

# **LENGVŲ LÉKTUVŲ 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

**V<sub>AS</sub>** - vidutinė aerodinaminė styga (vidutinis plotis)

$\alpha$  - sparno atakos kampus

$V$  - greitis [m/s]

$C_y$  - keliamosios jėgos koeficientas

$C_x$  - pasipriešinimo koeficientas

$Y$  - keliamoji jėga [kg]

$X$  - aerodinaminio pasipriešinimo jėga [kg]

$\lambda$  - proilgis (sparno ilgio ir pločio santykis)

$G$  - skridimo svoris [kg]

$P$  - trauka [kg]

$\rho$  - santykinis oro tankis = oro tankis / 9,8

$q$  - oro srautas arba perkrovos koeficientas

$K$  - aerodinaminė kokybė

$S$  - sparnų plotas [ $m^2$ ]

$A_{HP}$  - horizontali plokštuma

$A_{VP}$  - vertikali plokštuma

$A_{HP}$  - HP koeficientas

$A_{VP}$  - VP koeficientas

$g$  - apkrova bėginiams ilgio metrui [kg/m]

$\sigma$  - atsparumas tempimui arba gniuždymui [ $kg/mm^2$ ]; [ $kg\cdot cm^2$ ]

$\tau$  - atsparumas kirpimui (nupjovimui)

$M_{lenk}$  - lenkimo momentas [kg·m]

$M_{suk}$  - sukimo momentas [kg·m]

$I$  - inercijos momentas [ $Cm^4$ ]

## 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:

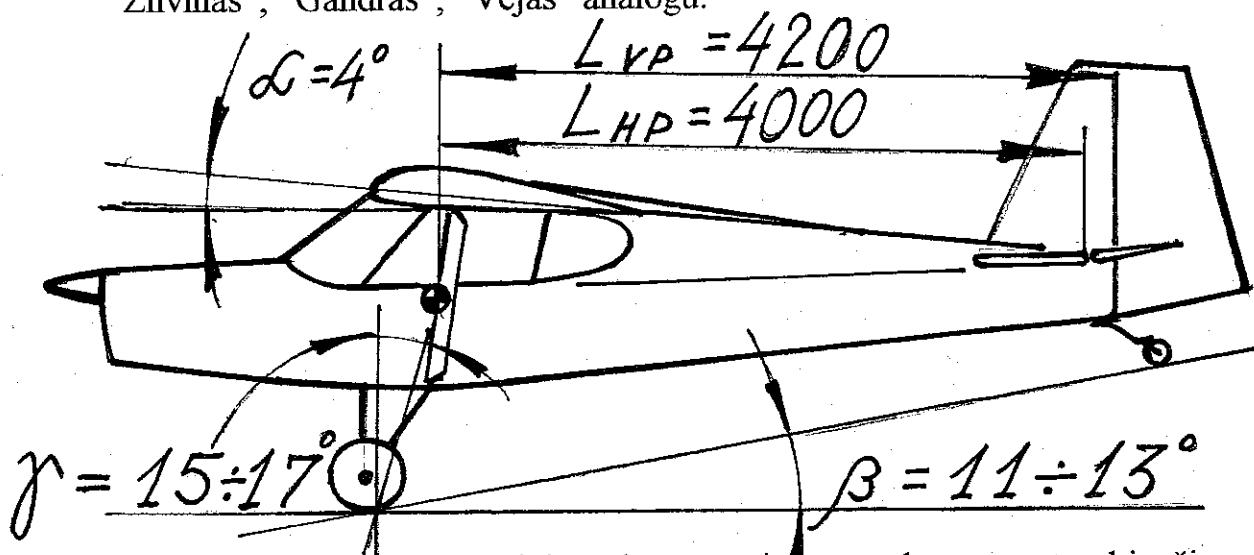
- vietų skaičius, komponuotė ir važiuoklės schema.
- skridimo svoris.
- $V_{\min}$ ,  $V_{\text{kreiserinis}}$ ,  $V_{\max}$ ,  $V_{\text{kilimo}}$ , prabėgimas kylant ir tupiant.
- medžiagų kainos, statytojo finansinės galimybės, turimos darbo sąlygos, darbo imlumas.

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

Paruošus eskizinių projektų galima pereiti prie aerodinaminio skaičiavimų, kurių rezultatai greičiausiai daugiau ar mažiau pakeis eskizinių projektų, o gal ir privers projektuoti iš naujo.

## 2. Aerodinaminis skaičiavimas

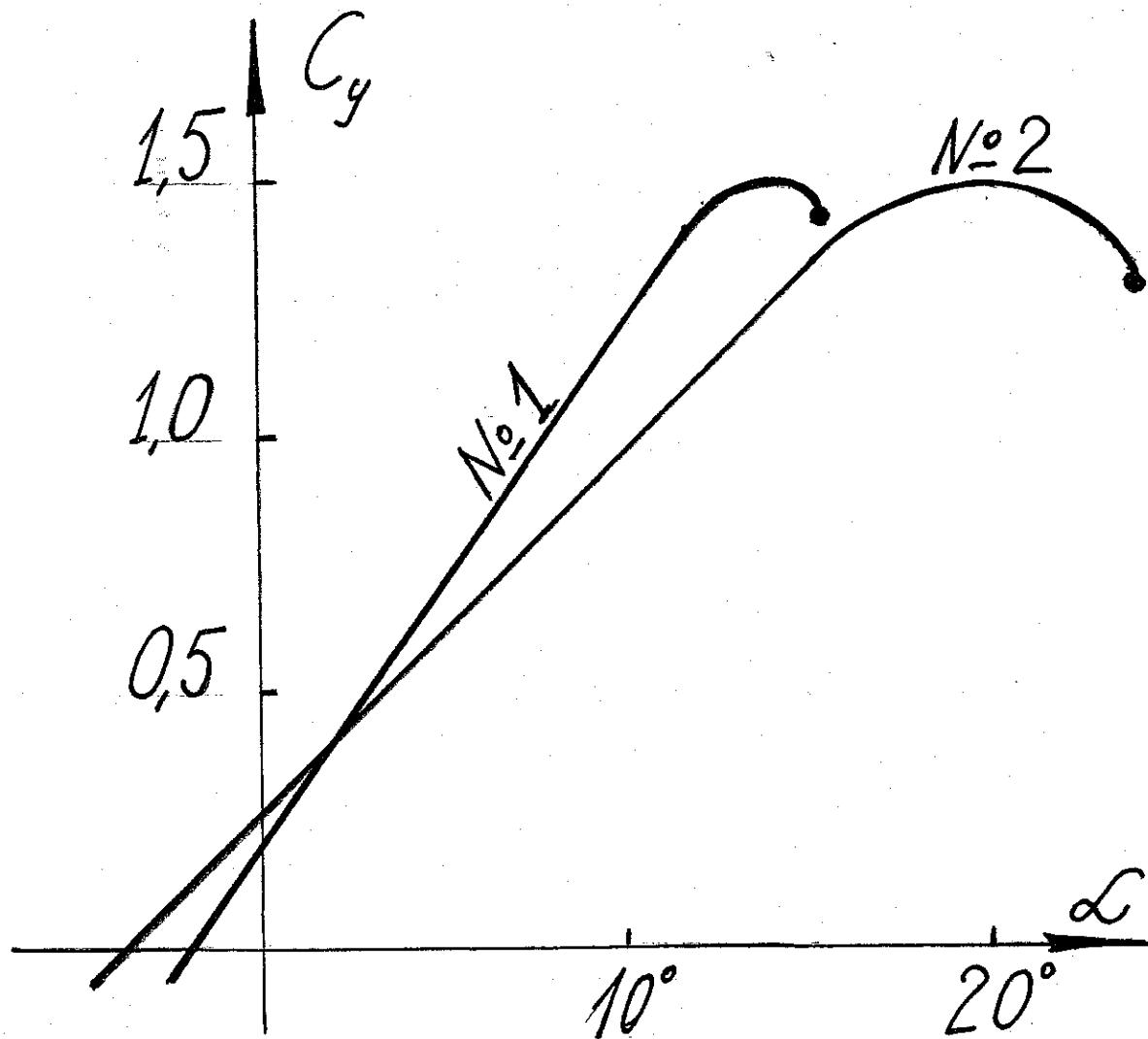
Nagrinėjant šį ir kitus apskaičiavimus remsimės išgalvoto lėktuvu kurį galima laikyti pastaruoju metu Lietuvoje pastatyti tokį lėktuvą kaip "Žilvinas", "Gandras", "Vėjas" analogu.



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

m, plotas  $15 \text{ m}^2$ , 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 koeficiente  $C_y$  ir pasipriešinimo koeficiente  $C_x$  priklausomybė nuo atakos kampo  $\alpha$  o taip pat profilio kontūro koordinacijų lentelės randami profilių žinynuose.  $C_y$  ir  $C_x$  priklausomybė nuo  $\alpha$  dažnai pateikiama ir grafikų pavidalu. Ypač daug informacijos duoda taip vadinama profilio polarė arba  $C_y$  priklausomybės nuo  $\alpha$  grafikas.



Kreivė № 1 rodo profilio, kuris savo  $C_y \max$  pasiekia esant nedideliems atakoš kampams  $\alpha$  charakteristiką. Pasiekus  $C_y \max$  ir toliau nežymiai padidėjus  $\alpha$  (léktuvo 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

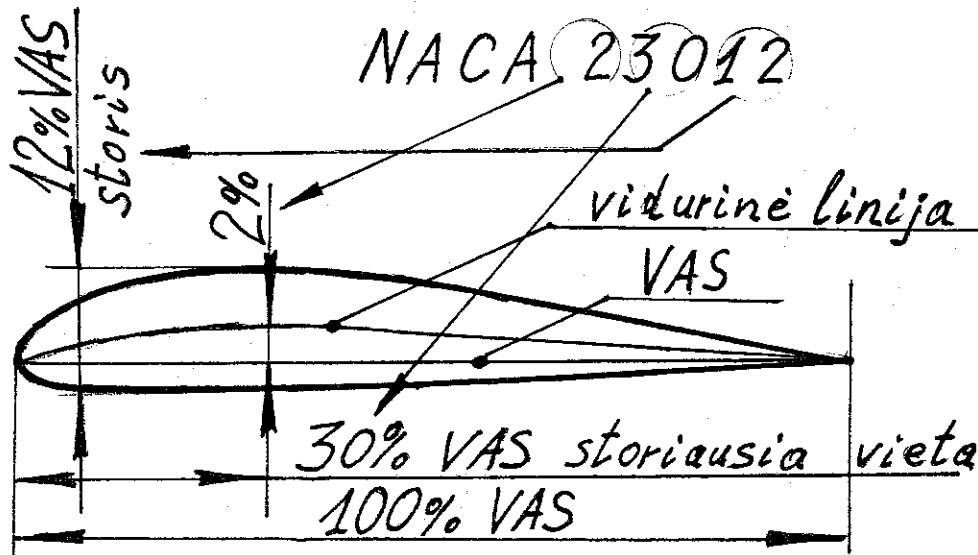
atitrūkimas nuo sparno paviršiaus reiškia suktuko pradžią, o taip pat tai įvyksta kiekvieno tupdymo metu. Kreivė № 1 būdinga laminariniams arba ploniems smailianosiams profiliams, tačiau šiu profilių pasipriešinimo koeficientas  $C_x$  gali būti mažesnis negu kitų.

Kreivė № 2 charakteringa profiliui, kuris  $C_{y \max}$  pasiekia esant daug didesniems atakos kampams  $\alpha \approx 20^\circ$  o toliau didinant  $\alpha$  (traukiant vairolazdę)  $C_y$  dar ilgokai tolygiai mažėja kol galiausiai oro srautas nutrūksta. Galima sakyti, kad šiuo atveju oro srauto trūkimas nestraigus, o tai reiškia žymiai mažesnį pavoju netikėtai nuvirsti į suktuką. Kreivė № 2 charakteringa nelaminariniams (paprastiems) profiliams su gana buka nosele. Panašią polarę turi profiliai R-II; R-III; NACA 43012; 23012; 23015; Clark Y. Šiu profilių pasipriešinimo koeficientas  $C_x$  žinoma yra didesnis negu laminarinių, tačiau užtat lėktuvai su tokiu profiliu sparnais yra saugesni suktuko požiūriu. Be to šie paprasti profiliai gamybos eigoje nereikalauja didelio tikslumo ko negalima pasakyti apie laminarinius profilius. Ypač neįpratus 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 profilinis o induktyvinis pasipriešinimas kuris dažnai neįvertinamas ir kuris priklauso nuo  $C_y^2$  ir sparno prailgėjimo.

**Išvada:** profilio parinkimas turi nedaug įtakos  $V_{\text{kreis}}$  ir  $V_{\max}$  todėl tikslinga pasirinkti profili leidžiantį pasiekti mažesnį  $V_{\min}$  ir leidžiantį pagaminti saugesnį lėktuvą.

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

Amerikietiškų profilių šifravimas:

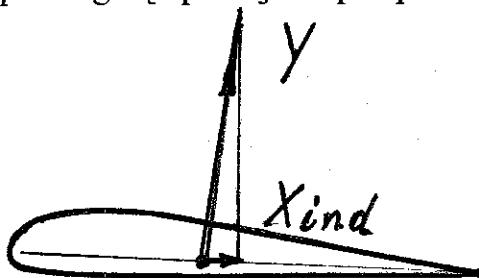


Iš brėžinio matyti, kad pirmas skaičius reiškia profilio kreivumą, t.y. vidurinės linijos didžiausią atstumą nuo VAS. Jei profilis turi didesnį kreivumą tai jo  $C_y$  kai  $\alpha$  maži ir ydutiniai paprastai didesnis, bet didėjant  $\alpha$  ir artėjant prie max  $C_y$  susilygina.

skaičius 30 (kartais nurodomas praleidžiant nuli) reiškia profilio storėsios vienos padėtį % ant VAS.

skaičius 12 reiškia profilio santykinę storiją % 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.



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

Paprastai  $C_x$  i skaičiuoti netenka, nes profilių žinynuose duodami eksperimento aerodinaminame vamzdyje metu su tam tikro proilgio  $\lambda$  (kuris žinynuose irgi nurodomas) sparnu gauti pasipriešinimo koeficientai  $C_x$  į kuriuos įeina proflinis ir induktyvinis pasipriešinimai. Koks yra proflinis  $C_x$  galima sužinoti radus lentelėje arba poliarėje  $C_x$  kai  $C_y=0$ . Tolesnis  $C_x$  didėjimas gaunasi jau  $C_{x\text{ ind}}$  sąskaita.

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

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

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

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

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

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

G – skridimo svoris [kg]  
S – sparnų plotas [ $m^2$ ]

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

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

### Koks bus lėktuvo $V_{min}$ ?

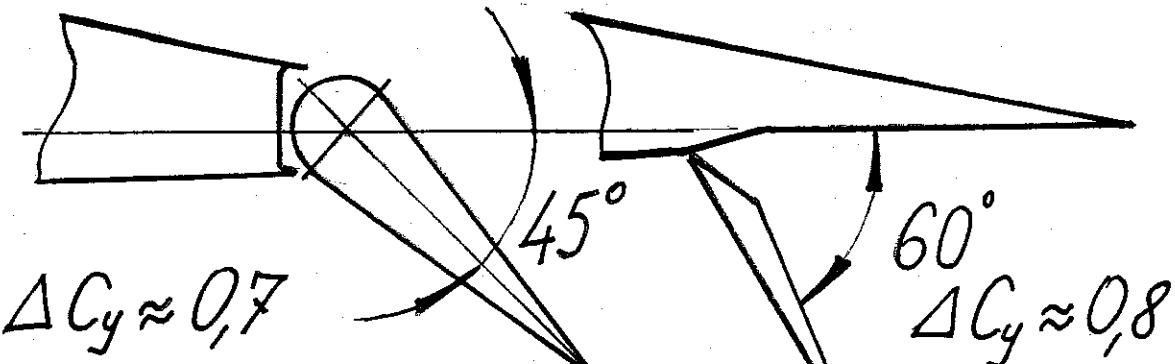
Ši greitį nesunku apskaičiuoti naudojant tą pačią formulę tik čia įstatome NACA 23012 profilio  $C_{y\max}=1,6$ .

