



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Eksperimentinio ultralengvojo elektriniais varikliais varomo orlaivio  
projektavimas ir jo stiprumo savybių tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Aurimas Morkūnas**  
Projekto autorius

**prof. dr. Vaidas Lukoševičius**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Eksperimentinio ultralengvojo elektriniais varikliais varomo orlaivio  
projektavimas ir jo stiprumo savybių tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas  
Aeronautikos inžinerija (E14), Inžinerijos mokslai

---

**Aurimas Morkūnas**

Projekto autorius

**prof. dr. Vaidas Lukoševičius**

Vadovas

**prof. dr. Artūras Keršys**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Aurimas Morkūnas

## **Eksperimentinio ultralengvojo elektriniais varikliais varomo orlaivio projektavimas ir jo stiprumo savybių tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Aurimo Morkūno, baigiamasis projektas tema „Eksperimentinio ultralengvojo elektriniais varikliais varomo orlaivio projektavimas ir jo stiprumo savybių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



## Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

### Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema „Eksperimentinio ultralengvojo elektriniais varikliais varomo orlaivio projektavimas ir jo stiprumo savybių tyrimas“  
„Experimental ultralight aircraft powered by electric engines designing and strength characteristics testing”

Reikalavimai ir sąlygos (tikslinti pavadinimą pagal poreikį)

Griežtėjant tarptautiniams susitarimams dėl vidaus degimo variklių naudojimo, auga elektriniais varikliais varomų transporto priemonių tame tarp ir orlaivių poreikis. Eiliniam vartotojui nedideli elektriniais varikliais varomi orlaiviai yra brangūs ir sunkiai prieinami, todėl darbo tikslas suprojektuoti ir atlikti statinius ultralengvojo eksperimentinio elektriniais varikliais varomo orlaivio bandymus, kurio kaina būtų iki 10 000 Eur.

Tikslui pasiekti išskelti uždaviniai:

- Atlikti projektuojamo orlaivio reikiamų parametru skaičiavimą pagal orlaivių parametru projektavimo formules;
- Atlikti projektuojamo orlaivio parametru aerodinaminį tyrimą su programine įranga „XFLR5“;
- Atlikti reikiamų orlaivio konstrukcijų stiprumo skaičiavimus;
- Atlikti orlaivio konstrukcijų projektavimą su programine įranga „SolidWorks“;
- Atlikti orlaivio konstrukcijų stiprumo tyrimą su programine įranga „Solidworks“;
- Pateikti rekomendacijas ir išvadas dėl suprojektuoto orlaivio gamybos.

Vadovas

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Morkūnas Aurimas. „Eksperimentinio ultralengvojo elektriniais varikliais varomo orlaivio projektavimas ir jo stiprumo savybių tyrimas“. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Vaidas Lukoševičius; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: Aeronautikos inžinerija (E14) inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: ULO, MKO, atsargos koeficientas, statiniai ir stabilumo bandymai, gamybos kaina.

Kaunas, 2019. 110 puslapių.

## Santrauka

Griežtėjant valstybių susitarimams dėl transporto priemonių naudojančių vidaus degimo variklius vidaus politikos, auga elektros energija varomų transporto priemonių poreikis. Sausumos transporto priemonių rinka ir vartotojų skaičius sparčiai auga, oro transporto priemonės vis dar labai brangios, nėra įperkamos eiliniam vartotojui, savo parametrais retai prilygsta šiuo metu naudojamiems vidaus degimo varikliais varomus orlaivius, todėl darbo tikslas suprojektuoti mėgėjiškos konstrukcijos elektros varikliais varomą ultralengvąjį orlaivį, kurio kaina neviršytų 10000 Eur. bei atlikti statinius konstrukcijos stiprumo bandymus.

Darbe apžvelgta elektros varikliais varomų orlaivių istorija, išanalizuota kelių mėgėjiškos konstrukcijos orlaivių konstrukcija, esami tokių orlaivių gamybos ir pripažinimo tinkamais skraidyti procedūros teisės aktai. Vadovaujantis apžvelgta literatūra, apskaičiuoti pagrindinių orlaivio komponentų parametrai, ir atliktas jų tinkamumo tyrimas naudojantis programine įranga „XFLR5“, taip pat atliktas neutraliojo taško radimas, masės centro ribų radimas bei stabilumo tyrimai.

Apskaičiavus ir atlikus pagrindinių plokštumų ir masės centro tyrimus, naudojantis apžvelgta literatūra apskaičiuoti reikiami pagrindinių jėginių elementų parametrai apkrovų atlaikymui. Apskaičiavus visų elementų reikiamus stiprumus, atliktas jų braižymas programinėje įrangoje „Solidworks“, bei atlikti jų statiniai bandymai numatomų apkrovų atlaikymui. Gauti bandymų rezultatai parodė visų jėginių elementų tinkamą suprojektavimą, tačiau kelių tvirtinimo mazgų stiprumas buvo nepakankamas, todėl juos pastorinus, gauti tinkami rezultatai ir atsargos koeficientai. Jėginių elementų įtempių koncentracijos taškuose atsargos koeficientas nemažesnis kaip 1,5, tvirtinimo mazguose nemažesnis kaip 2,25.

Gavus teigiamus tyrimo rezultatus, atliktas jėgainės ir baterijų parinkimas atsižvelgiant į kitų panašių orlaivių atvejus. Žinant visas reikiamas priemones orlaivio konstrukcijai, atliktas orlaivio gamybos medžiagų kainos skaičiavimas, gauta kaina 6 909,79 Eur. Detaliai apskaičiavus, gaunamas mažesnė orlaivio masė nei pradiniam projektavimo etape, parinkta jėgainė užtikrintų reikiamą trauką skrydžiams atlikti. Gauti rezultatai iliustruoja, jog toks orlaivis galėtų būti sertifikuojamas ir gaminamas bei įperkamas eiliniam bendrosios paskirties ultralengvųjų orlaivių savininkui.

Morkūnas Aurimas. "Experimental ultralight aircraft powered by electric engines designing and strength characteristics testing". Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Vaidas Lukoševičius; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Aeronautical Engineering (E14), Engineering Science.

Keywords: ULA, Experimental aircraft, Factor of safety, static and stability tests, production price.

Kaunas, 2019. 110 pages.

### **Summary**

The tightening of national policies on domestic combustion engines for motor vehicles increases the demand for electric vehicles. The land vehicle market and the number of users are growing rapidly, but air transport are still very expensive, not affordable for the average consumer, their parameters rarely equate to the currently used internal combustion - powered aircraft. The purpose of this project is to design an experimental ultralight aircraft powered by an electric motor, without exceeding 10 000 EUR. price, and perform static simulation tests on construction strength.

The project reviews history of electric - powered aircraft, analyzes the construction of several experimental design aircraft, and the existing legislation on the production and acceptance of such aircrafts. Based on the literature review, the parameters of the main aircraft components have been calculated, and their suitability study has been performed using software „XFLR5“, as well as the neutral point finding, the detection of the limits of the center of gravity and stability studies.

After conducting main aircraft components, neutral point and center of gravity suitability tests using software „XFLR5“, using literature review, had been conducted the calculation of the required parameters of the main construction elements to withstand the loads. After calculating the required strengths of all elements, they were plotted in „Solidworks“ software, and their static tests were carried out to withstand the expected loads. The results of the tests showed the proper design of all the construction elements, but the strength of several mounts was insufficient, after thickening these mounts, the tests resulted required strength and factor of safety coefficients. At the stress concentration points of the main elements, the gained factor of safety is not less than 1,5 and not less than 2,25 in the mounts.

Following the positive results of the survey, the selection of the power plant and batteries was carried out taking into account the cases of other similar aircraft. Knowing all the necessary measures to manufacture the aircraft, a price calculation was made for aircraft production materials, the price received was 6 909,79 EUR. A detailed calculation of the weight of the aircraft components showed smaller weight than the weight at the initial design stage, the selected power plant could ensure the required thrust for the flight. The results show that such aircraft could be certified and manufactured and also affordable for an ordinary general purpose ultra - light aircraft owner.

## Turinys

Lentelių sąrašas.....	8
Paveikslų sąrašas .....	9
Santrumpų ir terminų sąrašas .....	10
Įvadas.....	12
<b>1. Elektros varikliais varomų orlaivių istorija, nedidelių orlaivių projektavimas .....</b>	<b>14</b>
1.1. Elektros varikliais varomų orlaivių istorija .....	14
1.2. Peter Sripol orlaivio gamybos apžvalga .....	14
1.3. LR galiojančios teisės normos mėgėjiškos konstrukcijos orlaiviams.....	15
1.4. Labai lengvų orlaivių projektavimo reikalavimai pagal EASA .....	16
1.5. Orlaivių projektavimo žingsniai .....	18
1.5.1. Pagrindinių orlaivio skrydžio parametrų nustatymas .....	18
1.5.2. Reikiamų orlaivio konstrukcijos elementų stiprumo nustatymas.....	21
1.5.3. Liemens santvaros skaičiavimas.....	27
1.5.4. Važiuklės apkrovų skaičiavimas .....	28
<b>2. Orlaivio parametrų skaičiavimas.....</b>	<b>29</b>
2.1. Pagrindinių parametrų skaičiavimas.....	29
2.1.1. Sparno ploto parinkimas.....	29
2.1.2. Uodegos plokštumų parametrų nustatymas .....	30
2.1.3. AC, NP ir CoG nustatymas .....	30
2.2. Reikiamų konstrukcijų stiprumų skaičiavimas.....	33
2.2.1. Sparno jėginių konstrukcijų reikiamų stiprumų skaičiavimas.....	33
2.2.2. Uodegos plokštumų jėginių konstrukcijų reikiamų stiprumų skaičiavimas.....	38
2.2.3. Sparno ir uodegos plokštumų spyrių ir troselių reikiamų stiprumų skaičiavimas.....	45
2.2.4. Važiuklės apkrovų įvertinimas .....	49
2.2.5. Liemens santvaros elementų skaičiavimai .....	49
2.2.6. Jungimosi mazgų skaičiavimai .....	56
<b>3. Suprojektuoto orlaivio įvertinimas .....</b>	<b>58</b>
3.1. Apskaičiuotų konstrukcijos elementų tyrimas.....	58
3.1.1. Sparno pusės jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai .....	58
3.1.2. Stabilizatoriaus jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai.....	58
3.1.3. Kilio jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai .....	59
3.1.4. Liemnes jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai .....	59
3.1.5. Simuliacijų apibendrinimas .....	59
3.2. Orlaiviui reikalingos jėgainės parinkimas .....	60
3.3. Orlaivio kainos įvertinimas .....	60
Išvados.....	64
Literatūros sąrašas .....	65
Informacijos šaltinių sąrašas.....	<b>68</b>
1 priedas. Peter Sripol orlaivio konstrukcijos analizė .....	71
2 priedas. Aerodinaminių profilių tyrimai .....	85
3 priedas. Aerodinaminių plokštumų parametrų ieškojimas .....	90
4 priedas. Liemens santvaros projektavimas .....	93
5 priedas. Orlaivio konstrukcijos elementai .....	95
6 priedas. Konstrukcijos elementų simuliacijos bandymai .....	104

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Sparno jėginių konstrukcijos elementų parametrai.....	37
2 lentelė. Uodegos plokštumų jėginių konstrukcijų matmenys.....	45
3 lentelė. Sparno ir uodegos plokštumų parėmimo konstrukcijų parametrai .....	48
4 lentelė. Vertikalios santvaros mazgus veikiančių apkrovų dydžiai.....	49
5 lentelė. Horizontalios santvaros mazgus veikiančių apkrovų dydžiai.....	50
6 lentelė. Galinės liemens dalies vertikalios santvaros vamzdelių skaičiavimas .....	50
7 lentelė. Galinės liemens dalies horizontalios santvaros vamzdelių skaičiavimas .....	51
8 lentelė. Priekinę liemens dalį veikiančių apkrovos elementų dedamosios.....	52
9 lentelė. Priekinės liemens dalies horizontalios apatinės santvaros mazgus veikiančios apkrovos.	53
10 lentelė. Priekinės liemens dalies vertikalios santvaros dalių mazgus veikiančių apkrovų dydžiai	53
11 lentelė. Priekinės liemens dalies vertikalios santvarų vamzdelių storio skaičiavimas.....	54
12 lentelė. Priekinės liemens dalies horizontalios apatinės santvaros vamzdelių skaičiavimas .....	55
13 lentelė. Mazgams reikalingų kaiščių (varžtų) apskaičiuoti skersmenys, mazgų auselių $\delta$ ir šakučių $\delta/2$ reikiami storiai, auselių pločiai statmenai kaiščiui, auselių šlyties plokštumų ilgiai .....	56
14 lentelė. Orlaivio konstrukcijos elementų atsparumo tyrimų rezultatų suvestinė.....	59
15 lentelė. Liemens santvaros vamzdelių ilgio, masės ir kainos įvertinimas.....	61
16 lentelė. Spyrių, kontrapirčių ir tvirtinimo troselių ilgio, masės ir kainos įvertinimas .....	61
17 lentelė. Aerodinaminių plokštumų jėginių elementų tūriai ir kainos .....	61
18 lentelė. Mazgų tūriai ir masės.....	62



