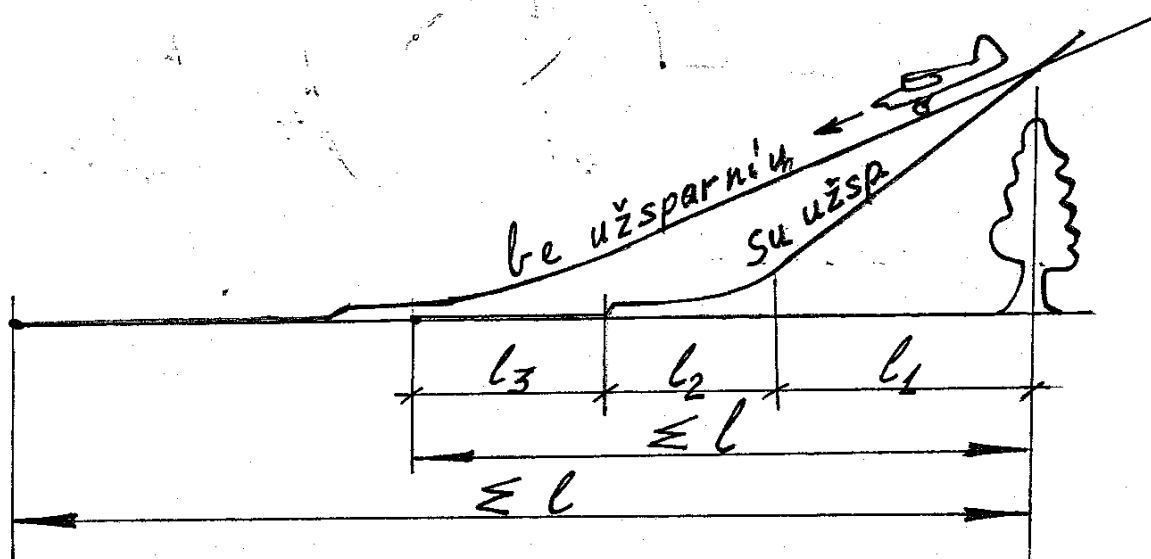
60% sparno ilgio $k=0,7$

pvz. $\Delta C_y = 1,2 \times 0,7 = 0,84$

Taigi naudojant plyšini užsparnį:

$$V_{\min} = 4 \sqrt{600 / 15 (1,6 + 0,84)} = 16,5 \text{ [m/s]} \approx 60 \text{ [km/h]}$$

t.y. plyšiniai užsparniai sumažina V_{\min} 12 km/h. Taip pat svarbu kad užsparniai padidina lėktuvo pasipriešinimą, kas leidžia sumažinti tūpimo distanciją, ypač užeinant tūpti virš kliūčių.



Iš piešinio matyti kad tūpimo distancija sumažėja dėl statesnio glisados kampo ir sutrumpėjusios glisados l_1 , dėl didesnio pasipriešinimo greičiau mažėja greitis lyginimo metu, taigi trumpėja lyginimo distancija l_2 . Dėl mažesnio tūpimo greičio sumažėja ir prabėgimas žeme l_3 . Visa tai tinka ir oro stabdžiams išskyrus trečią punktą, nes tūpimo greitį interceptoriai nesumažina taigi l_3 nesumažės. Paprastai $V_{\text{tūpimo}} < V_{\min}$ nes $C_{y \max}$ nepasiekiamas.

Koks reikalingas variklio galingumas?

Šis klausimas labai neramina aviakonstruktorius, ypač tuos kurie neturi pakankamai galingų ir patikimų aviacinių variklių. Suprantama, kad šis galingumas priklauso nuo skridimo svorio, lėktuvo aerodinaminės kokybės (svorio ir pasipriešinimo santykis) ir skridimo greičio.

Mūsų lėktuvui skrendančiam kreiseriniu 40 m/s greičiu užsiduodame pakankamai aptakiems lėktuvams būdingą kokybę $K=8$ vnt. Orientacinė reikiamo galingumo formulė yra:

$$N_{\text{reik}} = \frac{G \cdot V}{75 \cdot K} \text{ [AJ]}$$

G – skridimo svoris

V – greitis [m/s]

K – aerodinaminė kokybė

pvz:

$$N_{\text{reik}} = \frac{600 \cdot 40}{75 \cdot 8} = 40 \text{ [AJ]} \quad \text{tačiau tai tik horizontaliam skridimui.}$$

Kad lėktuvas gerai kiltų ir imtų aukštį reikia 2÷3 kartus didesnio galingumo. Persasi išvada, kad tokiam lėktuvui labai tiktų čekiškas “Valter” tipo variklis.

Iš statistikos galima padaryti išvadą, kad kai propelerio statinė trauka sudaro pusę skridimo svorio, toks lėktuvas labai lengvai pakyla ir labai gerai ima aukštį (V_{vert} 10 m/s ir daugiau). Tai būdinga pilotaziniams lėktuvams.

Kai statinė trauka sudaro trečdalį skridimo svorio, lėktuvas dar yra labai dinamiškas: nedaug prabėga žeme, lengvai atplyšta, V_{vert} labai geras (5÷8 m/s).

Kai statinė trauka sudaro ketvirtadalį skridimo svorio, prabėgimas kylant ir vertikalus greitis dar patenkinami.

Kai statinė trauka sudaro penktadalį skridimo svorio lėktuvas pakyla jau sunkiai (nuo žolės gali ir nebepakilti), vertikalus kilimo greitis saugiam skridimui jau nepatenkinamas, lėktuvas darosi nesaugus.

Lėktuvo RK – 3 “Vėjas” statinė trauka 160 kg, skridimo svoris 800 kg, t.y. statinė trauka – penktadalis skridimo svorio. Dėl puikaus aptakumo, lėktuvas lengvai kyla nuo žolės, vertikalus greitis 2,5 – 3 m/s. Tai dar kartą parodo gero aptakumo svarbą!

Kai statinė trauka sudaro šeštadalį skridimo svorio lėktuvas greičiausiai nepakils, o jeigu nuo betoninio tako ir pakiltų, tai geriau juo neskraidyti kol nebus gauta pakankama trauka.

Motosklandytuvams dėl didesnės aerodinaminės kokybės šie reikalavimai mažesni.

Kaip rasti lėktuvo prabėgimą žeme kylant?

$$L_{\text{įsibėg}} = \frac{G \cdot (V_{\text{atpl}} - V_{\text{vėjo}})^2}{9 \cdot P_{\text{statinė}}} \quad [\text{m}]$$

$$\begin{aligned} \text{priimu } P_{\text{statinė}} &= 200 \text{ [kg]} \\ G &= 600 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Žinoma, vėjo greitis kylant prieš vėją atimamas, o jeigu kylama pavėjui – pridedamas, t.y. gaunamas atplyšimo greitis ne oro, o žemės atžvilgiu m/s. Formulė neįvertina pakilimo tako būklės (žolė ar betonas) bet yra pakankamai tiksli.

$$L_{\text{įsib}} = \frac{600 \cdot 20^2}{9 \cdot 200} = 133 \text{ [m]} \quad (\text{be užsparnių, vėjo nėra})$$

$$L_{\text{įsib}} = \frac{600 \cdot 16,5^2}{9 \cdot 200} = 90 \text{ [m]} \quad (\text{su užsparniais, be vėjo})$$

$$L_{\text{įsib}} = \frac{600 \cdot (16,5 - 5)^2}{9 \cdot 200} = 44 \text{ [m]} \quad (\text{su užsparniais, prieš 5 m/s vėją})$$

Paskaičiuokite patys įsibėgėjimo atstumą kylant pavėjui ir nuspręskite ar galima leisti sau kilti arba tūpti pavėjui net jeigu vėjo greitis ir nedidelis.

Lėktuvo poliarės skaičiavimas

Lėktuvo pasipriešinimo priklausomai nuo greičio grafikas vadinamas lėktuvo poliare. Šios poliarės nubraižymas yra galutinis skaičiavimo rezultatas. Galima tvirtinti, kad pagrindinės oro dinamikos formulės yra šios:

$$\begin{aligned} X &= C_x \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \\ Y &= C_y \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \end{aligned}$$

X – pasipriešinimas [kg]
Y – keliamoji jėga [kg]
C_x – pasipriešinimo koeficientas
C_y – keliamosios jėgos koeficientas

$\frac{\rho \cdot V^2}{2}$ - oro srautas, t.y. dydis charakterizuojantis oro sugebėjimą sudaryti pasipriešinimą arba keliamąją jėgą.

santykiniš)

ρ – oro tankis $\rho=0,125 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ jūros lygyje $T=15^\circ \text{ C}$. Kitiems aukščiems ir temperatūroms ρ reikia imti iš standartinės atmosferos lentelės.

V – greitis m/s. Kaip ir visur oro dinamikoje greitis **kvadratu!**

S – sparno arba uodegos plokštumų plotas. Skaičiuojant liemens, važiuoklės ir kitų nenešančių dalių pasipriešinimą S reiškia videlio plotą, t.y. pasipriešinimą sudarančio kūno skerspjūvio statmeno oro srautui plotas.

Kaip jau minėta sparnų pasipriešinimo koeficientai C_x imami iš profilio duomenų lentelės. Sparnų, liemens ir kitų dalių pasipriešinimą reikia apskaičiuoti bent kelioms greičio reikšmėms, tame tarpe V_{\min} ; V_{kreis} , V_{\max} numatomas kuris paaiškės tik baigus skaičiavimus.

Pavyzdyje apsiribosime V_{kreis} :

Pagal NACA 23012 profilio duomenų lentelę kai $C_y=0,4$, $V_{\text{kreis}}=40 \text{ m/s}$ sparno proilgis $\lambda=7$ $C_x=0,018$

$$X_{\text{sparnų}} = 0,018 \cdot 15 \cdot \frac{0,125 \cdot 40^2}{2} = 27 \text{ [kg]}$$

Pagal oro dinamikos žinytus randamas kitų lėktuvo dalių pasipriešinimo koeficientas C_x .

Stačiakampio skerspjūvio liemens su uždara kabina ir užkapotuotu varikliu $C_x=0,25$

Ovalo skerspjūvio liemens su uždara kabina ir užkapotuotu varikliu $C_x=0,15$

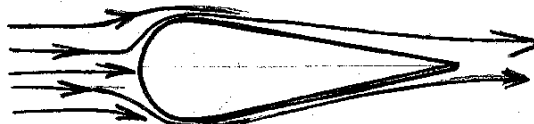
Aviaciniam ratukui $C_x=0,25$

Vamzdžiui skersai srauto



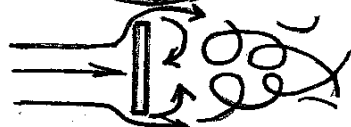
$C_x=1$

Tas pats vamzdis profiliuotas



$C_x=0,05$

Plokštelė oro sraute (pvz. interceptoriai)



$C_x=1,3$

Jeigu pilotai sėdi šalia vienas kito liemens plotis ne mažiau 1 m, O videlio (skerspjūvio) plotas $S_{\text{liem}}=1,2 \text{ m}^2$

$$X_{\text{liemens}} = 0,25 \cdot 1,2 \cdot \frac{0,125 \cdot 40^2}{2} = 30 \text{ [kg]}$$

Važiuoklei naudojame du $\varnothing 0,5 \text{ m}$ $0,2 \text{ m}$ pločio AN-2 užpakalinius ratus.

$$S_{\text{ratų}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$X_{\text{važiuoklės}} = 3 \cdot 0,2 \cdot 0,25 \cdot \frac{0,125 \cdot 40^2}{2} = 15 \text{ [kg]}$$

Koeficientas "3" įvertina važiuoklės spyrių, amortizatorių, pajungimo mazgų ir kt. Pasipriešinimą. Jeigu važiuoklė lingės tipo pakanka koeficiento "2".

Uodegos plokštumų bendras plotas

$$S_{\text{HP}} + S_{\text{VP}} = 3 + 1,5 = 4,5 \text{ [m}^2\text{]} \quad \alpha = 0^\circ$$

$$C_x = 0,007 \quad (\text{simetriško } 10\% \text{ storio profilio duomenys})$$

oro srautas

$$X_{\text{uod. plokšt}} = 0,007 \cdot 4,5 \cdot 100 = 3 \text{ [kg]}$$

$$V = 40 \text{ m/s}$$

Spyriai, tarkim, padaryti iš $\varnothing 50$ duraliuminio vamzdžio, neprofiluoti, abiejų spyrių bendras ilgis 6 m - tai skerspjūvio plotas $S_{\text{sp.}} = 6 \cdot 0,05 = 0,3 \text{ [m}^2\text{]}$

$$X_{\text{spyrių}} = 1,0 \cdot 0,3 \cdot 100 = 30 \text{ [kg]} ! \quad \text{t.y. tiek pat kaip liemens,}$$

visiškai nepriimtina !

Jeigu spyris gerai profiluotas $C_x=0,05$

$$X_{\text{spyrių}} = 0,05 \cdot 0,3 \cdot 100 = 1,5 \text{ [kg]} \quad 20 \text{ kartų mažiau!}$$

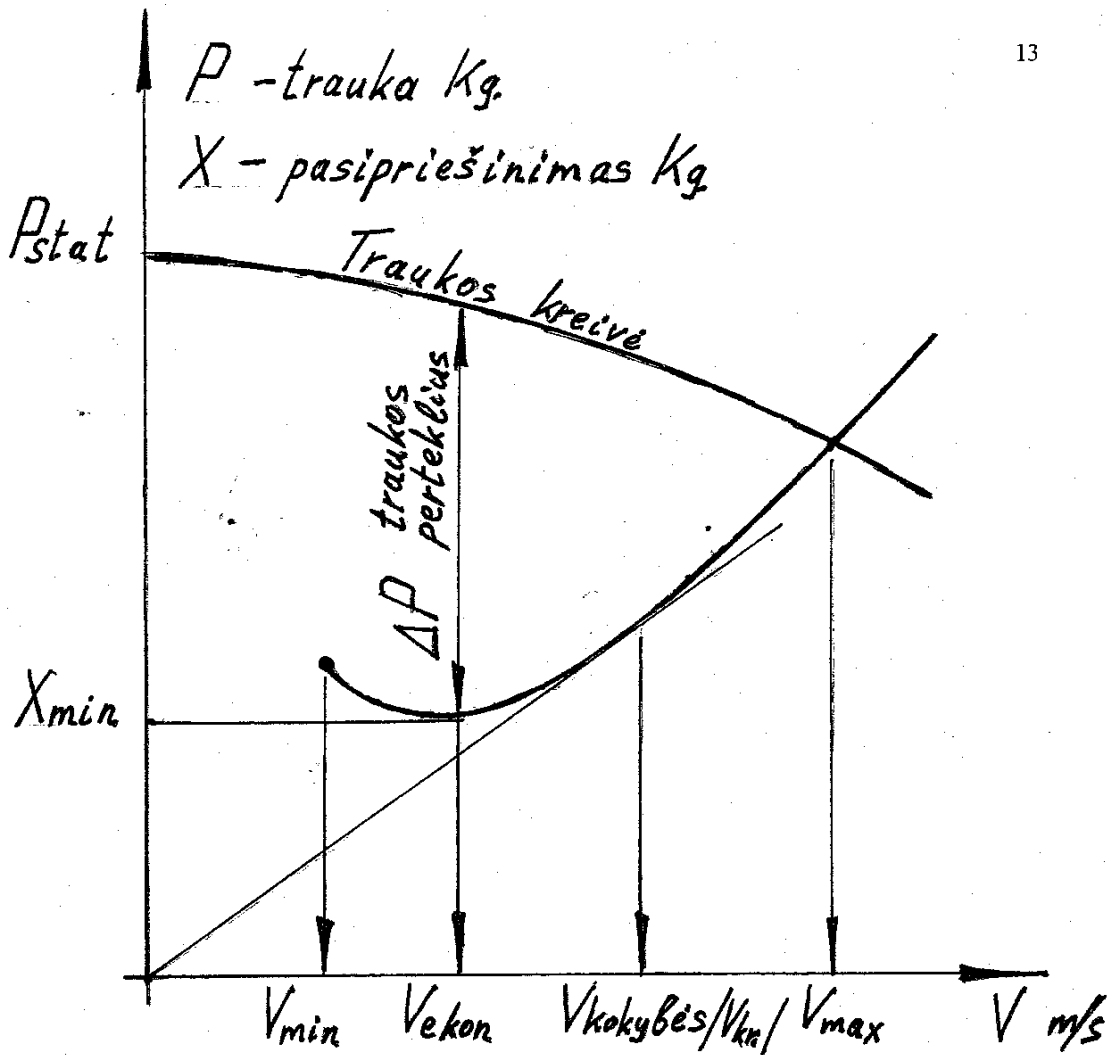
Taigi viso lėktuvo pasipriešinimas

$$X_{\text{lėkt}} = (X_{\text{sparnų}} + X_{\text{liem}} + X_{\text{važ.}} + X_{\text{uod. pl.}} + X_{\text{sp.}}) + 10 \%$$

$$X_{\text{lėkt}} = 27 + 30 + 15 + 3 + 1,5 = 76,5 \text{ kg} + 10 \% = 84 \text{ [kg]} \quad \text{kai } V = 40$$

$$\text{Aerodinaminė kokybė } K = G/X = 600/84 = 7,15$$

10 % tai interferencinis pasipriešinimas kuris įvertina lėktuvo dalių tarpusavio sąveikos (ypač sparno sujungimo su liemeniu) plyšių, sukurių ir kitų neįvertintų dalykų pasipriešinimą. Įdomu, kad kaip jau minėta aukščiau, sparnų pasipriešinimas sudaro mažiau kaip 40 % viso lėktuvo pasipriešinimo, nors mažėjant greičiui ir atitinkamai didėjant atakos kampui ir keliamosios jėgos koeficientui C_y , induktyvinio pasipriešinimo didėjimo sąskaita sparno pasipriešinimas ima **didėti**, sudarydamas vis didesnę dalį lėktuvo pasipriešinimo. Kaip minėjau tokį paskaičiavimą reikia padaryti bent kelioms greičio reikšmėms, įskaitant V_{min} ir V_{max} numatomą. Taigi, turint pasipriešinimo priklausomai nuo greičio reikšmes, braižoma lėktuvo poliarė, o ant tų pačių koordinatų braižoma ir traukos kreivė, t.y. propelerio traukos priklausomybė nuo greičio.



Šių grafikų braižymu aerodinaminis skaičiavimas iš esmės pasibaigia nes jie duoda visą būtiniausią informaciją apie lėktuvą. Ištiesų grafikų susikirtimas rodo lėktuvo V_{max} ; liestinė poliarei iš koordinacių ašių susikirtimo taško "0" rodo kokybės greitį, kuris maždaug atitinka V_{kreis} . Mažiausią lėktuvo pasipriešinimą atitinka greitis $V_{ekonomiškas}$. Tokiu greičiu skrendama siekiant ilgiausios skridimo trukmės (bet ne atstumo). ΔP reiškia traukos perteklių, kuris apsprendžia lėktuvo vertikalaus kilimo greitį.

$$V_{vert} = \frac{\Delta P \cdot V}{G} \quad [\text{m/s}]$$

ΔP – traukos perteklius [kg]

V – greitis [m/s]

G – skridimo svoris [kg]

pvz:

$$V_{vert} = \frac{100 \cdot 30}{600} = 5 \quad [\text{m/s}]$$

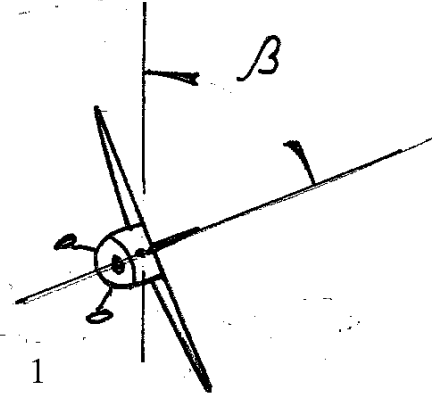
Paprastai greitis V , kuriuo imamas aukštis, būna $40 \div 50$ % didesnis už V_{\min} . Naudojantis poliare nesunku apskaičiuoti ir aerodinaminę kokybę bet kokiam greičiui ($K = G / X$).

3. Skridimo dinamika

1) Perkrova viraže

$$q = \frac{1}{\cos \beta}$$

β – pokrypio kampas



jeigu $\beta = 60^\circ$ t.y. spiralė su vairų pamaina $q = \frac{1}{0,5} = 2$ t.y. perkrova dviguba.

2) $V_{\text{manevrinis}}$, t.y. greitis kuriuo galima saugiai sukinėtis 45° pokrypiu be rizikos patekti į suktuką.