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

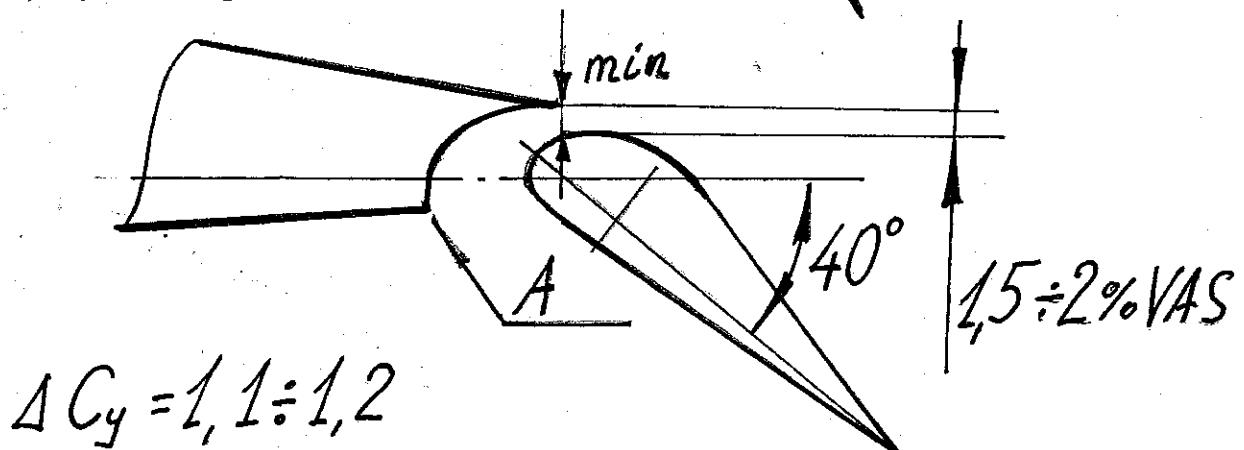
Norint dar sumažinti tūpimo greitį reikia sparno mechanizacijos. Koks yra užsparnių ir skydelių efektyvumas?

# 1) Paprastas užsparnis      2) Skydeliai

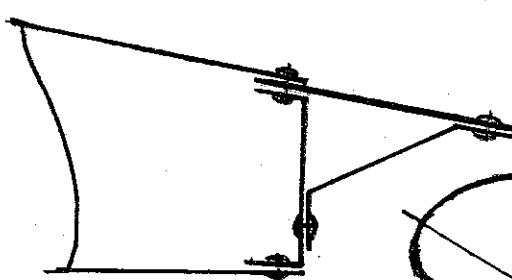
7



### 3) Plyšinis užsparnis



Geriausius rezultatus t.y. didžiausią keliamosios jėgos koeficiente priedą  $\Delta C_y$  duoda  $40^\circ$  kampu atlenktas plyšinis užsparnis kurį turi daugybę lėktuvų (Cessna, Piper, Vilga) beje atlenkus šį užsparnį  $60^\circ$  kampu  $\Delta C_y$  beveik nesikeičia tik tai žymiai padidėja  $\Delta C_x$  (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 technologiniai sumetimais plyšio formą galima supaprastinti kaip parodyta piešinyje.



"Piper Cherokee" užsparnio plyšio konstrukcija

Sukimosi ašis

Kadangi užsparniai negali užimti viso sparnų ilgio tai jų  $\Delta C_y$  dauginamas iš koeficiente k kuris įvertina užsparnių santykinį ilgį. Jeigu mechanizacija užima

50% sparno ilgio  $k=0,6$

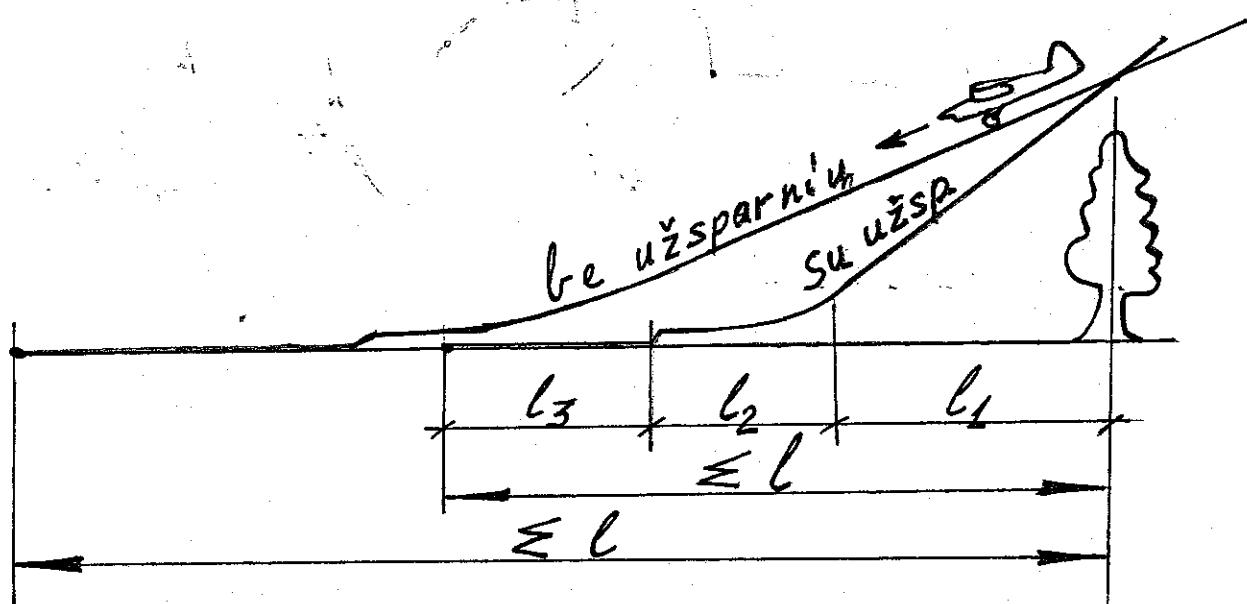
60% sparno ilgio  $k=0,7$

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

Taigi naudojant plyšinę užsparnių:

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

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 tinkta ir oro stabdžiams išskyrus trečią punktą, nes tūpimo greitį interceptoriai nesumažina taigi  $l_3$  nesumažės. Paprastai  $V_{tūpimo} < V_{\min}$  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:

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

G – skridimo svoris  
V – greitis [m/s]  
K – aerodinaminė kokybė

p.vz:

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

Kad lėktuvas gerai kiltų ir imtų aukštį reikia 2÷3 kartus didesnio galingumo. Peršasi 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 pilotažiniams 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 šešadalį skridimo svorio lėktuvas greičiausiai nepakils, o jeigu nuo betoninio tako ir pakiltų, tai geriau juo neskraidytį kol nebus gauta pakankama trauka.

Motosklandytuvams dėl didesnės aerodinaminės kokybės šie reikalavimai mažesni.

## Kaip rasti lėktuvo prabėgimą žeme kylant?

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

priimu  $P_{\text{statinė}} = 200 \text{ [kg]}$   
 $G = 600 \text{ [kg]}$

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 tiksliai.

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

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

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

Paskaičiuokite patys išibėgėjimo 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:

$$X = C_x \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

$$Y = C_y \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

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.

## santykis

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

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

$S$  – sparno arba uodegos plokštumų plotas. Skaičiuojant liemens, važiuoklės ir kitų nenešančių dalių pasipriešinimą  $S$  reiškia midelio 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  $V_{\min}$ ,  $V_{\text{kreis}}$ ,  $V_{\max}$  numatomas kuris paaiškės tik baigus skaičiavimus.

Pavyzdje apsiribosime  $V_{\text{kreis}}$ :

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

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

Pagal oro dinamikos žinynus 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



$$C_x = 0,05$$

Plokštėlė oro sraute  
(pvz. interceptoriai)



$$C_x = 1,3$$

Jeigu pilotai sėdi šalia vienas kito liemens plotis ne mažiau 1 m, O midelio (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.

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

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

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

Uodegos plokštumų bendras plotas

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

$C_x = 0,007$  (simetriško 10% storio profilio duomenys)

oro srautas

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

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

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

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

Jeigu spyris gerai profiliuotas  $C_x = 0,05$

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

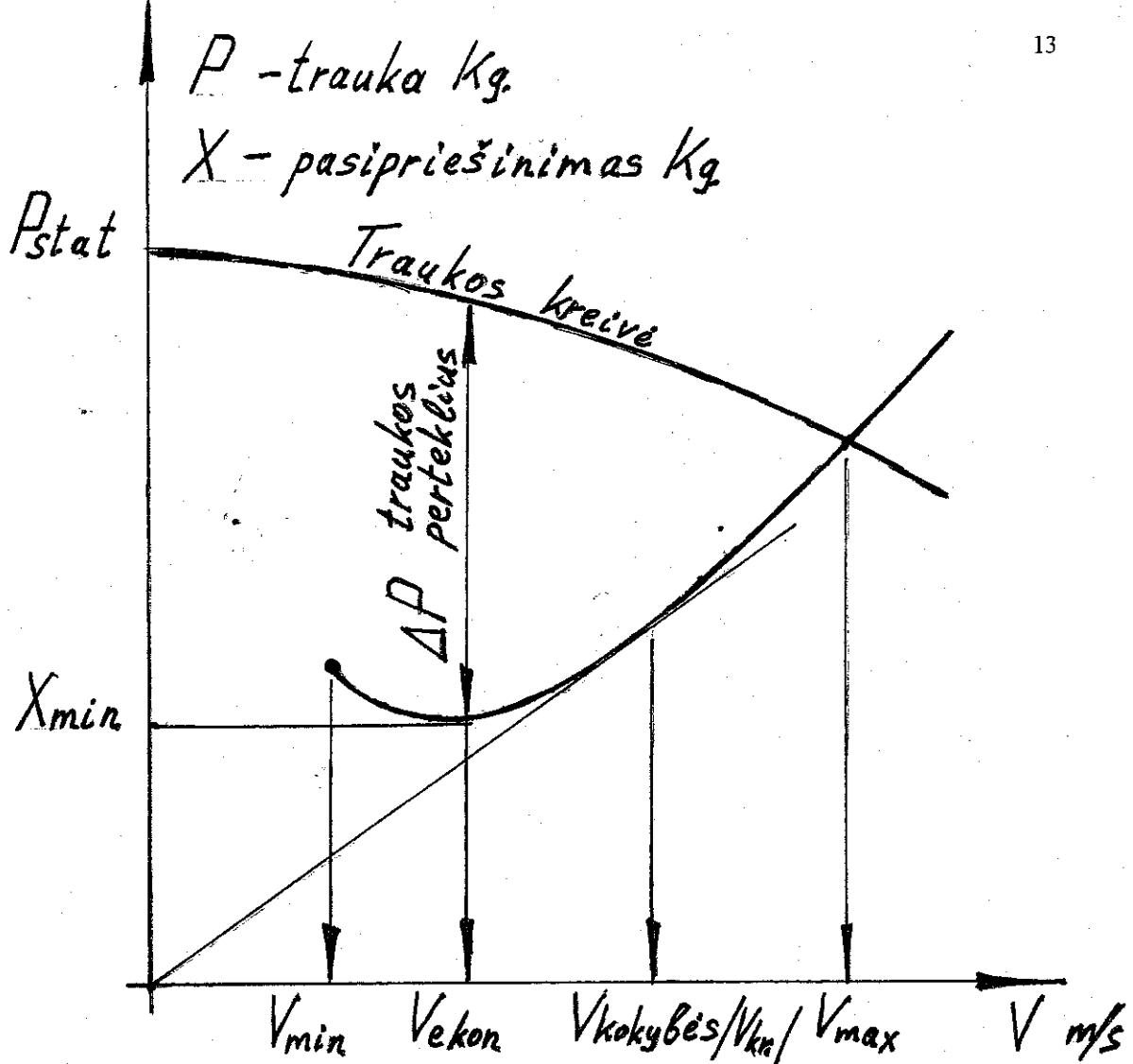
Taigi viso lėktuvo pasipriešinimas

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

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

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

10 % tai interferencinis pasipriešinimas kuris įvertina lėktuvo dalij tarpusavio sąveikos (ypač sparno sujungimo su liemeniu) plyšių, sūkurių ir kitų neįvertintų dalykų pasipriešinimą. Idomu, 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 saskaita sparno pasipriešinimas ima didėti, sudarydamas vis didesnę dalį lėktuvo pasipriešinimo. Kaip minėjau tokį paskaičiavimą reikia padaryti bent kelioms greičio reikšmėms, išskaitant  $V_{\min}$  ir  $V_{\max}$  numatomą. Taigi, turint pasipriešinimo priklausomai nuo greičio reikšmes, bražoma lėktuvo poliarė, o ant tų pačių koordinacijų bražoma ir traukos kreivė, t.y. propelerio traukos priklausomybė nuo greičio.



Šių grafikų bražymu 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).  $\Delta P$  reiškia traukos perteklius, kuris apsprendžia lėktuvo vertikalaus kilimo greitį.

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

$\Delta P$  – traukos perteklius [kg]  
 $V$  – greitis [m/s]  
 $G$  – skridimo svoris [kg]

p.vz:

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

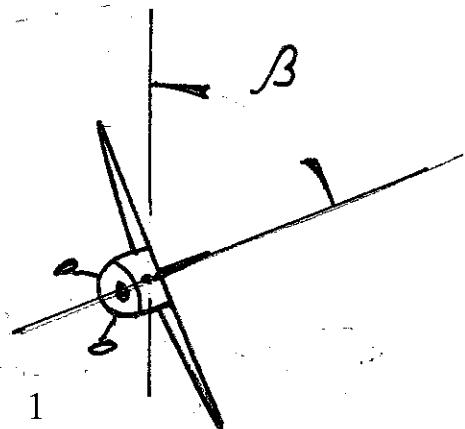
Paprastai greitis  $V$ , kuriuo imamas aukštis, būna  $40 \div 50\%$  didesnis už  $V_{\min}$ . Naudojantis poliare nesunku apskaičiuoti ir aerodinaminę kokybę bet kokiam greičiui ( $K = G / X$ ).

### 3. Skridimo dinamika

1) Perkrova viraze

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

$\beta$  – pokrypio kampus



jeigu  $\beta = 60^\circ$  t.y. spiralė su vairu pamaina  $q = \frac{1}{\cos 60^\circ} = 2$  t.y. perkrova dviguba.

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

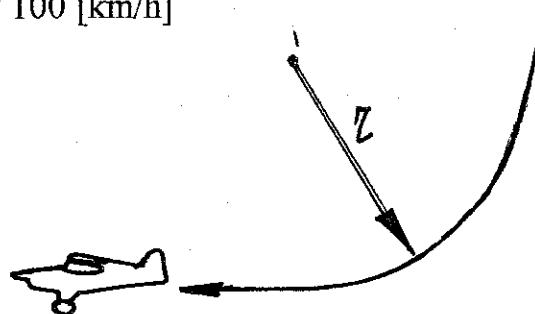
$$V_{\text{man.}} = 5,5 \sqrt{(G/S)/C_y \max}$$

G/S – iškrovimas [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

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

3) Perkrova išvedant iš pikiravimo

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



$V$  – greitis išvedimo metu [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$r$  – išvedimo spindulys [m]

pvz:

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

4) Perkrova darant kilpą

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

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

pvz:

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

### 5) Maksimali įmanoma perkrova

$$C_{y \max} = \frac{\rho V^2}{2}$$

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

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

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

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

$$q_{\max} = \frac{600 / 15}{40} = 4$$

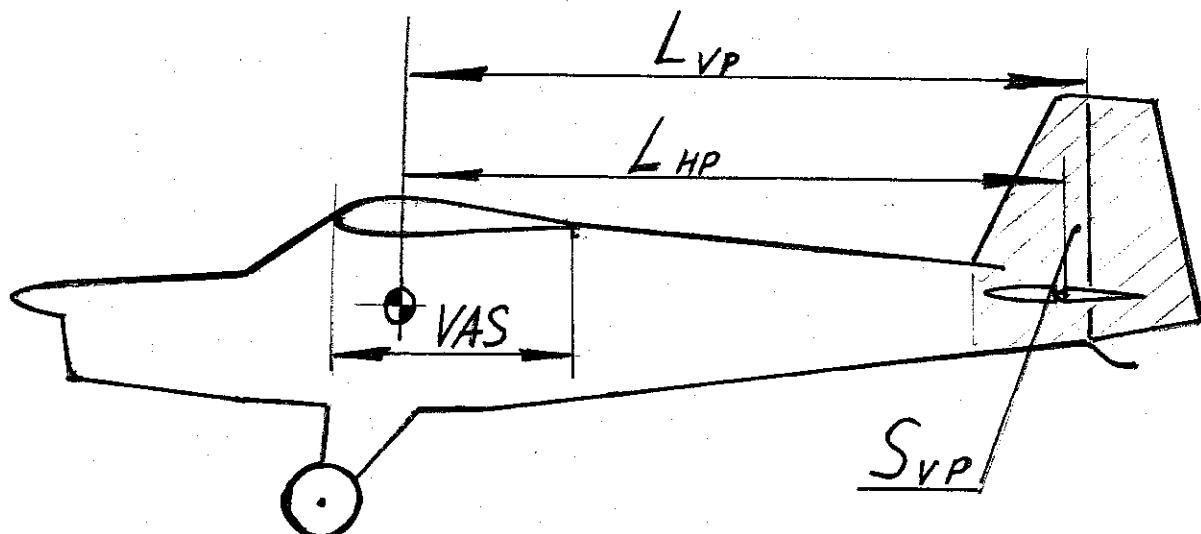
Šie paskaičiavimai gali būti naudingi nustatant (užsiduodant) eksploatacinę lėktuvo perkrovą ir pereinant prie atsparumo skaičiavimų.