## Paveikslų sąrašas

1 pav. Aerodinaminės plokštumos geometrija ir dedamosios .....	19
2 pav. $AC$ radimas.....	20
3 pav. Spyrių įtaka didžiausios veikiančios apkrovos dydžio kitimui per visą sparno ilgį .....	22
4 pav. Dėžutės tipo lonžeronas .....	22
5 pav. Aerodinaminę plokštumą veikiančios susukimo momento veikimo zonos.....	23
6 pav. $a_1$ ir $a_2$ atstumų priklausomybė nuo $VAS$ .....	23
7 pav. Profiliuoto spyrio matmenys ieškant skerspjūvio inercijos momento .....	25
8 pav. Jungimo mazgo pavyzdys su paaiškinimais .....	26
9 pav. Santvaros galinę dalį veikiančios apkrovos .....	27
10 pav. Santvaros elementai .....	27
11 pav. Santvaros mazgų skaičiavimo dedamosios.....	28
12 pav. Pagrindinių orlaivio aerodinaminių plokštumų projektavimas programine įranga XFLR5 .	30
13 pav. Orlaivio $NP$ radimas $CoG$ patalpinus ties 0,625 m. nuo sparno priekinės briaunos .....	31
14 pav. Orlaivio kokybės ir stabilumo grafikai, kai $CoG$ 0,625 m. nuo sparno priekinės briaunos .	32

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

*BO* – Bepilotis orlaivis  
*PO* – Pilotuojamas orlaivis  
*JAV* – Jungtinės Amerikos Valstijos  
*RC* – Nuotoliniu būdu radijos bangomis valdomas (*angl. k.* Remote control, Radio control)  
*MKO* – Mėgėjiškos konstrukcijos orlaivis  
*CS-VLA* – Labai lengvų orlaivių projektavimo reikalavimas (*angl. k.* Certification specification for very light aircrafts)  
*ES* – Europos Sąjunga  
*EASA* – Europos aviacijos saugumo administracija  
*LR* – Lietuvos Respublika  
*NASA* – Nacionalinė oro erdvės ir kosmoso agentūra *JAV* (national air and space agency)  
*CAA* – *LR* Civilinės aviacijos administracija  
*ULO* – Ultralengvasis orlaivis  
*TSP* – Tinkamumo skraidyti pažymėjimas  
*STSP* – Specialusis tinkamumo skraidyti pažymėjimas  
*CoG* – Masės centras (*angl. k.* Center of Gravity)  
*VAS* – Vidutinė aerodinaminė styga (*angl. k.* mean aerodynamic chord)  
*AC* – Aerodinaminis centras (*angl. k.* aerodynamic center)  
*NP* – Neutralusis taškas (*angl. k.* neutral point)

### Terminai:

$V_{S0}$  – Minimalus leidimosi greitis  
 $V_{S1}$  – Mažiausias greitis, kuriuo skrendant orlaiviui leidžiantis jis yra pilnai suvaldomas  
 $V_A$  – Manevravimo greitis  
 $V_C$  – Kreiserinis greitis  
 $V_D$  – Pikiravimo greitis  
 $f_1$  – Atsargos koeficientas konstrukcijai (*angl. k.* Factor of Safety)  
 $f_2$  – Atsargos koeficientas jungimosi mazgams (*angl. k.* Factor of Safety)  
 $S$  – Plotas (sparno, uodegos plokštumų, nerviūrų noselių, lonžeronų lentynelių skerspjuvio, nerviūrų lystvelių skerspjuvio, vairų ir eleronų nerviūrų lystvelių skerspjuvio, vairų, eleronų)  
 $C_L$  – Keliamosios jėgos koeficientas  
 $C_L/C_D$  – Keliamosios jėgos ir pasipriešinimo jėgų santykis  
 $C_m/\alpha$  – Momento koeficiento priklausomybė nuo atakos kampo  
 $A_{VP/HP}$  – Uodegos plokštumų kokybės koeficientas  
 $L_{HP/VP}$  – Uodegos plokštumų petys  
 $c_r$  – Aerodinaminės plokštumos pagrindo styga  
 $c_t$  – Aerodinaminės plokštumos galo styga  
 $\pm g$  – Orlaivio konstrukciją veikiančios apkrovos skrydžio metu  
 $\pm q$  – Perkrovų koeficientai  
 $W$  – Masė (orlaivio, sparnų)  
 $Z$  – Atstumas nuo aerodinaminės plokštumos galo  $c_t$  iki spyrių pajungimo vietos

$C$  – Spyrio galų tvirtinimo koeficientas  
 $E$  – Medžiagos tamprumo/standumo modulis  
 $B$  – Aerodinaminės plokštumos mojis (sparno, uodegos plokštumų)  
 $(B-u)/2$  – Viena aerodinaminės plokštumos dalis išsikišusi į šoną už liemens  
 $u$  – Liemens plotis plačiausioje vietoje  
 $u_{siauriausia}$  – Liemens plotis siauriausioje vietoje  
 $a_1$  – Atstumas (20 % VAS) nuo nerviūros priekinės dalies (noselės) priekio iki noselės standumo centro  
 $a_2$  – Atstumas nuo  $a_1$  iki vairų arba eleronų vyrių  
 $\sigma_{gniuždymo/tempimo}$  – Medžiagos atsparumas gniuždymui bei tempimui  
 $P_V$  – Vertikalios plokštumos apkrovos  
 $P_H$  – Horizontalios plokštumos apkrovos  
 $\pm P$  – Apkrovų dydis  
 $P_{kritinė}$  – Kritinė gniuždymo apkrova spyriams  
 $\pm R$  – Teigiama/neigiama apkrova spyriui  
 $M_{susukimo}$  – Aerodinaminės plokštumos susukimo momentas  
 $M_{sukimo.vairų/eleron.}$  – Vairų arba eleronų keliamas susukimo momentas  
 $M_{susukimo.pilnutinė}$  – Pilnutinis aerodinaminės plokštumos susukimo momentas  
 $M_G$  – Susukimo apkrova  
 $M_{lenk.max.}$  – Didžiausia aerodinaminės plokštumos lenkimo jėga spyrių pajungimo vietoje  
 $h$  – Aerodinaminės plokštumos lonžerono darbinis aukštis tarp lonžerono lentynėlių centrų  
 $t$  – Spyrio projekcija į aerodinaminę plokštumą nuo liemens iki spyrio pajungimo vietos  
 $l$  – Spyrio ilgis  
 $l/2$  – Pusės spyrio ilgis  
 $I$  – Spyrio skerspjūvio inercijos momentas  
 $n$  – Varžto kirpimo plokštumų skaičius  
 $\delta$  – Mazgo auselės storis, aerodinaminės plokštumos priekinės dalies gaubto storis  
 $d$  – Kaiščio skersmuo  
 $k$  – Įtampos koncentracijos koeficientas  
 $\tau$  – Atsparumas šlyčiai, kaiščio medžiagos atsparumas kirpimui  
 $\tau_{sukimo}$  – Susukimo įrašas  
 $r$  – Atstumas nuo mazgo standumo centro iki  $P_V$  arba  $P_H$  pridėties vietos (AC)  
 $h_L$  – Liemens vertikalios santvaros aukštis  
 $b_L$  – Liemens horizontalios santvaros plotis

## Įvadas

Beveik kasdien galime išgirsti ar perskaityti naują straipsnį apie aplinkos taršą, jos mažinimo poreikį, skatinimą naudotis viešuoju transportu, mažinti skysto kuro ir degalų suvartojimą, bei siekti vidaus degimo variklius ateiityje pakeisti elektros varikliais ir naudotis atsinaujinančių šaltinių generuojama elektros energija. Jau gana seniai tapo aišku, jog dėl taršos ir naftos produktų resursų sekimo, papildomų mokesčių iškastinio kuro naudotojams didėjimo, visi vidaus degimo variklius naudojančios įrenginiai, ateiityje bus pakeisti varomais elektros energija.

Visa tai skatina pasaulines rinkas pereiti prie platesnio elektrinių variklių pritaikymo. Automobilių rinkoje niekam nebekelia nuostabos išibėgėjęs elektros automobilių pardavimų ir vartojų kiekio augimas. Šis augimas turi skatinti ir oro transporto priemonių gamintojus. Elektros energija varomi orlaiviai nėra didelė naujiena, tačiau pasitaiko dar ganėtinai retai. Dažniausiai elektros energija sutinkami orlaiviai yra *BO* tipo, skirti karinėms bei civilinėms ar mokslinėms užduotims. Yra keletas atvejų, kai sklandytuvo tipo orlaiviai buvo modifikuoti ir jiems pritaikius elektros variklius, šie gebėjo patys pasikelti į orą [18], taip pat *BO* padengti saulės baterijomis, pakilę į beveik 30 km. aukštį [19], *PO* dengti saulės baterijomis turintys didelį sparnų plotą, su nutūpimais apskridę žemės rutulį [20].

Lyginant su sausumos transporto pažanga elektros energija varomų priemonių rinkoje, akivaizdu, kad oro transportas dar gerokai atsilieka. Visi iki šiol sukurti elektros energija varomi orlaiviai, tik teoriškai galėtų pakeisti šiuo metu naudojamus skystu kuru varomus orlaivius, kadangi reikalauja labai didelio sparnų ploto (tuo atveju, kai orlaivis varomas saulės energija ir jo sparnai dengiami saulės baterijomis), gali pakelti labai nedidelį žmonių kiekį, skrenda mažu greičiu, ir kol kas negali patenkinti žmonių poreikių taip, kaip jie tenkinami šiuo metu skraidančių skystu kuru varomų orlaivių.

Tačiau visi iki šiol vykdyti ir vykdomi elektros energija varomų orlaivių projektai kainavo dideles sumas, ir eiliniam žmogui būtų sunkiai prieinami. Dėl šių priežasčių, elektros energija varomų orlaivių kiekio augimas nedidėja. Peter Sripol iš *JAV*, savo *Youtube.com* [41, 42, 43, 44, 45] kanale yra patalpinęs eilę filmuotos medžiagos, kurioje užfiksavo didelių *RC* modelių elektros variklių pritaikymą vienos sėdimos vietos savadarbio biplano gamybai. Gamybai panaudotas didelio tankio putų polistirenas, aliuminio lydinio vamzdžiai, sluoksnuiota fanera, stiklo audinio pluoštas, pušies ir eglės mediena ir kitos medžiagos. Orlaivis buvo varomas pakrautomis baterijomis, skrido apie 60 km/val., 50 min., pakilo į 100 m. aukštį. Viso orlaivio masė be piloto buvo 120 kg., kaina 6 000 *JAV* dolerių (didžioji dalis sumos varikliai ir baterijos). Vadovaujantis šiuo pavyzdžiu, galima paskatinti *MKO* varomų elektros energija kiekio augimą ir gamybą, taip pamažu išstumiant vidaus degimo varikliais varomus orlaivius iš bendrosios aviacijos paskirties orlaivių tarpo.

Šio **darbo naujumas** – projekte vykdomas nedidelės kainos dviejų sėdimų vietų *MKO* varomo *RC* elektros varikliais projektavimas. Orlaivio tipas orientuojamas į *CS-VLA*, vadovaujamosi *ES EASA* ir *LR* galiojančiais *MKO* gamybos reikalavimais taip pat siekiama, kad gamybos kaina neviršytų 10 000 Eur. Mokslinių darbų, kuriuose aprašomas nedidelių, kelių sėdimų vietų *MKO* su elektriniais varikliais projektavimas orientuotas į nedidelę kainą rasta nebuvo.