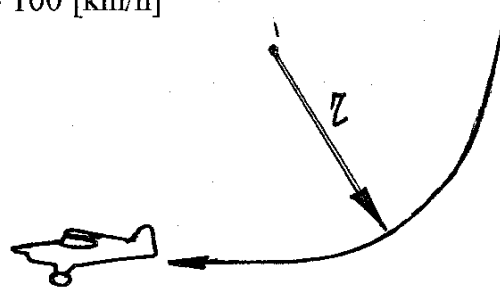
$$V_{\text{man.}} = 5,5 \sqrt{(G/S) / C_{y \max}}$$

G/S – įkrovimas [kg/m^2]

$$V_{\text{man.}} = 5,5 \sqrt{(600 / 15) / 1,6} = 27,5 \approx 100 \text{ [km/h]}$$

3) Perkrova išvedant iš pikiavimo

$$q = 1 + \frac{V^2}{9,8 \cdot r}$$



V – greitis išvedimo metu [m/s]

r – išvedimo spindulys [m]

$$\text{pvz: } q = 1 + \frac{50^2}{9,8 \cdot 100} = 1 + \frac{2500}{980} \approx 3,5$$

4) Perkrova darant kilpą

$$q_{\text{kilpos}} = \frac{0,75 \cdot V_{\text{kilpos pr.}}^2}{V_{\min}^2}$$

$V_{\text{kilpos pradžios}} \approx 2,5 V_{\min}$

$$\text{pvz: } q = \frac{0,75 \cdot 50^2}{20^2} = 4,7$$

5) Maksimali įmanoma perkrova

$$q_{\max} = \frac{C_{y \max} \cdot \frac{\rho V^2}{2}}{G/S}$$

$$\frac{\rho V^2}{2} - \text{oro srautas [kg/m}^2\text{]}$$

$$G/S - \text{sparno įkrovimas [kg/m}^2\text{]}$$

Skrendant $V_{\text{kreis}} = 40 \text{ m/s} = 144 \text{ km/h}$ ir staiga "užplėšus" vairolazdę gauname: $1,6 \cdot (0,125 \cdot 40^2 / 2) = 1,6 \cdot 100$

$$q_{\max} = \frac{1,6 \cdot 100}{600 / 15} = \frac{1,6 \cdot 100}{40} = 4$$

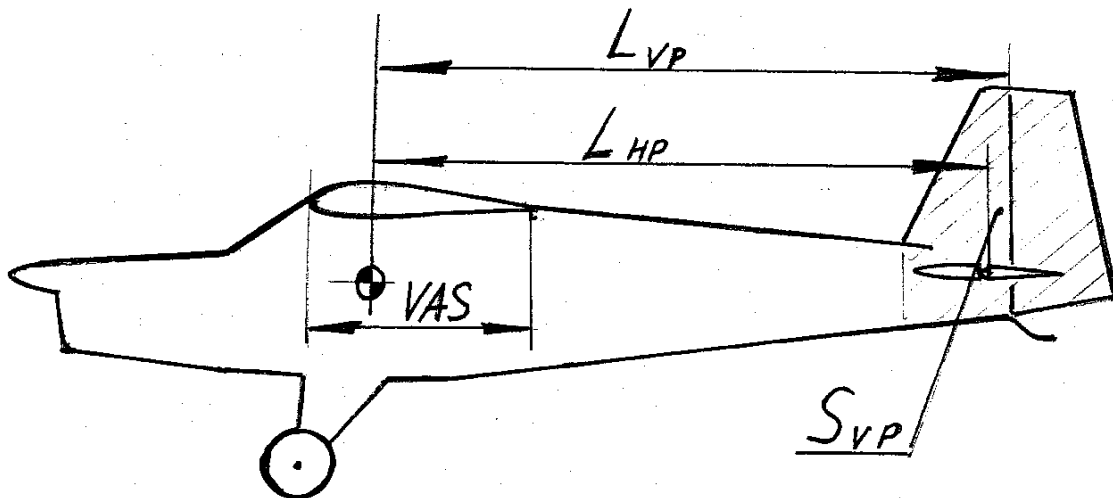
Šie paskaičiavimai gali būti naudingi nustatant (užsiduodant) eksploatacinę lėktuvo perkrovą ir pereinant prie atsparumo skaičiavimų.

4. Uodegos plokštumų plotų parinkimas

Neretai lėktuvų konstruktoriai neteisingai nustato uodegos plokštumų plotus.

$$S_{\text{HP}} = S_{\text{stabilizatoriaus}} + S_{\text{aukštumos vairo}}$$

$$S_{\text{VP}} = S_{\text{kilio}} + S_{\text{posūkio vairo}}$$



Tiksliausiai visus parametrus įvertina sekančios formulės

$$A_{HP} = \frac{S_{HP} \cdot L_{HP}}{S_{sp} \cdot VAS} = 0,4 \div 0,5$$

$$A_{VP} = \frac{S_{VP} \cdot L_{VP}}{S_{sp} \cdot L_{sp}} = 0,04 \div 0,05$$

kur:

L_{HP}, L_{VP} – petys [m]

S_{sp} – sparnų plotas [m^2]

L_{sp} – sparnų ilgis [m]

S_{HP}, S_{VP} – HP, VP plotas [m^2]

A_{HP} – horizontalių plokštumų koeficientas

A_{VP} – vertikalųjų plokštumų koeficientas

Rekomenduojami $A_{HP} = 0,4 \div 0,5$; $A_{VP} = 0,04 \div 0,05$ atitinka statistinį vidurkį, kuo galima įsitikinti išmatavus konkretų lėktuvą ir apskaičiavus koeficientus. Tiesa, kai kurių itin stabilų aparatų koeficientai didesni. Pvz. "Vilgos" $A_{HP} = 0,7$. Mūsų lėktuvui bus:

$$A_{HP} = \frac{3 \cdot 4}{15 \cdot 1,5} = 0,53$$

$$A_{VP} = \frac{1,5 \cdot 4,2}{15 \cdot 10} = 0,042$$

Centruotė pastovi, aukštasparnis – A_{HP} mažiau

Centruotė nepastovi, žemasparnis – A_{HP} daugiau

A_{VP} didesnis – kursinis pastovumas geresnis

A_{VP} mažesnis – kursinis pastovumas blogesnis

$S_{pos. vairo}$ didelis, kilis mažas – blogas kursinis pastovumas, tačiau lengva kilti ir tūpti su šoniniu vėju ir atvirkščiai.

$$L_{HP, VP} \geq 2,5 VAS$$


$$S_{HP} \approx 20 \% S_{sparno}$$

$$S_{VP} \approx 10 \% S_{sparno}$$

Apytikriai statistiniai vidurkiai kuriais irgi galima vadovautis

5. Dar kartą apie saugų lėktuvą

Žinoma, visi nori skraidyti nestatydami į pavojų savo ir keleivių gyvybės. Šiam tikslui pasiekti reikalingas saugus ir patikimas lėktuvas. Žodis patikimas čia reiškia variklio, lėktuvo konstrukcijos ir visų jo sistemų patikimumą. Sąvoka "saugus" autoriaus nuomone yra platesnė ir apima šiuos saugaus lėktuvo požymius:

- $V_{\text{kreis}} 2 \div 2,5$ karto didesnis už V_{min} , t.y. platus greičių diapazonas. Šiuo atveju net grubios pilotavimo klaidos (arba variklio užgesimas) ir blogos oro sąlygos (blaškymas, vėjo gūšiai) staiga nesumažina greičio iki V_{min} . Suktuko pavojus minimalus. Ir priešingai kai V_{kreis} vos $20 \div 30$ % didesnis už V_{min} , lėktuvas labai nesaugus, suktuko pavojus didžiulis.
 - ⊕ pavyzdys “Husky A1” kurio $V_{\text{min}} = 55$ km/h, $V_{\text{kreis}} 220$ km/h. Keturgubas diapazonas! Toks lėktuvas yra tikrai saugus, ką pabrėžia ir jo pavadinimas (Husky – tvirtas, patikimas, angl.)
 - ⊖ pavyzdys “Lešij” kurio V_{kreis} nedaug viršijo V_{min} ir nedidelis variklio sutrikimas sąlygojo katastrofą. 
- Tinkamas sparno profilis be staigaus C_y kitimo, t.y. oro srautas nuo sparno nutrūksta nestaiga.
- Sparnų susukimas (atakos kampas sparno gale $1 \div 2^\circ$ mažesnis negu prie liemens) ir atvirkščias strėliškumas, dėl ko oro srautas pradeda atitrūkinėti prie liemens o ne galuose, reiškia lėktuvas nepraranda skersinio pavaldumo.

Lėktuvas be sparnų susukimo, atvirkščio strėliškumo, į galą siaurėjančiais ir plonėjančiais sparnais pilotavimo požiūriu yra griežtas ir mėgėjams nerekomenduotinas (pvz. JAK – 52).
- Eleronų diferenciacija būtina (žemyn eleronai turi atsilenkti apie 2 kartus mažesniu kampu negu aukštyn). Priešingu atveju, skrendant mažu greičiu ir dideliais atakos kampais galimas eleronų reversas, t.y. atlenkus eleroną žemyn vietoj šio sparno pakilimo gausis oro srauto atitrūkimą ir sparnas smuks žemyn. Dėl tos pačios priežasties užsparniai – eleronai irgi nelabai rekomenduojami.
- Pakankamas uodegos plokštumų ir vairų plotas, geras lėktuvo pavaldumas ir pastovumas, tinkama centruotė.
- 100 % svorinis visų vairų balansavimas visiškai pašalina jų flaterio pavojų o lėktuvo svorį padidina tik $3 \div 5$ %.
- Užsparnių naudojimas ne tik sumažina V_{min} bet ir žymiai sumažina tupdymo virš kliūčių distanciją, taigi lėktuvo tupdymo galimybės daug geresnės (kilimo irgi). Neveltui lėktuvų techniniuose duomenyse paprastai rašoma ir tūpimo – kilimo per 15 m aukščio kliūtį distancijos.
- Gera važiuoklė nepaprastai svarbu. Ji turi būti ne tik tvirta ir patikima bet ir turi būti išlaikyti važiuoklės kampas $\gamma = 15 \div 17^\circ$ ir lėktuvo stovėjimo kampas $\beta = 11 \div 13^\circ$ (lėktuvui su uodegos ratu). γ reiškia linijos iš svorio centro į pagrindinių ratų atramos tašką kampą nuo vertikalės. β – lėktuvo horizontalės kampas žemės

atžvilgiu lėktuvui stovint. (Žiūr. pieš. skyriuje “Aerodinaminis skaičiavimas”)

$\beta + \alpha$ turi būti $3 \div 4^\circ$ mažiau už sparno α_{\max} kuriam esant nutrūksta oro srautas. Šiuo atveju tupdant žemę pirma paliečia arba uodegos ratas arba visi trys ratai kartu ir nutupinama sklandžiai. Kada β per didelis, tupiant žemę pirma paliečia pagrindiniai ratai, dėl ko lėktuvas šokinėja “daro ožius”; padėti dar pablogina per didelis ratų išnešimas į priekį, t.y. γ per didelis. Paprasčiau tupdomi lėktuvai su priekiniu važiuoklės ratu, jie “nesiožiuoja”. Šiuo atveju $\gamma \approx 15^\circ$.

- Saugus lėktuvas dar ne viskas!
Pilotas taip pat turi būti saugus!

6. Lėktuvo atsparumo skaičiavimas

Prieš pradėdant tokius skaičiavimus, reikia užsiduoti eksploatacinę perkrovą $\pm g$ (teigiamą ir neigiamą). Tai reiškia, kad reikia užsibrėžti perkrovas, kurias leidžiama pasiekti skraidant. Iš skyriaus apie skridimo dinamiką galima spręsti, kokios eksploatacinės perkrovos gaunasi lėktuvui atliekant evoliucijas ore. Vidutiniškai daugumai lėktuvų ir sklandytuvų leidžiamos teigiamos eksploatacinės perkrovos yra $+5 \div 6$; neigiamos – $3 \div 4$ ir jokių būdu ne mažiau $+4 - 2,5$ taigi reikėtų pasirinkti:

$$\begin{array}{ccc} +4 & & +6 \\ & \leq q \leq & \\ -2,5 & & -4 \end{array}$$

Daugiau nėra reikalo, mažiau – jau pavojinga.

Tačiau užsidavus eksploatacinę perkrovą pvz. $-2,5 \leq g \leq +4$ dar nereiškia, kad atsparumo skaičiavimai atliekami šiai perkrovai. Lėktuvas apskaičiuojamas skaičiuotinai perkrovai, kuri turi būti $f=1,5$, t.y. pusantro karto didesnė už eksploatacinę, o visiems pajungimo mazgams, pajungimo varžtams, kaiščiams įvedamas dar vienas papildomas atsargos koeficientas $f=1,5$.

Taigi:

$$g_{\text{skaičiuotina lėktuvui}} = g_{\text{ekspl.}} \times 1,5$$

$$g_{\text{skaičiuotina mazgams}} = g_{\text{ekspl.}} \times 1,5 \times 1,5$$

Sparnų, spyrių ir uodegos plokštumų pajungimo mazgams galima ir patartina priimti dar didesnę atsargą, nes net žymiai pastiprinus visus mazgus (virš skaičiuotinių perkrovų) lėktuvo svoris padidės ne daugiau 1%, o saugumas pagerės. Nustačius eksploatacines ir skaičiuotinas perkrovas, lėktuvo atsparumo skaičiavimas pradėdama nuo :

Sparnų skaičiavimo

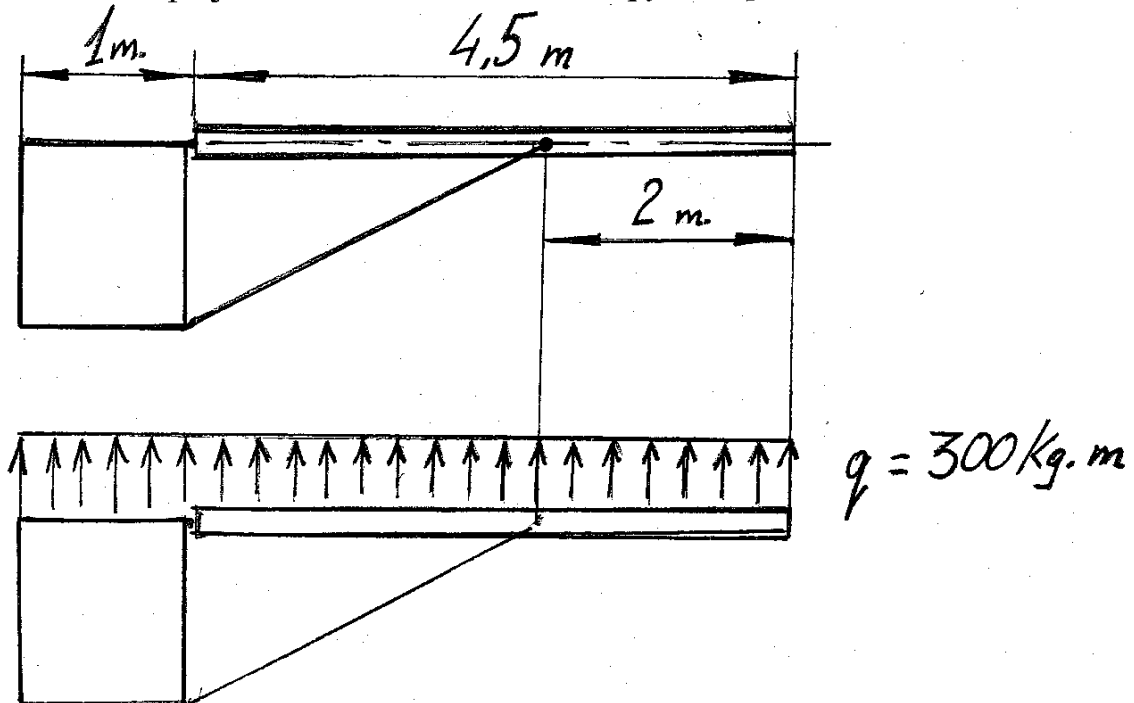
Mūsų skaičiuojamam pavyzdiniam lėktuvui priėmėme $n_{\text{ekspl}} = -2,5$
 tai perkrova $g_{\text{skaič.}} = 1,5 \cdot g_{\text{ekspl}} = \frac{+6}{-3,8} \approx \frac{+6}{-4}$

Skaičiuojant sparno atsparumą pačių sparnų svoris iš skridimo svorio išskaičiuojamas, nes sparnai patys save neša ir savęs neapkrauna. Laikykim kad kiekvienas sparnas sveria po 50 kg.

$$G_{\text{skaič.}} = 600 - (2 \times 50) = 500 \text{ [kg]}$$

kur 600 kg yra skridimo svoris

Lėktuvas suprojektuotas su vieno lonžerono spyriniu sparnu:



Koks krūvis tenka bėginiam sparnų ilgio metrui?

$$g = \frac{q_{\text{skaič.}} \times G_{\text{skaič.}}}{L_{\text{sparnų}}}$$

$L_{\text{sparnų}}$

Atkreipkite dėmesį, kad liemens plotis įeina ir skaičiavimuose priimamas kaip sparno dalis

$$g_{\oplus} = \frac{6 \times 500}{10} = 300 \text{ [kg.m]}$$

$$g_{-} = \frac{-4 \times 500}{10} = -200 \text{ [kg.m]}$$

Žinoma, čia sparnui be susiaurėjimo t.y. stačiakampiam. Jeigu sparnas yra siaurėjantis, tai sparno gale apkrova g_1 bus proporcingai susiaurėjimui mažesnė, o prie liemens g_2 atitinkamai didesnė.

Žinoma, sparnas labiausiai laužiamas ties spyrio pajungimo vieta, todėl ir yra svarbiausia paskaičiuoti lonžeronų skerspjūvius, būtent spyrio pajungimo vietai, kurie į sparno galą aišku turi mažėti, o tarp spyrio ir liemens lonžeronų skerspjūvį galima palikti pastovų t.y. didžiausią, nes reikia nepamiršti, kad kai perkrovos teigiamos spyris tempiamas, o ši vieta atitinkamai ne tik lenkiama, bet ir gniuždoma, o be to dar papildomai apkraunama kuro bakų, jeigu jie montuojami sparne.

Taigi maksimalaus lenkimo momentas:

$$M_{\text{lenk max } \oplus} = \frac{g \cdot Z^2}{2} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}]$$

kur:
 g – apkrova bėginiam
metru

Z – atstumas nuo sparno galo iki skaičiuojamo skerspjūvio (šiuo atveju spyrio pajungimo vietas).

Ženklas \oplus reiškia teigiamą skaič. perkrovą.