### 4. Uodegos plokštumų plotų parinkimas

Neretai lėktuvų konstruktoriai neteisingai nustato uodegos plokštumų plotus.

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

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



Tiksliausiai visus parametrus ivertina sekančios formulės

kur:

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

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

$L_{HP}, L_{VP}$  – 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

$A_{VP}$  – vertikalių plokštumų koeficientas

Rekomenduojami  $A_{HP} = 0,4 \div 0,5$ ;  $A_{VP} = 0,04 \div 0,05$  atitinka statistinių vidurkių, kuo galima išitikinti išmatavus konkretų lėktuvą ir apskaičiavus koeficientus. Tiesa, kai kurių itin stabilių 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.

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

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

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

Aptykriai 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. Savoka "saugus" autoriaus nuomone yra platesnė ir apima šiuos saugaus lėktuvo požymius:

- $V_{\text{kreis}} \geq 2,5$  karto didesnis už  $V_{\min}$ , t.y. platus greičių diapazonas. Šiuo atveju net grubios pilotavimo klaidos (arba variklio užgesimas) ir blogos oro sąlygos (blaškumas, vėjo gūsiai) staiga nesumažina greičio iki  $V_{\min}$ . Suktuko pavojus minimalus. Ir priešingai kai  $V_{\text{kreis}}$  vos  $20 \div 30\%$  didesnis už  $V_{\min}$ , lėktuvas labai nesaugus, suktuko pavojus didžiulis.  
 ⊕ pavyzdys "Husky A1" kurio  $V_{\min} = 55 \text{ km/h}$ ,  $V_{\text{kreis}} = 220 \text{ km/h}$ . Keturgubas diapazonas! Toks lėktuvas yra tikrai saugus, kaip pabrėžia ir jo pavadinimas (Husky – tvirtas, patikimas, angl.)  
 ⊖ pavyzdys "Lešij" kurio  $V_{\text{kreis}}$  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 nestaina.
- Sparnų susukimas (atakos kampus 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 atitrūkimis 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 kliūčių distancijos.
- Gera važiuoklė nepaprastai svarbu. Ji turi būti ne tik tvirta ir patikima bet ir turi būti išlaikyti važiuoklės kampus  $\gamma = 15 \div 17^\circ$  ir lėktuvo stovėjimo kampus  $\beta = 11 \div 13^\circ$  (lėktuvui su uodegos ratu).  $\gamma$  reiškia linijos iš svorio centro į pagrindinių ratų atramos tašką kampą nuo vertikales.  $\beta$  – lėktuvo horizontalės kampus žemės

atžvilgiu lėktuvui stovint. (Žiūr. pieš. skyriuje "Aerodinaminis skaičiavimas")

$\beta + \alpha$  turi būti  $3 \div 4^\circ$  mažiau už sparno  $\alpha_{\max}$  kuriam esant nutrūksta oro srautas. Šiuo atveju tupdant žemę pirma paliečia arba uodegos ratas arba visi trys ratai kartu ir nutupiama sklandžiai. Kada  $\beta$  per didelis, tupiant žemę pirma paliečia pagrindiniai ratai, dėl ko lėktuvas šokinėja - "daro ožius"; padėtį dar pablogina per didelis ratų išnešimas į priekį, t.y.  $\gamma$  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 pradedant tokius skaičiavimus, reikia užsiduoti eksploracinię perkrovą  $\pm g$  (teigiamą ir neigiamą). Tai reiškia, kad reikia užsibrėžti perkrovas, kuriuos leidžiama pasiekti skraidant. Iš skyriaus apie skridimo dinamiką galima spręsti, kokios eksploracinių perkrovos gaunasi lėktuvui atliekant evoliucijas ore. Vidutiniškai daugumai lėktuvų ir sklandytuvų leidžiamos teigiamos eksploracinių perkrovos yra  $+ 5 \div 6$ , neigiamos  $- 3 \div 4$  ir jokiui 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 eksploracinię 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 eksploracinię, o visiems pajungimo mazgams, pajungimo varžtams, kaičiiams 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 skaičiuotinų perkrovų) lėktuvo svoris padidės ne daugiau 1%, o saugumas pagerės. Nustačius eksploracines ir skaičiuotinas perkrovas, lėktuvo atsparumo skaičiavimas pradedamas nuo :

### Sparnų skaičiavimo

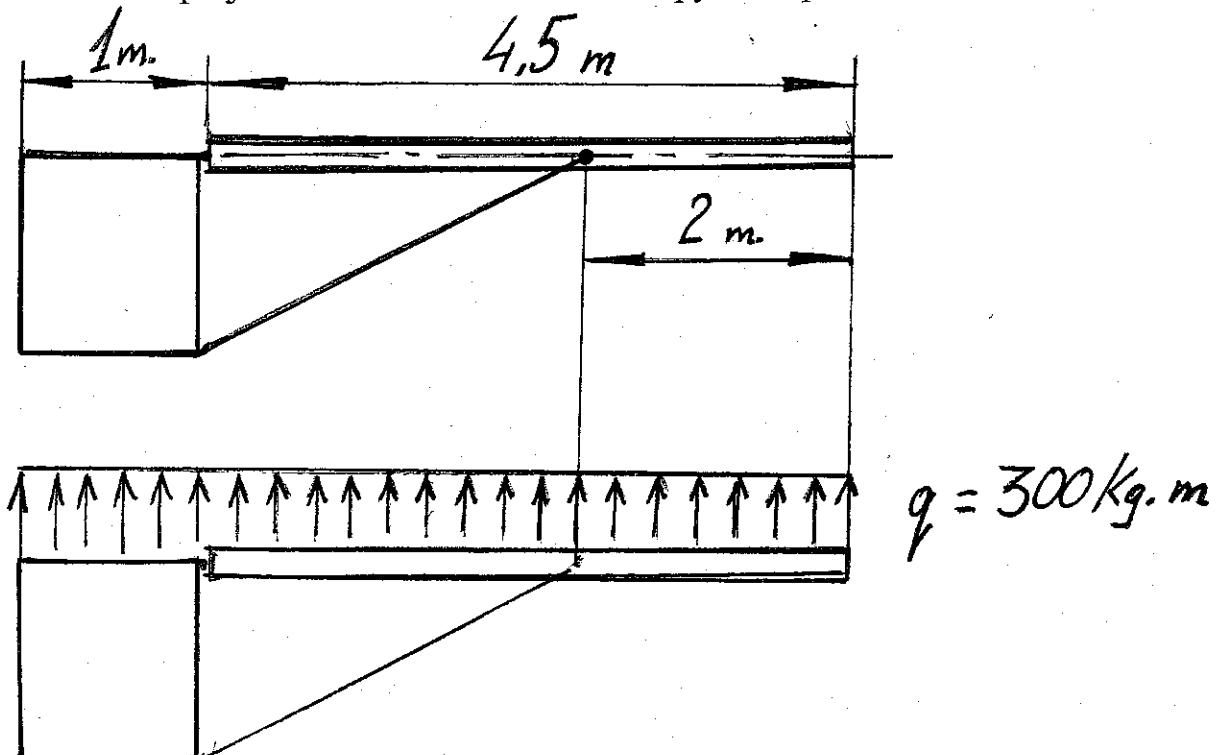
Mūsų skaičiuojamam pavyzdiniam lėktuvui priemėme  $n_{eksp} = +4$   
tai perkrova  $g_{skaič.} = 1,5 \cdot g_{eksp} = -\frac{6}{3,8} \approx -\frac{6}{4} = -2,5$

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.

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

kur 600 kg yra skridimo svoris

Lėktuvas suprojektuotas su vieno lonžerono spririniu sparnu:



Koks krūvis tenka bėginiam sparnų ilgio metru?

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

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

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

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

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 lonžerono skerspjūvius, būtent spyrio pajungimo vietai, kurie į sparno galą aišku turi mažėti, o tarp spyrio ir liemens lonžeronų skerspjūvių galima palikti pastovų t.y. didžiausią, nes reikia nepamiršti, kad kai perkrovos teigiamos sprytes tempiamos, o ši vieta atitinkamai ne tik lenkiama, bet ir gnuždoma, 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 vėtos).

Ženklas  $\oplus$  reiškia teigiamą skaič. perkrovą.

Ženklas  $\ominus$  reiškia neigiamą skaič. perkrovą.

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

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

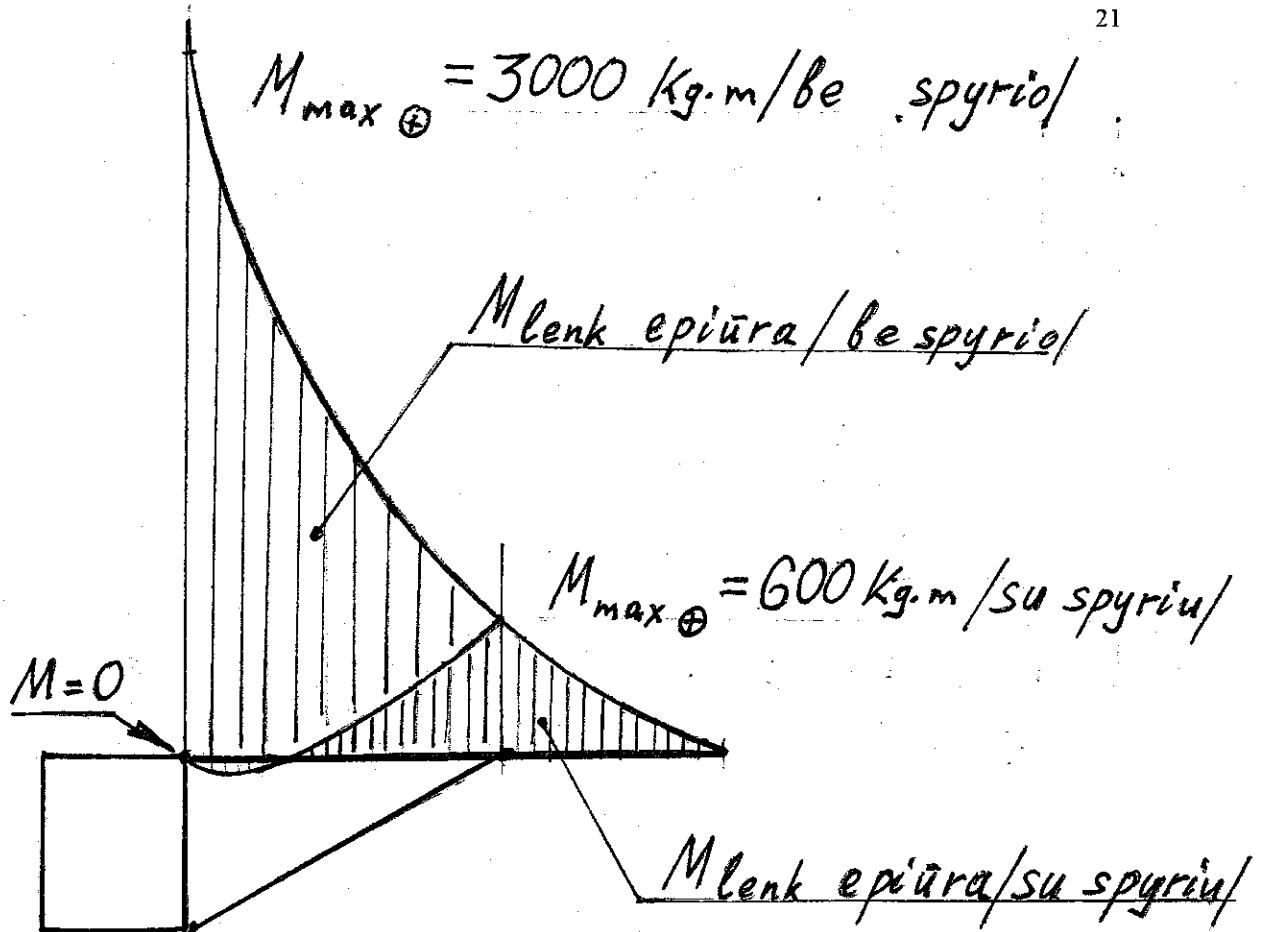
Palyginimui paskaičiuosime koks lenkimo momentas būtu naudojant laisvai nešantį t.y. bespyrinį sparną. Žinoma, tinka ta pati formulė tik čia “Z” bus sparno ilgis iki pajungimo mazgų prie liemens, o kadangi “Z” kvadrate tai lenkimo momentas, o atitinkamai ir lonžeronų skerspjūviai turėtų išaugti kelis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

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



Taigi spyrio nauda akivaizdi.

Jeigu sparnas siaurėjantis tai lenkimo momento formulė yra kiek sudėtingesnė:

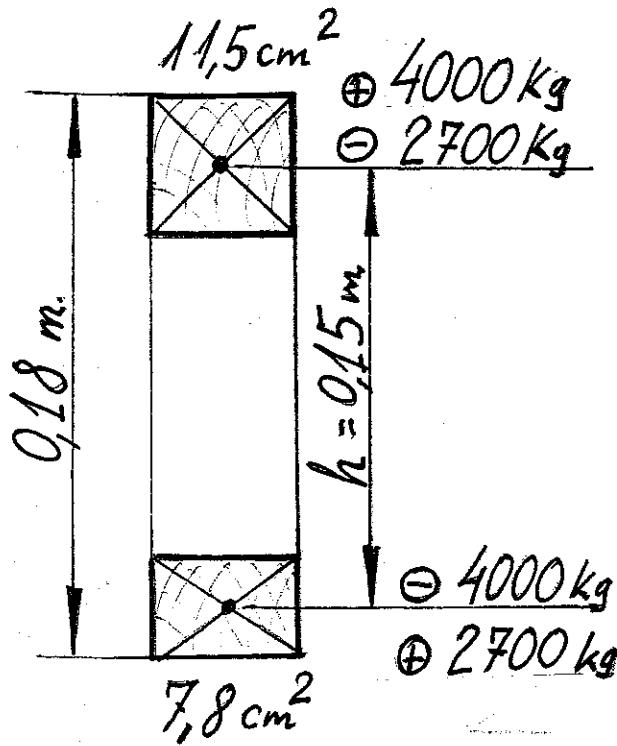
$$M_{\text{lenk}} = \frac{(2g_1 + g_2)Z^2}{6}$$

kur:  $g_1$  – sparno apkrova bėginiams 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  $18 \text{ cm}$ , o atstumas tarp lonžerono lentynų svorio centrų bus  $\sim 15 \text{ cm}$ . Šis atstumas vadinamas lonžerono statybiniu aukščiu ir žymimas raide  $h$ . Lonžerono lentyną veikianti jėga bus:



$$P = \frac{M_{\text{lenk}}}{h_{\text{lonžerono}}} = \frac{600}{0.15} = 4000 \text{ [kg]}$$

$$P = \frac{M_{\text{lenk}}}{h} = \frac{400}{0.15} = 2700 \text{ [kg]}$$

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

Lonžerono lentynų skerspjūvis randamas taip:

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

kur  $\sigma$  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

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

Atkreipkite dėmesį, kad pušis gniuždymui daugiau negu du kartus silpnėsne 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?

$$F_{\oplus} = \frac{P_{\oplus}}{\sigma_{\text{gniuždymo}}} = \frac{4000}{350} = 11.5 \text{ [cm}^2]$$