**Temos aktualumas** – šiandien orlaiviai varomi elektros energija nėra lengvai prieinami eiliniam vartotojui dėl didelės kainos, vienetinės gamybos, nedidelės maksimalios kilimo masės ir

nedidelio greičio. Nedidelės kainos elektriniais varikliais varomų *MKO* gamybos paskatinimas skatintų vidaus degimo varikliais varomų orlaivių išstūmimą. Šiuo projektu bandoma atlikti nebrangaus orlaivio projektavimą pritaikant elektros variklių įdiegimą, ir atlikti stiprumo tyrimus.

**Darbo tikslas:** nedidelės kainos dviejų sėdimų vietų *MKO* varomo elektros varikliais projektavimas ir konstrukcijų stiprumo tyrimas.

Tam, kad būtų pasiektas tikslas, suformuluoti šie **darbo uždaviniai:**

- Atlikti projektuojamojo orlaivio reikiamų parametų skaičiavimą pagal orlaivių parametų projektavimo formules;
- Atlikti projektuojamojo orlaivio parametų aerodinaminį tyrimą su programine įranga „XFLR5“;
- Atlikti reikiamų orlaivio konstrukcijų stiprumo skaičiavimus;
- Atlikti orlaivio konstrukcijų projektavimą su programine įranga „SolidWorks“;
- Atlikti orlaivio konstrukcijų stiprumo statinius tyrimus su programine įranga „Solidworks“;
- Pateikti rekomendacijas ir išvadas dėl suprojektuoto orlaivio gamybos.

## 1. Elektros varikliais varomų orlaivių istorija, nedidelių orlaivių projektavimas

### 1.1. Elektros varikliais varomų orlaivių istorija

Vienas pirmųjų elektros energija varomų *PO* buvo 1973 m. Austrijoje sukonstruotas dviejų sėdimų vietų „Militky MB-E1“ modelis, varomas „Bosch KM77“ elektriniu varikliu. Tai buvo pirmasis pasaulyje elektros varikliu varomas orlaivis, pats pakilęs ir atlikęs 12 min. skrydį, kurio metu pakilo į 380 m. aukštį. Elektros energija buvo tiekama iš įkrautų baterijų [1]. Vėliau sukurti ir išbandyti kiti orlaiviai, elektros energija jiems buvo tiekama iš ant orlaivių paviršiaus įrengtų saulės baterijų, vienas pavyzdžių yra „Mauro Solar Riser“, pirmą kartą žmogų į orą pakėlęs 1979 m., tai buvo vienos sėdimos vietos orlaivis, jo baterijos stiprioje saulės šviesoje per 1,5 val. įsikraudavo skrydžiui, kurio trukmė siekė vos 3-5 min [2].

Vėliau pasirodė ir daugiau lengvųjų orlaivių kategorijai priskiriamų modelių, tai elektros varikliu varomas sklandytuvas „Silent“ pagamintas „Alisport“ kompanijoje, pirmą kartą skridęs 1997 m. [21]. Pirmasis pasaulyje sertifikuotas elektros varikliu varomas orlaivis buvo pagamintas Vokietijoje, 2003 m., tai „Lange Antares 20 E“, jis taip pat buvo sklandytuvo tipo orlaivis, kurio elektros variklis galėjo jį pakelti į orą pats [18]. 2007 m. „Pipistrel Taurus Electro“ tapo pirmuoju sklandytuvu turinčiu elektros variklį, kuris pasiekė serijinę gamybą [22]. 2013 m. Burt'o Rutan'o sukonstruotas elektros varikliu varomas lengvasis orlaivis „Long ESA“, pirmą kartą viršijo 200 mylių per valandą greitį, ir aplenkė „Cessną“, varomą vidaus degimo varikliu [23]. Po 4 metų, 2017 m., iš sertifikuoto akrobatinio orlaivio „Extra EA-300“ perdarytas orlaivis „Extra 330 LE“ pagerino visus iki tol buvusius rekordus, pasiekdamas 340 km/val. greitį, o kitą dieną pakeldamas į orą sklandytuvą [24].

2009 m. Šveicarijoje startavo privartus projektas „Solar Impulse“, kurio tikslas buvo apskristi žemės rutulį saulės energija varomu lėktuvu, tai buvo atlikta 2015 – 2016 m. lėktuvu „Solar Impulse 2“ šis orlaivis, galėjo pakelti vieną žmogų, jo sparnų mojis didesnis nei keleivinio „Boeing“, o didžiausias greitis 6 kartus mažesnis už to paties „Boeing“ [19]. Visa tai leidžia pasidžiaugti mokslo pasiekimais, tačiau akivaizdu, kad elektros varikliais varomi orlaiviai vien iš idėjos vis dar negali pakeisti šiuo metu naudojamų orlaivių kasdienių poreikių tenkimui.

Elektros energija taip pat dažnai sutinkama *BO*, keletas NASA pavyzdžių: „Pathfinder“, „Centurion“, „Helios Prototype“, taip pat Airbus „Qinetiq Zephyr“. Šie orlaiviai ne tik išpūdingi savo dydžiu, galimybe skristi naudojant tik elektros energiją, bet ir pakilti į beveik 30 km. aukštį (NASA „Helios Prototype“) [20], bei skristi daugybę valandų, pvz. Airbus „Qinetiq Zephyr“ atliko skrydį, kurio trukmė 336 val. [25].

### 1.2. Peter Sripol orlaivio gamybos apžvalga

JAV gyvenantis Peter Sripol iš nesudėtingų ir nebrangių priemonių dažniausiai naudojamų *RC* modelių gamybai, pasigamino vienos sėdimos vietos, didelių *RC* aviamodelių varikliais varomą *PO*. Pirmą kartą apie tai paskelbė 2017 m. rugpjūčio 12 d. įkeldamas filmuotą vaizdo medžiagą į savo „PeterSripol“ kanalą *Youtube.com* [41, 42, 43, 44, 45] tinklalapyje. Viso patalpino 10 filmuotos medžiagos vaizdo įrašų, iš kurių 6 susiję su orlaivio gamyba, visi kiti su bandymais.

Jo sukonstruotas orlaivis, yra biplano tipo, apatinio ir viršutinio sparnų padėtis fiuzeliažo atžvilgiu lygiagreti ir sutampa, sparnai dviejų lonžeronų. Orlaivio fiuzeliažo konstrukcija ferminė iš

medienos, iš išorės apjungta didelio tankio polistireno plokštėmis. Sparnai surenkamos konstrukcijos, centrinės viršutinio ir apatinio sparno dalys (centroplanai) nejudamai ir tvirtai įtvirtintos prie fiuzeliažo, šoninės sparnų dalys prie centroplanų tvirtinamos varžtais. Viršutinio ir apatinio sparnų šoninės dalys jungiamos atramomis, papildomai įtempiant troselius jungiančius viršutinių sparnų centroplaną su apatinių sparnų šoninėmis dalimis, bei apatinių sparnų centroplaną su viršutinių sparnų šoninėmis dalimis. Galinės plokštumos tvirtai sujungtos į visumą, įtempiant troselius geresnei tarpusavio jungčiai, visa uodegos plokštumų konstrukcija varžtais pritvirtinta prie fiuzeliažo. Orlaivio konstrukcija ir gamyba detalai aprašyta ir išanalizuota 1 priede.

### **1.3. LR galiojančios teisės normos mėgėjiškos konstrukcijos orlaiviams**

Apžvelgsime *LR* taikomus teisinius reguliavimo principus dėl orlaivių gamybos ir naudojimo. *LR* taikomi: *ES* ir *EASA* reglamentai, *LR* Vyriausybės nutarimai, *LR* susisiekimo ir kitų ministerijų ministrų bei *CAA* direktoriaus įsakymai. Pagrindinį reguliavimą atlieka *CAA*, leisdama įsakymus dėl orlaivių gamybos, naudojimo, priežiūros, pilotavimo, registravimo, taip pat ir įstatymus dėl eksperimentinių *MKO* gamybos ir naudojimo.

Projektuojamas orlaivis kaip ir minėta pradžioje, bus vienetinis savadarbis nedidelio greičio ir masės skraidinantis 2 asmenis orlaivis, pagal tokį apibūdinimą būtų priskiriamas eksperimentiniams *MKO ULO*. *MKO* gamybą, *TSP* ir *STSP* išdavimą, pratęsimą, sustabdymą ir galiojimo panaikinimą nustato bei aprašo jų naudojimo taisyklės, patvirtintos *CAA* direktoriaus 2001 m. gruodžio 27 d. įsakymu Nr. 109 [26], vėliau buvo keistos 2004 m. vasario 11 d. įsakymu Nr. 4R-25. [27]. Vėlesnėje redakcijoje pateikti *MKO* gamybai naudojamų medžiagų, dalių, komponentų, gamybos ir techninės priežiūros reikalavimai bei nurodyti apribojimai, taikomi *MKO* skrydžiams vykdyti.

*MKO* vadinamas orlaivis, kurio daugiau kaip 50 % pagaminta pačio autoriaus ir surinkta išimtinai laisvalaikiui praleisti. Jeigu *MKO* gaminamas iš rinkinio, orlaivio dalių ir komponentų kiekis, pagamintas rinkinio gamintojo, neturi viršyti 50 % [27]. Jis negali būti renkamas pardavimui, gamybą ir surinkimą turi kontroliuoti *CAA*. *CAA* nesertifikuoja *MKO* rinkinių gamybos ir *MKO* surinkimo procesų [27]. Orlaivio savininkas gali pats pasirinkti konstrukciją, jos turi būti patvirtintos inžineriniais skaičiavimais ir bandymų rezultatais, konstrukcijoje leidžiama naudoti sertifikuoto orlaivio dalis ir komponentus. Orlaivių gamyboje draudžiama naudoti medžiagas ir dalis, kurių kilmė nenustatyta, taip pat draudžiama naudoti nesertifikuotus saugos diržus [26, 27].

Asmuo nusprendęs gaminti *MKO*, privalo apie tai raštu informuoti *CAA*. Gamybos metu savininkas privalo konsultuotis su *CAA* įgaliotu atstovu, bei pildyti „*MKO* gamybos žurnalą“. Prieš uždengiant svarbius konstrukcijos mazgus, turi būti padaromos tinkamos fotografijos [26].

Orlaivio tinkamumo skraidyti nustatymo procedūrą atlieka *CAA* įgaliotas atstovas, tikrindamas orlaivį gamybos metu, prieš uždengiant svarbiausius konstrukcijos mazgus bei baigus gamybą ir pateikus reikiamą orlaivio informaciją *CAA*. *CAA* suabejojus konstrukciniais sprendimais, naudotomis medžiagomis, dalių bei komponentų tinkamumu, *MKO* savininkas privalo paruošti medžiagų ar konstrukcijos dalių sujungimo bandinius, kurie bandomi iki suirimo. *CAA* gali pareikalauti statiškai išbandyti atskiras *MKO* sistemas, komponentus ar visą orlaivį. *MKO* atitikus *CAA* nustatytas sąlygas, *CAA* gali išduoti *STSP* su priedu, kuriame nurodyti *MKO* apribojimai [26, 27].

*MKO* registruojamas *LR* civilinių orlaivių registre bei žymimas nacionaliniais ir registracijos ženklais. *STSP* gali būti išduotas tik orlaiviui, paženklintam identifikavimo plokštele, kuri pagaminta iš ugniai atsparios medžiagos, kurioje ugniai atspariu būdu įrašytas gamintojo ir *MKO* pavadinimai [27]. Prie piloto kabinos privalo būti užrašas „EKSPERIMENTINIS“, raidžių aukštis turi būti ne mažesnis kaip 50 mm., ir ne didesnis kaip 130 mm. [26].

*MKO* kabinoje, gerai matomoje vietoje, privalo būti užrašas, informuojantis, kad „orlaivis yra mėgėjiškos konstrukcijos neatitinka standartinių saugos reikalavimų, taikomų standartiniams orlaiviams Lietuvos Respublikoje“ [26].

*MKO* savininkas savo nuožiūra gali nustatyti kitas papildomas techninės priežiūros rūšis. Apie atliktus techninės priežiūros darbus *MKO* savininkas privalo padaryti įrašus Orlaivio žurnale [26].

*MKO* savininkui išduodamas *STSP* su apribojimų sąrašu taikomu *MKO*. *CAA* gali nustatyti ir papildomų apribojimų. Bandomieji skrydžiai vykdomi pagal *MKO* gamintojo ir *CAA* patvirtintą bandomųjų skrydžių programą, tik *CAA* nustatytoje zonoje [26, 27].