Ženklas \ominus reiškia neigiamą skaič. perkrovą.

$$M_{\text{max } \oplus} = \frac{300 \cdot 2^2}{2} = 600 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}]$$

$$M_{\text{max } \ominus} = \frac{-200 \cdot 2^2}{2} = -400 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}]$$

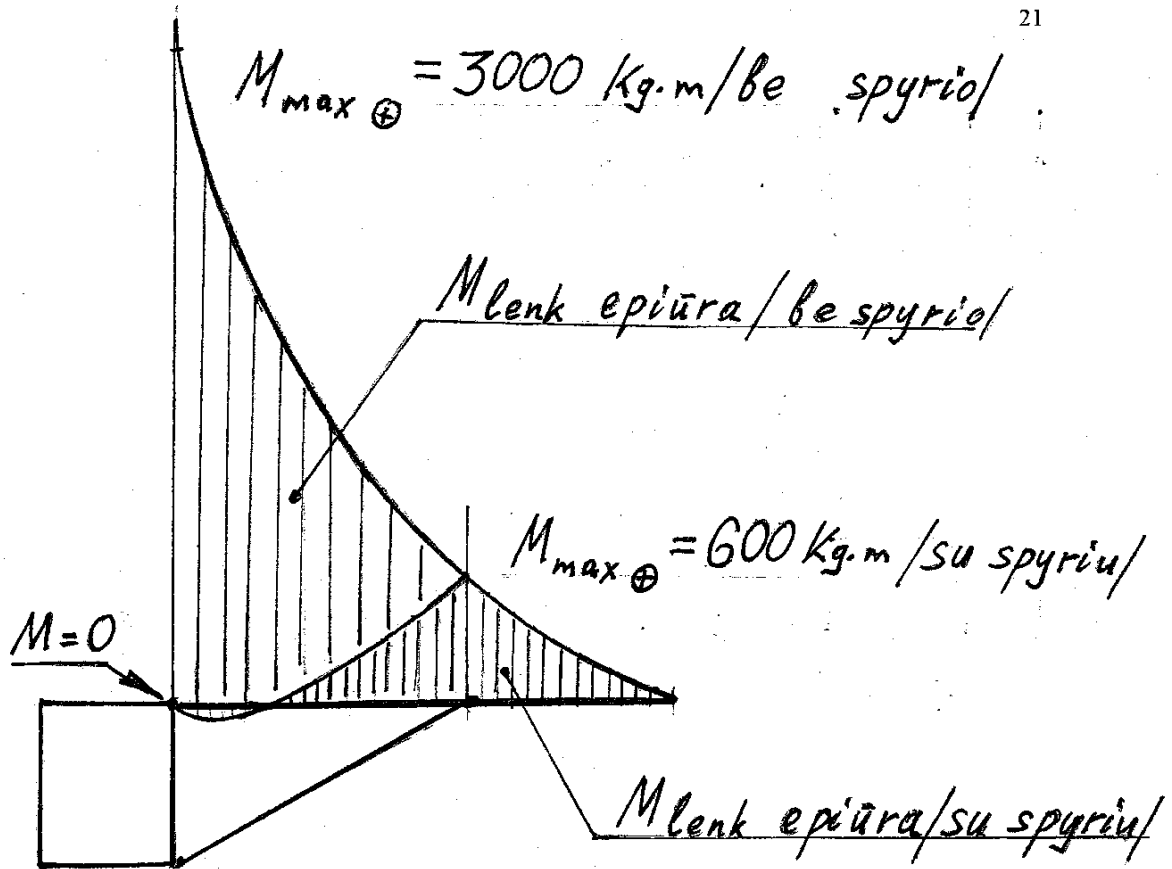
Palyginimui paskaičiuosime koks lenkimo momentas būtų naudojant laisvai nešantį t.y. bespyrinį sparną. Žinoma, tinka ta pati formulė tik čia “ Z ” bus sparno ilgis iki pajungimo mazgų prie liemens, o kadangi “ Z ” kvadratu tai lenkimo momentas, o atitinkamai ir lonžeronų skerspjūviai turėtų išaugti kelis kartus.

$$M_{\text{max } \oplus} = \frac{300 \cdot 4,5^2}{2} \approx \frac{300 \cdot 20}{2} = 3000 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}]$$

$$M_{\text{max } \ominus} = \frac{-200 \cdot 4,5^2}{2} \approx \frac{-200 \cdot 20}{2} = -2000 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}]$$

Penkis kartus daugiau negu su spyriu! atitinkamai reikėtų penkis kartus didesnio lonžeronų skerspjūvio.

$$M_{\text{max}} = 3000 \text{ kg} \cdot \text{m} \text{ (be spyrio)}$$



Taigi spyrio nauda akivaizdi.

Jeigu sparnas siaurėjantis tai lenkimo momento formulė yra kiek sudėtingesnė:

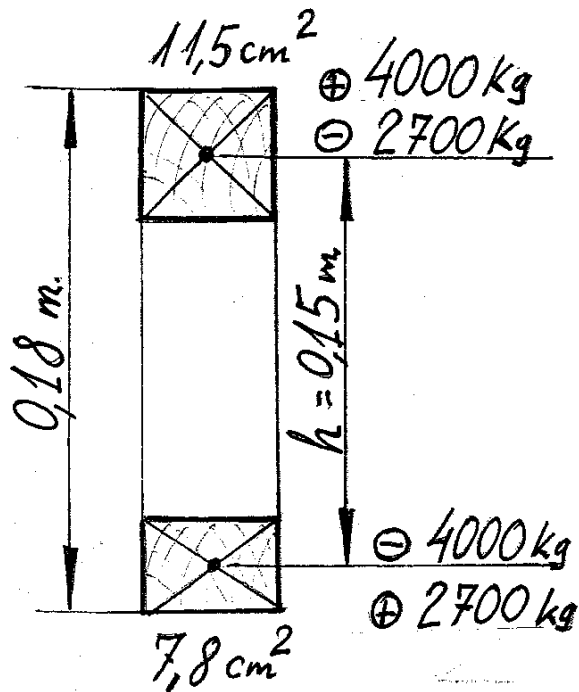
$$M_{lenk} = \frac{(2g_1 + g_2)Z^2}{6}$$

kur: g_1 – sparno apkrova bėginiam metrui sparno gale .

g_2 – ta pati apkrova skaičiuojamo lonžerono skerspjūvio vietoje, o jeigu sparnas laisvai nešantis, tai prie liemens .

Z – atstumas nuo sparno galo iki skaičiuojamo pjūvio.

Mūsų atveju NACA 23012 12% storio profiliui, kai $VAS = 1,5 \text{ m}$ sparno storis storiausioje vietoje kur ir turi būti lonžeronas yra 18 cm, o atstumas tarp lonžerono lentynų svorio centrų bus ~ 15 cm. Šis atstumas vadinamas lonžerono statybiniu aukščiu ir žymimas raide h . Lonžerono lentyną veikianti jėga bus:



$$P = \frac{M_{\text{lenk} \oplus} 600}{h_{\text{lonžerono}} 0,15} = 4000 \text{ [kg]}$$

$$P = \frac{M_{\text{lenk} -} 400}{h 0,15} = 2700 \text{ [kg]}$$

Tai reiškia, kad skaičiuotinai teigiamai perkrovai viršutinė lonžerono lentyna 4000 kg jėga gniuždoma, o apatinė tokia pat jėga tempiama. Esant neigiamai perkrovai $g_{\text{sk}} = -4$ atitinkamai viršutinė lentyna 2700 kg jėga tempiama, o apatinė šia jėga gniuždoma.

Lonžerono lentynų skerspjūvis randamas taip:

$$F = \frac{P}{\sigma}$$

kur σ yra medžiagos atsparumas tempimui arba (ir) gniuždymui $\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ arba $\text{kg}\cdot\text{cm}^2$ (pirmu atveju metalui; antru medžiui).

Pvz. sausai kokybiškai pušies medienai

$$\sigma_{\text{tempimo}} = 830 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2; \sigma_{\text{gniūždymo}} = 350 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$$

Atkreipkite dėmesį, kad pušis gniuždymui daugiau negu du kartus silpnesnė negu tempimui, kai tuo tarpu metalams šios “ σ ” vienodos. Iš čia aišku, kodėl medinių sparnų viršutinė lonžerono lentyna būna beveik du kartus didesnio skerspjūvio. Kokie būtent skerspjūviai reikalingi mūsų lėktuvui jeigu medinio sparno lonžeronas pušinis?

$$F_{\oplus \text{ viršut. lentynos}} = \frac{P_{\oplus} 4000}{\sigma_{\text{gniūždymo}} 350} = 11,5 \text{ [cm}^2\text{]}$$

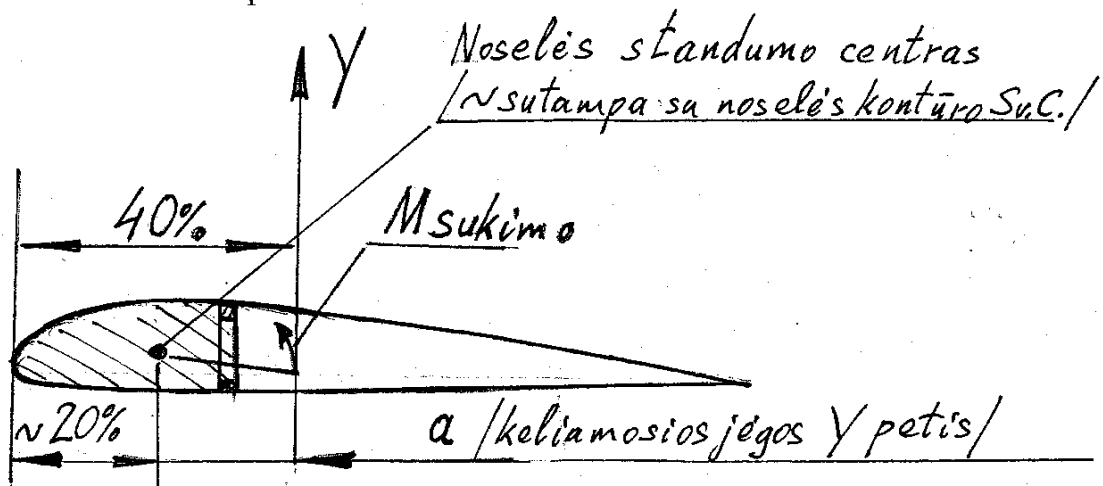
$$F_{\ominus \text{ viršut. lentynos}} = \frac{P_{\ominus} 2700}{\sigma_{\text{tempimo}} 830} = 3,3 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$F_{\oplus \text{ apatinei lentynai}} = \frac{P_{\oplus} 4000}{\sigma_{\text{tempimo}} 830} = 5 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$F_{\ominus \text{ apatinei lentynai}} = \frac{P_{\ominus} 2700}{\sigma_{\text{gniūždymo}} 350} = 7,8 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Taigi kai perkrova teigiama, kad viršutinė lentyna atlaikytų gniuždymą, reikia $F = 11,5 \text{ cm}^2$. Kai perkrova neigiama, apatinė lentyna atlaikys gniuždymą jei $F = 7,8 \text{ cm}^2$.

Jeigu spyrinis (laisvai nešantis irgi) sparnas yra vieno lonžerono kaip šiame pavyzdyje dar reikia apskaičiuoti jo atsparumą susukimui nes paprastai keliamosios jėgos atstojamoji veikia apie 40% VAS zonoje t.y. už lonžerono vietos ir sparną suka, o taip pat susukimo momentą sparnui duoda eleronai ir užsparniai.



Sparno sukimo momentas bus

$$M_{\text{suk}} = q \cdot l \cdot a$$

Kur: q – skaičiuotina sparno apkrova
ilgio metrui

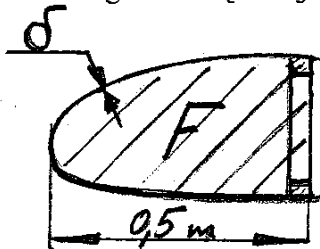
l – vieno sparno ilgis [m]

a – atstumas nuo Y iki noselės standumo centro [m]

$$M_{\text{suk}} = 300 \cdot 4,5 \cdot 0,30 = 400 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Vaizdumo dėlei, jeigu sparno gale prie užpakalinės briaunos (1 m nuo lonžerono) prikabinsime 400 kg svorį, tai ir sudarys čia apskaičiuotą sukimo momentą.

Žinant sukimo momentą, tereikia apskaičiuoti sparno noselės medžiagos mūsų atveju klijuotės storį.



F – noselės kontūro plotas

$$F \approx 0,07 \text{ [m}^2\text{]} \approx 700 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\tau_{\text{sukimo}} = \frac{M_{\text{sukimo}}}{2 \cdot F \cdot \delta}$$

τ_{sukimo} – noselės medžiagos įraža nuo sukimo jėgų

δ – noselės medžiagos storis

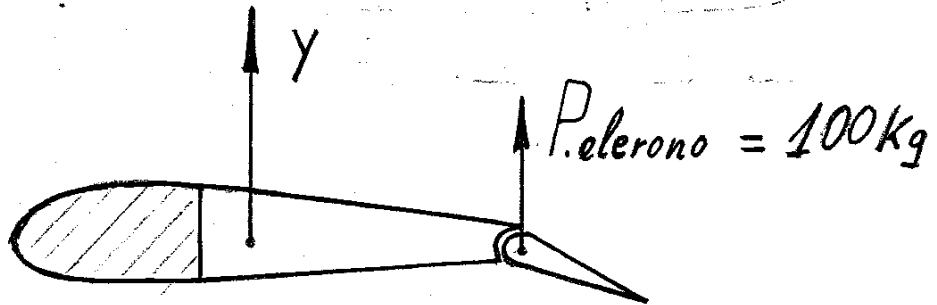
Skaičiuojant nepamiršti suvienodinti dimensijas, šiuo atveju "cm", nes klijuotės išrašos žinyuose duodamos kg·cm² ir aviacinei klijuotei sudaro 150kg·cm išilgai skersai pluošto ir 180kg·cm 45° kampu klijuotės pluoštui iš ko aišku kad noselės klijuotės pluoštas turėtų būti orientuotas 45° kampu lonžeronui. Skaičiuojant prie M_{suk} reikia pridėti M_{suk eler}, kuris gaunamas staiga atlenkus eleroną. Šiuo atveju elerono apkrovą P randame pagal klasikinę formulę

$$P = C_y \cdot S_{\text{eleronas}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot f$$

$$P = 0,67 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 1,5 = 100 \text{ [kg]}$$

kur C_y = 0,67 pagal normas; f = 1,5 atsargos koeficientas

Jeigu mūsų lėktuvo elerono plotas 1 m² ir sukimosi ašis 0,7 m nuo ~~St centro~~ tai sparno sukimosi momentas kurį sukuria staiga atlenktas eleronas skrendant V_{max} M_{suk eler} = 100·1·0,7 = 70 kg·m, taigi sparną reikia apskaičiuoti susukimui kurį sukelia pati keliamoji jėga, plus staiga atlenktas eleronas (šiuo atveju žemyn).



$$M_{\text{sukimo}} = M_{\text{suk kel. jėgos}} + M_{\text{suk eleronas}} = 400 + 70 = 470 \text{ [kg·m]}$$

$$\tau_{\text{sukimo}} = \frac{M_{\text{sukimo}} + M_{\text{suk. eleronas}}}{2 \cdot F \cdot \delta}$$

τ_{sukimo} – sparno noselės medžiagos įrašas

M_{suk} – sparno sukimo momentas

F – priekinės noselės kontūro plotas

δ – noselės medžiagos storis

Pasirenkam noselei 2 mm aviacinę klijuotę, tuomet δ = 0,2 cm M_{suk} = 470 kg·m = 47000 [kg·cm]; F = 700 [cm²] taigi:

$$\tau_{\text{sukimo}} = \frac{47000}{2 \cdot 700 \cdot 0,2} = 168 \text{ kg·cm} < [180 \text{ kg·cm}]$$

reikia 2 mm klijuotė noselei tinka su atsarga, o sparno gale galėtų būti ir 1,5 mm klijuotė, nes sukimo momentas didžiausias prie liemens.

Analogiškai sukimui skaičiuojami vamzdžiai arba monokoko tipo lėktuvų liemenys.

Nepamirškite, kad susukimui standus sparnas reiškia mažesnią flaterio pavojų, o svoriškai subalansavus eleronus jį galima panaikinti visai.

Jeigu sparnas yra spyrinis ir turi du lonžeronus ir du spyrius, tuomet sukimo momentą priima spyriai ir noselė gali būti žymiai silpnesnė, tačiau nepamirškite kad sparno galas iki spyrių pajungimo vietos sukamas taip pat kaip ir vieno lonžerono sparnas ir šį sparno gabalą (iki spyrių pajungimo vietų) reikia apskaičiuoti susukimui kaip parodyta anksčiau.

Reikėtų paskaičiuoti ir sparno nerviūrų atsparumą, tai nesunku. Žinant apkrovą sparno ilgio metrui "q" ir nerviūrų skaičių viename metre, pvz. 4 vnt, nesunku rasti apkrovą vienai nerviūrai:

$$P = \frac{q \cdot n}{n} = \frac{300}{4} \approx 73 \text{ [kg]}$$

nors sparno apkrova pagal stygos ilgį pasiskirsto netolygiai, t.y. daugiau ties lonžeronu

tačiau didesnio atsparumo ir paprastesnio skaičiavimo

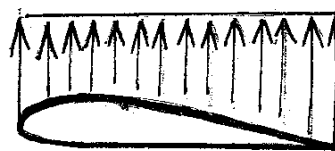
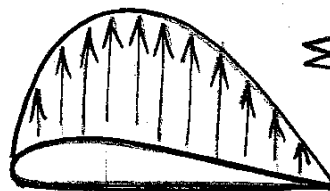
labai galima supaprastintai priimt kad apkrova kiekvienai nerviūrai pasiskirsto taip:

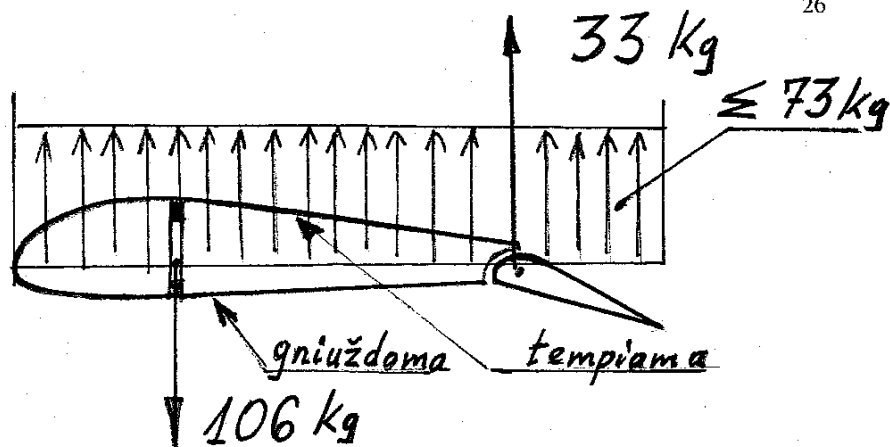
Dabar jėgas, kurios tempia ir gniuždo nerviūros lystveles galima

apskaičiuoti panašiai kaip apskaičiuojamos lonžerono lentynas veikiančios jėgos. Nepamirškite, kad nuo eleronų atsilenkimo gaunamos papildomos jėgos (žiūr. aukščiau), todėl nerviūros prie kurių tvirtinasi eleronų taip pat ir užsparnių pajungimo mazgai turi būti sustiprintos.

Nesunku gatavą nerviūrą išbandyti statiškai, tereikia ją įtvirtinti už lonžerono vietos ir apkrauti kaip parodyta antrame paveikslėlyje plius elerono ar užsparnio jėga, jeigu tai sustiprinta nerviūra su pajungimo mazgais. Pvz. mūsų lėktuvo eleronas kurį veikia iki 100 kg jėga (staigus atlenkimas kai V_{man} *) ir šis eleronas pakabinamas trijuose taškuose, tai aišku kad kiekvienai sustiprintai elerono pakabinimo mazgus laikančiai nerviūrai teks papildoma 33 kg jėga.

*(V_{man} - manevrinis greitis)

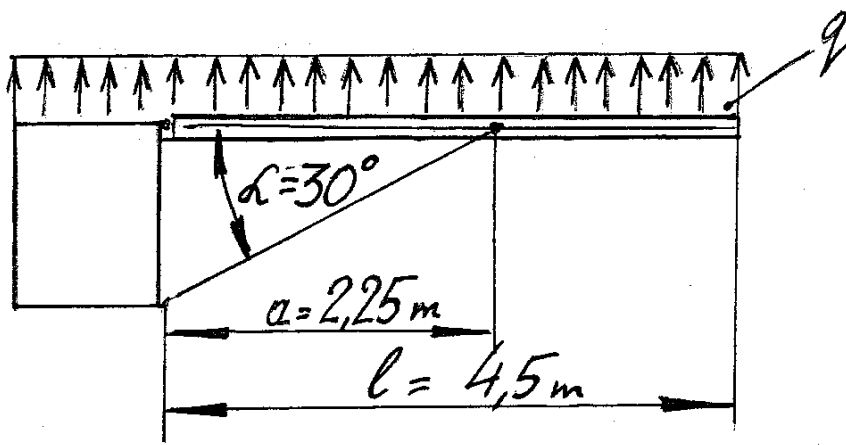




Nereikia pamiršti, kad sparno viršutinė dalis dėl slėgio sumažėjimo virš sparno skridimo metu yra siurbiamą aukštyn, t.y. visa keliamoji jėga persiduoda viršutinei sparno daliai, t.y. vaizdžiai kalbant visas lėktuvas “kabo” ant sparno dangos viršutinės dalies ir tuo pačiu ant nerviūrų. Iš to aišku kaip svarbu gerai prisūti prie nerviūrų sparno drobę ir kaip svarbu pačios drobės kokybė.

Apskaičiavus sparno lonžeronų lentynų skerspjūvius, sparno noselės klijuotės storį, nerviūrų lystelių skerspjūvius sparno skaičiavimas beveik baigtas, tačiau lieka dar du svarbūs dalykai, t.y. spyrio apskaičiavimas ir sparno pajungimo prie liemens ir spyrio pajungimo apkaustų apskaičiavimas.