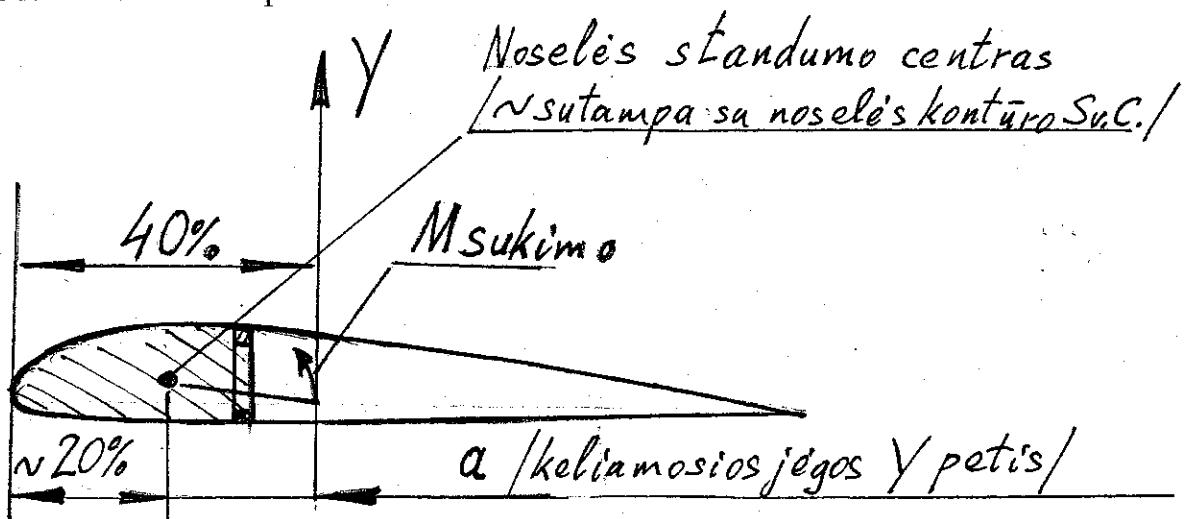
$$F_{\ominus} = \frac{P_{\ominus}}{\sigma_{\text{tempimo}}} = \frac{2700}{830} = 3.3 \text{ [cm}^2]$$

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

$$F_{\ominus} = \frac{P_{\ominus}}{\sigma_{\text{gniuždymo}}} = \frac{2700}{350} = 7.8 \text{ [cm}^2]$$

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

Jeigu spyrinis (laisvai nešantis irgi) sparnas yra vieno lonžerono kaip šiame pavyzdje dar reikia apskaičiuoti jo atsparumą susukimui nes paprastai keliamosios jėgos atstojamoji veikia apie 40% VAS zonoje t.y. už lonžerono vietas 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 metriui

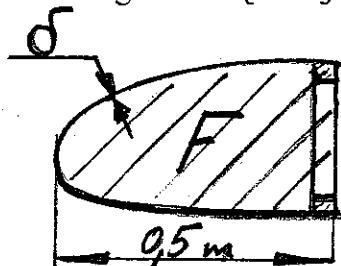
$l$  – vieno sparno ilgis [m]

$a$  – atstumas nuo Y iki noseles 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 noseles medžiagos mūsų atveju klijuotės storį.



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

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

$\tau_{\text{sukimo}}$  – noseles medžiagos įraža nuo sukimo jėgų

$\delta$  – noseles medžiagos storis

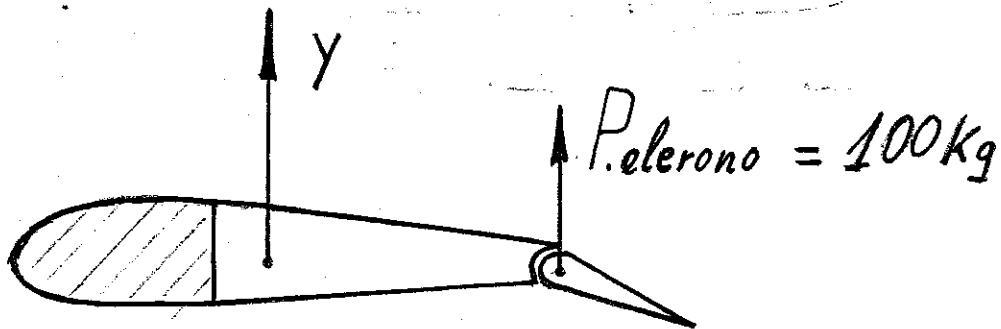
Skaičiuojant nepamiršti suvienodinti dimensijas, šiuo atveju "cm", nes klijuotės įražos žinynuose duodamos  $\text{kg}\cdot\text{cm}^2$  ir aviacinei klijuotei sudaro  $150\text{kg}\cdot\text{cm}$  išilgai skersai pluošto ir  $180\text{kg}\cdot\text{cm}$   $45^\circ$  kampu klijuotės pluoštui iš ko aišku kad noselės klijuotės pluoštas turėtų būti orientuotas  $45^\circ$  kampu lonžeronui. Skaičiuojant prie  $M_{\text{suk}}$  reikia pridėti  $M_{\text{suk eler}}$ , kuris gaunamas staiga atlenkus eleroną. Šiuo atveju elerono apkrovą  $P$  randame pagal klasikinę formulę

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

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

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

Jeigu mūsų lėktuvo elerono plotas  $1 \text{ m}^2$  ir sukimosi ašis  $0,7 \text{ m}$  nuo ~~St. centre~~ tai sparno sukimosi momentas kurį sukuria staiga atlenktas eleronas skrendant  $V_{\text{max}}$   $M_{\text{suk eler}} = 100 \cdot 1 \cdot 0,7 = 70 \text{ kg}\cdot\text{m}$ , taigi sparną reikia apskaičiuoti susukimui kurį sukelia pati keliamoji jėga, plius staiga atlenktas eleronas (šiuo atveju žemyn).



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

$$M_{\text{sukimo}} + M_{\text{suk eleronono}}$$

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

$\tau_{\text{sukimo}}$  – sparno noselės medžiagos įraža

$M_{\text{suk}}$  – sparno sukimo momentas

$F$  – priekinės noselės kontūro plotas

$\delta$  – noselės medžiagos storis

Pasirenkam noselei 2 mm aviacinę klijuotę, tuomet  $\delta = 0,2 \text{ cm}$   $M_{\text{suk}} = 470 \text{ kg}\cdot\text{m} = 47000 \text{ [kg}\cdot\text{cm]}$ ;  $F = 700 \text{ [cm}^2]$  taigi:

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

reiškia 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 mažesnį flaterio pavoju, 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 vietas sukamas taip pat kaip ir vieno lonžerono sparnas ir ši 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 :

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

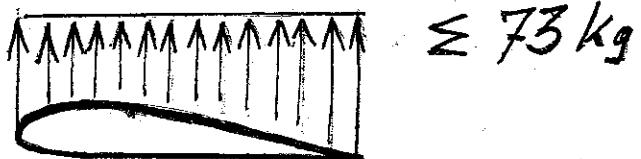
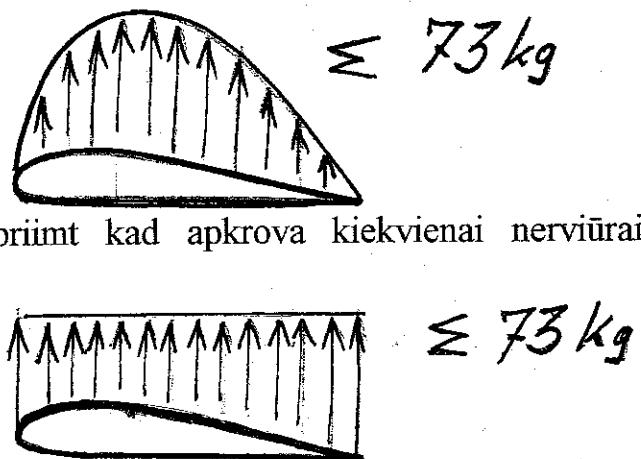
nors sparno apkrova pagal stygos ilgį pasiskirsto netolygiai, t.y. daugiau ties lonžeronu  
tačiau didesnio  
atsparumo ir  
paprastesnio  
skaičiavimo  
labui galima supaprastintai priimti kad apkrova kiekvienai nerviūrai  
pasiskirsto taip:

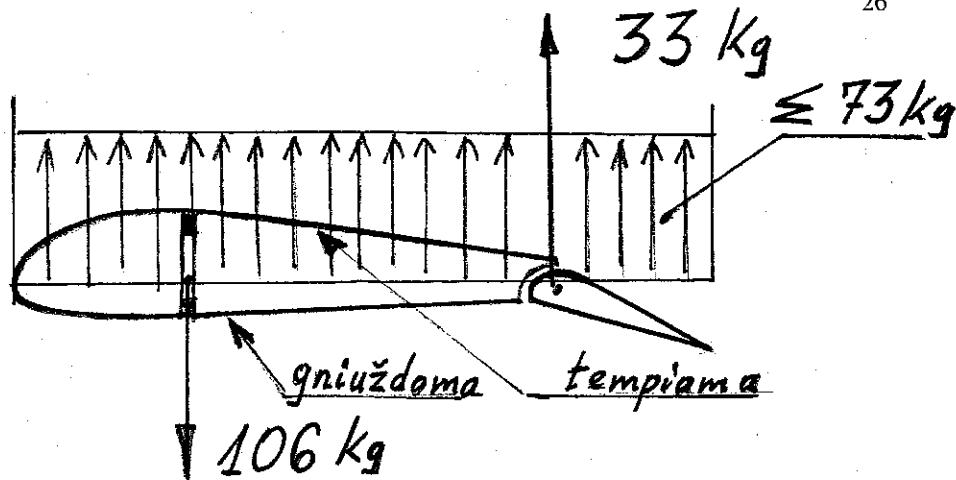
Dabar jėgas,  
kurios tempia ir  
gniuždo nerviūros  
lystveles galima

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 statiskai, tereikia ją įtvirtinti už  
lonžerono vietas 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 pakabintas trijuose taškuose, tai aišku  
kad kiekvienai sustiprintai eleronu pakabinimo mazgus laikančiai nerviūrai  
teks papildoma 33 kg jėga.

\* ( $V_{man}$  - manevrinis greitis)

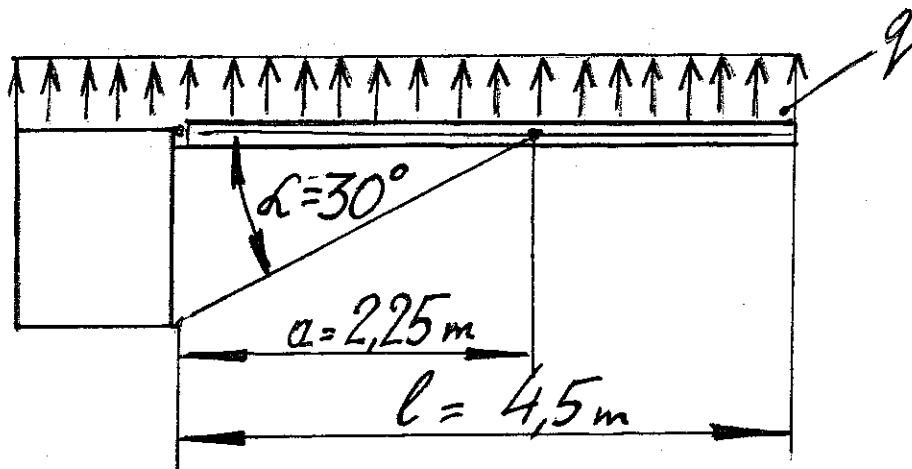




Nereikia pamiršti, kad sparno viršutinė dalis dėl slėgio sumažėjimo virš sparno skridimo metu yra siurbiamą aukštyn, t.y. visa keliamoji jėga persiduoda viršutinei sparno daliai, t.y. vaizdžiai kalbant visas lėktuvąs "kabo" ant sparno dangos viršutinės dalies ir tuo pačiu ant nerviūrų. Iš to aišku kaip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

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 gniūzdanti spyri [kg]

$q$  – apkrova sparno ilgio metrui [kg]

$l$  – vieno sparno ilgis [m]

$\alpha$  – kampus 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 teigama

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

gniuždymas kai perkrova neigama

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

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

$$F = \frac{2600}{35} \approx 80 \text{ [mm}^2] \quad \begin{aligned} &\text{t.y. užtektų netgi } \varnothing 30 \times 1 \text{ vamzdžio kurio} \\ &F \approx 90 \text{ mm}^2. \text{ Tačiau reikia patikrinti ar toks} \\ &\text{spyris atlaikytų gniuždymo jėgą. Nors šiuo atveju} \end{aligned}$$

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

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 duralumininiui

I – spyrio (ramscio) skerspjūvio  
inercijos momentas [cm<sup>4</sup>]

l – spyrio ilgis cm (mums 250 cm)

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

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

$\delta$  – sienelių storis

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

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

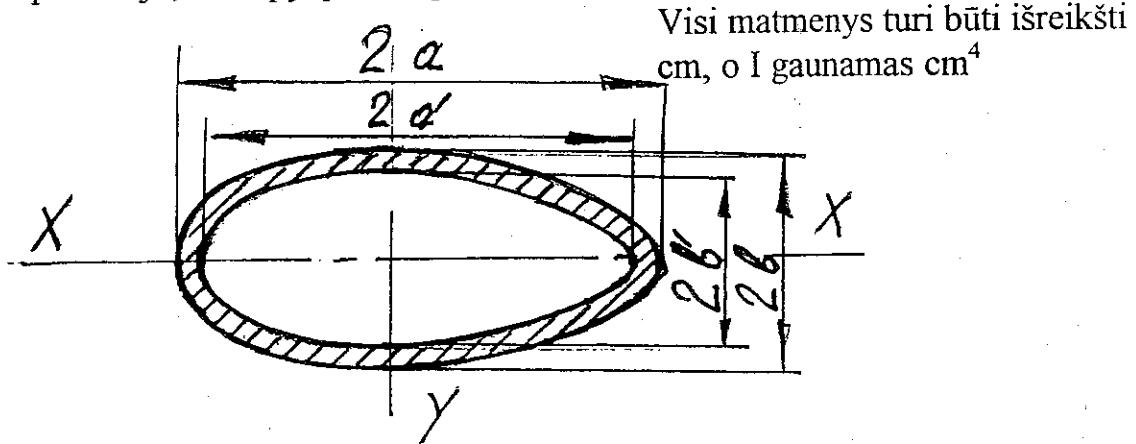
$$I \approx 0,4 \cdot 2,9^3 \cdot 0,1 \approx 1 \text{ [cm}^4]$$

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

$$P_{\text{krit}} = \frac{c \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{250^2} \approx \frac{1 \cdot 3,14^2 \cdot 700.000 \cdot 1}{250^2} \approx 112 \text{ [kg]} ! < [1700]$$

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

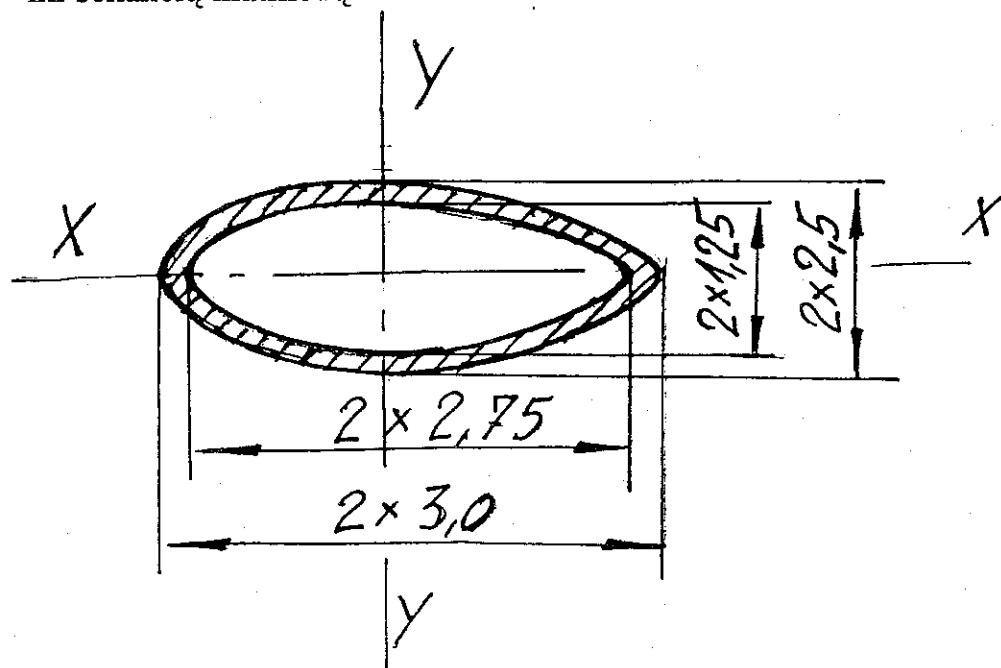
Pertvarkius  $P_{krit}$  formulę galima iškarto apskaičiuoti kokį inercijos momentą turi turėti spyro skerspjūvis arba galima vis paskaičiuojant turimų vamzdžių  $P_{krit}$  rasti optimalų variantą. Aerodinamikos skyriuje paaiškėjo, kad spyri reikia profiliuoti.



$$I_x \text{ pagal aši } x = \frac{\pi}{4} (ab^3 - a_1 b_1^3) \quad I_x \text{ žinoma bus kelis kartus mažesnis}$$

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

Tarkime gaminime spyri iš  $\varnothing 50 \times 2,5$  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 paremtas kontraspriuku, 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 spyrai priima sparno sukimo jėgas ir gauna papildomas apkrovos kurias galima gauti apskaičiavus sparno sukimo momentą spyrių pajungimo vietose.