Sausumos dviviečiai iki 450 kg. masės, eksperimentiniai orlaiviai pagal 2017 m. gruodžio 19 d. *CAA* direktoriaus įsakymą Nr.4R-187, priskiriami *ULO* kategorijai, juos gali pilotuoti asmenys, turintys licencijas, išduotas pagal atitinkamai *ULO* pilotų bei Lietuvos skraidyklių ir parasparnių federacijų patvirtintas ir su *CAA* suderintas taisykles [27].

Pagal 2016 m. spalio 31 d. *CAA* direktoriaus įsakymą Nr.4R-187, *LR* teritorijoje leidžiama naudoti skrydžiams tik tuos eksperimentinius orlaivius, kurie:

- yra registruoti ir paženklinti pagal patvirtintas Civilinių orlaivių registravimo taisykles;
- turi eksperimentiniams bei *MKO* išduotą *TSP* [28].

Pagal *CAA* direktoriaus 2011 m. vasario 4 d. įsakymą Nr. 4R-31, Eksperimentinės klasės orlaivių tinkamumas skraidyti nustatomas pagal techninę būklę, orlaivio naudotojas turi pateikti objektyvius įrodymus, kad alternatyviomis priemonėmis yra užtikrintas orlaivio bei komponentų tinkamumas naudoti [29].

#### **1.4. Labai lengvų orlaivių projektavimo reikalavimai pagal EASA**

*EASA* leidžia orlaivių projektavimo reikalavimus, kuriuose detalai aprašyta kaip kiekvieno tipo orlaivis turi būti suprojektuotas, pagamintas ir naudojamas siekiant gauti leidimą skraidyti. Projektavimo reikalavimai, kuriais remiamasi gaminat *ULO* yra *CS-VLA* (*angl. k.* „certification specification for very light airplanes“), skirti labai lengviems lėktuvams. *CS-VLA* labai detalai aprašo visą orlaivio gamybą, glausti reikalavimai pateikiami žemiau. Visą *CS-VLA* sudaro 7 dalys (nuo A iki G), paeiliui aprašomos šio tipo taikymo sritys, reikalavimai skrydžio parametrų, reikalavimai struktūrai, projektavimui ir konstrukcijai, vidaus degimo jėgainei, privalomai įrangai, naudojimo apribojimai. Kadangi baigiamojo projekto tikslas yra skrydžiui tinkamo orlaivio projektavimas, aktualiausias dalys yra B-D, jos aprašomos detalčiau ir pateikiamos žemiau.

**Dalis A - sertifikato specifikacijos taikymas.** *CS-VLA*, taikoma orlaiviams, kurių maksimali kilimo masė neviršija 750 kg., sėdimų vietų skaičius neviršija 2, leidimosi greitis neviršija 83 km/h., orlaiviai skirti lėtam manevravimui [3].



**Dalis B - skrydžio parametrai.** Orlaivio masė gali svyruoti 5-10 %, kritinė įranga gali būti veikiamą ne daugiau kaip 1-5 % didesnėmis eksploatacinėmis apkrovomis. Masės dydis ir *CoG* vieta gali svyruoti  $\pm 7$  %. Turi būti apskaičiuoti didžiausia ir mažiausia leistinos kilimo masės. Taip pat turi būti apskaičiuotas orlaivio minimalus leidimosi greitis  $V_{S0}$ , kuris kaip minėta neturi viršyti 83 km/h.,  $V_{SI}$  – tai mažiausias greitis, kuriuo skrendant orlaiviui leidžiantis jis yra pilnai suvaldomas, šie dydžiai nustatomi vykdant aprašytus bandomuosius skrydžius. Reikalingas kilimo tako ilgis neturi viršyti 500 m. Aukštėjimo greitis turi būti bent 2 m/s. [3].

Orlaivis turi būti pavaldus, reikalingos piloto jėgos dydžiai valdymo plokštumų atlenkimui neturi viršyti dalyje nurodytų dydžių. Orlaivio valdymas turi leisti bet kuriuo momentu palenkti orlaivio nosį žemyn ir pasiekti smukos greitį. Smukos metu turi būti įmanoma pakelti orlaivio nosį esant bet kuriai leistinai *CoG* vietai ir variklio galiai [3].

Orlaivis turi turėti išilginį, krypties ir posvyrio statinius stabilumus, ir turi būti manevringas tiek, kad prieš pasiekiant pavojingą posvyrį, būtų įmanoma orlaivį paversti į priešingą pusę per 5 sekundes. Skrendant  $0,9 V_C$  greičiu, paleidus orlaivio valdymo paviršius orlaivio krypties ir aukščio kursai turi nepakisti [3].

Orlaivis turi būti statiškai stabilus kilimo, kreiserinio skrydžio bei leidimosi metu, tai turi būti įrodyta bandymais bei skaičiavimais, orlaiviui skrendant nurodytose greičių ribose. Orlaivio dinaminis stabilumas taip pat turi būti įrodytas, svyravimai turi būti numalšinti ne vėliau kaip po 7 ciklų iki 1/10 didžiausio svyravimo amplitudės dydžio. Orlaivio valdymas turi leisti orlaivį įvesti ir išvesti iš suktuko ir smukos. Orlaivio pilotas turi suvokti apie orlaivio artėjimą į nuvirtimo sąlygas, tai gali būti perteikta per indikatorių arba per orlaivio aerodinamines savybes. Orlaivis turi gebėti išėiti iš suktuko per laiką trumpesnę nei 3 s. [3].

Orlaivis turi neturėti tendencijos kelti nosies dėl stabdžių ar kitų priežasčių. Orlaivio važiuoklė turi turėti amortizacinius mechanizmus, kurie sugertų smūgius leidimosi metu. Krituliai neturi daryti įtakos piloto matomumui. Iki pasiekiant mažiausą  $V_D$  greičio dydį, orlaivio konstrukcija turi būti atspari vibracijoms [3].

**Dalis C – struktūra.** Orlaivio konstrukcijos elementai turi atlaikyti 1,5 karto didesnes apkrovas veikiančias skrydžio metu, juos projektuojant visam orlaiviui turi būti taikomas saugos faktorius  $f_I=1,5$  [3].

Orlaiviui turi būti parinktos atitinkamo dydžio uodegos plokštumos, siekiant užtikrinti stabilumą ir balansavimą veikiant oro srauto apkrovoms. Orlaivio mazgai taip pat turi atlaikyti eksploatacijos metu atsirandančias teigiamas ir neigiamas perkrovas, padaugintas iš papildomo atsargos koeficiento  $f_2=1,5$ . Orlaivio konstrukcija turi atlaikyti teigiamas manevravimo metu atsiradusias apkrovas skrendant  $V_D$  greičiu nemažesnes kaip +3,8. Manevravimo metu atsiradus neigiamai apkrovai, skrendant greičiu  $V_C$ , konstrukcija turi atlaikyti nemažesnes kaip -1,5 apkrovas [3].

Sparnai ir jų tvirtinimas prie orlaivio turi būti suprojektuoti taip, kad atlaikytų nesimetrines apkrovas veikiant eleronų apkrovoms. Orlaivio liemens konstrukcija turi atlaikyti apkrovas atsirandančias nuo uodegos plokštumų. Orlaivio jėgainė turi būti tvirtai pritvirtinta prie orlaivio konstrukcijos dėl variklių sąlygojamo susukimo efekto [3].

Horizontali uodegos plokštuma turi užtikrinti pusiausvyrą skrydžio metu, neturi sąlygoti piktiravimo ar nosies kėlimo momentų. Aukščio vairui turi būti įdiegti ribojimai, kurie neleistų jo per daug atlenkti į vieną ar kitą pusę, ypač skrendant didesniais greičiais. Skrendant greičiu  $V_A$ , atsilenkimo dydis į abi puses galimas didžiausias, skrendant greičiu  $V_D$ , leidžiama 1/3 maksimalaus atsilenkimo. Horizontali uodegos plokštuma turi atlaikyti nesimetrines apkrovas. Vertikalaus uodegos paviršiaus posūkio vairas turi atlaikyti kintančias apkrovas orlaiviui manevruojant, posūkio vairas neturėtų atsilenkti daugiau kaip 15 laipsnių. Priklausomai nuo greičio, eleronams taip pat taikomas atsilenkimo kampų ribojimas. Orlaivio liemens konstrukcija turi atlaikyti orlaivio masę stovint ant žemės, leidimosi metu patiriant papildomas apkrovas bei jėgas atsirandančias nuo uodegos plokštumų [3].

**Dalis D - projektavimas ir konstrukcija.** Orlaivio konstrukcijai turi būti naudojamos dalys ir medžiagos, naudojamos kituose orlaiviuose, kurių savybės žinomos ir iširtos bandymais. Pagrindinės orlaivio jėginės konstrukcijos dalys turi būti nesudėtingai prieinamos ir remontuojamos. Konstrukcija, turi būti suprojektuota vengiant įtempių koncentracijos taškų. Orlaivio konstrukcija turi neleisti atsirasti flaterio efektui arba virpėjimui per visą sparnų ilgį. Valdymo paviršiai turi lengvai judėti per vyrius ir turėti ribojimus ribojančius jų maksimalius atsilenkimus. Orlaivio amortizaciniams mechanizms turi būti atlikti „numetimo“ (*angl. k.* – „drop“) testai, siekiant išsiaiškinti konstrukcijos atsparumą projektuojamiems smūgiams į žemę. Testai turi būti atlikti iš nemažesnio kaip 0,235 m., ir ne didesnio kaip 0,475 m. aukščio [3].

Orlaivio važiuoklėje naudojami ratai turi atitikti paskirtį. Ratams naudojamos padangos turi turėti nesibaigusį eksploatacijos terminą, būti atsparios slėgio padidėjimui žemės palietimo momentu. Važiuoklės stabdžiai turi tenkinti stabdymo reikalavimus, kurie reiškia pakankamą kinetinės energijos sugėrimą leidžiantis didžiausia masę [3].

Piloto kabinoje vaizdas turi būti aiškus, pilotas neturi būti akinamas šviesos spindulių ir atspindžių. Stiklai turi būti padengti nerasojančia medžiaga, turi turėti mažiausiai 70 % šviesos laidumą. Kabinoje pilotas prisisekęs diržais turi nesunkiai pasiekti visus valdymo prietaisus, judesiai turi būti nevaržomi. Kabinos kėdės turi atlaikyti 86 kg. sveriančius asmenis, naudojami saugos diržai turi būti sertifikuoti [3].

Bagažo skyriui turi būti numatyta leistina talpinamo bagažo masė, tiesiogiai atliepiantis *CoG* riboms. Bagažas neturi daryti neigiamos įtakos orlaivio valdymo sistemai, skyrius turi būti pagamintas iš ugniai atsparių medžiagų. Bagažo skyrius turėtų būti atskirtas nuo kabinos, arba įtvirtintas, siekiant apsaugoti skrendančius asmenis nuo atsipalaidavusių krovinių avarijos metu. Turi būti numatytos vietos avariniam pilotų ir keleivių išlipimui ar ištraukimui. Kabina turi būti gerai vėdinama [3].

## 1.5. Orlaivių projektavimo žingsniai

### 1.5.1. Pagrindinių orlaivio skrydžio parametrų nustatymas

Orlaivio projektavime, pirmiausia reikia nustatyti projektuojamo orlaivio paskirtį ir išsiaiškinti į kokią tipą jis orientuojamas. Toliau galima ieškoti, koku greičiu orlaivis skris, kiek keleivių ar kokią masę jis turėtų pakelti. Skaičiuojant orlaivio masę, reikia įvertinti vidutinę keleivių ir bagažo masę, variklio, kuro, skysčių, konstrukcijos elementų, važiuoklės mases, numatyti masės atsargą [4].