Spyrio apskaičiavimas



$$R = \frac{q \cdot l^2 / 2}{\sin \alpha \cdot a}$$

R – jėga tempianti arba gniuždanti spyrį [kg]

q – apkrova sparno ilgio metrui [kg]

l – vieno sparno ilgis [m]

α – kampas tarp spyrio ir sparno

a – atstumas nuo spyrio pajungimo iki sparno pajungimo mazgų [m]

$$R = \frac{(300 \cdot 4,5^2) / 2}{\sin 30^\circ \cdot 2,25} = 2600 \text{ [kg]}$$

tempimas kai perkrova teigiama

$$R = \frac{(200 \cdot 4,5^2) / 2}{\sin 30^\circ \cdot 2,25} = 1700 \text{ [kg]}$$

gniuždymas kai perkrova neigiama

Koks spyrio skerspjūvio plotas reikalingas, kad spyris laikytų tempimo jėgą (2600 kg)

$$F = \frac{P}{\sigma} \quad \text{jeigu spyris iš D16 } \sigma = 35 \text{ [kg}\cdot\text{mm}^2\text{]}$$

$$F = \frac{2600}{35} \approx 80 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{t.y. užtektų netgi } \varnothing 30 \times 1 \text{ vamzdžio kurio}$$

$F \approx 90 \text{ mm}^2$. Tačiau reikia patikrinti ar toks spyris atlaikytų gniuždymo jėgą. Nors šiuo atveju

$$\delta_{\text{gniuždymo}} = \frac{1700}{90} = 19 \text{ kg}\cdot\text{mm} < [35]$$

tačiau gniuždomas spyris gali prarasti pastovumą, t.y. "klupti" ir sulūžti. Kritinė jėga kurią išlaiko gniuždomas spyris, ramstis, liemens santvaros (fermos) elementas ir pan. lygi:

$$P_{\text{krit.}} = \frac{c \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

c – spyrio galų įtvirtinimo koeficientas

$c = 1$ kai tvirtinimas šarnyrinis

E – tamprumo modulis

$E = 2100.000$ visų rūšių plienui

$E = 700.000$ duraliuminiui

I – spyrio (ramsčio) skerspjūvio

inercijos momentas [cm^4]

l – spyrio ilgis cm (mums 250 cm)

Inercijos momentai "I" paprastai imami iš medžiagų atsparumo žinyų, o jų neturint apskaičiuojami. Pavyzdžiui vamzdžio skerspjūviui

$$I \approx 0,4 D_{\text{vidutinis}}^3 \cdot \delta \quad D_{\text{vid}} - \text{sienelės vidurio linijos skersmuo}$$

δ – sienelių storis

$$\text{Vamzdžiui } \varnothing 30 \times 1 \quad D_{\text{vid}} = 29 \text{ [mm]} = 2,9 \text{ [cm]}$$

$$\delta = 1 \text{ [mm]} = 0,1 \text{ [cm]}$$

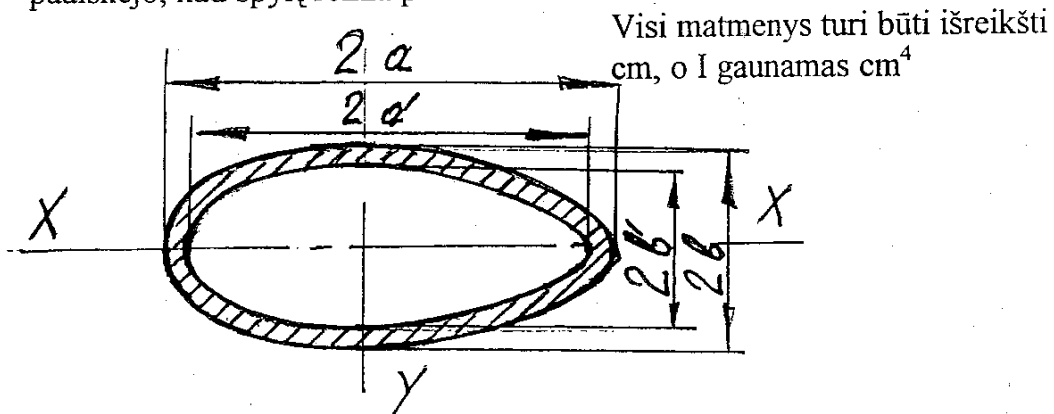
$$I \approx 0,4 \cdot 2,9^3 \cdot 0,1 \approx 1 \text{ [cm}^4\text{]} \quad \text{taigi:}$$

$$1 \cdot 3,14^2 \cdot 700.000 \cdot 1 \quad 7000.0$$

$$P_{\text{krit.}} = \frac{1 \cdot 3,14^2 \cdot 700.000 \cdot 1}{250^2} \approx \frac{7000.0}{625} \approx 112 \text{ [kg]} ! < [1700]$$

t.y. vietoj reikiamų 1700 kg iš $\emptyset 30 \times 1$ duraliuminio vamzdžio padarytas spyris neklupdamas gali atlaikyti vos 112 kg. Kadangi spyrio ilgis į formulę įeina kvadratu, aišku, kad sumažinus spyrio ilgį du kartus jo atsparumas klupdymui, t.y. $P_{kritinė}$ padidėja jau keturis kartus. Tas spyrio sutrumpinimas du kartus pasiekiamas standžiai pritvirtinus jo vidurį prie sparno kontraspyrių pagalba. Taip parėmus spyrį mūsų atveju jis jau laikytų gniuždymui keturis kartus daugiau t.y. $112 \times 4 = 448$ kg ko vis tiek per mažai.

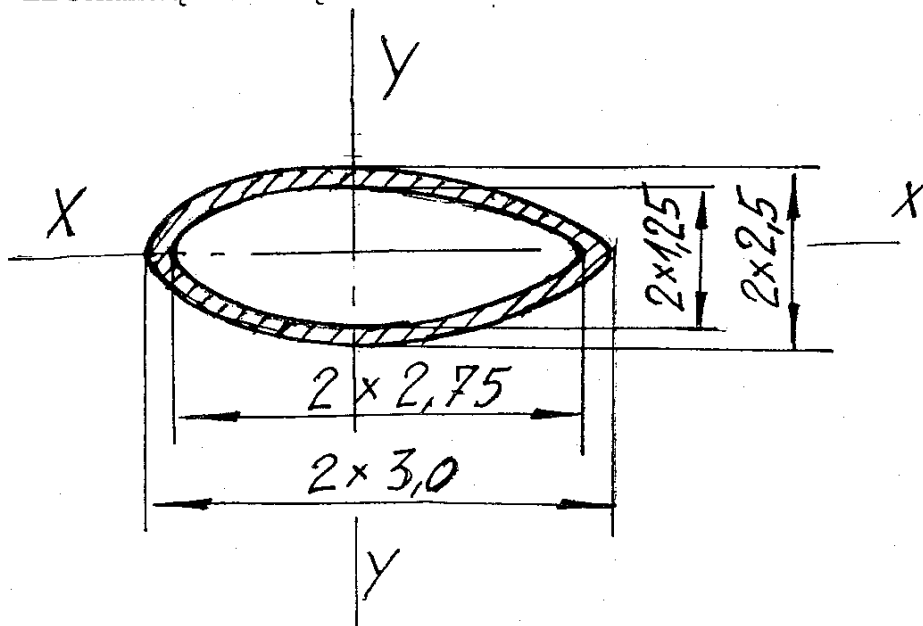
Pertvarkius P_{krit} formulę galima iškart apskaičiuoti kokį inercijos momentą turi turėti spyrio skerspjūvis arba galima vis paskaičiuojant turimų vamzdžių P_{krit} rasti optimalų variantą. Aerodinamikos skyriuje paaikškėjo, kad spyrį reikia profiliuoti.



$$I_x \text{ pagal ašį } x = \frac{\pi}{4} (ab^3 - a_1b_1^3) \quad I_x \text{ žinoma bus kelis kartus mažesnis}$$

$$I_y \text{ pagal ašį } y = \frac{\pi}{4} (a^3b - a_1^3b_1)$$

Tarkime gaminsime spyrį iš $\emptyset 50 \times 2,5$ D16 vamzdžio, kurį profiliuojame iki sekančių matmenų



$$I_x = \frac{\pi}{4} (3 \cdot 1,5^3 - 2,75 \cdot 1,25^3) \approx \frac{\pi}{4} (10 - 5,5) \approx \frac{14}{4} \approx 3,5 \text{ [cm}^4\text{]}$$

spyris parentas kontraspyriuku, taigi $l = 125 \text{ [cm]}$

$$P_{\text{krit}} = \frac{1 \cdot 3,14^2 \cdot 700.000 \cdot 3,5}{125^2} = 1600 \text{ kg} < [1700]$$

Taigi netgi tokio skerspjūvio spyris nevisai tenkina atsparumo gniuždymui (klupimui) sąlygą. Reikėtų panaudoti didesnio skersmens arba storesnėmis sienelėmis vamzdį. Beje, kadangi plieno tamprumo modulis tris kartus didesnis negu D16 tai tokio pat plieninio spyrio $P_{\text{kritinė}}$ irgi bus tris kartus didesnė. Jeigu lėktuvo sparnas dviejų lonžeronų ir dviejų spyrių, tai apkrovos spyriams kaip ir lonžeronams pasiskirsto maždaug 60% priekiniam ir 40% užpakaliniam. Taip ir skaičiuoti, tačiau šiuo atveju reikėtų įvertinti kad spyriai priima sparno sukimo jėgas ir gauna papildomas apkrovas kurias galima gauti apskaičiuavus sparno sukimo momentą spyrių pajungimo vietose.

Jeigu lėktuvo stabilizatorius parentas spyriais, jie skaičiuojami taip pat kaip ir sparno spyriai, o pačių vertikalių ir horizontalių plokštumų apkrova randama pagal rekomendacijas II dalyje sk. "Apkrovų normavimas". Šią apkrovą reikia perskaičiuoti į apkrovą uodegos plokštumų ilgio metrui, padauginus iš $f = 1,5$ ir toliau uodegos plokštumų lonžerono ir spyrių atsparumas skaičiuojamas lygiai taip kaip ir sparno.

7. Sujungimo mazgų atsparumo skaičiavimas

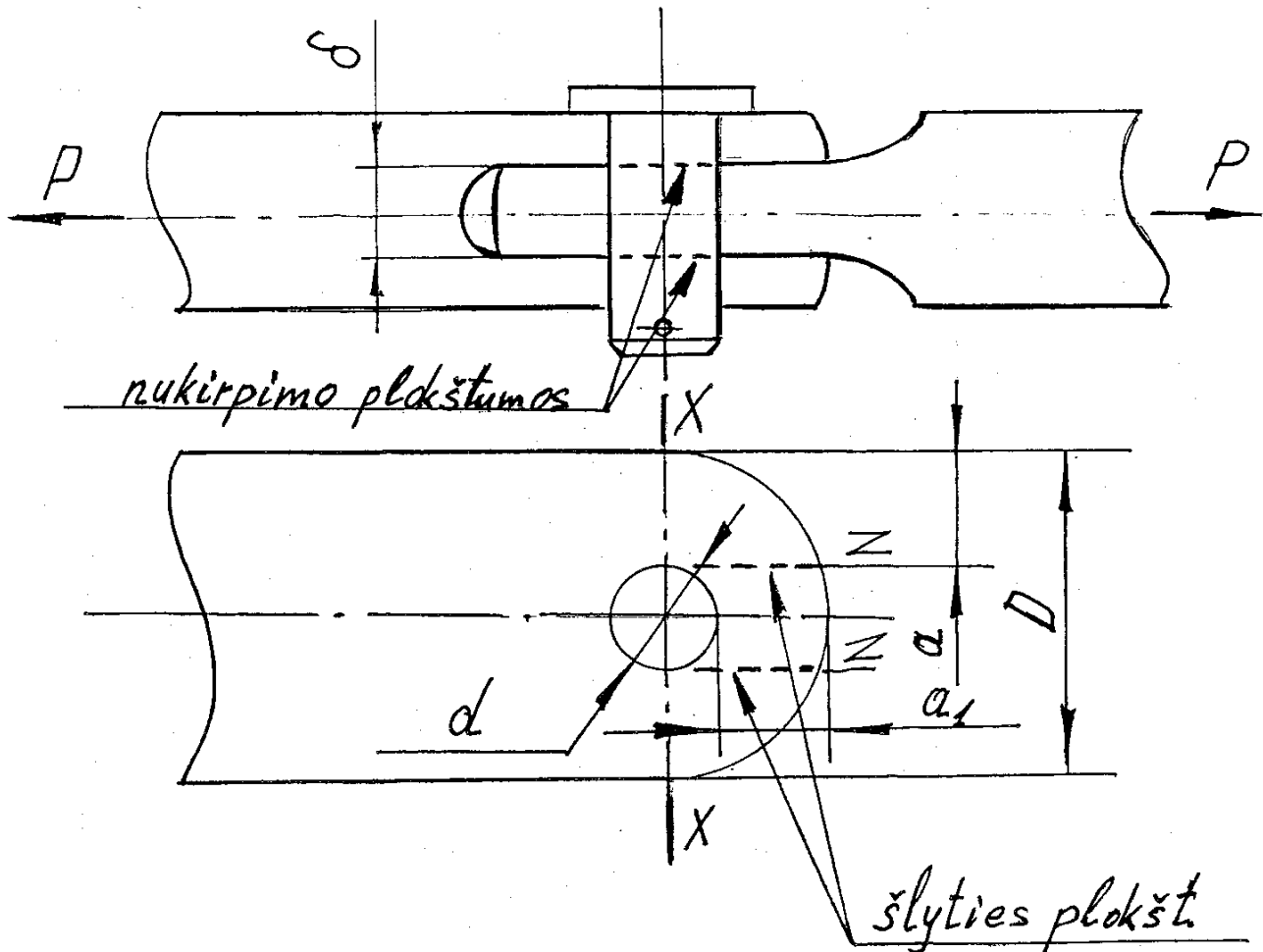
Svarbiausi sujungimo mazgai yra:

- sparnų prijungimo prie liemens mazgai
- spyrių prijungimo prie sparnų ir liemens mazgai
- uodegos plokštumų prijungimo mazgai
- motorėmo prijungimo prie liemens mazgai
- važiuoklės prijungimo prie liemens mazgai

Šie sujungimo mazgai yra ypač atsakingi, todėl skaičiuotinos jėgos mazguose gaunamos padauginus iš papildomo atsargos koeficiento $f_2=1,5$ (visai konstrukcijai įskaitant mazgus taikomas atsargos koeficientas $f_1=1,5$); šis papildomas mazgų sustiprinimas padidina lėktuvo svorį ne daugiau 1%, o konstrukcijos patikimumą užtikrina. Be to eksploatacijos metu, ypač jeigu lėktuvas atlieka daug kilimų ir tūpimų (skraido ratais), visi mazgai, o labiausiai važiuoklės dyla ir išklimba, o kas blogiausia juose dar ir kaupiasi metalo nuovargis. Tai dar vienas argumentas papildomam mazgų sustiprinimui netgi ir viršijant atsargos koeficientus f_1 ir f_2 .

Pasikartosiu – dėl to, jeigu mazgų konstrukcija racionali, lektuvo svoris padidės labai nedaug.

Tipinė sujungimo mazgo konstrukcija yra šakutė ir auselė, sujungtos kaiščiu arba varžtu.



Rekomenduojama $a_1 = 1,3 \div 1,5a$ nes jeigu $a = a_1$ mazgas gali suirti trūkdamas per auselės galą.

Sujungimo mazgą reikia apskaičiuoti taip kad visų jo elementų, t.y. kaiščio, šakutės ir auselės atsparumas būtų vienodas. Tokia konstrukcija bus racionali.

Skaičiavimas pradedamas nuo jungiamojo varžto (kaiščio) skaičiavimo. Varžto (kaiščio) nukirpimo jėga lygi:

reiškiny s skliaustuose išreiškia
skerspjūvio plotą

n – nukirpimo plokštumų skaičius

τ – atsparumas nukirpimui

$$R = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot n \cdot \tau$$

τ imamas iš žinynų, arba laikoma kad $\tau = 0,6 \cdot \sigma_{\text{tempimo}}$

Pvz. mūsų lėktuvo spyrio tempimo skaičiuotina jėga $R = 2600$ kg tuomet spyrio prijungimo mazgams:

$$P_{\text{skaič}} = f_2 \cdot R = 1,5 \cdot 2600 = 3900 \text{ [kg]}$$

Pertvarkius aukščiau duotą formulę, apskaičiuojame reikalingą varžto d

$$d = \sqrt{4/\pi \cdot R/n \cdot \tau}$$

Jeigu naudosisime CT30XГCA ar panašaus plieno kaiščius ar varžtus jiems $\tau \geq 40 \text{ kg/mm}^2$. Primygtinai rekomenduoju nenaudoti savo darbo varžtų ir kaiščių, o gauti aviacinių, pavyzdžiui iš sklandytuvo "Blanik" ar kitų aparatų remonto komplektų. Taigi mūsų spyrio pajungimo kaiščio:

$$d = \sqrt{4/\pi \cdot 3900/2 \cdot 40} = 9,3 \text{ [mm]}$$

priimam $d = 10$ mm t.y. artimiausias standartinis diametras su atsarga.

Auselės ir šakutės suspaudimo jėga yra lygi

$$R = d \cdot \delta \cdot \sigma$$

d – kaiščio diametras

δ – mazgo auselės storis

σ – auselių medžiagos glemžimo įtampa

$$\text{CT30XГCA } \sigma = 40 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$$

Reikalingas ausies storis

$$\delta = \frac{R}{\sigma \cdot d} = \frac{3900}{40 \cdot 10} \approx 10 \text{ [mm]}$$

Aišku šakutės auselių storių suma turi būti lygi ausies storiui, t.y. kiekviena šakutės auselė turi būti 5 mm, nes $5 + 5 = 10$ mm.

Dabar reikia surasti auselės plotį "D" pjūvyje X – X

$$R = \frac{(D - d) \cdot \delta \cdot \sigma}{k}$$

δ – ausies storis arba šakutės auselių storis

σ – auselės medžiagos atsparumas tempimui

$$\text{CT30XГCA be terminio } \sigma = 65 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$$

k – įtampos koncentracijos koeficientas

$k = 1,1$ kai apkrova statinė (pastovi)

$k = 2,5$ kai apkrova ciklinė (nepastovi)

Spyrių, sparnų mazgams $k = 1,1$

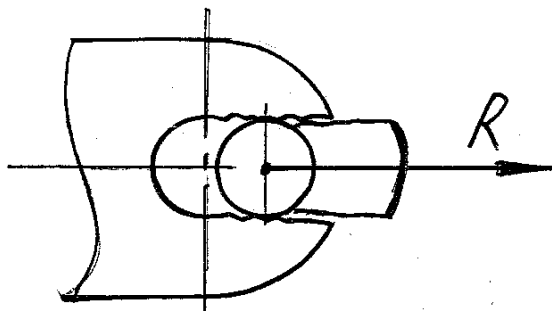
Važiuoklės mazgams žinoma $k = 2,5$

Kadangi dažnai tupdant lėktuvą spyrių ir sparnų prijungimo mazgai irgi veikiami kintamų jėgų, taip pat ir atliekant ir aukštąjį pilotažą ar skraidant

neramiu oru šiems mazgams irgi rekomenduočiau $k = 2,5$. Pertvarkome formulę

$$D = \frac{R \cdot k}{\delta \cdot \sigma} + d = \frac{3900 \cdot 2,5}{10 \cdot 65} + 10 = 25 \text{ [mm]}$$

Lieka apskaičiuoti mazgo atsparumą šlyčiai plokštumoje Z – Z.



$$\tau = 0,6\sigma$$

CT30XГCA termiškai neapdorotam $\tau = 40 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$

$$a_1 = \frac{R}{2 \cdot \delta \cdot \tau} = \frac{3900}{2 \cdot 10 \cdot 40} \approx 5 \text{ [mm]}$$

šiuo atveju dydis $a_1 < a = 7,5 \text{ mm}$, todėl kad auselės nutraukimo atvejui priimtas didelis $k = 2,5$ ir gaminant mazgą reikėtų priimti $a_1 = a = 7,5 \text{ mm}$. Priėmus įtampos koncentracijos koeficientą $k = 1,1$ gautūsi pagal skyriaus pradžioje minėtą rekomendaciją

$a_1 = 1,3 \div 1,5 a$ Tai tinka statinėms apkrovoms

Taigi sujungimo mazgą auselė – šakutė varžto (kaiščio) pagalba reikia skaičiuoti:

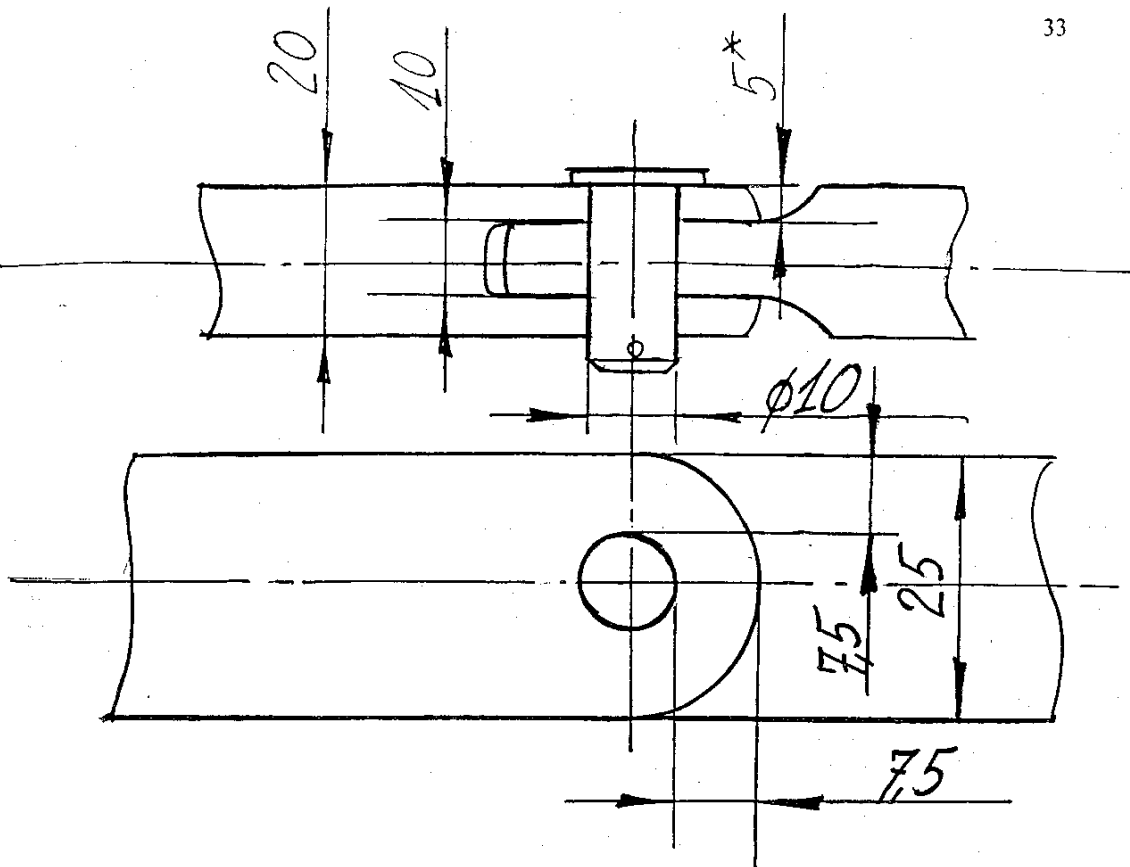
- 1) Varžo nukirpimui $R = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot n \cdot \tau$
- 2) Auselės suspaudimui $R = \delta \cdot d \cdot \sigma_{\text{suspaudimo}}$
- 3) Auselės nutraukimui $(D - d) \delta \cdot \sigma$

$$R = \frac{\quad}{K}$$

- 4) Auselės glemžimui $P = 2a_1 \cdot \delta \cdot \tau$

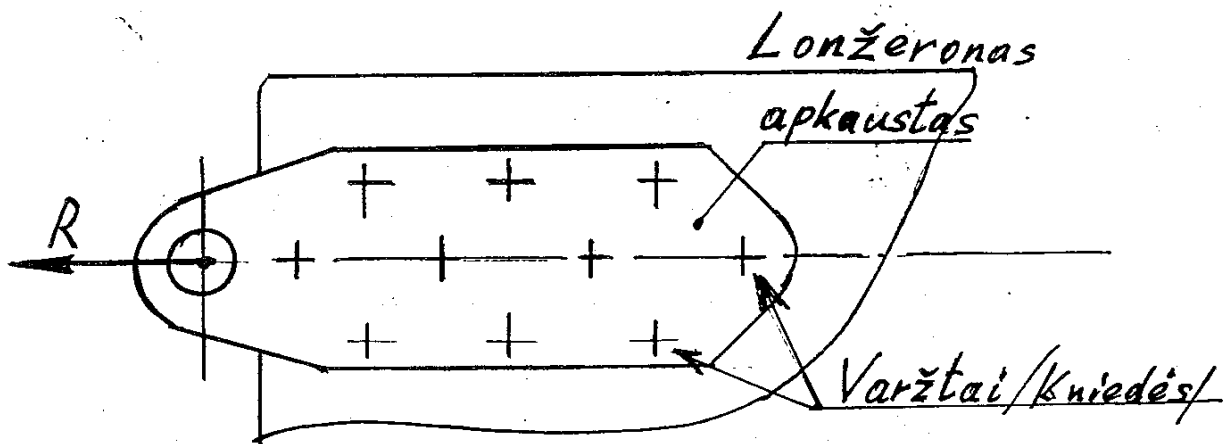
Skaičiavimo rezultatas:

žiūr. brėžinį, sekančiame puslapyje



Pastaba: dar reikia patikrinti paties kaiščio atsparumą suspaudimui pagal tą pačią formulę kaip ir auselės suspaudimui $R = \delta \cdot d \cdot \sigma_{\text{suspaudimo}}$. Tai aktualu jeigu kaiščio $\sigma_{\text{susp.}} < \sigma_{\text{susp. ausies}}$.

Analogiškai keliais varžtais arba kniedėmis pritvirtinta detalė, pavyzdžiui sparno arba spyrio apkaustas prie lonžerono, tik dėl pakankamo atstumo tarp varžtų ar kniedžių paskutinis atvejis – atsparumas glemžimui neaktualus, užtat patikrinti kniedžių atsparumą glemžimui būtina.



Didinant varžtų (kniedžių) skaičių, platinant apkaustą, ploninant apkausto medžiagą mažo masė, išlaikant tą patį atsparumą mažėja.

II dalis

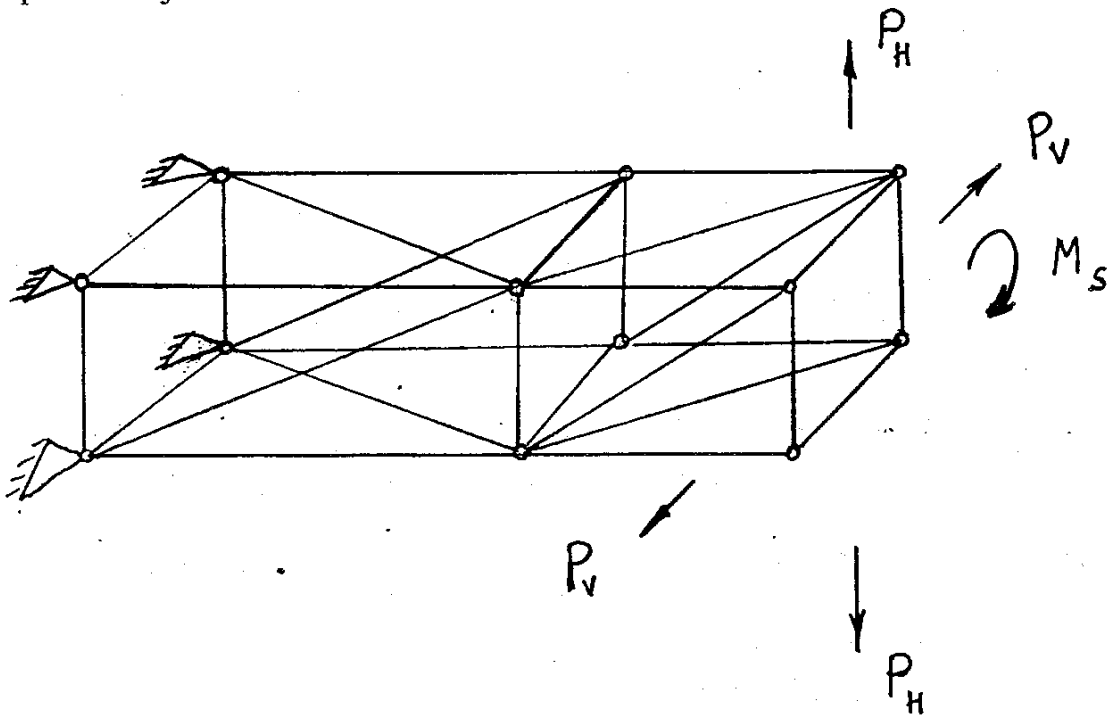
Liemens santvaros (fermos) skaičiavimas Apkrovų išdėstymas, skaičiavimo schemos parinkimas

Santvarinio liemens karkasas sudarytas iš keturių išilginių lonžeronų, tarpusavyje sujungtų stovais ir įstrižainėmis. Dažniausiai konstrukcija būna surinkta iš plonasienių plieninių vamzdelių. Aerodinamikos pagerinimui liemuo profiliuojamas mediniais stringeriais ir apdengiamas drobe. Jei drobės įtempimo jėgos arba bet kokios kitos apkrovos perduodamos ne į santvaros sujungimų mazgus, o į vamzdelių šonus, santvaros atsparumas sumažėja keletą kartų – vamzdeliai klumpa esant žymiai mažesnei jėgai. Teisingai pagamintas santvarinis liemuo yra lengvas, pakankamai aptakus, patikimas, paprastai remontuojamas.

Skaičiavimams liemuo dalinamas į tris dalis:

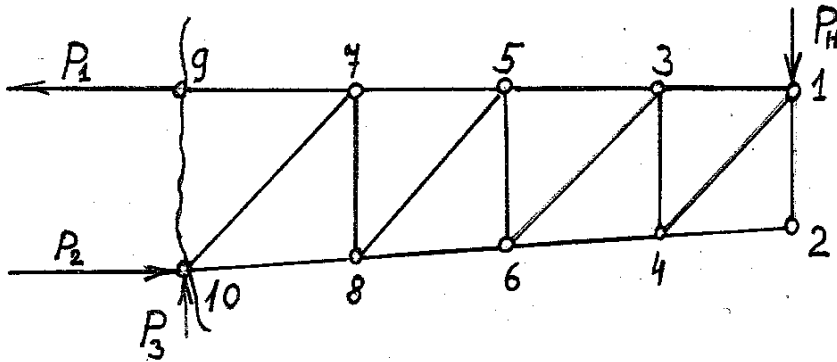
- 1) priekinė – iki priekinio sparno pajungimo mazgo
- 2) vidurinė – tarp priekinio ir užpakalinio sparno pajungimo mazgo
- 3) užpakalinė – nuo užpakalinio sparno pajungimo mazgo

Užpakalinė santvaros dalis lenkiama vertikalią ir horizontalią plokštumoj bei sukama



1 brėž.

Apkrovos vertikaloj plokštumoj atsiranda nuo stabilizatoriaus skrendant, nuo uodegos ratuko tupiant bei ridenant ir nuo atlenkto posūkio vairo sukimo momento sudedamosios.



2 brėž.

Schemoje – užpakalinė liemens dalis su išorine jėga P_H , atsirandančia nuo stabilizatoriaus. Jėga veikia vertikaloje plokštumoje. Liemens konstrukcija gali būti padalinta į keturias plokščias santvaras – dvi vertikalias ir dvi horizontalias. Stabilizatoriaus apkrova perduodama tik dviem vertikaliom santvarom. Viena santvara neša pusę stabilizatoriaus apkrovos.

Tūpimo metu vertikalioms santvaroms per pusę pasidalina jėgą nuo uodegos ratuko.

Apkrovos horizontaliose santvarose atsiranda nuo kilio ir posūkio vairo. Uodeginės dalies sukimas atsiranda todėl, kad jėga P_V , veikianti vertikalią uodegos plokštumą, veina per liemens standumo centrą.

Kaip matome iš trečio brėžinio, sukimo momentas bus:

$$M_S = P_V \cdot r$$

Kur P_V – vertikali uodegos plokštumos apkrova,

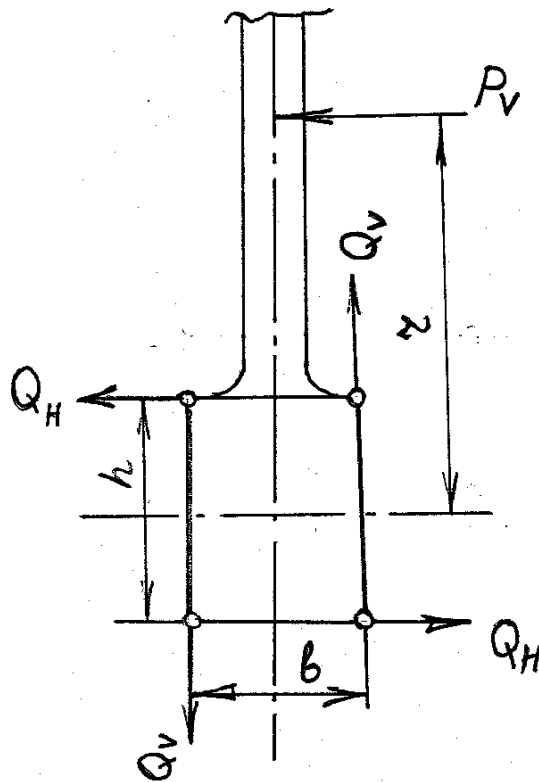
r – atstumas nuo liemens standumo centro iki jėgos P_V pridėties taško.

Jėga P_V bus pridėta vertikalioms uodegos plokštumos projekcijos svorio centre.

Sukimo momentas tarp liemens santvarų pasiskirsto pagal Bredtą, t.y. laikom, kad pusę sukimo momento priima vertikalioms santvaroms, pusę – horizontalioms. Tuomet:

$$Q_H = \frac{M_S}{2h} = \frac{P_V \cdot r}{2h};$$

$$Q_V = \frac{M_S}{2b} = \frac{P_V \cdot r}{2b};$$



3 brėž.

Gautomis jėgomis Q_H ir Q_V apkrauname horizontalią ir vertikalią santvaras, pridėdami jas liemens gale. Tokiu būdu sukimas pavirs vertikalių ir horizontalių santvarų lenkimu nuo jėgų Q_H ir Q_V .

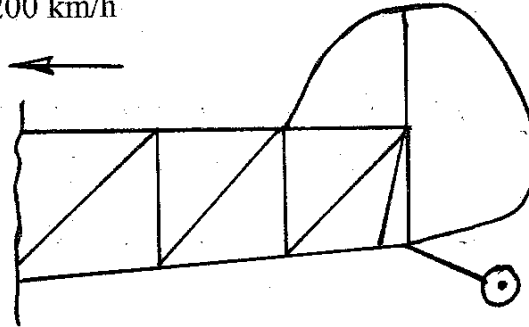
Kadangi jėgos nuo stabilizatoriaus ir kilio veikia kartu, tai erdvinė liemens santvara skaičiuojama tokia tvarka:

1. Nustatomos jėgos į vertikalias santvaras nuo stabilizatoriaus reakcijos.
2. Nustatomas sukimo momentas nuo vertikalios uodegos plokštumos.
3. Nustatoma jėga Q_V , tenkanti vertikaliai santvarai nuo liemens sukimo.
4. Ant liemens brėžinio atitinkamuose mazguose užpiešiamos išorinės apkrovos:
 - P_H – stabilizatoriaus reakcija
 - Q_V – reakcija nuo sukimo momento
5. Jėgos santvaros elementuose skaičiuojamos tik atvejui, kai P_H ir Q_V veikia viena kryptimi. Variantas, kai P_H ir Q_V veikia priešingomis kryptimis neskaičiuojamas.
6. Jei lėktuvas su uodeginio ratuku, nustatomos jėgos nuo užpakalinio ratuko reakcijos į vertikalias liemens santvaras. Kaip ir skaičiuojant apkrovą nuo stabilizatoriaus, jėgos nuo ratuko reakcijos dalinamos per pusę į dvi vertikalias santvaras. Jei lėktuvas su priekiniu ratuku, atvejis (6) neskaičiuojamas.

7. Paskaičiavus jėgas santvaros elementuose dažnai paaiškėja, kad jos didesnės nuo ratuko veikimo nei nuo stabilizatoriaus – kilio veikimo. Jei reikia, perprojektuojamos vertikalios santvaros, atsižvelgiant į didžiausias veikiančias jėgas ir siekiant racionalumo.

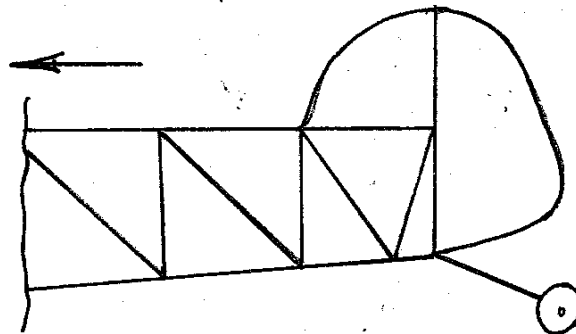
Tipiškos vertikalųjų santvarų konstrukcijos:

Lėktuvas su uodeginiu ratu, skraidantis mažais greičiais $V < 150 \div 200$ km/h



4 brėž.

Lėktuvas be uodeginio rato arba lėktuvas su uodeginiu ratu, skraidantis dideliais greičiais (kai apkrova nuo stabilizatoriaus didesnė nei nuo uodegos rato).

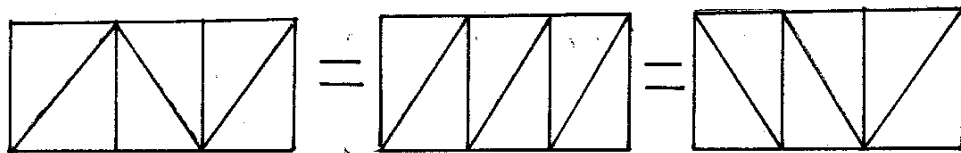


5 brėž.

8. Į atitinkamą horizontalios liemens santvaros mazgą pernešama jėga P_V , veikianti į vertikalią uodegos plokštumą. Jei horizontalios santvaros vienodos, kiekvienai jų tenka pusė jėgos P_V .
9. Nustatoma jėga Q_H , atsirandanti nuo sukimo momento ir pridedama prie horizontalios santvaros mazgų. (3 brėž.)
10. Pagal jėgų $P_V/2$ ir Q_H veikimą paskaičiuojamos apkrovos horizontalios santvaros elementuose. Skaičiuojamas tik atveju, kai $P_V/2$ ir Q_H veikia viena kryptimi.

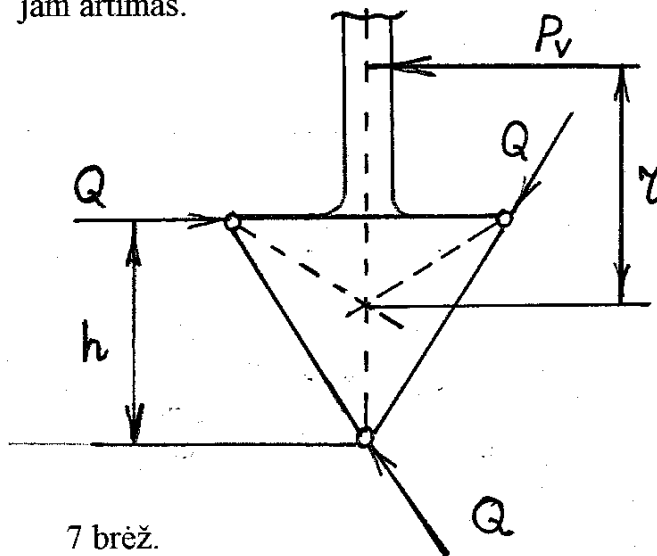
11. Išilginiuose santvaros elementuose – lonžeronuose jėgos, paskaičiuotos pagal 5,8 ir 9 punktus, sumuojasi. Imamos reikšmės, kai jėgos veikia viena kryptimi. Visos erdvinės santvaros elementai skaičiuojami tempimui arba klūpdymui. Kai strypų ilgis mažas, jie skaičiuojami ir gniuždymui.

Kadangi jėga veikianti vertikalią uodegos plokštumą veikia tai į vieną tai į kitą pusę, priklausomai nuo posūkio vairo atsilenkimo, vamzdelių išdėstymas horizontaliose santvaros dalyse neturi reikšmės.



6 brėž.

12. Atskiras atvejis – liemens santvara trikampio skerspjūvio. Imame atvejį, kai santvaros skerspjūvis lygiakraštis trikampis arba labai jam artimas.



7 brėž.

Skaičiavimo metodika – kaip ir stačiakampio skerspjūvio santvarai, tik reikia atsižvelgti, kad jėgos veikia ne plokščių santvarų plokštumose, o tam tikru kampu į jas. Sukimo momentas, atsirandantis nuo atlenkto posūkio vairo pavirsta įrašomis plokščiuose santvarose pagal formulę:

$$Q = \frac{0,67 \cdot P_v \cdot r}{h};$$

Klasikiniu atveju stačiakampio skerspjūvio santvara racionalesnė už trikampę, bet kai kada naudojama ir trikampė.

Be sukimo momento, P_V sukuria ir skersinę jėgą, kurią priima tik viena horizontali santvaros plokštuma.