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

## 7. Sujungimo mazgų atsparumo skaičiavimas

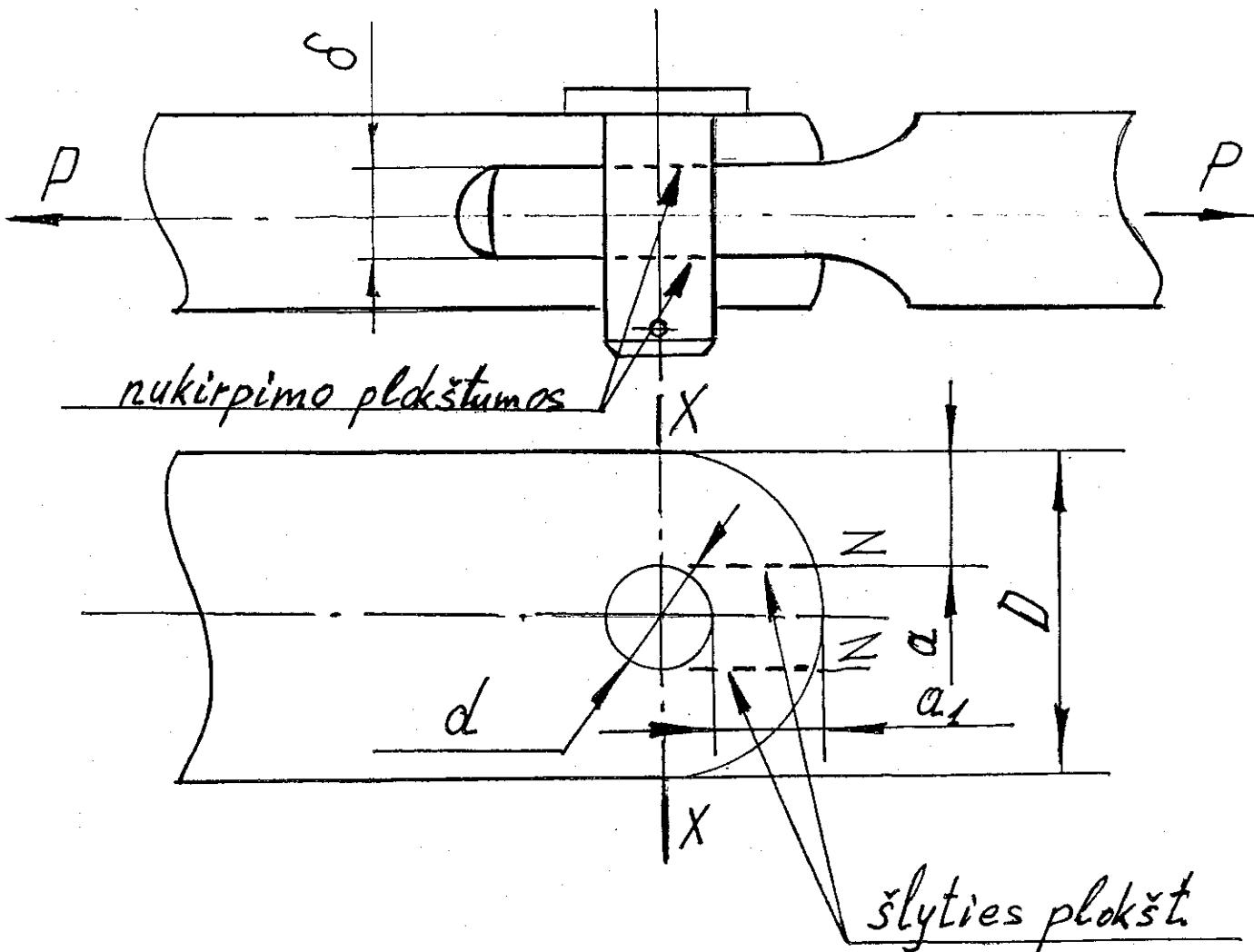
Svarbiausi sujungimo mazgai yra:

- 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 koeficiente  $f_2=1,5$  (visai konstrukcijai išskaitant mazgus taikomas atsargos koeficientas  $f_1=1,5$ ); šis papildomas mazgų sustiprinimas padidina lėktuvo svorį ne daugiau 1%, o konstrukcijos patikimumą užtiktina. Be to ekspluatacijos 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, lėktuvo 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 vienodos. Tokia konstrukcija bus racionali.

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

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

reiškinys skliaustuose išreiškia skerspjūvio plotą

$n$  – nukirpimo plokštumų skaičius

$\tau$  – atsparumas nukirpimui

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

Pvz. mūsų léktuvo 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 aukšciau duotą formulę, apskaičiuojame reikalingą varžto d

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

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

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

priimam  $d = 10 \text{ mm}$  t.y. artimiausias standartinis diametras su atsarga.

Auselės ir šakutės suspaudimo jėga yra lygi

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

$d$  – kaiščio diametras

$\delta$  – mazgo auselės storis

$\sigma$  – auselių medžiagos glemžimo įtampa

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

Reikalingas ausies storis

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

Aišku šakutės auselių storijų suma turi būti lygi ausies storiiui, t.y. kiekviena šakutės auselė turi būti  $5 \text{ mm}$ , nes  $5 + 5 = 10 \text{ mm}$ .

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

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

$\delta$  – ausies storis arba šakutės auselių storis

$\sigma$  – auselės medžiagos atsparumas tempimui

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

$k$  – įtampos koncentracijos koeficientas

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

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

Spyrių, sparnų mazgams  $k = 1,1$

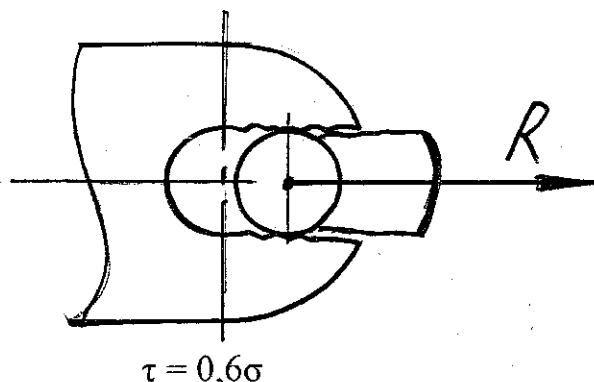
Važiuoklės mazgams žinoma  $k = 2,5$

Kadangi dažnai tupdant léktuvą spyrių ir sparnų prijungimo mazgai irgi veikiami kintamų jėgų, taip pat ir atliekant ir aukštajį pilotą ar skraidant

neramu 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.



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

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

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  $R = \delta \cdot d \cdot \sigma_{\text{suspaudimo}}$

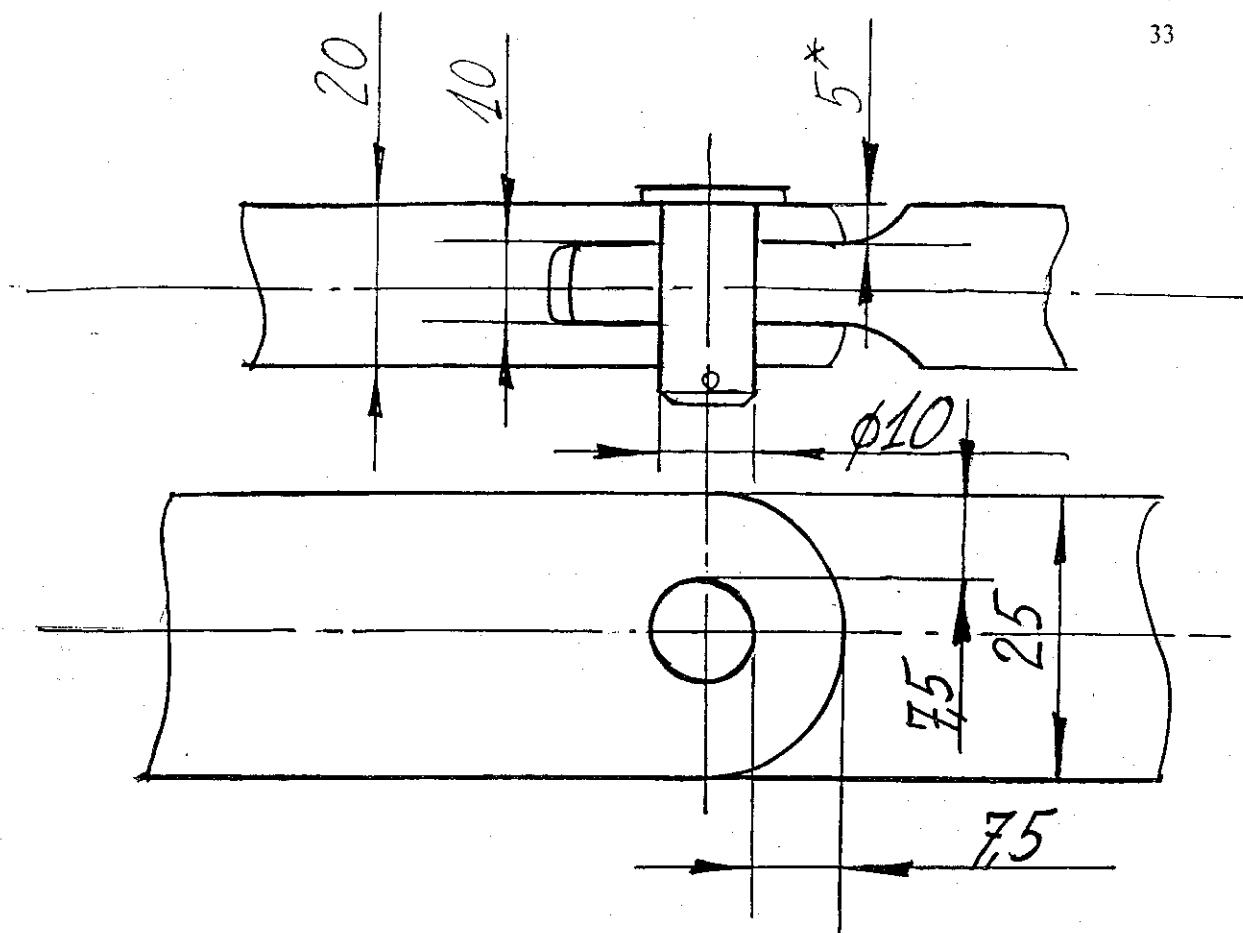
3) Auselės nutraukimui  $(D - d) \delta \cdot \sigma$

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

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

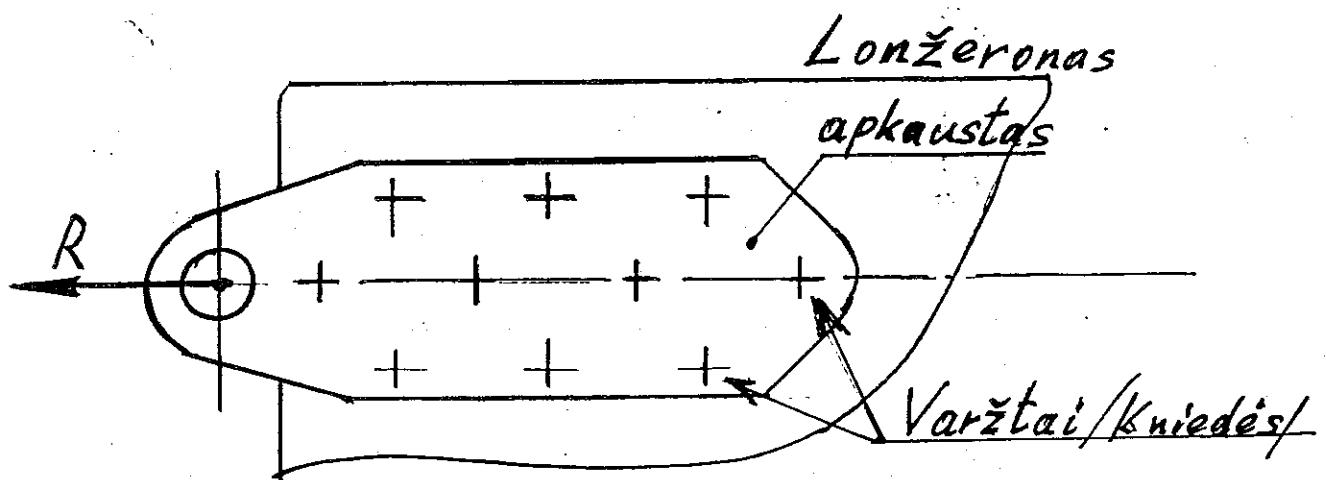
Skaičiavimo rezultatas:

*Žiūr. brėžinių sekanciam e 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 (knedžių) skaičių, platinant apkaustą, ploninant apkausto medžiagą mazgo masę, išlaikant tą patį atsparumą mažėja.

## II dalis

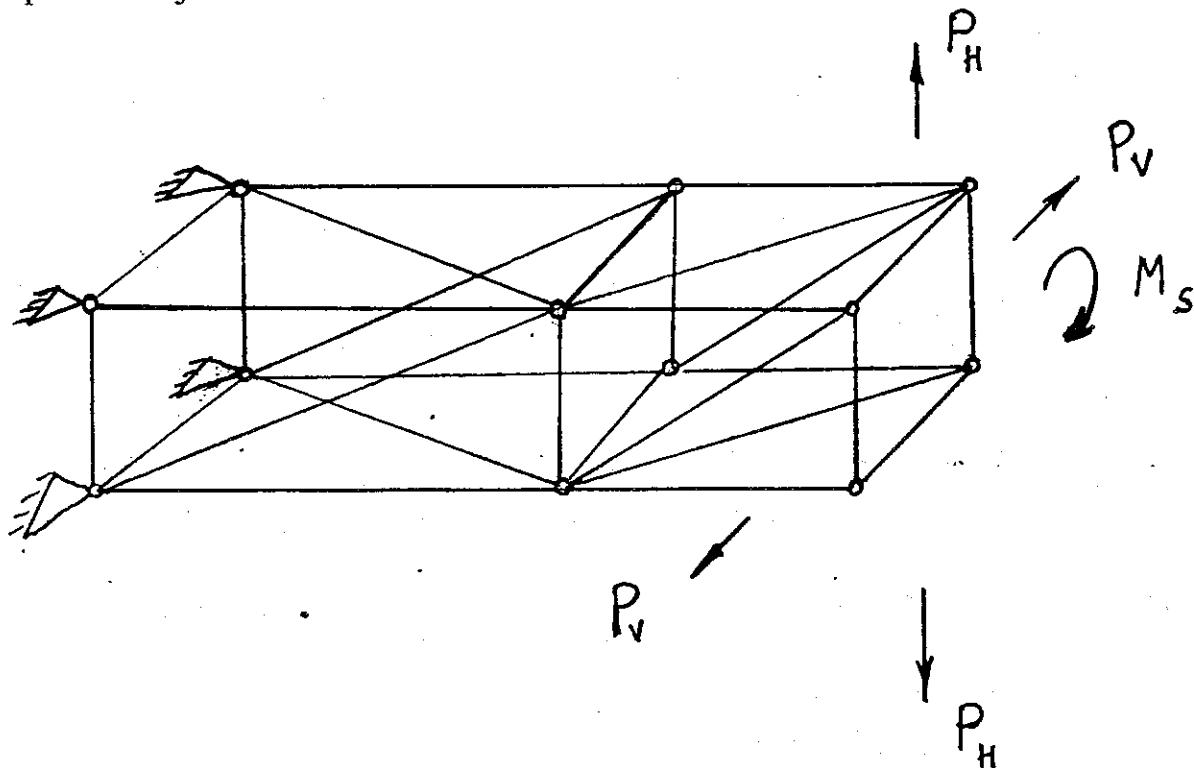
### Liemens santvaros (fermos) skaičiavimas Apkrovų išdėstymas, skaičiavimo schemas parinkimas

Santvarinio liemens karkasas sudarytas iš keturių išilginių lonžeronų, tarpusavyje sujungtų stovais ir istrižainėmis. 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:

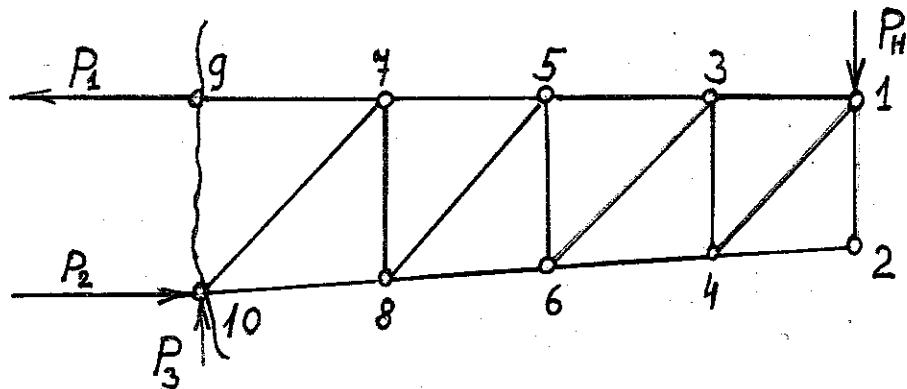
- 1) priekinė – iki priekinio sparno pajungimo mazgo
- 2) vidurinė – tarp priekinio ir užpakalinio sparno pajungimo mazgo
- 3) užpakalinė – nuo užpakalinio sparno pajungimo mazgo

Užpakalinė santvaros dalis lenkiama vertikaliaj ir horizontalioj plokštumoj bei sukama



1 brėž.