Orlaivio masė ir greitis, yra vieni svarbiausių pirminių parametru, kuriuos žinant galima ieškoti kitų parametru, tokiu kaip reikiamas sparno plotas  $S_{SP}$ . Tinkamas sparno ploto parinkimas suteikia orlaiviui galimybę išsilaikyti ore virš žemės paviršiaus [4, 5, 30]. Sparno plotas gali būti skaičiuojamas ir išreiškiamas iš ne vienos formulės:

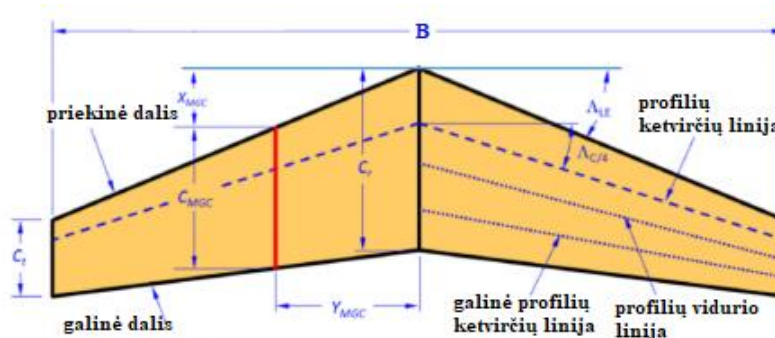
$$V_C = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot C_{L_{kreis}} \cdot S_{SP}}} \quad (1)$$

$$C_{L_{kreis}} = \frac{2 \cdot W}{\rho \cdot V_C^2 \cdot S_{SP}} \quad (2)$$

Norint apskaičiuoti reikiamą sparno plotą, reikalingas keliamosios jėgos koeficientas  $C_L$ , kuris randamas tik žinant konkretų sparno profilį, kuris bus naudojamas sparno gamyboje. Sparnui profilis parenkamas atliekant panašių orlaivių analizę, išsirenkant keletą ir juos palyginant. Palyginti galima mechaninio – rankinio skaičiavimo būdu braižant keliamosios ir pasipriešinimo jėgų  $C_L/C_D$  priklausomybės nuo atakos kampo  $\alpha$  grafikus, arba atliekant tyrimą naudojantis programinėmis įrangomis, vienas pavyzdžių – „XFLR5“. Išsirinkus profilį, turintį didžiausią kokybę, reikia įvertinti ties koku atakos kampu  $\alpha$ , išsirinktas profilis turės didžiausią naudingumą, ir įvertinti, keliamosios jėgos koeficientą  $C_L$  skrendant naudingiausiu atakos kampu [4, 5].

Ne mažiau svarbu tinkamai parinkti uodegos plokštumų parametrus. Nedidelių bendrosios aviacijos orlaivių uodegos horizontalios plokštumos plotas turėtų būti apie 20 % sparno ploto, vertikalios plokštumos apie 10 % sparno ploto [6, 7, 8].

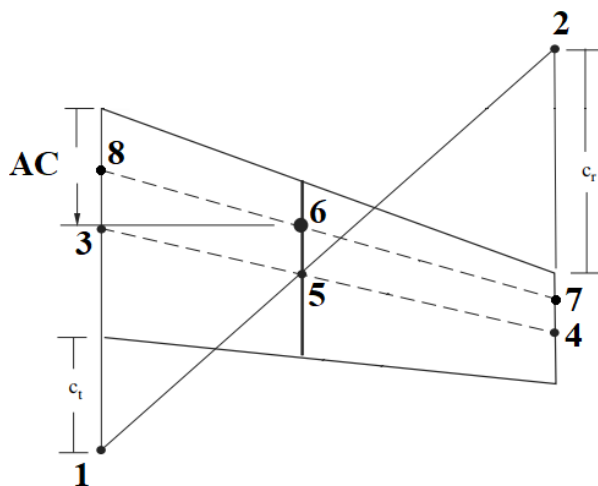
Parinkus aerodinaminių plokštumų dydžius, reikia rasti jų  $VAS$ ,  $AC$  ir atstumus nuo sparno  $AC$  iki stabilizatoriaus ir kilio  $AC$  kitaip vadinamus tų uodegos plokštumų pečiu  $L$ , kadangi reikia įvertinti aerodinaminių plokštumų kokybę ir orlaivio stabilumą [6, 7, 8, 9]. Žemiau pateiktas 1 pav. iliustruoja aerodinaminės plokštumos dedamuosius.



**1 pav.** Aerodinaminės plokštumos geometrija ir dedamosios [5]

$VAS$  randama braižymo metu, kadangi sparnas ir stabilizatorius yra simetriški skrydžio ašies atžvilgiu, ieškant jų  $AC$ , užtenka bet kurios vienos šių plokštumų pusės brėžinių, ieškant kilio  $AC$ , reikia pilno brėžinio. Kiekvieno aerodinaminio profilio  $AC$  yra ties 25 % profilio stygos ilgio nuo konkrečios plokštumos priekinės briaunos link galinės, 2 pav. šie taškai žymimi skaičiais 7 ir 8. Reikia žinoti konkrečios aerodinaminės plokštumos pagrindo stygos ilgį  $c_r$ , ir plokštumos galo stygos ilgį  $c_t$ , jų ilgiuose kiekvienoje plokštumoje reikia pažymėti vidurio taškus (2 pav. žymimi skaičiais 3 ir 4), ir sujungti tiese. Išilgai srauto kryptčiai atgal nuo  $c_r$  atidedamas  $c_t$  profilio stygos ilgis ir gaunamas taškas 1, ties  $c_t$  į priekį atidedamas  $c_r$  profilio stygos ilgis ir gaunamas taškas 2. Pažymėti taškai sujungiami tarpusavyje: 1 su 2, 3 su 4, 7 su 8. Sujungti taškai sudaro tieses, kurios

kertasi tarpusavyje, vieta kurioje kertasi 1 ir 2 taškų tiesė, bei 3 ir 4 taškų tiesės, gauname tašką 5, per kurį išvedame tiesę iki sparno priekinės ir galinės briaunų išilgai srautui ir gauname VAS. Vieta, kurioje VAS kertasi su 7 ir 8 taškų jungiančia tiese, yra visos aerodinaminės plokštumos AC, iš jos išvedus srautui statmeną tiesę link sparno centrinės ašies, ir susikirtimo su centrine ašimi vietoje gauname atstumą iki aerodinaminės plokštumos centrinės ašies priekinės briaunos, tai yra šios aerodinaminės plokštumos AC. Detalizuota AC radimo schema pateikiama 2 pav. [9].



2 pav. AC radimas [10]

Žinant visų aerodinaminių plokštumų plotus  $S$  ir galinių plokštumų pečius  $L$ , galima įvertinti uodegos plokštumų efektyvumą  $A_{HP}$  (horizontalios plokštumos) ir  $A_{VP}$  (vertikalios plokštumos). Tai atliekama pritaikant žemiau pateiktas 3 ir 4 formules [6, 7, 8].

$$A_{HP} = \frac{S_{HP} \cdot L_{HP}}{S_{SP} \cdot c} = 0,4 \div 0,5 \sim 0,35 \div 0,8 \quad (3)$$

$$A_{VP} = \frac{S_{VP} \cdot L_{VP}}{S_{SP} \cdot B} = 0,04 \div 0,05 \sim 0,02 \div 0,05 \quad (4)$$

Uodegos plokštumų kokybė įvertinama skaičiais, kurie turėtų būti formulėse pateiktų kokybės dydžių rėmuose, jei kokybės rodiklis didesnis nei duotas mažiausias kokybės rodiklis, kokybė gera ir patenkinama, kuo jis aukštesnis ir artimesnis didžiausiai galimai reikšmei, tuo kokybė geresnė ir orlavis stabilesnis. Į šiuos dydžius aktualu atsižvelgti ir parinkti pagal orlavo pobūdį, ar jis turi būti labiau manevringas, ar stabilus [6, 7, 8]. Parinkus uodegos plokštumų plotus, reikia apskaičiuoti aukščio ir posūkio vairų plotus. Vairų plotų dydžiai parenkami pagal santykius, aukščio vairo ploto  $S_{a.vairo}$  ir stabilizatoriaus ploto  $S_{HP}$  santykis turi būti  $S_{a.vairo}/S_{HP} = 0,22$ ., posūkio vairo ploto  $S_{p.vairo}$  ir kilio ploto  $S_{VP}$  santykis turi būti  $S_{p.vairo}/S_{VP} = 0,25$  [6].

Apskaičiavus pagrindinių orlavo aerodinaminių plokštumų išdėstymą ir dydžius, reikia įvertinti orlavo  $CoG$  ribas. Orlavo  $CoG$  turi būti už pagrindinio sparno AC ir iki nustatyto NP. NP, tai tokia  $CoG$  vieta, kai orlavis įgyja neutralų stabilumą, tai reiškia, kad saugiam skrydžiui orlavo centruotė negali pasiekti tokios reikšmės ir negali jos viršyti. Orlavo sparno AC išskaičiuojamas pagal formulę arba brėžinį, tuo tarpu NP randamas skaičiavimų ir kreivių braižymo metu, arba naudojant programinę įrangą „XFLR5“. Orlavo NP yra išreiškiamas x koordinatijų ašyje, ir nusakomas atstumu nuo orlavo sparno priekinės dalies. Šis taškas randamas, kai orlavo  $CoG$  vieta rankiniu priartėjimo būdu nustatoma taip, kad  $C_m/\alpha$  grafike esanti kreivė tampa kiek

įmanoma lygiagretesnė x ašiai. Programinė įranga „XFLR5“ *NP* vietą gali apskaičiuoti ir pati [9, 11, 31].

Orlaivio projektavimo metu, jo *CoG* nustačius iki *NP*, jis turės statinį stabilumą. Kuo centruotė labiau priekinė, tuo jis statiškai stabilesnis. Radus orlaivio *NP*, galima apskaičiuoti *CoG* jos turėtų būti tarp 5 ir 15 % profilio stygos ilgio į priekį nuo *NP*. Tai yra centruotės ribos, tačiau reikia apskaičiuoti geriausią centruotės vietą, kuriai esant orlaivis turėtų geriausias skrydžio efektyvumo savybes. Tinkamumas ieškomas priartėjimo būdu, ieškant tokios *CoG* padėties, kai  $C_m/\alpha$  grafike esanti priklausomybė kirs  $\alpha$  ašį tokiaame atakos kampo  $\alpha$  taške, kuriame orlaivis skrisdamas būtų efektyviausias. Taškas  $\alpha$ , kuriame kreivė kerta x ašį, yra atakos kampas, kuriam esant orlaivis bus statiškai stabilus. Efektyviausias atakos kampas įvertinamas iš orlaivio keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykio  $C_L/C_D$  priklausomybės nuo atakos kampo  $\alpha$  kreivės [31].

Svarbu įvertinti lėktuvo minimalų greitį, kuris neturi būti pasiektas mažesnis, leidimosi metu. Jo radimui naudojama 5 formulė, kuriai reikia didžiausio keliamosios jėgos dydžio [4].

$$V_{\min} = \sqrt{2W / S_{\text{sparno}} \cdot \rho \cdot C_{L\max}} \quad (5)$$

Norint patenkinti orlaivio skrydžio greičio reikalavimus, reikia apskaičiuoti kokio galingumo reikalinga jėgainė, kuri pakeltų orlaivį į orą ir jame išlaikytų. Jėgainės trauka gali būti išreiškiama kilogramais (kg.) ir niutonais (N.). Pilotažinių akrobatinių lėktuvų jėgainės trauka sudaro apie pusę skridimo masės, mažiau manevringi orlaiviai naudoja jėgaines kurių trauka sudaro apie trečdalį kilimo masės, tokie orlaiviai ganėtinai manevringi ir turi gerą vertikalų kilimo greitį. Orlaiviai kurių jėgainės trauka sudaro apie ketvirtadalį kilimo masės, geba pakilti ir atlikti skrydžius, tačiau sunkiau manevruoja. Orlaiviai kurių jėgainės trauka tesudaro penktadalį kilimo masės, gali ir nebepakilti [32, 4].