Priekinės liemens dalies skaičiavimas atliekamas analogiškai:

1. Skaičiuojamos jėgos vertikaliose santvarose nuo variklio svorio.
2. Skaičiuojamos jėgos vertikaliose santvarose lėktuvui verčiantis per nosį nesėkmingo tūpimo atveju.
3. Skaičiuojamos jėgos nuo variklio sukimo momento.
4. Jei propeleris masyvus, metalinis, skaičiuojamos jėgos nuo girokopinio efekto, darant staigų manevrą.
5. Skaičiuojamos jėgos nuo priekinio rato tūpimo metu.

Prie vidurinės liemens dalies tvirtinasi sparnai, spyriai, važiuoklė, ji dažniausiai priima ekipažo svorį. Reikia nepamiršti, kad konstrukcijoje su spyriais paremtais sparnais visas arba beveik visas lėktuvo svoris skrendant perduodamas į spyrių pajungimo apatinius mazgus, o ne į sparnų pajungimo prie liemens mazgus, kaip kai kas klaidingai galvoja.

Į sparnų pajungimo prie liemens mazgus lėktuvo svoris tiesiogiai perduodamas tik konstrukcijoje su laisvai nešančiais sparnais.

Įvertinus visas jėgas, skaičiavimo metodika analogiška išdėstyta anksčiau.

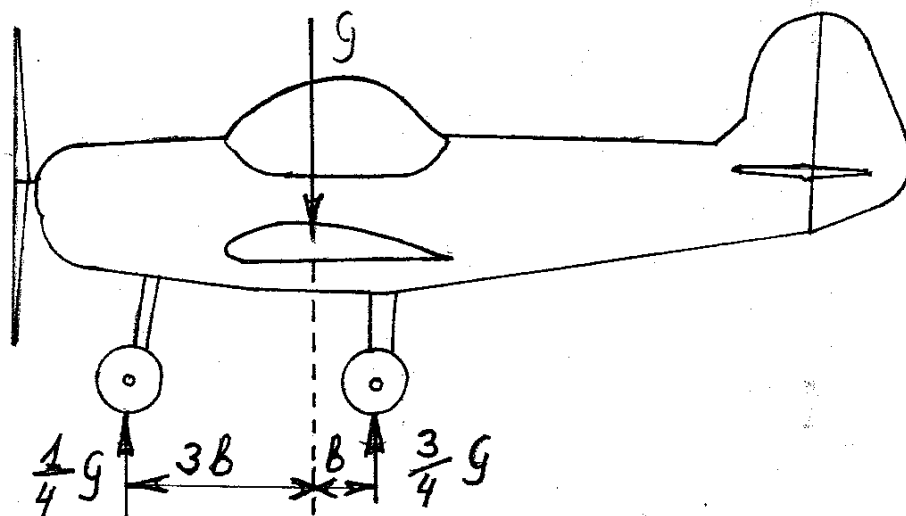
Apkrovų normavimas

1. Važiuoklė

Galima laikyti, kad važiuoklė su gerais amortizuojančiais elementais (lingės, gumos žiedai, spyruoklės) tūpimo metu sukuria perkrovą iki 3 vnt. Važiuoklė su standžiai pritvirtintais kietai pripūstais ratais – iki 6 vnt. Įvedus atsargos koeficientą 1,5 gausime skaičiuotiną apkrovą, tenkančią liemens fermai.

$$\begin{array}{ll} n_y = 3 \times 1,5 = 4,5 & \text{minkšta važiuoklė} \\ n_y = 6 \times 1,5 = 9 & \text{kietą važiuoklė} \end{array}$$

Lėktuvo svoris pasiskirsto ant visų važiuoklės atramų atvirkščiai proporcingai jų atstumui nuo svorio centro.



8 brėž. (Atstumai $3b$ ir b ne taisyklė, tik pavyzdys)

Jei važiuoklė triratė, apkrova, tenkanti vienam užpakaliniam ratui bus $3/4 \cdot G : 2 = 3/8 \cdot G$;

Taip apkrovos pasiskirsto tik stovint arba riedant lygiu paviršiumi. Kai tupiama nelygiame aerodrome, taip pat staiga stabdant, daug kartų gali išaugti apkrovos ant priekinės važiuoklės atramos. Apkrovos auga greičiau, kuo bus aukščiau lėktuvo svorio centras ir kuo bus mažesnis atstumas nuo svorio centro iki priekinės atramos.

Jeį skraidysite tik geruose aerodromuose ir norite, kad lėktuvą būtų lengva tupdyti, važiuoklė turėtų būti su priekine atrama. Jei aerodromas nelygus, jei ieškote nuotykių aikštelėse parinktose iš oro – važiuoklė turi būti su uodeginiu ratuku.

Jėgą, tenkančią priekinei važiuoklės atramai reikėtų skaičiuoti kaip važiuoklei be amortizacijos, t.y.

$$P_{\text{važ.1}} = \frac{1}{4} \cdot G \cdot 6 \cdot 1,5 = 2 \frac{1}{4} \cdot G$$

$1/4$ paimtas kaip pavyzdys. Konkrečiu atveju jis žinoma skirsis.

Išnagrinėjome tik vertikalia kryptimi veikiančias jėgas. Reikia nepamiršti, kad staiga stabdant, įveikiant nelygumus žymios jėgos važiuoklę veikia ir horizontalia kryptimi, o stabdant sukuriama sukimo momentas. Tiksliausia važiuoklė gali būti suprojektuota nagrinėjant analogiškas konstrukcijas, su jų privalumais ir trūkumais. Norint kad neišdiltų, sujungimo šarnyrų plotas turi būti pakankamai didelis, bet geriausiai naudoti plačiai paplitusias automobilių važiuoklėse gumos – metalo įvoves.

2. Uodegos plokštumas

Didžiausios jėgos nuo uodegos plokštumų atsiranda skrendant skaičiuotinu manevrinio greičiu staiga iki galo atlenkiant aukštumos ir posūkio vairą. Sakysite, kad taip nebūna, bet kas žino...

Jėgas galima paskaičiuoti pagal klasikinę formulę:

Horizontalia kryptimi važiuoklę veikiančios jėgos dydis yra lygus 0,67 vertikalios jėgos

$$P = C_y \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \text{ [kg]}$$

$$C_y = 0,4$$

$$\rho = 0,125$$

V – greitis [m/s]

S – plotas [m²]

Pavyzdžiui, kai manevrinis greitis $V = 144 \text{ km/h}$, jėga tenkanti 1 m^2 uodegos plokštumos siekia 40 kg , padauginus iš atsargos koeficiento $1,5 - 60 \text{ kg}$.

3. Jėgos nuo variklio, ekipažo svorio

Apskaičiuojama svorį dauginant iš eksploatacinės perkrovos ir iš atsargos koeficiento $1,5$.

Nemanevriniam lėktuvui tai būtų:

$$P_e = G_e \cdot 4 \cdot 1,5 = 6 \cdot G_e; \quad (G_e - \text{ekipažo svoris})$$

4. Lėktuvui verčiantis per galvą (kapotuojant) imama $6G$, veikianti iš priekio išilgai lėktuvo (G – viso lėktuvo svoris).

Jėgų, tenkančių santvaros elementams skaičiavimas

Santvara – tai standi konstrukcija, sudaryta iš tiesių strypų (vamzdelių), kurie vienas su kitu sujungti tik galais ir tik šarnyriškai. Faktiškai vamzdeliai būna sujungti ne šarnyriškai o standžiai, paprastai suvirinti, tačiau laikoma, kad tai šarnyriniai sujungimai. Į suvirinimą atsižvelgsime vėliau ir įvertinsime tai įtvirtinimo koeficientu C .

Jei visi santvaros strypai yra vienoje plokštumoje, santvara vadinama plokščia. Strypų sujungimo vietos vadinamos **mazgais**. Visos išorinės apkrovos prie santvaros pridamos tik mazguose. Skaičiuojant santvarą, trinties mazguose ir strypų svorio nepaisoma, todėl kiekvieną santvaros strypą veiks tik dvi jo galuose pridėtos jėgos, kurios esant pusiausvyrai, gali veikti tik strypo ašies kryptimi, t.y. **santvaros strypai yra tik tempiami arba gniuždomi**. Nagrinėsime tiktai standžias plokščias santvaras, sudarytas iš trikampių, be atliekamų strypų. Tokiose santvarose strypų skaičius k ir mazgų skaičius n yra susieti tokia priklausomybe:

$$k = 2n - 3$$

Kai strypų mažiau, santvara nebus standi, kai daugiau – statiškai neišsprendžiama.

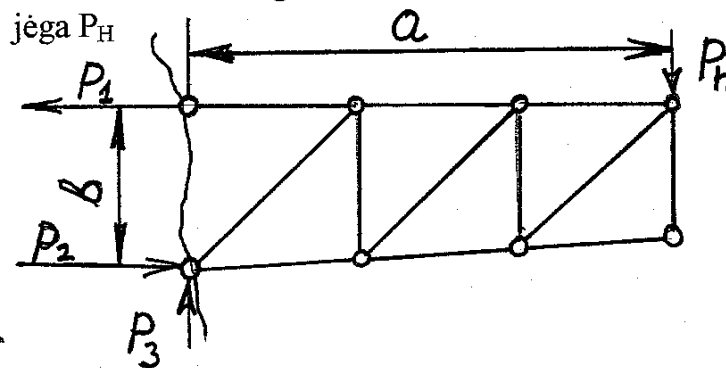
Konstrukcija turi būti paprasta ir įmanoma paskaičiuoti.

Tai būtina tobulos konstrukcijos sąlyga. Kartais esi pakviečiamas prie nelogiškos vamzdelių raizgalynės, prašant paskaičiuoti, tačiau čia paklęstų net geras, tobulai užprogramuotas kompiuteris. Reikia kuo daugiau padirbėti prie braižybos lentos, konstrukciją supaprastinant, po to perskaičiuoti ir tik tada gaminti. Jei to nesugebat – tiesiog kopijuokite žinomą lėktuvą. Neturint intuicijos ir nesugebant skaičiuoti, paprastai vamzdeliai iš akies storinami, tačiau konstrukcija lūžta tik vienoje, silpniausioje vietoje, todėl dažnai lengvutis, grakštus lėktuvas yra daug stipresnis už sunkų griozdą...

Sudėtingai projektuoti gali visi. Paprastumas – tobulybės požymis.

Atraminių reakcijų nustatymas

Imame uodeginės dalies vieną vertikalią plokščią santvarą, apkrautą



9 brėž.

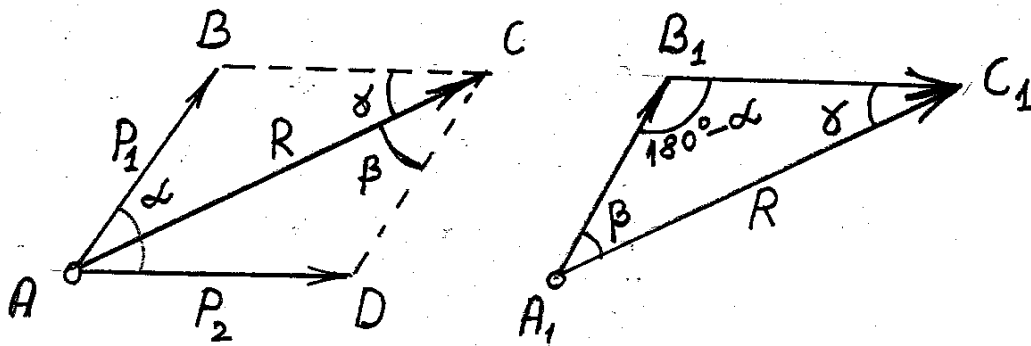
Santvarą laikome vienu kietu kūnu. Iš brėžinio matyti, kad atraminės reakcijos $P_1 = P_2$, tik veikia priešingomis kryptimis. Jėgos P_1 ir P_2 bus didesnės už jėgą P_H tiek kartų, kiek kartų atstumas a didesnis už b , t.y.

$$P_1 = P_2 = P_H \cdot \frac{a}{b};$$

Jėga $P_3 = P_H$; Ją galima vadinti skersine jėga.

Jėgų sudėtis ir skaidymas. Susikertančių jėgų atstojamoji

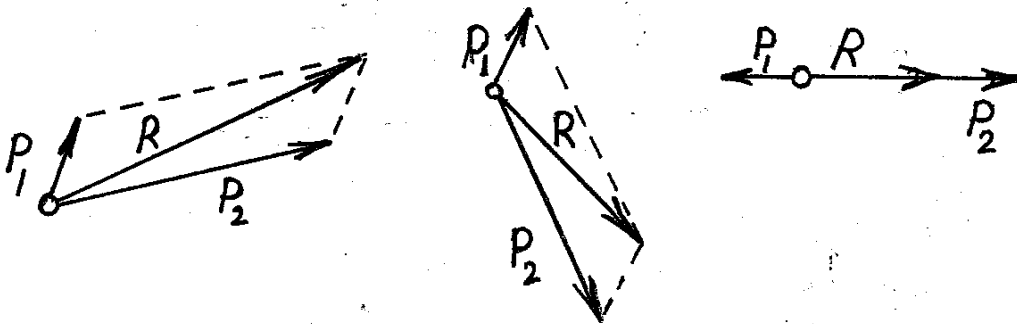
Dviejų jėgų P_1 ir P_2 geometrinė suma R randama arba pagal jėgų lygiagretainio taisyklę (10 brėž. a) arba nubraižius jėgų trikampį (10 brėž. b), t.y. vieną to lygiagretainio pusę.



10 brėž. a

b

Matome, kad grafiškai, tiesiai ant brėžinio (jėgos santvairoje veikia išilgai strypų) galima rasti jėgų P_1 ir P_2 atstojamąją R . Galima elgtis ir priešingai – jėgą R išskaidyti į P_1 ir P_2 . Bet kokių atveju braižomas lygiagretainis arba jėgų trikampis, jėgų dydis nustatomas ant brėžinio pamatavus vektorių ilgi. Pvz.



11 brėž.

Norint paskaičiuoti analitiškai (10 brėž.)

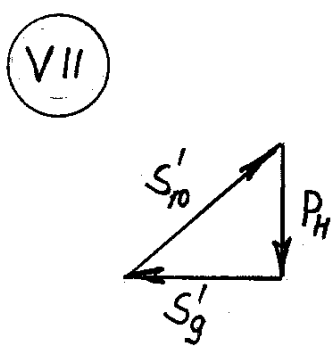
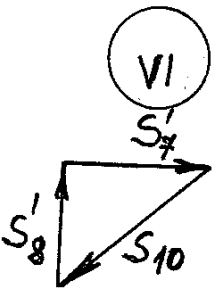
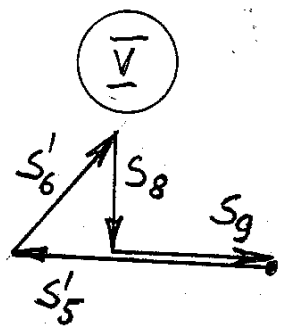
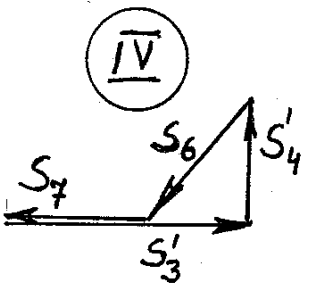
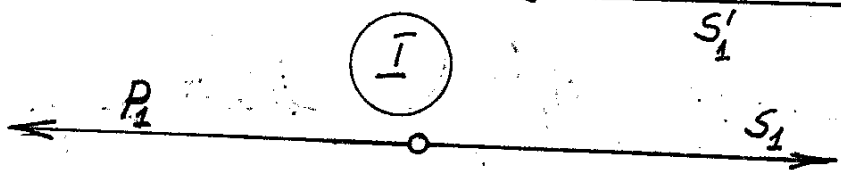
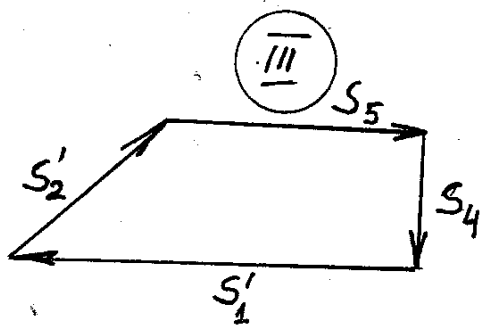
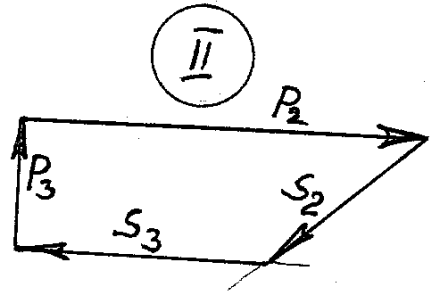
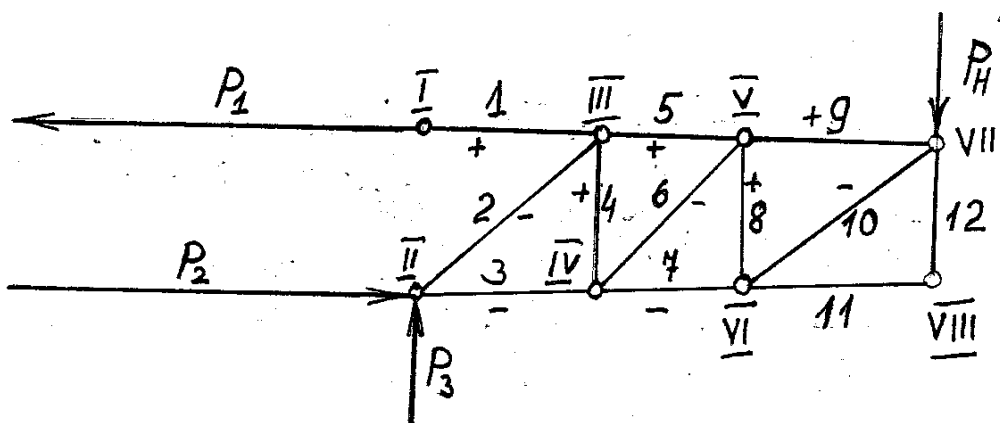
$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1 \cdot P_2 \cdot \cos \alpha};$$

Jei jėgų daugiau nei dvi, paeiliui sudedant po dvi galima rasti atstojamąją R .

Grafinis plokščių santvarų skaičiavimas

Yra keletas santvarų skaičiavimo būdų. Nagrinėsime paprasčiausią – grafinį mazgų išpjovimo metodą.

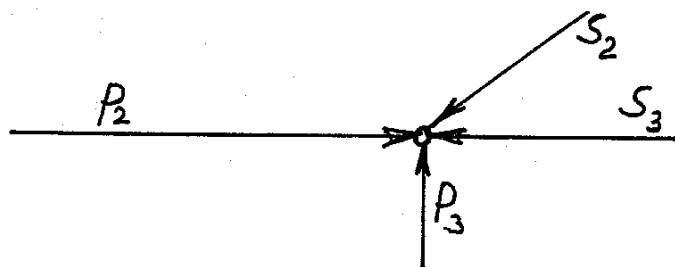
Pirmiausia randamos atraminės reakcijos (9 brėž.). Po to, – paeiliui iš santvaros išpjaunant kiekvieną mazgą ir sudarant atitinkamus uždarus jėgų daugiakampius, randamos strypų, sujungtų šiuose mazguose, išraiškos. Viskas braižoma pagal mastelį, kuris parenkamas iš anksto. Kuo didesnis popieriaus lapas, tuo tiksliau. Nekenks spalvoti pieštukai. Skaičiuoti pradedama nuo to mazgo į kurį nueina du strypai.



12 břez.

Santvaros mazgai ir strypai sunumeruojami (12 brėž.). Tempiami strypai pažymimi ženklu +, gniuždomi -. Mintinai perpjovus norimą strypą, žiūrima kas darysis su santvara, taip nustatant ar strypas tempiamas ar gniuždomas. **Braižant jėgų daugiakampį einama iš eilės prieš arba pagal laikrodžio rodyklę, laikant, kad tempiamuose strypuose jėgos veikia nuo mazgų, o gniuždomuose į mazgus.** Pradedame nuo žinomos jėgos. Strypų įrašų pradedame ieškoti nuo mazgo II, nes mazge turi būti ne daugiau kaip dvi nežinomos jėgos.

Mintinai nupjovę nuo strypų 2 ir 3 likusią santvaros dalį, ją pašaliname. Pašalintos dalies poveikį pakeičiame jėgomis S_2 ir S_3 , nukreiptomis strypų ašimis. Dėl vaizdumo, kol nėra pakankamai įgūdžių, persibraižome mazgą II:



13 brėž.