Apkrovos vertikalioj plokštumojo atsiranda nuo stabilizatoriaus skrendant, nuo uodegos ratuko tupiant bei rideinant ir nuo atlenkto posūkio vairo sukimo momento sudedamosios.



2 brėž.

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

Tūpimo metu vertikalių santvarų 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 vertikaliu uodegos plokštumą, neina per liemens standumo centrą.

Kaip matome iš trečio brėžinio, sukimo momentas bus:

$$M_S = P_V \cdot r$$

Kur  $P_V$  – vertikalių uodegos plokštumos apkrova,

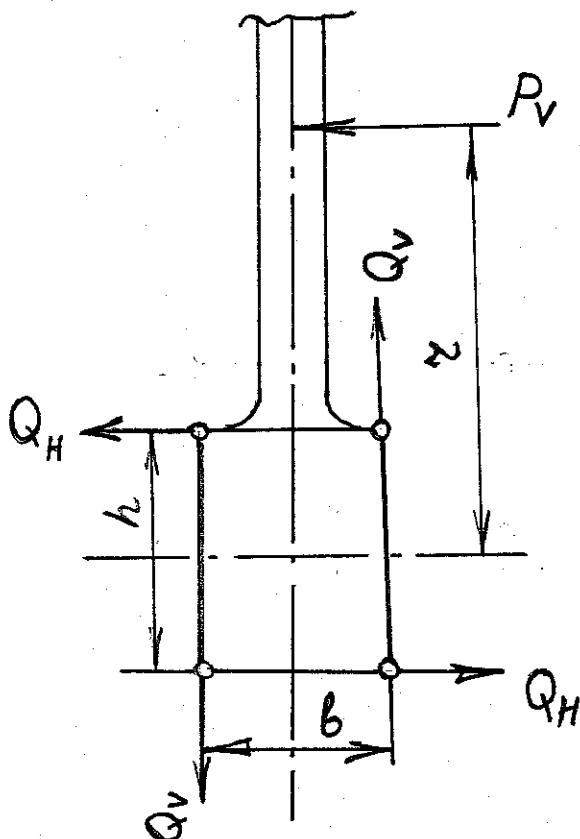
$r$  – atstumas nuo liemens standumo centro iki jėgos  $P_V$  pridėties taško.

Jėga  $P_V$  bus pridėta vertikalių uodegos plokštumos projekcijos svorio centre.

Sukimo momentas tarp liemens santvarų pasiskirsto pagal Bredtą, t.y. laikom, kad pusę sukimo momento priima vertikalių santvaros, pusę – horizontalių. 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 jégomis  $Q_H$  ir  $Q_V$  apkrauname horizontalią ir vertikalią santvaras, pridėdami jas liemens gale. Tokiu būdu sukimas pavirs vertikalių ir horizontalių santvarų lenkimu nuo jégų  $Q_H$  ir  $Q_V$ .

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

1. Nustatomos jégos į vertikalias santvaras nuo stabilizatoriaus reakcijos.
2. Nustatomas sukimo momentas nuo vertikalios uodegos plokštumos.
3. Nustatoma jéga  $Q_V$ , tenkanti vertikaliai santvarai nuo liemens sukimo.
4. Ant liemens brėžinio atitinkamuose mazguose užpiešiamos išorinės apkrovos:

$P_H$  – stabilizatoriaus reakcija

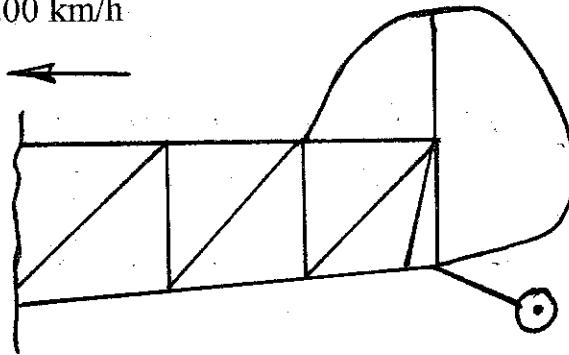
$Q_V$  – reakcija nuo sukimo momento

5. Jégos 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 léktuvas su uodeginiu ratuku, nustatomos jégos nuo užpakalinio ratuko reakcijos į vertikalias liemens santvaras. Kaip ir skaičiuojant apkrovą nuo stabilizatoriaus, jégos nuo ratuko reakcijos dalinamos per pusę į dvi vertikalias santvaras. Jei léktuvas 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.

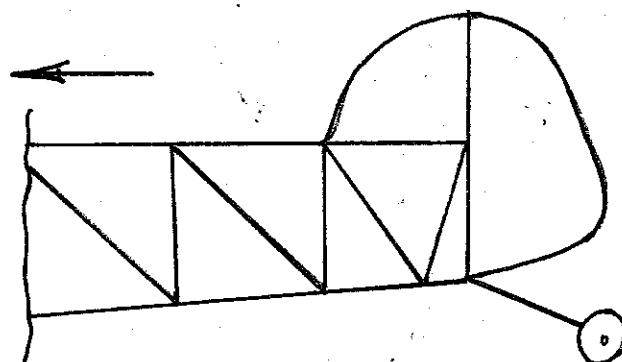
Tipiškos vertikalių santvarų konstrukcijos:

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



4 brėž.

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

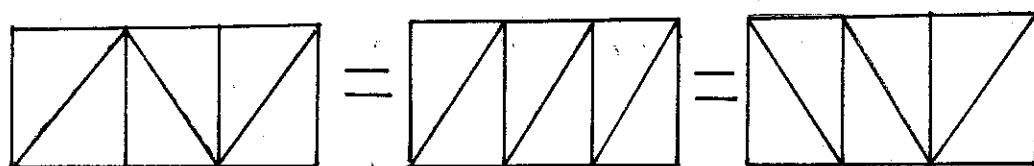


5 brėž.

8. I atitinkamą horizontalios liemens santvaros mazgą pernešama jėga  $P_V$ , veikianti į vertikalios uodegos plokštumas. 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 jėgą  $P_V/2$  ir  $Q_H$  veikimą paskaičiuojamos apkrovos horizontalios santvaros elementuose. Skaičiuojamas tik atveju, kai  $P_V/2$  ir  $Q_H$  veikia viena kryptimi.

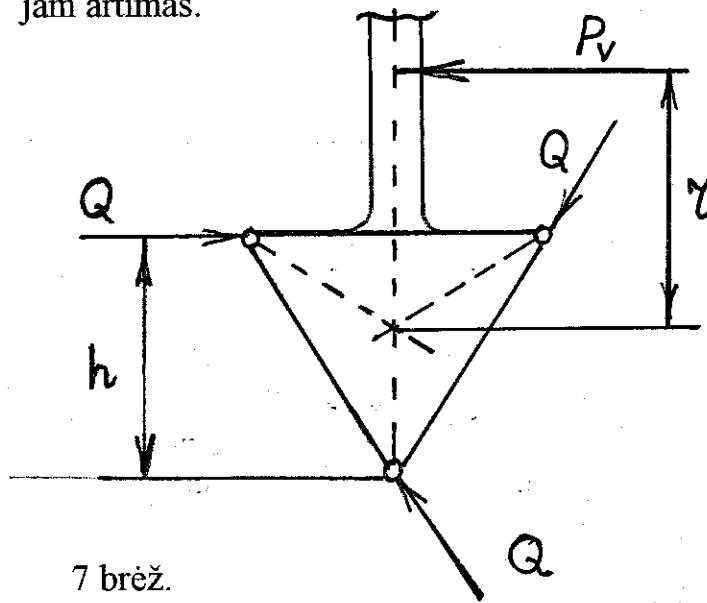
11. Išilginiuose santvaros elementuose – lonžeronuose jėgos, paskaičiuotos pagal 5,8 ir 9 punktus, sumuoja. Imamos reikšmės, kai jėgos veikia viena kryptimi. Visos erdinės santvaros elementai skaičiuojami tempimui arba klupdymui. Kai strypą ilgis mažas, jie skaičiuojami ir gnuždymui.

Kadangi jėga veikianti vertikaliu uodegos plokštumą veikia tai į vieną tai į kitą pusę, priklausomai nuo posūkio vairo atsilankimo, 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.

Skaiciavimo 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 išražomis 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** skaiciavimas atliekamas analogiškai:

1. Skaiciuojamos jėgos vertikaliose santvarose nuo variklio svorio.
2. Skaiciuojamos jėgos vertikaliose santvarose lėktuvui verčiantis per nosį nesékmingo tūpimo atveju.
3. Skaiciuojamos jėgos nuo variklio sukimo momento.
4. Jei propeleris masyvus, metalinis, skaiciuojamos jėgos nuo giroskopinio efekto, darant staigų manevrą.
5. Skaiciuojamos 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 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.

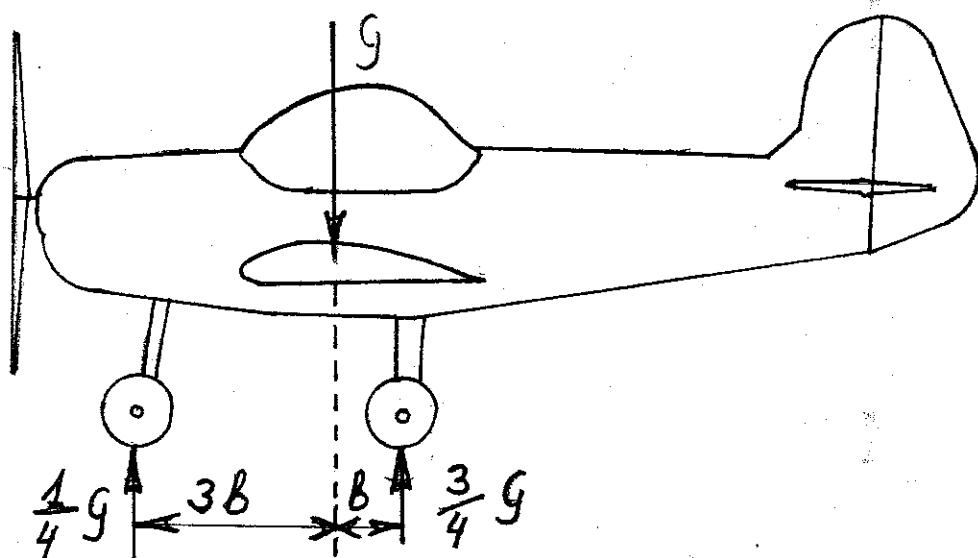
$$n_y = 3 \times 1,5 = 4,5$$

minkšta važiuoklė

$$n_y = 6 \times 1,5 = 9$$

kieta važiuoklė

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 tupiamama nelygiame aerodrome, taip pat staiga stabdant, daug kartų gali išsaugti apkrovos ant priekinės važiuoklės atramos. Apkrovos aug greičiau, kuo bus aukščiau lėktuvo svorio centras ir kuo bus mažesnis atstumas nuo svorio centro iki priekinės atramos.

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

Jégą, 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 jégas. Reikia nepamiršti, kad staiga stabdant, įveikiant nelygumus žymios jégos važiuoklę veikia ir horizontalia kryptimi, o stabdant sukuriamas 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 ivores.

## 2. Uodegos plokštumos

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

Jégas galima paskaičiuoti pagal klasikinę formulę:

Horizontalia kryptimi vežiuko veikiančios jégos dydis yra lygus  $0,67$  vertikalios jégos

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

$C_y = 0,4$

$\rho = 0,125$

$V$  – greitis [m/s]

$S$  – plotas [ $m^2$ ]

Pavyzdžiu, kai manevrinis greitis  $V = 144$  km/h, jėga tenkanti 1 m<sup>2</sup> uodegos plokštumos siekia 40 kg, padauginus iš atsargos koeficiente 1,5 – 60 kg.

### 3. Jėgos nuo variklio, ekipažo svorio

Apskaičiuojama svorį dauginant iš ekspluatacinės perkrovos ir iš atsargos koeficiente 1,5.

Nemanevriniam lėktuvui tai būtų:

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

### 4. Lėktuvui verčiantis per galvą (kapotujant) 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. I 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 pridedamos tik mazguose. Skaičiuojant santvarą, trinties mazguose ir strypų svorio nepaisoma, todėl kiekvienu 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 nebūs standi, kai daugiau – statiskai neišsprendžiama.

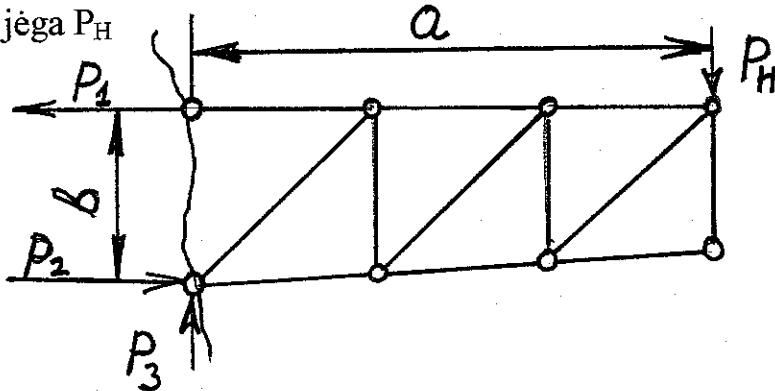
Konstrukcija turi būti paprasta ir įmanoma paskaičiuoti.

Tai būtina tobulos konstrukcijos sąlyga. Kartais esi pakviečiamas prie nelogiškos vamzdelių raizgalynės, prašant paskaičiuoti, tačiau čia paklyst net geras, tobulai užprogramuotas kompiuteris. Reikia kuo daugiau padirbėti prie braižybos lento, konstrukciją supaprastinant, po to perskaiciuoti 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.

### Atraminų reakcijų nustatymas

Imame uodeginės dalies vieną vertikalią plokščią santvarą, apkrautą jėga  $P_H$ .