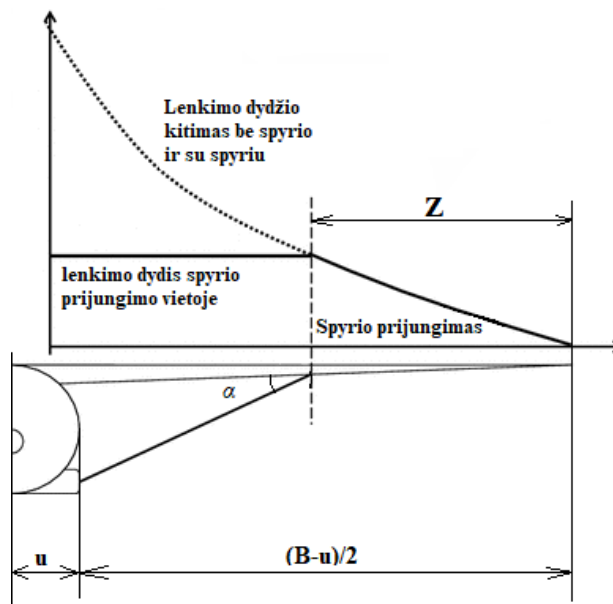
### 1.5.2. Reikiamų orlaivio konstrukcijos elementų stiprumo nustatymas

Siekiant įvertinti orlaivį veikiančias apkrovas skrydžio metu  $\pm g$ , reikia žinoti skridimo masę  $W$  ( $W = W_{\text{orlaivio}} - W_{SP}$ ) be sparnų masės, kadangi sparnai skrydžio metu patys save neša ir skridimo masės nesudaro. Taip pat reikia žinoti didžiausių teigiamų  $+q$  ir neigiamų  $-q$  apkrovų koeficientus, bei atsargos koeficientą  $f_1$ . Kadangi skaičiuoti paprasčiau apkrovas dalijant bėginiam sparnų metrui, viskas dalijama iš sparnų mojo  $B$ . Skaičiuojama pagal žemiau pateikiamą 6 formulę [11].

$$\pm g = \frac{\pm q \cdot f_1 \cdot (W - W_{SP})}{B} \quad (6)$$

Reikia apskaičiuoti labiausiai apkraunamas vietas veikiančių apkrovų dydį. Tais atvejais, kai sparnai prijungti tik prie liemens, tai labiausiai apkraunama vieta, tais atvejais kai sparnai papildomai paremti spyriais, labiausiai apkraunamos yra spyrių prijungimo vietos. Tai apskaičiuojama turint apskaičiuotą bėginį metrą veikiančių apkrovų dydį  $\pm g$ , sparno dalies ilgį nuo sparno arba spyrių pajungimo vietos iki sparno galo  $Z$ . 3 pav. iliustruoja spyrių įtaką didžiausių apkrovų skirtumui per pusę sparno ilgio ir sparno geometriją [12, 13, 33]. Žemiau pateikiama 7 skaičiavimo formulė.

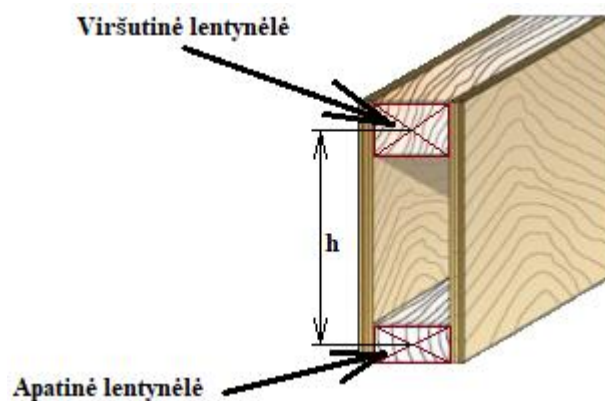
$$\pm M_{\text{lenk.max}} = \frac{\pm g \cdot Z^2}{2} \quad (7)$$



**3 pav.** Spyrių įtaka didžiausios veikiančios apkrovos dydžio kitimui per visą sparno ilgį [14]

Projektuojant sparną, vienas svarbiausių jėginių elementų yra lonžeronas, turintis atlaikyti didžiausias apkrovas, veikiančias labiausiai laužiamoje vietoje. Pirmiausia reikia pasirinkti lonžerono tipą, vienas patikimiausių ir lengviausių yra dėžutės tipo lonžeronas, apkrovas priima viršutinė ir apatinė lentynėlės, iš šonų sujungtos jungiamosiomis plokštelėmis (4 pav.). Tam reikia žinoti lonžerono aukštį pagal profilio stygos ilgį, ir apskaičiuoti aukštį tarp lonžerono lentynų centrų  $h$  (84 % profilio aukščio). Turint šį aukštį ir didžiausios teigiamos bei neigiamos apkrovų veikiančių šią spyrių pajungimo vietą sparne dydžius, galima apskaičiuoti, kokia apkrova bus veikiamos lonžerono viršutinė ir apatinė lentynos. Tai apskaičiuojama pagal žemiau pateiktą 8 formulę [11].

$$\pm P = \frac{\pm M_{lenk}}{h_{lonžerono}} \quad (8)$$



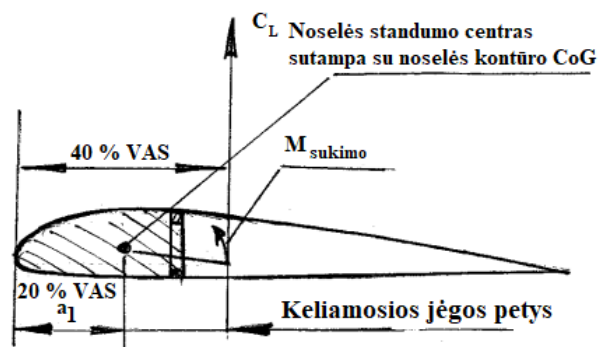
**4 pav.** Dėžutės tipo lonžeronas [34]

Turint apskaičiuotas didžiausias šias vietas veikiančias apkrovas, galima įvertinti, kokio skersmens lonžerono lentynėlių reikia. Tam reikia žinoti iš kokios medžiagos bus gaminamas lonžeronas, nes šiam skaičiavimui reikia medžiagos atsparumo gniuždymui ir tempimui. Pritaikius žemiau pateiktą formulę, apskaičiuojami reikiami skerspjuvių plotai abiemis lentynoms gniuždymo ir tempimo atvejais, abiemis parenkami didesnieji gauti skerspjuvių plotai, konstrukcijai leidžiant atlaikyti didesniąsias galimas apkrovas [15].

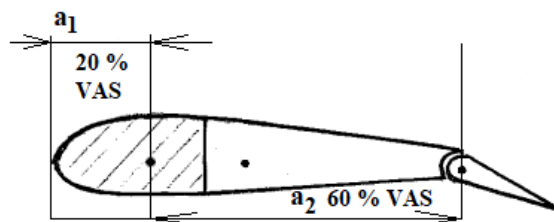
$$S_{SP.lonž.lent.s\ ker\ spjūp} = \frac{\pm P}{\sigma_{gniuždymo / tempimo}} \quad (9)$$

Sparnai veikiami susukimo momento, kurį sukelia 40 % VAS zonoje veikianti keliamosios jėgos atstojamoji ir eleronai. Susukimo momento įvertinimui reikia žinoti  $q$  – sparną veikiančią apkrovą bėginiame metre, vienos pusės sparno ilgį be liemens pločio  $((B-u)/2)$  ir atstumą nuo noselės priekio iki standumo centro, tai yra 20 % VAS ( $a_1$ ). Atstumas  $a_2$ , yra atstumas nuo  $a_1$  iki vairų arba eleronų vyrių (5, 6 pav.). Susukimo momentas apskaičiuojamas pagal žemiau pateiktą 10 formulę [17].

$$M_{susukimo} = q \cdot ((B-u)/2) \cdot a_1 \quad (10)$$



5 pav. Aerodinaminę plokštumą veikiančios susukimo momento veikimo zonos [17]



6 pav.  $a_1, a_2$  atstumų priklausomybė nuo VAS [17]

Aerodinaminėms plokštumoms susukimą duoda ir vairų arba eleronų atlenkimas, reikia apskaičiuoti jo sąlygojamų apkrovų prieaugį ieškant reikiamo konstrukcijos stiprumo. Jis randamas turint keliamosios jėgos koeficientą atlenkus vairą arba eleroną  $C_L$ , vairo arba elerono plotą  $S_{vairo/elerono}$ , greitį kuriuo skrendama ir atsargos koeficientą  $f_1$ . Žemiau pateikta 11 skaičiavimo formulė [11].

$$P = C_L \cdot S_{vairo/eleron} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot f_1 \quad (11)$$

Norint apskaičiuoti vairo arba elerono sąlygotą susukimo momentą aerodinaminės plokštumos metrui, reikia turėti vairo arba elerono plotą  $S_{vairo/elerono}$ , ir atstumą nuo vairo arba elerono sukimosi ašies iki standumo centro ( $a_2$ ), kuris yra ties 20 % profilio stygos ilgio nuo priekinės sparno arba uodegos plokštumų dalies. Šis momentas apskaičiuojamas pagal žemiau pateikiamą 12 formulę [17].

$$M_{susuk.eleron} = P \cdot S_{elerono} \cdot a_2 \quad (12)$$

Pilnutinis sparno arba uodegos plokštumų metrą veikiantis susukimo momentas susumuojamas iš apskaičiuoto plokštumą veikiančio susukimo momento ir vairų arba eleronų atlenkimo susukimo momento įtakos plokštumos metrui. Kitas svarbus žingsnis yra kiekvienos aerodinaminės plokštumos priekinės dalies gaubto nuo noselės iki pirmojo lonžerono, storio poreikio  $\delta$  įvertinimas. Šis gaubtas skirtas atlaikyti susukimo apkrovas. Vertinant šį faktorių, reikia žinoti iš kokios medžiagos bus gaminamas minėtas gaubtas, žinant gamybai naudojamos medžiagos įrašos dydį  $\tau_{sukimo}$ . Naudojant gaubtus iš klijuotos sluoksniuotos medienos, svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad sluoksnių kampas lonžeronui, taip pat turi įtakos įrašos dydžiui. Skaičiuojant gaubto storį, reikia priartėjimo būdu pasirinkti tokį, kad paskaičiuota įraša neviršytų įrašos dydžio, nurodytą medžiagos specifikacijoje. Skaičiuojant reikia žinoti gaubto gaubiamų nerviūrų noselių plotą  $S_{nerviūros\ noselės}$ , pilnutinį susukimo momentą  $M_{susukimo.pilnutinė}$ , ir numatomą gaubto storį  $\delta$ . Gaubto storis išskaičiuojamas iš žemiau pateiktos formulės, priartėjimo būdu lyginant su medžiagos specifikacija pagal 13 formulę [17].

$$\tau_{sukimo} = \frac{M_{sukimo} + M_{susukimo.vairų / eleronų}}{2 \cdot S_{nerviūrė.nosel} \cdot \delta} \quad (13)$$

Taip pat reikia įvertinti, kokia teigiama ir neigiama apkrova bus veikiamą kiekviena nerviūra, tai padaroma apkrovą tenkančią vienam sparno metrui padalijus iš žinomo nerviūrų kiekio sparno metre. Nerviūros, prie kurių bus tvirtinami eleronai, taip pat bus apkraunamos papildoma apkrova, todėl žinant eleronų ilgį, ir kiek nerviūrų laikys eleronų atlenkimo apkrovas, galima pilnutinę eleronų apkrovą išdalinti lygiomis dalimis tam nerviūrų kiekiui, kuris laikys eleronus [17].

Skaičiuojant uodegos plokštumų reikiamą konstrukcijų stiprumą su atsarga, taip pat kaip ir sparnų konstrukcijų stiprumo įvertinime reikia įvertinti kokios apkrovos veiks uodegos plokštumas, pagal žemiau pateiktą 14 formulę. Apkrovos dydžio įvertinimui reikia žinoti aerodinaminių plokštumų paviršiaus plotus  $S_{HP/VP}$ , kreiserinį greitį  $V_C$ , keliamosios jėgos koeficientus atlenkus  $C_L$ , ir saugos faktorių  $f_1$  [11].

$$P = C_L \cdot S_{HP/VP} \cdot \frac{\rho \cdot V_C^2}{2} \cdot f_1 \quad (14)$$

Anksčiau buvo minėta, jog aerodinaminės plokštumas parėmus spyriais, ženkliai sumažėja apkrova jų pajungimo vietoje ir leidžia sumažinti konstrukcijos masę, tai iliustruoja akivaizdžią naudą, todėl reikia įvertinti reikiamus spyrių parametrus. Svarbiausias aspektas tinkamam spyrio suprojektavimui, yra tinkamai parinkti jo medžiagą ir skerspjūvio plotą. Tam reikia įvertinti teigiamas ir neigiamas apkrovas, kurios temps ir gniuždys spyrį eksploatacijos metu, ir palyginti suprojektuoto spyrio atsparumą kritinėms apkrovoms. Skaičiuojant apkrovas, kurios veiks numatomų matmenų spyrį, reikia žinoti maksimalius teigiamų ir neigiamų apkrovų dydžius sparno metrui  $q$ , pusės sparno ilgį  $((B-u)/2)$ , kampą  $\alpha$  tarp sparno ir spyrio, bei spyrio projekcijos į sparną atstumą  $t$  (žiūrėti 3 pav.). Teigiamos ir neigiamos apkrovų dydžių poveikiai spyriui apskaičiuojami pagal žemiau pateiktą 15 formulę [13].