Kaip jau minėjau strypai 2 ir 3 gniuždomi, todėl jėgos S_2 ir S_3 eis į mazgą II. Iš visų susikertančių jėgų sudarome uždara daugiakampį, kuomet didesniu masteliu tuo bus tiksliau. Jei naudosim spalvotus pieštukus – mažiau šansų suklysti. Braižyti pradedame nuo žinomos jėgos P_3 , mazgą apeiname laikrodžio rodyklės kryptimi. (12 brėž.)

Mazgas I skaičiuojamas paprasčiau – norint išlaikyti sistemos pusiausvyrą, $P_1 = S_1$.

III mazge žinomos jėgos S_1 ir S_2 . Mazge jos bus priešingos krypties, nei I ir II mazge, todėl žymimos S_1' ir S_2' . Braižomas jėgų daugiakampis. Tokiu pat būdu nubraižomi visų mazgų jėgų daugiakampiai. VII mazge visos 3 jėgos (S_9' , S_{10}' ir P_H) yra žinomos, todėl daugiakampis braižomas tik patikrinimui. Jei nesigauna – ieškokite klaidos. VIII mazgo strypai 11 ir 12 visai neapkrauti, todėl nėra ką skaičiuoti.

Iš nubraižytų daugiakampių, žinodami mastelį, randame visų įrašų reikšmes.

Patikrinimui, norėdami surasti įrašą pvz. strypė 5, atstumą tarp III ir VII mazgų daliname iš atstumo tarp III ir IV mazgų ir dauginame iš jėgos P_H . Rezultatai turi sutapti.

Paanalizavę skaičiavimo rezultatus, matome, kad 4 ir 8 strypai apkraunami vienoda jėga P_H , t.y. skersine jėga, įrašos 2, 6 ir 10 įstrižainėje taip pat panašios, tačiau įrašos išilginiuose elementuose – lonžeronuose tolygiai auga, tolstant nuo jėgos P_H pridėties taško.

Santvaros strypų (vamzdelių) skerspjūvio parinkimas

Paprastai santvara būna suvirinta iš plieno 20, arba iš 30 XГCA. Skaičiuojant galima priimti, kad plienas 20 tempimui – gniuždymui laiko 50 kg/mm^2 . Dėl virintos siūlės atsparumas krenta $\sim 20\%$ todėl skaičiuotinas atsparumas $50 \cdot 0,8 = 40 \text{ kg/mm}^2$.

Plienas 30 XГCA – $70 \cdot 0,8 = 56 \text{ kg/mm}^2$. Taip atsparumas sumažėja, jei vamzdeliai suvirinti galais. Jeigu reikia, naudojant tik išilgines arba įstrižas siūles, įstatant ilgus sujungimo mazgus su dominuojančiom išilginėm virinimo siūlėm, atsparumo kritimo koeficientą galima priartinti vienetui.

Taip paprastai daroma visuose atsakinguose mazguose.

Santvarose grynai tempiamų arba gniuždomų vamzdelių pasitaiko nedaug. Kaitaliojantis apkrovoms, santvaros atsparumą apsprendžia vamzdelių atsparumas klupimui.

Paimkite smilgą ir pabandykite nutraukti, po to spausdami už galų gniuždykite. Pamatysite, kad pasipriešinimas gniuždymui prilygsta pasipriešinimui tempimui tik tada, kai smilga labai trumpa. Smilga klups ypač greitai, jei nebus tiesi arba iš šono bus veikiama kad ir nedidelės jėgos. Lenkimui smilga taip pat neatspari.

Vamzdelis elgsis taip pat. Atsparumas klupimui skaičiuojamas pagal Eulerio formulę

$$P_{\text{krit}} = C \frac{\pi^2 \cdot E}{l^2} \cdot J \text{ [kg]}$$

P_{krit} – kritinė jėga, prie kurios vamzdelis klumpa

C – įtvirtinimo koeficientas. Kai vamzdelio abu galai įtvirtinti šarnyriškai, $C = 1$, kai abu galai kietai įtvirtinti, $C = 4$. Aviacijoje, atsižvelgiant į liemens santvaros ypatybes, laikoma kad santvaros lonžeronams $C = 1,5$, įstrižainėms ir stovams $C = 2,5$.

$E = 2.100.000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ plienui

$E = 700.000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ duraliuminiui

Matome, kad duraliuminio standumo modulis 3 kartus mažesnis už plieno. Plienui, nepriklausomai nuo markės jis vienodas, todėl **santvarose mažo atsparumo plienas neblogesnis už labai atsparų**, žinoma, jei vamzdelis nedirba grynai tempimui – gniuždymui, o dominuoja klupdymas.

$$J = 0,05 (D^4 - d^4)$$

D ir d – išorinis ir vidinis vamzdelio skersmenys [cm]. J galima skaičiuoti, bet paprasčiau surasti žinynuose.

l – vamzdelio ilgis [cm]

Kad supaprastint skaičiavimus siūlau naudotis lentele, ir tik išskirtiniais atvejais skaičiuoti pagal formulę.

| Išorinis skersmuo ir sienelės storis (D ir δ) [mm] | Skerspjūvio plotas F [cm ²] | J [cm ⁴] | P _{krit} plienui, kai C = 1 [kg] | | 1 m svoris [kg] | | Tvirtumo jėga, kai $\sigma_b = 90 \text{ kg/mm}^2$ [kg] |
|--|---|----------------------|---|-------------|-----------------|--------------|---|
| | | | l = 33 [cm] | l = 50 [cm] | Plienas | Duraliuminis | |
| 6 × 1 | 0,1571 | 0,0051 | 102 | 42,5 | 0,1235 | 0,0448 | 628 |
| 8 × 1 | 0,2199 | 0,0137 | 274 | 114 | 0,173 | 0,0627 | 880 |
| 10 × 1 | 0,2827 | 0,029 | 580 | 242 | 0,222 | 0,081 | 1131 |
| 12 × 1 | 0,3456 | 0,0527 | 1.050 | 438 | 0,271 | 0,098 | 1382 |
| 14 × 1 | 0,4084 | 0,0868 | 1.730 | 722 | 0,321 | 0,116 | 1634 |
| 16 × 1 | 0,4712 | 0,1331 | 2.660 | 1.110 | 0,370 | 0,1343 | 1885 |
| 18 × 1 | 0,5341 | 0,1936 | 3.870 | 1.612 | 0,419 | 0,1522 | 2136 |
| 20 × 1 | 0,5969 | 0,2701 | 5.900 | 2.250 | 0,469 | 0,1701 | 2388 |
| 22 × 1 | 0,6597 | 0,3645 | 7.300 | 3.400 | 0,518 | 0,1880 | 2639 |
| 24 × 1 | 0,7226 | 0,4787 | 9.550 | 3.980 | 0,567 | 0,206 | 2890 |
| 28 × 1 | 0,8483 | 0,774 | 15.450 | 6.440 | 0,666 | 0,242 | 3393 |
| 40 × 1 | 1,225 | 2,331 | 46.500 | 19.400 | 0,961 | 0,349 | 4900 |
| 40 × 1,5 | 1,814 | 3,367 | 67.400 | 28.000 | 1,423 | 0,517 | 7256 |
| 40 × 2 | 2,388 | 4,327 | 86.400 | 36.000 | 1,874 | 0,681 | 9552 |

Brėžinyje pasirenkame įstrižainę, kurios ilgis, sakysim 48 cm, ji gniuždoma 1500 kg jėga. Įstrižainių C = 2,5, todėl $1500 : 2,5 = 600$ kg. Matome, kad su atsarga tinka 14 × 1 vamzdelis.

Imame išilginį vamzdelį – 64 cm ilgio lonžeroną, veikiamą taip pat 1500 kg jėga. Lonžerono C = 1,5, todėl $1500 : 1,5 = 1000$ kg. Vamzdelis beveik du kartus ilgesnis už duotą lentelėje 33 cm ilgį. Dėl formulėje esančio l², 2² = 4, jėga išaugs ne du, o keturis kartus, t.y. imame iš lentelės l = 33 cm ir jėgą ne mažiau 4000 kg. Matome, kad beveik tenkina 18 × 1 vamzdelis. Kadangi mūsų vamzdelis šiek tiek mažiau nei du kartus ilgesnis nei lentelėje duotas, drąsiai paliekame 18 × 1.

Paskaičiavę visą santvarą, pamatysite, kad vamzdeliai daug plonesni kaip tarybinių lėktuvų, bet panašūs į vakarietiškus.

Kadangi atlikti pilnų statinių bandymų visai santvarai realiai nėra galimybės, dėl apsidraudimo visus parinktus vamzdelius pastorinkit 2 mm – jūsų konstrukcija visvien išliks gražsti ir daug lengvesnė nei analogiškos tarybinės.

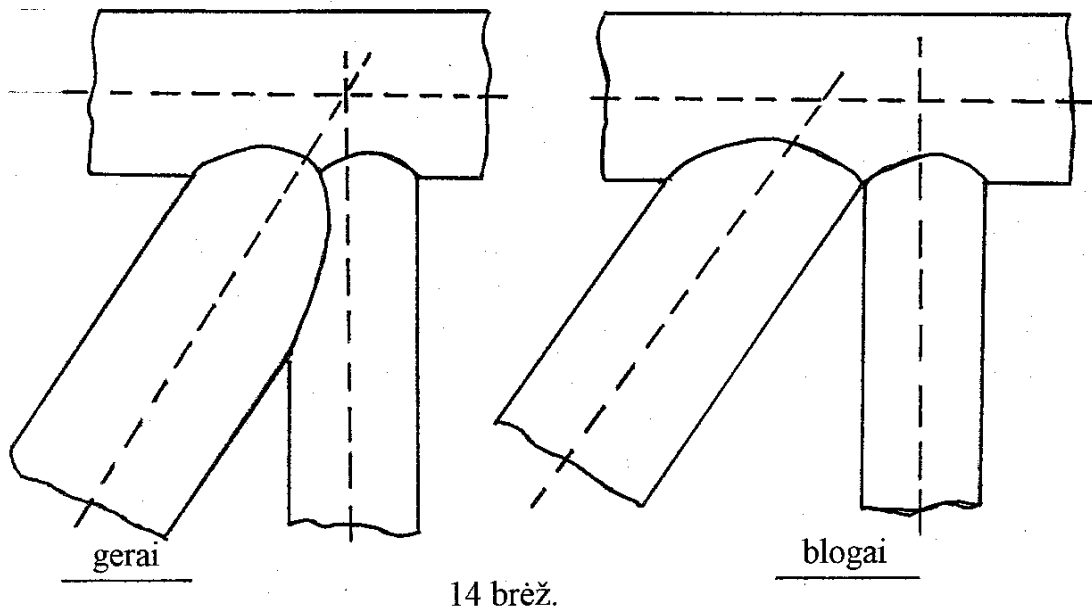
Visus klupdomus vamzdelius reikėtų patikrinti gniuždymui, ypač trumpus, nes trumpuose storuose vamzdeliuose atsparumą apsprendžia atsparumas gniuždymui.

Jei santvarą kokybiškai suvirinot, neklausykite pasakų, kad jai reikia daryti terminį apdirbimą, nekaitinkite mazgų litavimo lempa. Terminis apdirbimas daromas tik mažiems, ypač apkrautiems elementams, pvz. važiuoklei, variklio rėmui, žinoma ne su litavimo lempa, o spec. krosnyse, kur įmanoma išlaikyti tikslų temperatūrinį režimą.

Santvarą iš karto nevirinkite, o tik susagstykite. Plyšiai turėtų būti iki 1 mm. Gerai, jei išgręšite ~ 6 mm kiaurymes, kad vamzdeliai susisiektų – tuomet po virinimo tikrindami bendrą hermetiškumą rasite daug broko, be to pageidautina, nors nebūtina į vidų įpilti sėmenų aliejaus, leisti sudrėkti visoms sienelėms ir likutį išpylus užvirinti įpylimo kiaurymę.

Nepamirškite, kad virinant santvarą, **trikampius turi sudaryti vamzdelių neutralios ašys.**

Į mazgą gali sueiti, kad ir 10 vamzdelių, jų **visų neutralios ašys turi kirstis viename taške.** To nepaisant atsiradę parazitiniai momentai gali sulaužyti puikią santvarą. **Ypač būkite dėmesingi ten, kur veikia didelės jėgos** – važiuoklės, spyrių, variklio pajungimo mazguose. (14 brėž.)



Stenkitės, kad santvarą sudarytų lygiakraščiai arba jiems artimi trikampiai ir tik išimtiniais konstruktyviniais sumetimais naudokite smailes trikampus – taip išlošite svorio.

Jei virinate pusautomatiu angliarūgštės aplinkoje, srovę parinkit tokią, kad vamzdelio vidinėje pusėje atsirastų nedideli iškilimai (iki 0,5 mm), retkarčiais leiskite sau pradeginti sienelę – tai žymiai geriau nei naudoti per mažą srovę, kai siūlė ne suvirinama, o tik aplipdoma metalu. Vizualiai tokią siūlę sunku atskirti nuo geros. Labai taupykite vielą,

nestorinkit siūlės – ji ir taip per stora. Storos siūlės mažina atsparumą nuovargiui, didina svorį.

Projektuojant santvarą, dažnai sunku įsivaizduoti jos darbą. Nepatingėkite iš 2 mm vielos 1 : 10 masteliu susivirinti maketą. Tai užims pusę dienos, bet duos labai daug informacijos.

Bet kokios jėgos, veikiančios ne į santvaros mazgus, o į vamzdelio šonus žymiai sumažina atsparumą, vamzdelis daug greičiau klumpa – prisiminkit bandymą su smilga. Gali stipriai pakenkti net tiesiai ant vamzdelių aptempta drobė.

Projektuodami mazgus naudokite papildomą koeficientą 1,5 – 2.

Šarnyrinius sujungimus darykite didelio ploto, patikimus, tuomet paskraidžius 50 val nereikės galvoti apie kapitalinį remontą...

Valdymo sistemos svirčių pečiai – ne mažiau 10 cm, eigos didelės – tai įgalins išvengti laisvumų sistemoje.

Pagaminę santvarą, nerimą keliančias, atsakingas vietas sutvirtinkite skardos trikampaiais.

Propelerio projektavimas

Propelerio mentė – tai sparnas, besisukantis apie išilginę propelerio movos ašį. Bendra menčių keliamoji jėga yra propelerio traukos jėga. Atsiradusiai pasipriešinimo jėgai nugalėti naudojamās variklio galingumas. Galingesnis variklis nugalė didesnę pasipriešinimo jėgą ir sukuria didesnę trauką. Didinant propelerio diametrą, didėja traukos jėga, tačiau didinti be galo negalima dėl konstruktyvinių sumetimų – reiks labai aukštos važiuoklės. Kita svarbi priežastis – menčių galų greitis neturi viršyti 330 m/s metaliniam ir 290 m/s mediniam propeleriui. Norint gauti gerą naudingo veikimo koeficientą ir netriukšmingą propelerį reikėtų galų greičius sumažinti atitinkamai iki 240 m/s ir 200 m/s. Menčių galų greitis mažinamas redukuojant variklio apsukas. Beveik idealus redukcijos pavyzdys – sraigtasparnio mentės. Būdamos milžiniško diametro, pakelia visą skraidymo aparatą su kroviniu. Nešantysis sraigtas sukasi lėtai, variklis – greitai.

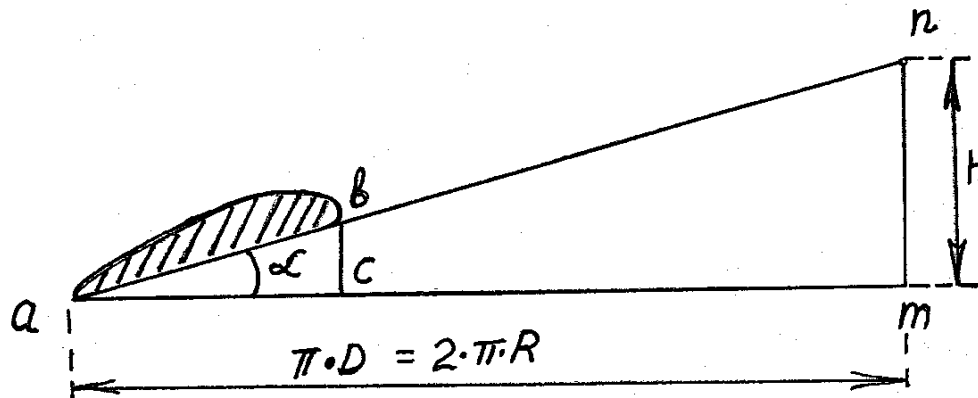
Reikėtų žinoti, kad redukuoti verta tik tokius variklius, kurių didžiausio galingumo apsisukimai yra daugiau 5500 aps/min (varikliai “Rotax”, “Buran”, “Vichr”, “Subaru” ir t.t.)

Jei didžiausio galingumo apsisukimai yra mažiau 4500 aps/min (“Trabant”, “Wolkswagen”, “Iž – Planeta” ir kiti ilgaeigiai varikliai), daugeliu atvejų reduktorius traukos jėgą padidins nežymiai. Šiuo atveju racionaliausia pagaminti propelerį, su kuriuo didžiausi apsisukimai būtų 3200 – 3500 aps/min. Nežiūrint, kad variklis turės truputį daugiau kaip

pusę didžiausio galingumo, trauka bus tik 5 – 10 % mažesnė nei naudojant reduktorių. Jūs išlošiate, nes:

- nereikia sudėtingo ir sunkaus reduktoriaus
- mažesnis propelerio diametras
- mažiau dyla variklis, mažiau sunaudojama kuro, mažiau triukšmo
- didėjant greičiui, traukos jėga mažės lėčiau, nei redukuoto propelerio.

Propelerio žingsnis H – tai atstumas kurį propeleris nueina lėktuvo skridimo kryptimi, per vieną apsisukimą. Jei paimsime bet kokį mentės pjūvį:



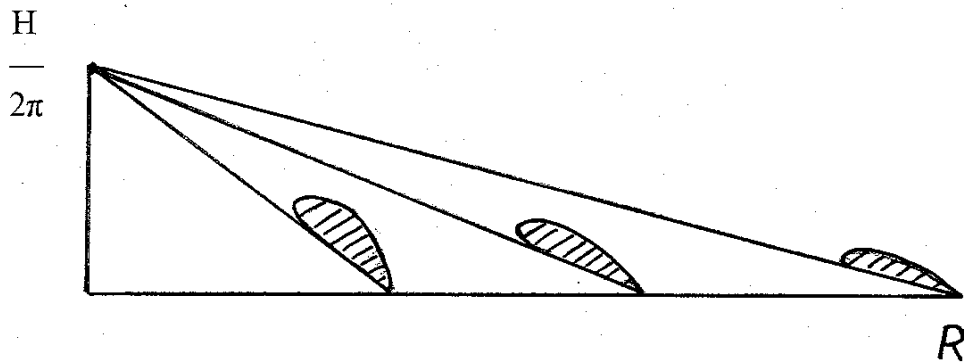
15 brėž.

$$\frac{b \cdot c}{a \cdot c} = \operatorname{tg} \alpha$$

Apskritimo ilgis, kurį padaro mentės pjūvis per vieną apsisukimą yra $2\pi \cdot R$. Žingsnis

$$H = 2\pi \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Psinaudoję santykiu $H / 2\pi = \operatorname{tg} \alpha$, galime grafiškai atvaizduoti mentės pjūvių kampus įvairiame atstume nuo ašies :



16 brėž.

Prieš projektuojant propelerį reikia žinoti:

- didžiausią horizontalų skraidymo aparato greitį,
- didžiausius leistinus variklio ir propelerio apsisukimus,
- propelerio diametrą,
- variklio galingumą prie didžiausių leistinių apsisukimų.

Taip suprojektavus propelerį, lėktuvas patenkinamai įsibėgės ir ims aukštį, labai gerai skris kreiseriniu ir didžiausiu greičiu.

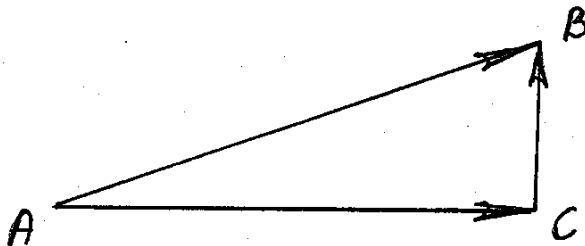
Propelerio diametras D parenkamas pagal didžiausią leistiną menčių galų greitį V_g arba pagal analogus.

$$V_g = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad [\text{m/s}]$$

D – diametras [m]

N – propelerio apsisukimai per minutę [aps/min]

Toks galų greitis bus tik propeleriui dirbant vietoje. Didėjant lėktuvo skridimo greičiui, didėtų ir menčių galų greitis, nors apsisukimai nesikeistų. Tai atsitinka todėl, kad geometriškai sumuojasi apskritiminio mentės greičio vektorius ir lėktuvo greičio vektorius. Jų atstojamoji didės proporcingai lėktuvo greičio didėjimui.