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.

a

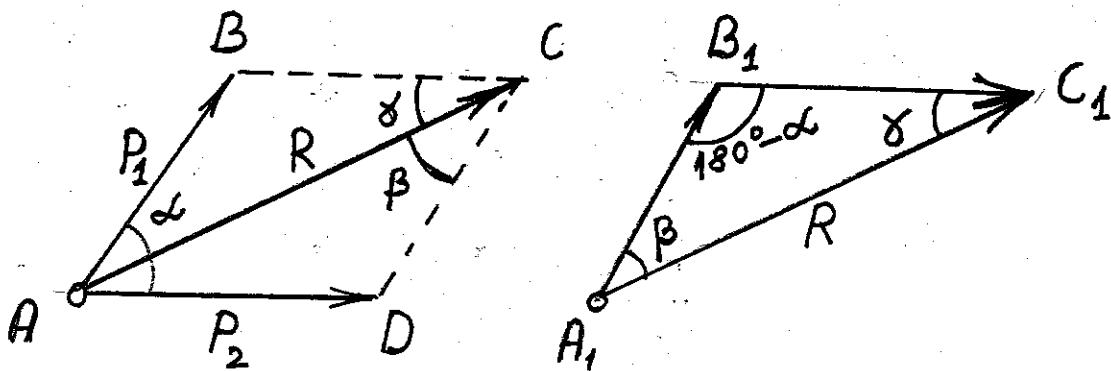
$$P_1 = P_2 = P_H \cdot \frac{a}{b};$$

b

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

### Jėgų sudėtis ir skaidymas. Susikertančių jėgų atstojamoji

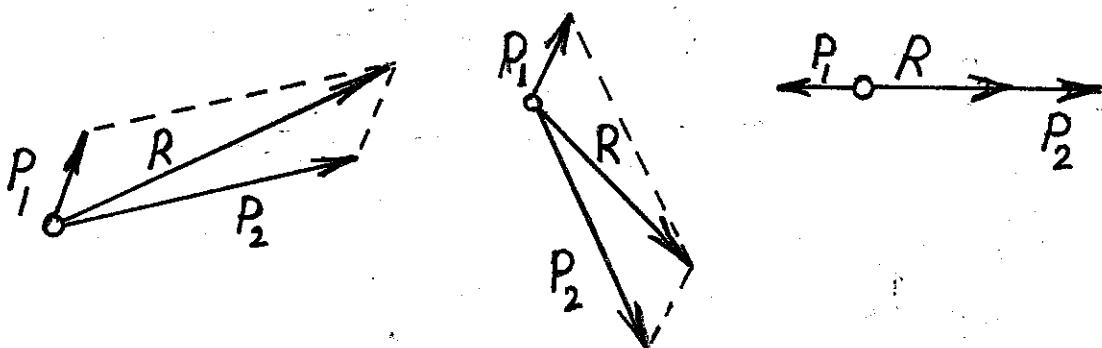
Dviejų jėgų  $P_1$  ir  $P_2$  geometrinė suma R randama arba pagal jėgų lygiagretainio taisyklę (10 brėž. a) arba nubraižius jėgų trikampį (10 brėž. b), t.y. vieną to lygiagretainio pusę.



10 brėž. a

b

Matome, kad grafiškai, tiesiai ant brėžinio (jėgos santvaroje 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 kokiui atveju bražomas lygiagretinis arba jėgų trikampis, jėgų dydis nustatomas ant brėžinio pamatavus vektorių ilgi. Pvz.



11 brėž.

Norint paskaičiuoti analitiškai (10 brėž.)

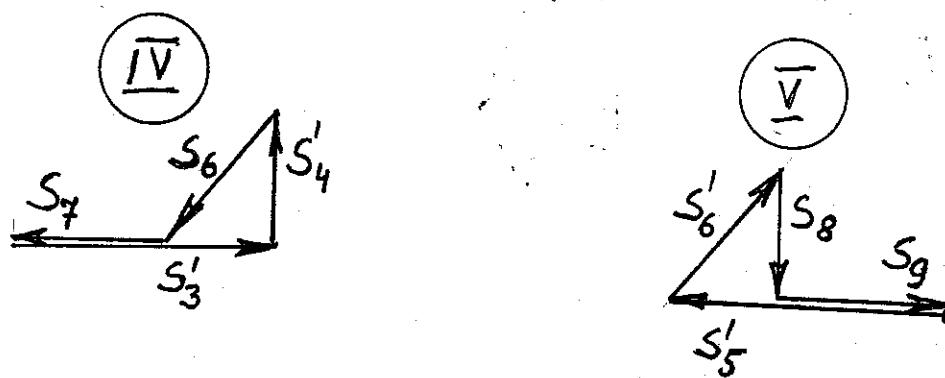
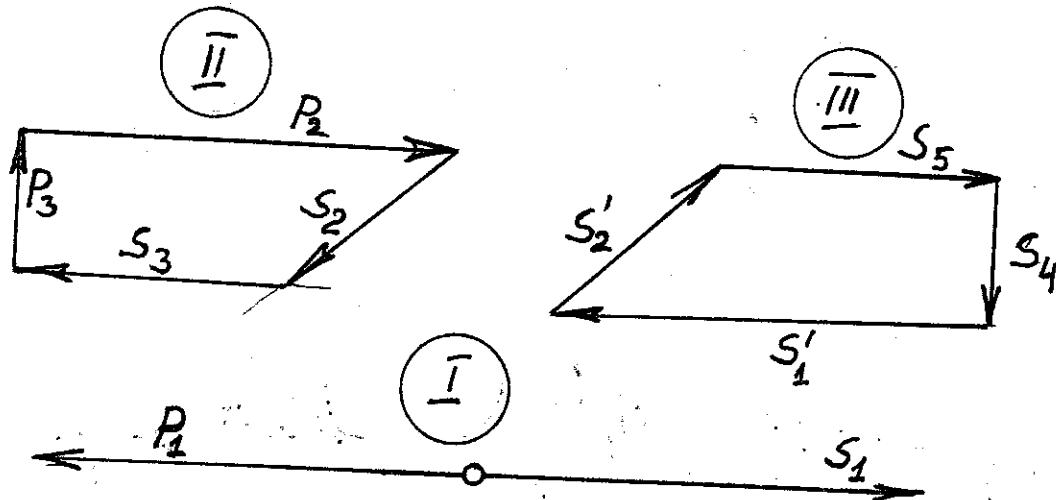
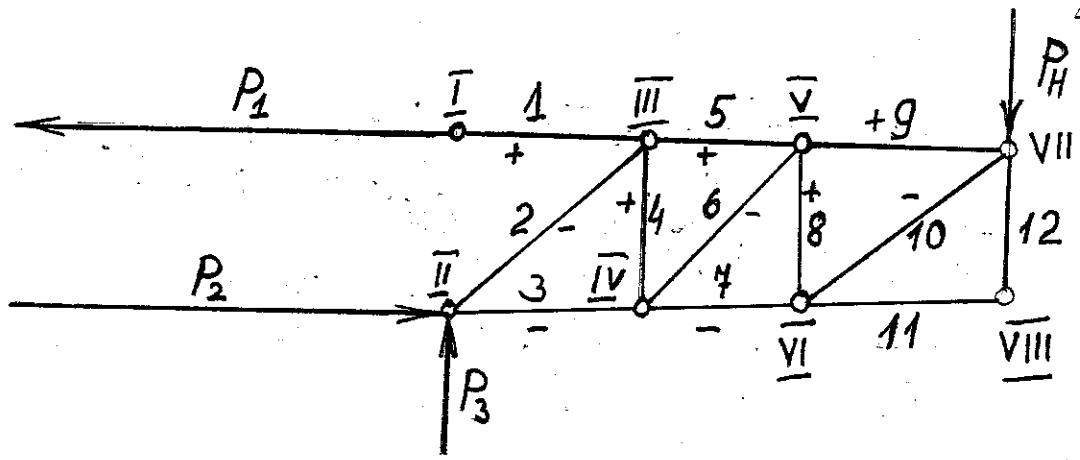
$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1 \cdot P_2 \cdot \cos\alpha};$$

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

### Grafinis plokšcių santvarų skaičiavimas

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

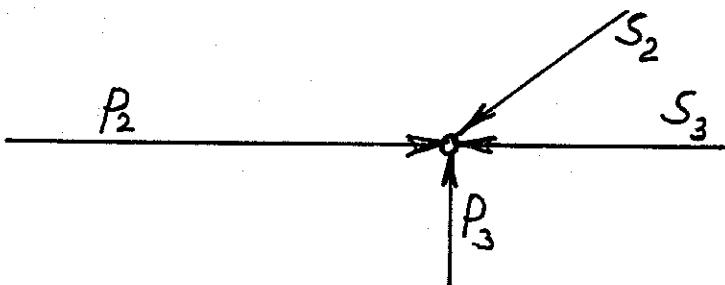
Pirmiausia randamos atraminės reakcijos (9 brėž.). Po to, – paeiliui iš santvaros išpjaunant kiekvieną mazgą ir sudarant atitinkamus uždarus jėgų daugiakampius, randamos strypų, sujungtų šiuose mazguose, įražos. Viskas bražoma pagal mastelių, kuris parenkamas iš anksto. Kuo didesnis popieriaus lapas,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



12 břež.

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

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



13 brėž.

Kaip jau minėjau strypai 2 ir 3 gnuždomi, todėl jégos  $S_2$  ir  $S_3$  eis i mazgą II. Iš visų susikertančių jégų sudarome uždarą daugiakampį, kuo didesniu masteliu tuo bus tiksliau. Jei naudosim spalvotus pieštukus – mažiau šansų suklysti. **Braižyti pradedame nuo žinomos jégos  $P_3$ , mazgą apeiname laikrodžio rodyklės kryptimi.** (12 brėž.)

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

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

Iš nubraižytų daugiakampių, žinodami mastelių, randame visų įražų reikšmes.

Patikrinimui, norėdami surasti įražą pvz. strype 5, atstumą tarp III ir VII mazgų daliname iš atstumo tarp III ir IV mazgų ir dauginame iš jégos  $P_H$ . Rezultatai turi sutapti.

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

## Santvaros strypų (vamzdelių) skerspjūvio parinkimas

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

Plienas 30 XCIA –  $70 \cdot 0,8 = 56 \text{ kg/mm}^2$ . 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 gryna 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

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

$P_{krit}$  – 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

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

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

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

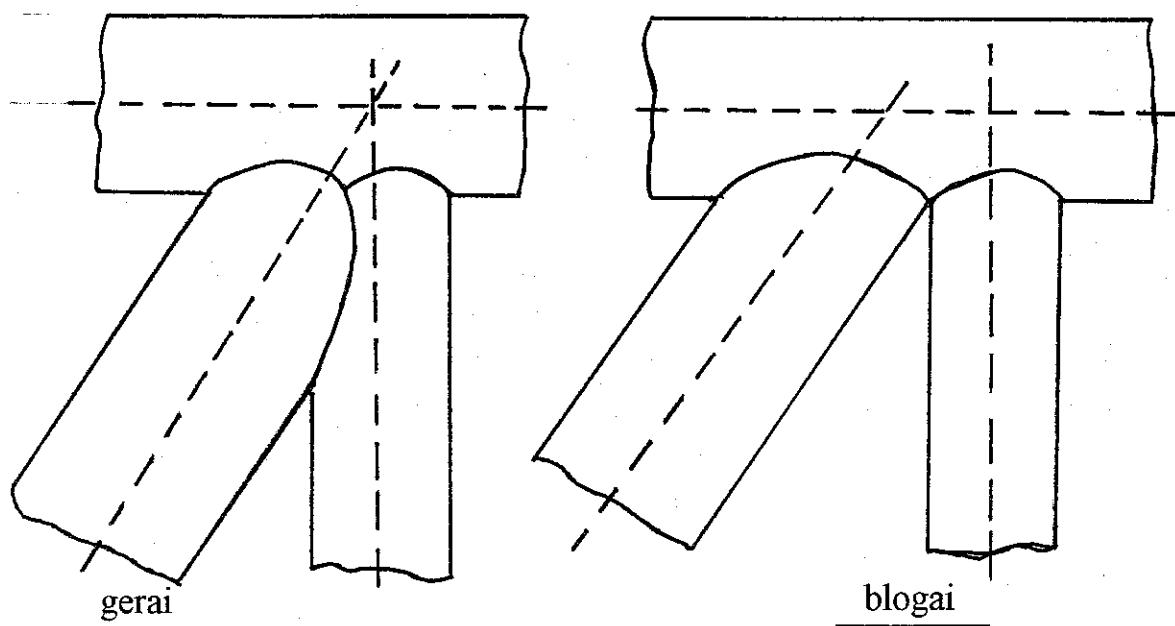


Jei santvarą kokybiškai suvirinot, neklausykit pasakų, kad jai reikia daryti terminį apdirbimą, nekaitinkit mazgų litavimo lempa. Terminis apdirbimas daromas tik mažiems, ypač apkrautiems elementams, pvz. važiuoklei, variklio rėmui, žinoma ne su litavimo lempa, o spec. krosnyse, kur įmanoma išlaikyti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

**Santvarą iš karto nevirinkite, o tik susagstykite.** Plyšiai turėtų būti iki 1 mm. Gerai, jei išgręsite ~ 6 mm kiaurymes, kad vamzdėliai susisiektų – tuomet po virinimo tikrindami bendrą hermetiškumą rasite daug broko, be to pageidautina, nors nebūtina į vidų įpilti sėmenų aliejaus, leisti sudrékti 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)



14 brėž.

Stenkite, kad santvarą sudarytų lygiakraščiai arba jiems artimi trikampiai ir tik išimtiniais konstruktyviniais sumetimais naudokite smailius trikampius – 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 išsivaizduoti 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 trikampiais.

## Propelerio projektavimas

Propelerio mentė – tai sparnas, besisukantis apie išilginę propelerio mamos aši. Bendra menčių keliamoji jėga yra propelerio traukos jėga. Atsiradusiai pasipriešinimo jėgai nugalėti naudojamas variklio galingumas. Galingesnis variklis nugali 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 gera naudingą 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 sukas létai, variklis – greitai.

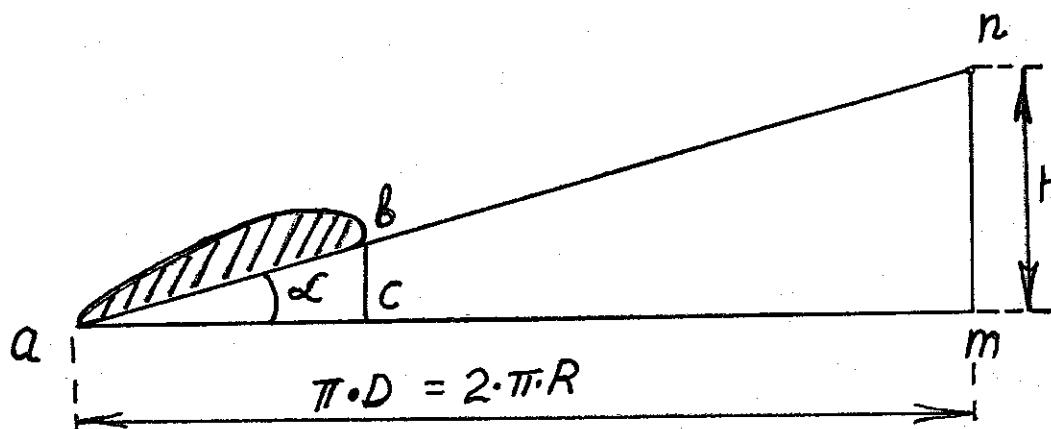
Reikėtų žinoti, kad redukuoti verta tik tokius variklius, kurių didžiausio galingumo apsisukimai yra daugiau 5500 aps/min (varikliai "Rotax", "Buran", "Vichr", "Subaru" ir t.t.)

Jei didžiausio galingumo apsisukimai yra mažiau 4500 aps/min ("Trabant", "Wolkswagen", "Iž – Planeta" ir kiti ilgai vartojami varikliai), daugeliu atveju 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:



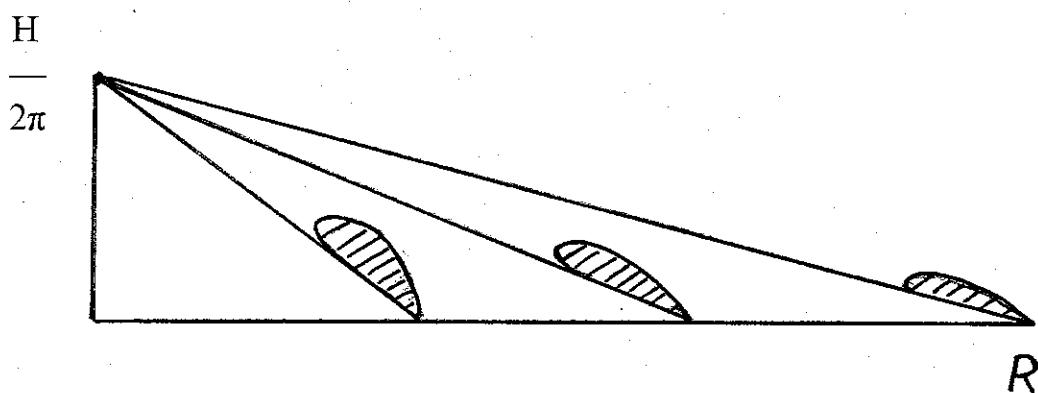
15 brėž.

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

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

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

Psinaudojė 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 diametą,
- variklio galingumą prie didžiausiu leistinu apsisukimų.