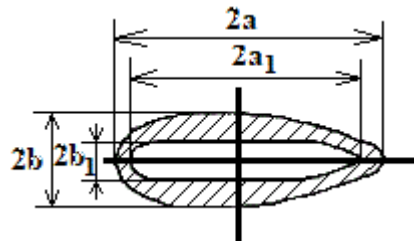
$$\pm R = \frac{(\pm q \cdot ((B-u)/2)^2) / 2}{\sin \alpha \cdot t} \quad (15)$$



Apskaičiuotus gaunami dydžiai, kurie parodo kokiais apkrovų dydžiais būtų tempiamas ir gniuždomas spyris, pagal esamą konstrukcijos išdėstymą. Kadangi tempimo apkrovos dydis gaunamas didesnis, reikia projektuoti tokio skersmens spyrį, kad šis atlaikytų didesnę apkrovą. Žinant šių veikiančių apkrovų dydžius, ir spyriams naudojamų medžiagų atsparumus, galima pasirinkus konkrečią medžiagą apskaičiuoti, kokio skerspjūvio ploto spyrio reikėtų atlaikyti apskaičiuotoms apkrovoms, tai apskaičiuojama iš žemiau pateiktos 16 formulės [17].

$$S_{\text{spyrio skerspjūvis}} = \frac{\pm R}{\sigma_{\text{gniuždymo / tempimo}}} \quad (16)$$

Gautas atsakymas parodo, kokio skerspjūvio ploto spyris pagamintas iš konkrečios medžiagos, atlaikys tempimo apkrovas, tačiau reikia pritaikyti papildomą formulę, kuria apskaičiuojama kritinė apkrova, kurią galėtų atlaikyti toks spyris esant kritinei gniuždymo apkrovai. To įvertinimui reikia žinoti naudojamos spyrio medžiagos tamprumo modulį  $E$ , spyrio galų tvirtinimo koeficientą  $C$  (lygus 1, kai tvirtinimas yra šarnyrinis), spyrio ilgį  $l$ , ir spyrio skerspjūvio inercijos momentą  $I$ . Paskutinis dydis apskaičiuojamas pagal žemiau pateiktą 17 formulę ir žinant spyrio vidinius ir išorinius matmenis pagal 7 pav. [25].



7 pav. Profiliuoto spyrio matmenys ieškant skerspjūvio inercijos momento [35]

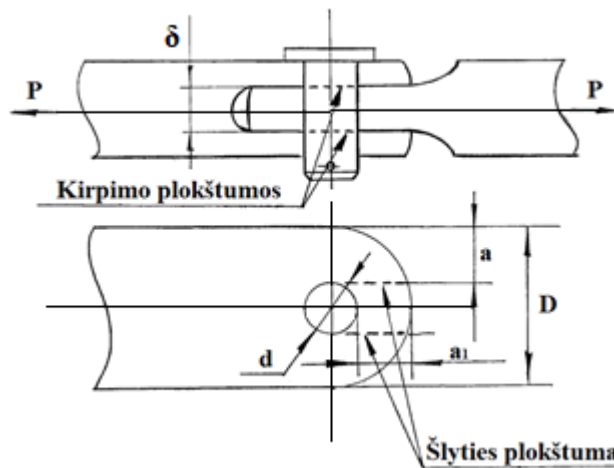
$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (a \cdot b_1^3 - a_1 \cdot b^3) \quad (17)$$

Turint šį dydį, galima apskaičiuoti kokią apkrovą atlaikytų suprojektuotas spyris, apkrovą galima sumažinti naudojant kontraspyrius, kurie papildomai remia ir sujungia sparną su spyriu, tokiu būdu sumažindami apkrovą veikiančią spyrio ir sparno pajungimo vietą, kontraspyrį jungiant ties spyrio viduriu, naudojamas pusės spyrio ilgis  $l/2$ . Suprojektuotą spyrį veikiančios kritinės gniuždymo apkrovos dydžio  $P_{\text{kritinė}}$  apskaičiavimo 18 formulė pateikiama žemiau [11].

$$P_{\text{kritinė}} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(l/2)^2} \quad (18)$$

Jei lėktuvo sparnas yra dviejų lonžeronų ir dviejų spyrių, tai apkrovos spyriams ir lonžeronams pasiskirsto 60 % priekiniam ir 40 % galiniam. Uodegos plokštumų spyriai skaičiuojami taip pat [17].

Tinkamai apskaičiuotus jėginių konstrukcijų parametrus, skaičiuojami svarbiausių jungimosi mazgų parametrai. Viena dažniausiai naudojamų jungimo mazgų konstrukcijų yra šakutė ir auselė. Pagrindinės tvirtinimo mazgų vietos yra sparnų ir liemens, spyrių su sparnais ir liemeniu, uodegos plokštumų tarpusavyje ir prie liemens, jėgainės ir sparnų/liemens, važiuoklės ir sparnų/liemens. Kaip buvo minėta anksčiau, jungimo mazgams taikomas papildomas atsargos koeficientas  $f_2=1,5$ . Tokio jungimo mazgo pavyzdys pateikiamas 8 paveiksle [17].



**8 pav.** Jungimo mazgo pavyzdys su paaiškinimais [17]

Skaičiuojant jungimo mazgo komponentų parametrus, reikia siekti, kad visų komponentų atsparumas būtų vienodas. Skaičiavimas pradedamas nuo jungiamojo kaiščio skaičiavimo. Pasirinkus kaiščio medžiagą, skaičiuojamas skersmuo apkrovų atlaikymui. Žinant veikiančių apkrovų dydį, skaičiuojamos apkrovos mazgui, kurių dydis  $R$  sužinomas padauginus iš papildomo atsargos koeficiento  $f_2=1,5$ . Taip pat reikia žinoti varžto kirpimo plokštumų skaičių  $n$ , ir kaiščio medžiagos atsparumą nukirpimui  $\tau$ . Gautas dydis suapvalinamas iki artimiausio standartinio diametro ir gaunamas skersmuo su atsarga. Reikiamas kaiščio skersmuo skaičiuojamas iš žemiau pateiktos 19 formulės [17].

$$R = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot n \cdot \tau \quad (19)$$

Toliau skaičiuojamas mazgo auselės storis  $\delta$ , lygus šakutės auselių storių sumai. Skaičiuojamas turint veikiančios apkrovos dydį  $R$  padaugintą iš atsargos koeficientų  $f_1$  ir  $f_2$ , kaiščio skersmenį  $d$ , ir auselių medžiagos glemžimo įtampą  $\sigma$ . Šakutės auselių storis apskaičiuojamas gautą reikiamą ausies storį padalijus iš mazgo šakutės auselių kiekio. Mazgo ausies storis apskaičiuojamas iš žemiau pateiktos 20 formulės [17].

$$\delta = \frac{R}{\sigma \cdot d} \quad (20)$$

Toliau skaičiuojamas jungimosi mazgo plotis  $D$  statmenai kaiščiui. Šio pločio skaičiavimui reikia veikiančios apkrovos  $R$ , įtampos koncentracijos koeficiento  $k$ , priklausančio nuo apkrovos veikiančios mazge (esant pastoviai statinei apkrova  $k=1,1$ , esant kintamai  $k=2,5$ ), ausies arba šakutės auselių storį  $\delta$ , auselės medžiagos atsparumą tempimui  $\sigma$ , ir kaiščio skersmenį  $d$ . Reikiamas dydis gaunamas iš žemiau pateiktos 21 formulės [17].

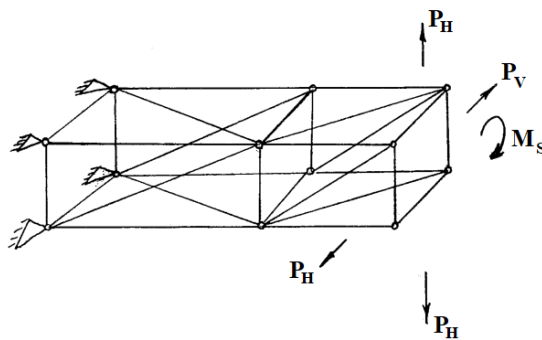
$$D = \frac{R \cdot k}{\delta \cdot \sigma} + d \quad (21)$$

Toliau skaičiuojamas mazgo atsparumas šlyčiai, vertinama kokio reikia ausies šlyties storio  $a_1$  (pagal 7 pav.), šlyties atlaikymui, lyginama su apskaičiuotąją, vertinant ar mazgo auselės atlaikys šlyties apkrovas. Šiam skaičiavimui reikia žinoti veikiančios apkrovos dydį  $R$ , ausies storį  $\delta$  ir atsparumą šlyčiai  $\tau$ . Reikiamas dydis apskaičiuojamas iš žemiau pateiktos 22 formulės [17].

$$a_1 = \frac{R}{2 \cdot \delta \cdot \tau} \quad (22)$$

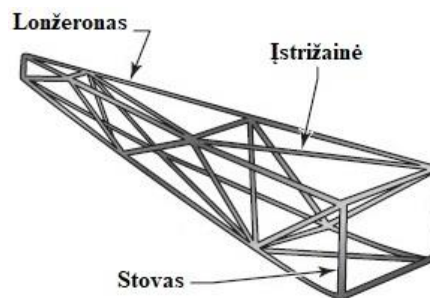
### 1.5.3. Liemens santvaros skaičiavimas

Visas orlaivio liemu dalijamas į 3 dalis – priekinę (nuo nosies iki priekinių sparnų pajungimo mazgų), vidurinioji (tarp sparnų pajungimo mazgų) ir galinę (nuo galinių sparnų pajungimo mazgų iki uodegos galo). Paprastai nedideliuose orlaiviuose liemu yra iš 4 plokščių santvarų (2 vertikalių ir 2 horizontalių), kurių mazgai ir priima visas pagrindines apkrovas, todėl labai svarbu tinkamai apskaičiuoti kiekvieno mazgo reikiamas atlaikyti apkrovas. Priekinę santvaros dalį paprastai veikia orlaivio variklio masė, vidurinę liemens dalį veikia  $CoG$  ir įgulos masė, galinę liemens dalį veikia kilio  $P_V$  ir stabilizatoriaus  $P_H$  bei jų vairų, susukimo  $M_S$  bei uodegos ratuko apkrovos (9 pav.). Vertikalios liemens santvaros dalys per pusę pasiskirsto horizontalių uodegos plokštumų ir važiuoklės apkrovas, o horizontalios liemens santvaros per pusę pasiskirsto vertikalių uodegos plokštumų apkrovas. Taigi priekinei ir viduriniajai liemens dalims svarbiausia, jog konstrukcija gebėtų atlaikyti tiesiogiai veikiančią masę ir priekinės važiuoklės dalies apkrovas, o galinei daliai, kad konstrukcija sugebėtų atlaikyti aukščio, posūkio vairų, uodegos plokštumų ir galinės važiuoklės dalies sukeliamas pridėtines apkrovas [17].



9 pav. Santvaros galinę dalį veikiančios apkrovos [17]

Santvarą sudaro išilginiai elementai – lonžeronai, einantys per visą liemens ilgį, stovai -  $90^\circ$  kampu susikertantys su lonžeronais ir juos jungiantys tarpusavyje, ir įstrižainės – jungiančios vieno lonžerono jungimosi su stovu mazgą su kitu mazgu esančiu kito lonžerono jungimosi su kitu stovu vietoje (10 pav.). [16].