17 brėž.

AC – mentės galo apskritiminis greitis lėktuvui stovint vietoje

CB – lėktuvo greitis

AB – mentės galo greitis, lėktuvui skrendant greičiu CB

$$D = \frac{60 \cdot V_g}{\pi \cdot n} \text{ [m]}$$

Pvz. variklis M332

$$n = 2700 \text{ [aps/min]}$$

$$V_g = 255 \text{ m/s}$$

$$D = \frac{60 \cdot V_g}{\pi \cdot n} = \frac{60 \cdot 255}{3,14 \cdot 2700} = 1,8 \text{ [m]}$$

Teisingai panaudojant variklio galingumą, apsisukimai iki projektinių priderinami **keičiant mentės plotį**, kraštutiniu atveju – **mažinant arba didinant diametą**, bet jokių būdu ne žingsnį. Didžiausi propelerio apsisukimai stovint vietoje visada mažesni nei skrendant. Tiksli grafinė žingsnio radimo metodika bus išdėstyta vėliau. Dėl geros metodikos nebuvimo rekomenduoju mentės plotį nustatyti pagal analogus. Geriau mentę daryti truputį per plačią nei per siaurą. Jei apsisukimai žymiai mažesni už projektinius, skrendant užsiduotu didžiausiu horizontaliu greičiu, mentės siaurinamos, iš naujo profiliuojamos ir balansuojamos. Apsisukimai per maži gali būti ir dėl to, kad variklis neišvysto projektinio galingumo. Net mokslininkų kolektyvai kurdami **labai gerą** propelerį naudoja bandymų – klaidų metodą, nes per daug netiksliai žinomų parametrų. Jeigu Jums užtenka tik **gero** propelerio, naudokitės šia metodika. Jei būsite atidūs, propeleris turėtų pavykti iš pirmo karto.

Kai variklis labai galingas ir propelerio diametro didinti negalima, mentės pasidaro labai plačios, panašios į mažo proilgio sparnus, didėja jų induktyvinis pasipriešinimas, krenta n.v.k. Šiuo atveju menčių skaičius didinamas iki 3, 4, 5 ... Plačių menčių pavyzdys – lėktuvų “JAK – 52”, “Vilga” propeleriai. Uždėjus trimenčius propelerius, lėktuvai žymiai geriau skrenda. Naudojant mažo galingumo variklius, trimentį propelerį daryti nėra prasmės, nes mentės ir taip siauros. Menčių skaičių didinti galima jei variklis labai redukuotas (pvz. “Rotax”), tačiau šiuo atveju, jei tik leidžia lėktuvo konstrukcija, geriau daryti didesnio diametro dvimentį propelerį.

Geometrinis propelerio projektavimo metodas

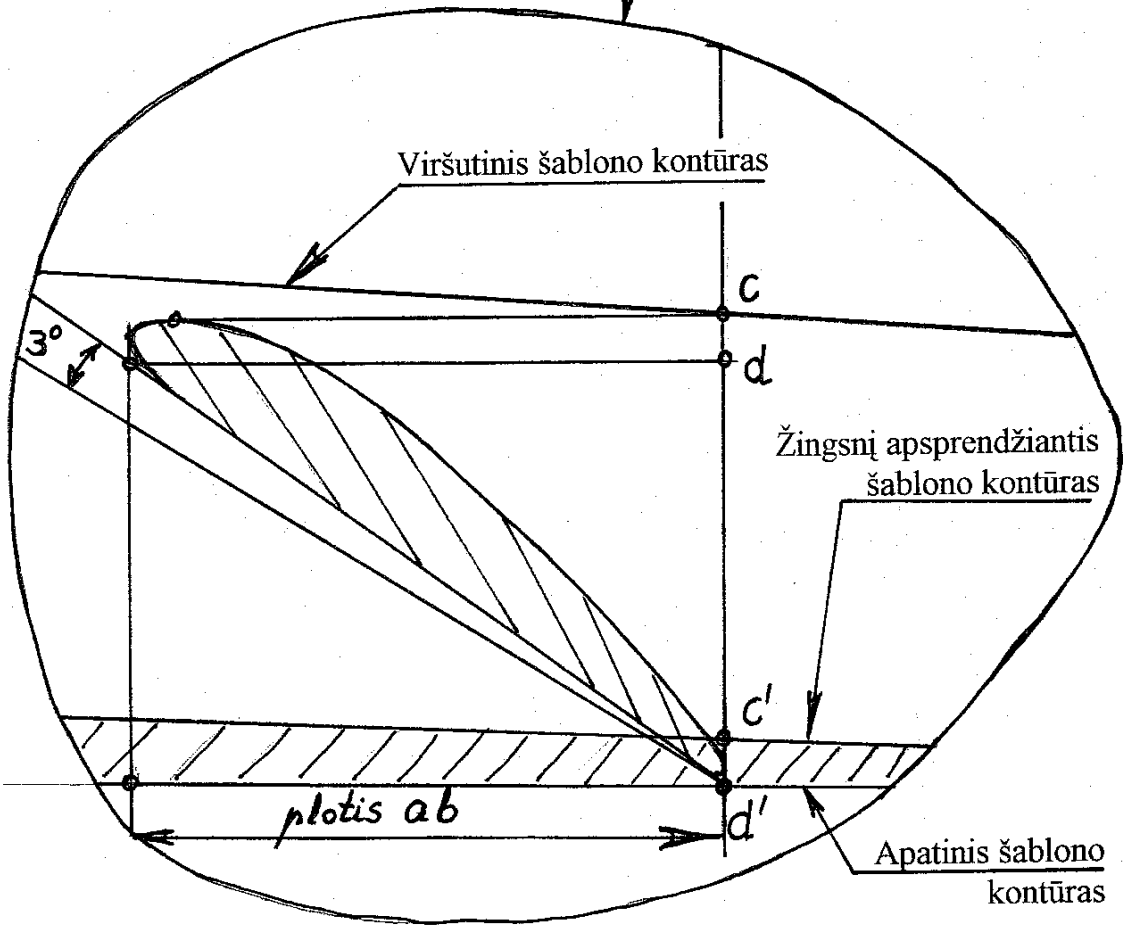
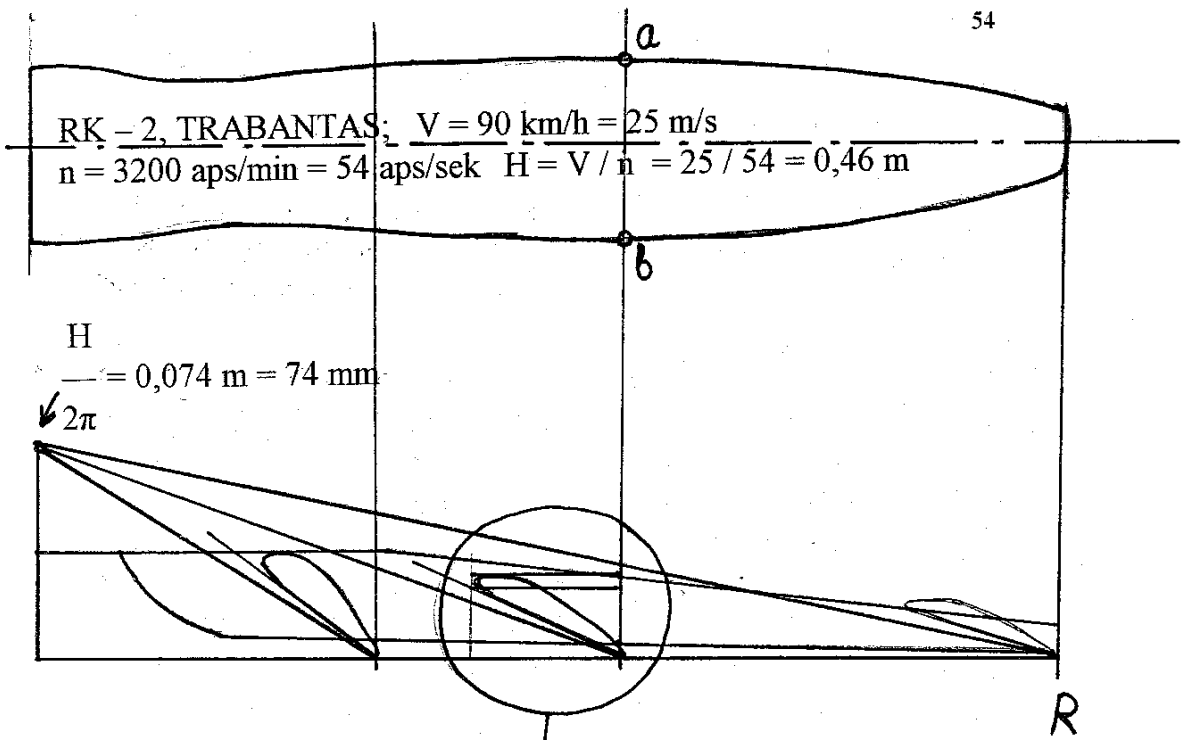
Projektuojant šiuo metodu neįmanoma apsirikti parenkant žingsnį. Nežymiai suklysti galima parenkant mentės plotį ir diametrą, bet šie dalykai nesunkiai pataisomi per skraidyminius bandymus.

Daugiausia traukos duoda mentės paskutinis trečdalis, ypač pats galas, todėl šią vietą reikėtų suprojektuoti ir pagaminti ypač tiksliai. Stebulė ir pirmas trečdalis traukos visai neduoda, todėl reikėtų daugiau rūpintis šios vietos atsparumu, o ne aerodinaminėmis savybėmis. Kadangi mentės galo greitis artimas garso greičiui, kai kada apsimoka galui suteikti strėlišumą – propeleris turės rišto kardo formą. Mentės galui dėl didelio jos greičio reikia naudoti kuo plonesnį profilį. Mediniam propeleriui technologiniais sumetimais naudojamas 6 – 8 % profilis, metaliniam daug plonesnis. Tai leidžia su metaliniu propeleriu gauti geresnę trauką ir n.v.k.

Projektuoti pradama nuo propelerio mentės natūralaus dydžio šablono nubraižymo. Stebulė braižoma kaip tvirtinimo flanšas arba 1 – 2 cm didesnė. Pagrindinis parametras – mentės plotis ties 0,75 R. Pageidautina, kad mentė į galą siaurėtų. Visą kitą – meninių sugebėjimų reikalas, svarbu, kad gaminys nors šiek tiek būtų panašus į propelerį...

Ant šio šablono surašomi pagrindiniai duomenys: variklio ir lėktuvo tipas, didžiausi propelerio apsisukimai ir didžiausias horizontalus greitis, propelerio žingsnis, padalintas iš 2π . Apačioje braižomas kitas šablonas – mentės vaizdas iš šono. Vienoje ašyje atidedamas mentės ilgis, kitoje žingsnis, padalintas iš 2π . Iš taško $H / 2\pi$ vedamos tiesės į mentės galą ir į 4 – 5 taškus, artėjant prie stebulės. Linijos jungiančios šiuos taškus yra propelerio žingsnis, įvairiuose skerspjūviuose.

Propelerio mentei paprastai naudojamas profilis Clark – Y. Jo optimalus atakos kampas $\sim 3^\circ$, todėl nuo gautų linijų susikirtimo su horizontalia ašimi braižomi papildomi 3° kampai. Kadangi mentės galas labai apkrautas, gale pridedama tik $1,5^\circ$, sekančiam skerspjūvyje link stebulės 2° , toliau po 3° .



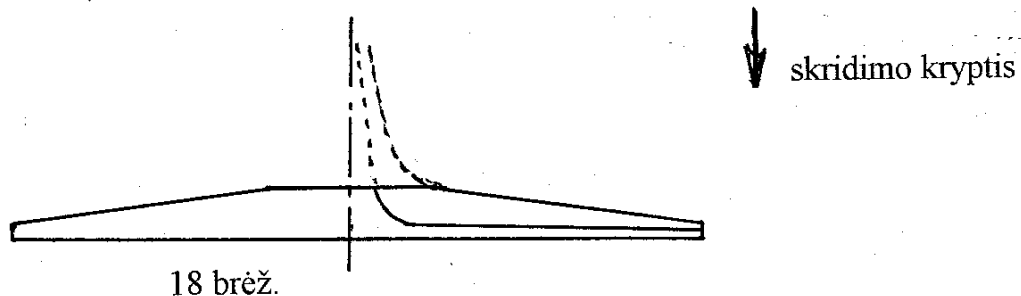
17 brėž.

Mentės procentinis storis plongalyje, kaip minėjau, 6-8 %, per vidurį ~ 14 %, prie stebulės 20 % ir daugiau. Ant apatinio šablono atidedamas ruošinio plotis ab duotajame skerspjūvyje (17 brėž.), braižomas atitinkamo procentinio storio profilis Clark – Y.

Į dešinę brėžiant horizontalią liestinę profilio noselei, susikirtime su linija, žyminčia pjūvį ab, gausime viršutinio šablono kontūro tašką C.

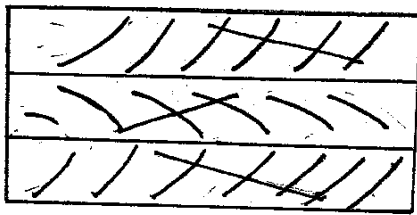
Profilio noselės vertikalios liestinės susikirtimo su mentės apatinės plokštumos liestine tašką pernešame horizontaliai į dešinę iki susikirtimo su linija, žyminčia pjūvį ab, gaunamas taškas d. Atstumą cd pernešame iki apatinio šablono kontūro. Gauname tašką c', kuris yra žingsnyje apsprendžiančio šablono kontūro vienas iš taškų.

Šiuos taškus surandame visuose užsiduotuose 4 – 5 skerspjūviuose ir sujungę tiesėmis, gauname mentės šoninius šablonus. Jei taškai labai išsibarstę ir juos sunku sujungti tiesėmis, koreguojami profilių procentiniai storiai, mentės vaizdo iš priekio šablono pločiai. Brėžiant taškus jungiančią liniją reikia pasiekti, kad ji kuo tiksliau praeitų per mentės plongalio taškus, storgalyje galimi ir dideli netikslumai. Mentės storgalyje šablono viršutinis ir žingsnį apsprendžiantys kontūrai parabolė nueitų į begalybę, todėl užsidavus didžiausią stebulės ir centrinės dalies storį, kontūrai brėžiami iki susikirtimo su storį apsprendžiančia linija

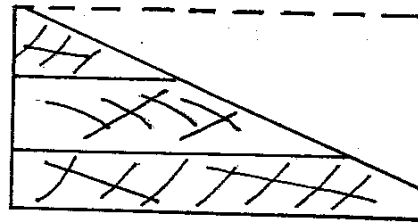


Propelerio gamyba

Gaminama iš 10 - 15 mm storio kokybiško beržo, uosio, klevo, raudonmedžio ar pušies sausų lentelių. Lentelės klijuojamos vandeniui atspariais sintetiniais klėjais, būtinai suspaudžiant presu ar veržtuvais. Suklijuotą ruošinį nulyginus ant obliavimo staklių, brėžiama centrinė linija ir braižomas šablonas, - vaizdas iš priekio. Pagal šabloną apipjaustoma juostiniu begaliniu pjūkle. Ant ruošinio šono užpiešiami vaizdo iš šono ir žingsnį apsprendžiantys kontūrai. Nesumaišykite sukimosi krypties – kitaip lėktuvas bandys važiuoti atbulas! Propeleris apdirbamas pagal vaizdo iš šono ir žingsnio šabloną. (20 brėž.)

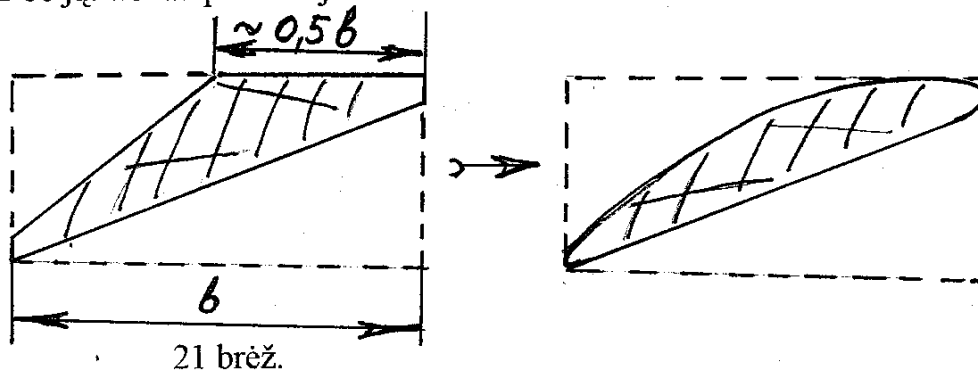


19 brėž. lentelių klijavimo tvarka



20 brėž.

Mediena nuimama darant skersines įpjovas ir iškapojant kirviu ar kaltu. Po to apdirbama obliumi, stambia dilde, galiausiai stiklo šuke. Švitrinis popierius nelabai tinka – baigus darbą lieka gadinantys vaizdą įbrėžimai. Dėl kontrolės reikėtų ant lygios plokštumos išsistatyti atskirai pagamintus įvairių skerspjūvių šablonus, bet atidžiai dirbant galima apseiti ir be jų. Toliau profiliuojamas mentės viršus tokia tvarka:



21 brėž.

Profilio uodegėlė paliekama sustorinta, kitaip nuskils. Baigus mentes, propeleris statiškai balansuojamas, geriausiai kartu su variklio flanšu. Balansuojama nuimant medienos perteklių. Jei nepadeda – įtvirtinama švininė kniedė. Nerūdijančio plieno 0,5 ÷ 0,8 mm storio skarda apkaustomos menčių noselės. Jei propeleris pušinis, prieš tai apklijuojamas dviem 0,3 mm storio stiklo audinio sluoksniais, apkausčius glaistomas, dažomas ir galutinai patikrinamas balansavimas. Jei stiklo audiniu nekljuojama, reikia tris kartus nulakuoti geru parketiniu laku, galutinai balansuoti.

Propelerį pritvirtinus prie variklio, būtina įsitikinti, kad abu menčių galai dirba vienoje plokštumoje. Galų kampai (žingsniai) turi būti visiškai vienodi. Jei reikia, reguliuojama tarp propelerio ir variklio flanšo pakišant iš klijuotės pagamintus reguliavimo tarpikius. Vėliau jie priklijuojami prie propelerio

Gumos amortizatoriai

Tai paprasti, patikimi, lengvi amortizatoriai, ypač rekomenduojami lengviems lėktuvams.

Plokšteliniai (gniuždomi) amortizatoriai

Surenkami iš guminių 20 – 30 mm storio ir 80 – 100 mm skersmens skritulių. Skrituliai gaminami iš elastingos, kokybiškos gumos vienas nuo kito atskiriami 0,8 mm duraliuminio skardos tarpikliais.

Amortizatoriai pradeda irti esant 50 % - 60 % deformacijai.

Reikalingas amortizatoriaus skritulio skerspjuvio plotas F

$$F = \frac{Q_{st}}{\sigma_{st}} \text{ [cm}^2\text{]}$$

Q_{st} [kg] – jėga tenkanti vienam važiuoklės amortizatoriui, lėktuvui stovint vietoje.

$$\sigma_{st} = 12 \div 18 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Kad deformacija neviršytų 45 – 50 %, imamas leistinas didžiausias gniuždymo įtempimas 80 ÷ 120 kg/cm² aptakioms ir 100 ÷ 150 kg/cm² apvalioms plokštelėms.

Gumos pynių (tempiami) amortizatoriai

Pynių leistinas įtempimas 60 ÷ 70 [kg/cm²], leistina deformacija iki 100 %, bet daugiau 80 % nerekomenduojama. Lėktuvui stovint vietoje, įtempimas turi būti 12 – 18 [kg/cm²]. Išankstinis įtempimas 5 – 10 % laisvo ilgio.

| Pynės skersmuo [mm ²] | Didžiausias leistinas įtempimas [kg] |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 8 | 15 – 25 |
| 10 | 27 – 40 |
| 13 | 55 – 80 |
| 16 | 85 – 120 |
| 18 | 140 - 180 |

Naudota literatūra:

1. A. Gustaitis. Aviacijos teorijos konspektas. LAK 1935 m. Kaunas.
2. S. Targas. Trumpas teorinės mechanikos kursas "Mintis" Vilnius 1970.
3. С. Н. Кан. Прочность самолёта. Москва, 1955. изд. оборонной промышленности.
4. Б. К. Ландишев. Расчёт и конструирование планера. Москва, 1939. изд. оборонной промышленности.