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

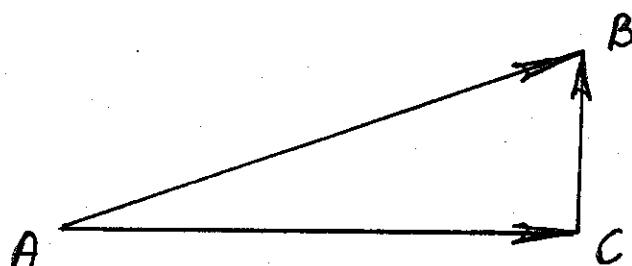
**Propelerio diametras D** parenkamas pagal didžiausią leistiną menčių galų greitį  $V_g$  arba pagal analogus.

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

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 sumuoja apskritiminio mentės greičio vektorius ir lėktuvo greičio vektorius. Jų atstojamoji didės proporcingai lėktuvo greičio didėjimui.



17 brėž.

AC – mentės galio apskritiminis greitis lėktuvui stovint vietoje

CB – lėktuvo greitis

AB – mentės galio greitis, lėktuvui skrendant greičiu CB

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

### 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 diametrą**, bet jokiu būdu ne žingsni. Didžiausi propelerio apsisukimai stovint vietoje visada mažesni nei skrendant. Tiksliai 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

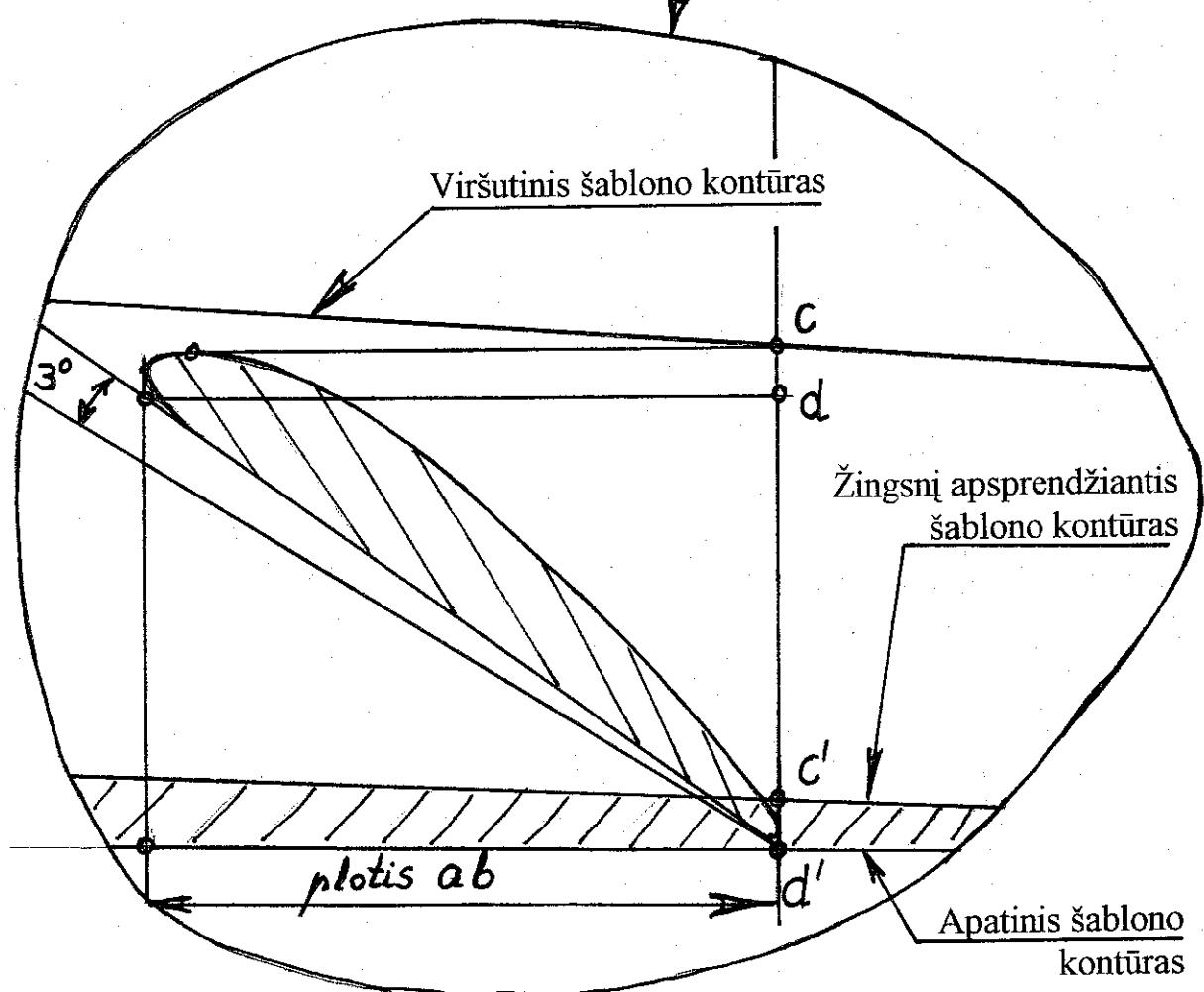
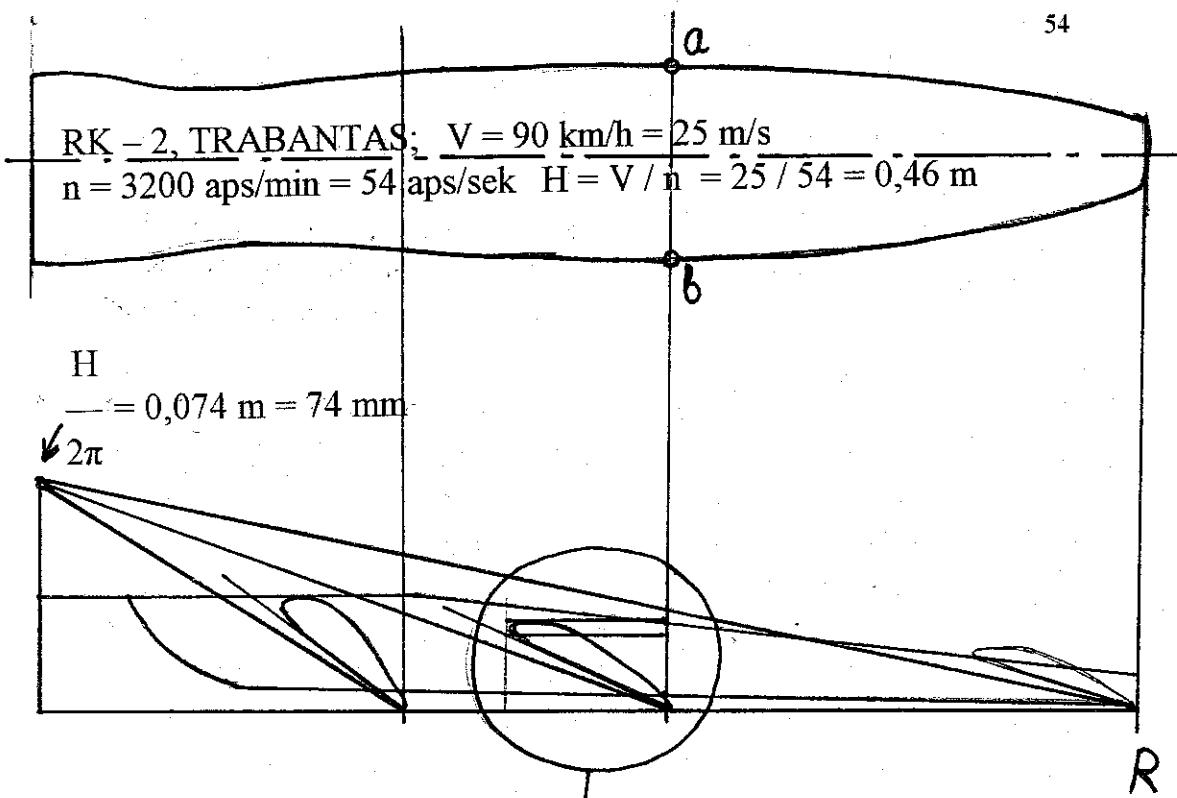
Projektuojant šiuo metodu neįmanoma apsirikti parenkant žingsnį. Nežymiai suklysti galima parenkant mentės plotį ir diametrą, bet šie dalykai nesunkiai pataisomi per skraidyminius bandymus.

Daugiausia traukos duoda mentės paskutinis trečdalnis, ypač pats galas, todėl šią vietą reikėtų suprojektuoti ir pagaminti ypač tiksliai. Stebulė ir pirmas trečdalnis traukos visai neduoda, todėl reikėtų daugiau rūpintis šios vietas atsparumu, o ne aerodinaminėm savybėm. Kadangi mentės galas greitis artimas garso greičiui, kai kada apsimoka galui suteikti strėliškumą – propeleris turės riesto kardo formą. Mentės galui dėl didelio jos greičio reikia naudoti kuo plonesnį profili. Mediniam propeleriui technologiniai sumetimais naudojamas 6 – 8 % profilis, metaliniams daug plonesnis. Tai leidžia su metaliniu propeleriu gauti geresnę trauką ir n.v.k.

Projektuoti pradedama 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 šių šablono surašomi pagrindiniai duomenys: variklio ir lėktuvo tipas, didžiausi propelerio apsisukimai ir didžiausias horizontalus greitis, propelerio žingsnis, padalintas iš  $2\pi$ . Apačioje braižomas kitas šablonas – mentės vaizdas iš šono. Vienoje ašyje atidedamas mentės ilgis, kitoje žingsnis, padalintas iš  $2\pi$ . 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 kampus  $\sim 3^\circ$ , todėl nuo gautų linijų susikirtimo su horizontalia ašimi braižomi papildomi  $3^\circ$  kampai. Kadangi mentės galas labai apkrautas, gale pridedama tik  $1,5^\circ$ , sekančiam skerspjūvyje link stebulės  $2^\circ$ , toliau po  $3^\circ$ .

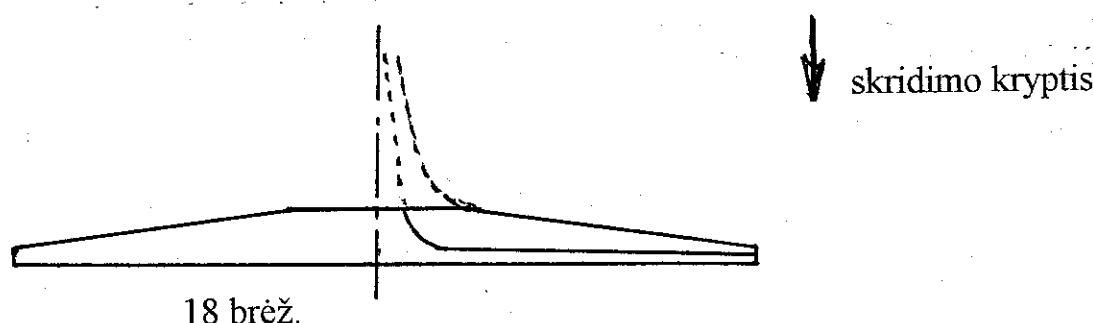


Mentės procentinis storis plongalyje, kaip minėjau, 6- 8 %, per vidurį ~ 14 %, prie stebulės 20 % ir daugiau. Ant apatinio šablono atidedamas ruošinio plotis ab duotajame skerspjūvyje (17 brėž.), bražomas atitinkamo procentinio storio profilis Clark - Y.

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

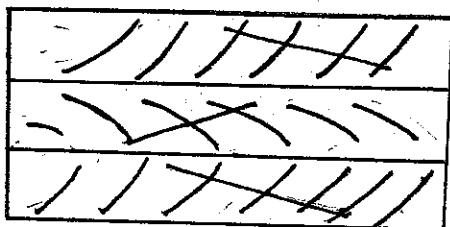
Profilio noselės vertikalias liestinės susikirtimo su mentės apatinės plokštumos liestine tašką pernešame horizontaliai į dešinę iki susikirtimo su linija, žyminti pjūvį ab, gaunamas taškas d. Atstumą cd pernešame iki apatinio šablono kontūro. Gauname tašką c', kuris yra žingsnyje apsprendžiančio šablono 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 storai, 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 parabole nueitų į begalybę, todėl užsidavus didžiausių stebulės ir centrinės dalies storij kontūrai brėžiami iki susikirtimo su storij apsprendžiančia linija

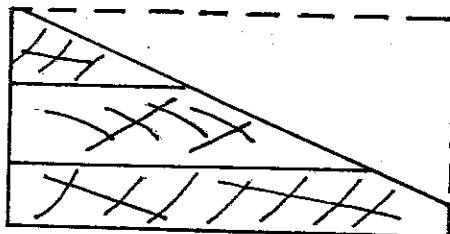


### Propelerio gamyba

Gaminama iš 10 - 15 mm storio kokybiško beržo, uosio, klevo, raudonmedžio ar pušies sausų lentelių. Lentelės klijuojamos vandeniu atspariais sintetiniais klijais, būtinai suspaudžiant presu ar veržtuvais. Suklijuotą ruošinį nulyginus ant obliavimo staklių, brėžiama centrinė linija ir bražomas šablonas, - vaizdas iš priekio. Pagal šabloną apipjaustoma juostiniu begaliniu pjūklu. 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.)

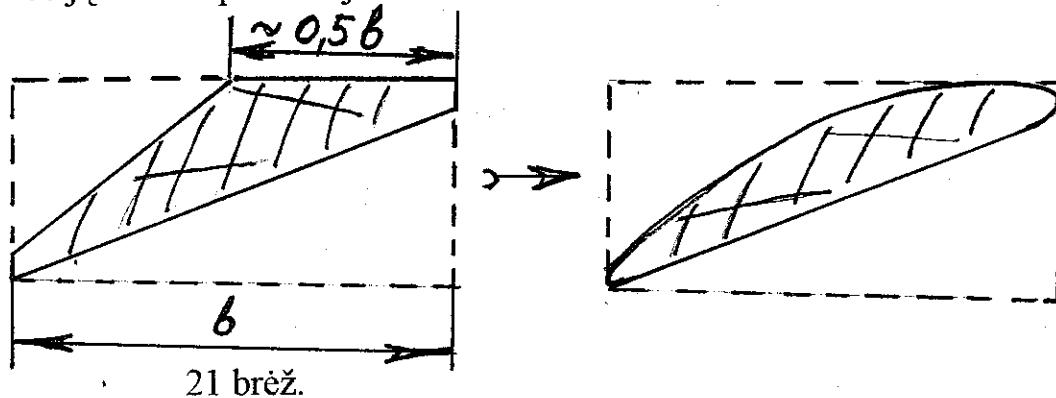


19 brėž. lentelių klijavimo tvarka



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 statiskai balansuojamas, geriausiai kartu su variklio flanšu. Balansuojama nuimant medienos perteklių. Jei nepadeda įtvirtinama švininė kniedė. Nerūdijančio plieno  $0,5 \div 0,8$  mm storio skarda apktaustomos menčių noselės. Jei propeleris pušinis, prieš tai apklijuojamas dviem 0,3 mm storio stiklo audinio sluoksniais, apklausčius glaistomas, dažomas ir galutinai patikrinamas balansavimas. Jei stiklo audiniu neklijuojama, reikia tris kartus nulakuoti geru parketiniu laku, galutinai balansuoti.

Propelerį pritvirtinlus 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 pakiant iš klijuotės pagamintus reguliavimo tarpiklius. 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 duraluminio skardos tarpikliais.

Amortizatoriai pradeda irti esant 50 % - 60 % deformacijai.

Reikalingas amortizatoriaus skritulio skerspjūvio plotas F

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

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

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

Kad deformacija neviršytų 45 – 50 %, imamas leistinas didžiausias gniuždymo įtempimas  $80 \div 120 \text{ kg/cm}^2$  aptakioms ir  $100 \div 150 \text{ kg/cm}^2$  apvalioms plokštéléms.

### Gumos pynių (tempiami) amortizatoriai

Pynių leistinas įtempimas  $60 \div 70 \text{ [kg/cm}^2]$ , leistina deformacija iki 100 %, bet daugiau 80 % nerekomenduojama. Lėktuvui stovint vietoje, įtempimas turi būti  $12 \div 18 \text{ [kg/cm}^2]$ . Išankstinis įtempimas 5 – 10 % laisvo ilgio.

Pynės skersmuo [ $\text{mm}^2$ ]	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. C. H. Kan. Прочность самолёта. Москва, 1955. изд. оборонной промышленности.
4. Б. К. Ландишев. Расчёт и конструирование планера. Москва, 1939. изд. оборонной промышленности.