10 pav. Santvaros elementai [36]

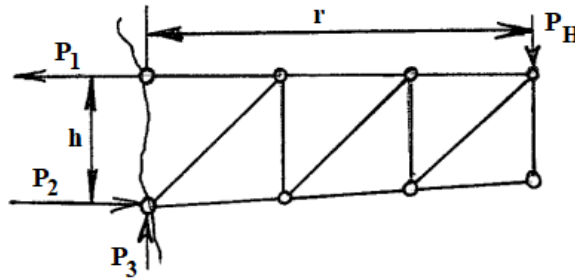
Apkrovos veikiančios horizontalius santvaros elementų mazgus (11 pav.) skaičiuojamos pagal žemiau pateikiamą 23 formulę.  $r$  – atstumas nuo konkretaus mazgo standumo centro iki  $P_V$

arba  $P_H$  pridėties vietos (AC).  $h_L$  – vertikalios santvaros aukštis,  $b_L$  – horizontalios santvaros plotis [16].

$$Q_H = \frac{M_s}{2h_L} = \frac{P_V \cdot r}{2h_L} \quad (23)$$

Apkrovos veikiančios vertikalios santvaros elementų mazgus skaičiuojamos pagal žemiau pateikiamą 24 formulę [16].

$$Q_V = \frac{M_s}{2b_L} = \frac{P_H \cdot r}{2b_L} \quad (24)$$



**11 pav.** Santvaros mazgų skaičiavimo dedamosios [17]

Planuojant, jog orlaivis skraidys greičiais iki 200 km/h., vertikaliose santvaros dalyse įstrižainės rekomenduojama statyti nuo arčiau priekio esančio apatinio lonžerono jungimosi su stovu mazgo link viršutinio lonžerono jungimosi su stovu mazgo į uodegos pusę. Horizontalių santvarų įstrižainių išdėstymas didelės reikšmės neturi [17].

Žinant kiekvieną mazgą veikiančių apkrovų dydį, reikia apskaičiuoti kokio vamzdelių skersmens reikia, siekiant atlaikyti apkrovas. Tai įvertinama pagal žemiau pateikiamą 25 formulę. Šiam įvertinimui reikia žinoti vamzdelių įtvirtinimo koeficientą  $C$  ( $C=1$  kai tvirtinimas šarnyrinis,  $C=4$  kai abu galai tvirtai įtvirtinti, lonžeronams  $C=1,5$ , įstrižainėms ir stovams  $C=2,5$ ), naudojamos vamzdelių medžiagos standumo modulį  $E$ , vamzdelio ilgį  $l$ , ir inercijos momentą  $I$ , apskaičiuojama pagal žemiau pateikiamą 26 formulę [11].

$$P_{krit} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E}{l^2} \cdot I \quad (25)$$

$$I = 0,05 \cdot (D^4 - d^4) \quad (26)$$

#### 1.5.4. Važiuklės apkrovų skaičiavimas

Lėktuvo masė pasiskirsto atvirkščiai proporcingai važiuoklės atramų atstumui nuo  $CoG$ . Kuo važiuoklės dalis arčiau  $CoG$ , tuo didesnę masės dalį ji priims, kuo toliau – tuo mažesnę. Leidimosi metu, važiuoklė su amortizatoriais patiria iki 3 perkrovų, kieta važiuoklė iki 6 perkrovų. Taip pat kaip ir visai konstrukcijai taikomas atsargos koeficientas  $f_I=1,5$  [17].

## 2. Orlaivio parametrų skaičiavimas

### 2.1. Pagrindinių parametrų nustatymas

#### 2.1.1. Sparno ploto parinkimas

Projektuojamajam orlaiviui išsikeliama du pagrindiniai reikalavimai, tai yra didžiausia leistina kilimo masė ir kreiserinis greitis. Kadangi orlaivis savo charakteristikomis turi atitikti *CS-VLA* projektavimo reikalavimus kaip sausumos dvivietis eksperimentinis *ULO*, jo kreiserinis skrydžio greitis negali viršyti 100-120 km/h, tai būtų lygu 28-33 m/s, siekiant griežtai neviršyti nurodyto greičio, projektuojamam orlaiviui nustatomas kiek mažesnis 25 m/s kreiserinis greitis. Pagal *LR* taikomus *ULO* reikalavimus, sausumos dviviečio orlaivio maksimali kilimo masė negali viršyti 450 kg. [28, 46], projektuojamajam orlaiviui preliminariai paskaičiuojant konstrukcijų masę nustatoma maksimali 370 kg. kilimo masė.

Skaičiuojant konstrukcijos masę, buvo remiamasi 1 priede aprašyto Peter Sripol orlaivio konstrukcijos mase, baterijų mase ir *CS-VLA* nurodyta vidutine mase 2 keleiviams. Peter Sripol orlaivio masė ~ 100 kg., 9 baterijos ~ 16 kg., piloto masė ~ 80 kg. Skaičiuojant projektuojamojo orlaivio preliminarią masę priimama tai, kad orlaivis turės pakelti du asmenis:  $2 \times 80 \text{ kg} \approx 160 \text{ kg}$ ., orlaivis bus didesnis nei Peter Sripol ir jam reikės daugiau baterijų ~ 18 baterijų  $\approx 30 \text{ kg}$ ., orlaivis didesnis ir sunkesnis nei Peter Sripol  $\approx 180 \text{ kg}$ ., viską sudėjus gaunama 370 kg. masė. Labiau detalizuojant, orlaivio sparnų masė – 62 kg., stabilizatoriaus – 10 kg., kilio – 5 kg., baterijų 30 kg., variklių 4 vnt. po 3,75 kg., važiuoklės 15 kg., pagrindinio sparno 4 vnt. sparnų spyrių po 5 kg., liemens priekinės dalies 30 kg., liemens galinės dalies 22 kg.

Turint šiuos du dydžius pradedami skaičiuoti tolimesni orlaivio parametrai. Vienas pagrindinių reikiamų išskaičiuoti parametrų į kurį toliau bus remiami kitų parametrų skaičiavimai, tai sparno plotas. Norint apskaičiuoti sparno plotą, reikia žinoti koks aerodinaminis profilis bus parinktas sparnui. Tam, sužinoti reikia atlikti tyrimą ieškant geriausio ir dažniausiai panašiuose orlaiviuose naudojamo sparno profilio. Pasirenkami trys vieni dažniausiai panašiuose orlaiviuose naudojami NACA profiliai, kurių numeracija yra sekanti: 2412, 4412 ir 23012 [37, 38].

Siekiant išrinkti, kuris profilis geriausiai tiktų projektuojamajam orlaiviui, atliekamas tyrimas pasinaudojant programine įranga „XFLR5“. Atliekant profilių analizę tirama kiekvieno profilio elgsena projektuojamajam orlaiviui skrendant numatomais greičiais ir atakos kampais, ir juos palyginant. Tyrimo metu nustatomi tokie parametrai: atakos kampų kitimas nuo  $-5^\circ$  iki  $20^\circ$  laipsnių, greitis pasinaudojant Reinoldso skaičiaus skaičiuokle parenkamas nuo 1 000 000 iki 3 000 000 [39].

Siekiant palyginti profilius, geriausia tai atlikti palyginant jų naudingumo dydžius  $C_l/C_d$  santykyje su  $\alpha$ . Po atlikto tyrimo gaunami šie santykiai: NACA 2412 – 92,6 ties  $9^\circ \alpha$ , NACA 23012 – 118,6 ties  $8^\circ \alpha$ , NACA 4412 – 99,4 ties  $8^\circ \alpha$  matome, kad NACA 23012 sparno profilis turi geriausią naudingumo dydį. 2 priede pateikiami tiriamų profilių  $C_l/C_d$  ir  $\alpha$  atakos kampų priklausomybių grafikai (1 - 3 pav.). Po tyrimo išsiaiškinus, kad geriausiai tinkantis profilis yra NACA 23012, o jo naudingiausias atakos kampas  $\alpha$  yra 8 laipsniai, iš gautų grafikų galima išsiaiškinti koks bus keliamosios jėgos koeficientas skrendant būtent tokiu atakos kampu  $\alpha$ . Gaunama  $C_L$  reikšmė - 1,061. Turint šį dydį galima apskaičiuoti reikiamą sparno plotą.

Sparno ploto skaičiavimas atliekamas pagal (1) formulę. Turime:  
 $V_C = 25 \text{ m/s.}$ ,  $W = 370 \text{ kg.} \cdot 9,806 = 3628,46 \text{ N.}$ ,  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3.$ ,  $C_L = 1,061.$   
 Dydžiai sustatomi į formulę:

$$25 = \sqrt{\frac{2 \cdot 3628,46}{1,225 \cdot 1,061 \cdot S_{SP}}}; S_{SP} = 8,9474 \approx 9 \text{ m}^2.$$

Orlaivio minimalus greitis skaičiuojamas pagal 5 formulę, jį svarbu įvertinti, kadangi nemažesniu nei apskaičiuotas minimalus greitis orlaivis leisis.  $W=3628,46 \text{ N.}$ ,  $S_{SP}=9 \text{ m}^2$ ,  $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_{Lmax}=1,49$  (žiūrėti 2 priedo 8 pav.).

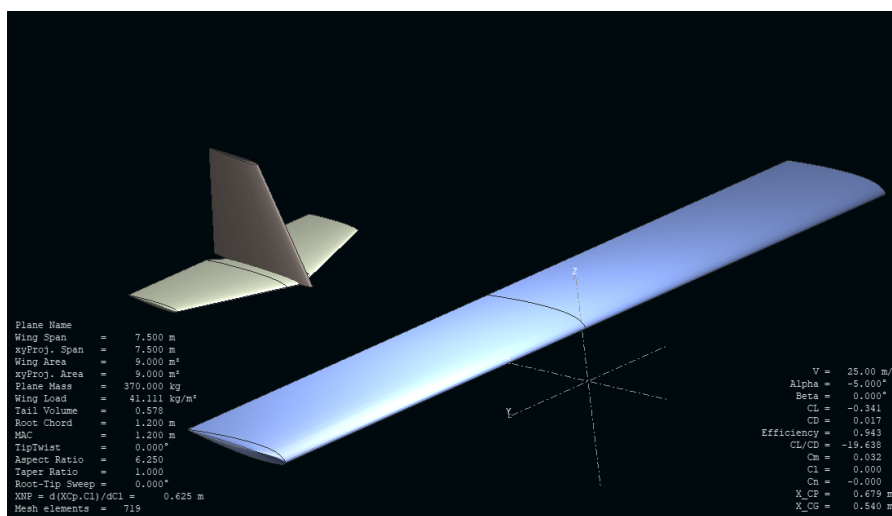
$$V_{min} = \sqrt{2 \cdot 3628,46 / 9 \cdot 1,225 \cdot 1,49} = 21 \text{ m/s.}$$

### 2.1.2. Uodegos plokštumų parametrų nustatymas

Gaunama sparno ploto reikšmė  $S_{SP} = 9 \text{ m}^2$ . Turint sparno ploto reikšmę, galima paskaičiuoti uodegos plokštumų dydžius: stabilizatoriaus ir aukščio vairo plotas turėtų būti apie 20% sparno ploto dydžio, kilis ir posūkio vairas turėtų būti apie 10% sparno ploto dydžio. Taigi projektuojamojo orlaivio stabilizatoriaus ir aukščio vairo plotas turėtų būti apytikriai  $S_{HP} = 9 \text{ m}^2$ .  $0,2 = 1,8 \text{ m}^2$ , kilio ir posūkio vairo plotas turėtų būti apytikriai  $S_{VP} = 9 \text{ m}^2 \cdot 0,1 = 0,9 \text{ m}^2$ .

### 2.1.3. AC ir NP bei CoG nustatymas

Turint šiuos dydžius, galima atlikti bandomąjį aerodinaminių plokštumų braižymą programinėje įrangoje „XFLR5“ (12 pav.). Toliau reikia atlikti orlaivio NP radimą, apskaičiuoti CoG bei įvertinti orlaivio aerodinaminių plokštumų kokybę A. Pirmiausia randamos visų aerodinaminių plokštumų VAS, o iš jų randami AC. Kadangi sparnas projektuojamas kuo paprastesnis, tai yra taisyklingos kvadratinės formos, VAS yra lygi sparno pagrindo profilio stygai  $c_r$ , kuri lygi 1,2 m. Taigi skaičiuojant sparno AC, gaunamas dydis lygus 0,3 m. nuo priekinės sparno briaunos (žiūrėti 3 priedo 4 pav.). Stabilizatoriaus ir aukščio vairo AC gaunamas 0,44 m. nuo priekinės stabilizatoriaus briaunos, kilio ir posūkio vairo AC gaunamas 0,537 m. nuo priekinės kilio briaunos (žiūrėti 3 priedo 5-6 pav.).



12 pav. Pagrindinių orlaivio aerodinaminių plokštumų projektavimas programine įranga „XFLR5“

Kadangi uodegos plokštumų priekinių dalių atstumas nuo sparno priekinės briaunos turėtų būti apie 2,5 VAS, uodegos plokštumoms numatoma vieta ne arčiau kaip 3 m. nuo pagrindinio sparno pradžios [17], tačiau vertinant uodegos plokštumų efektyvumą, pastebėta, kad uodegos plokštumos per arti pagrindinio sparno dėl mažų uodegos plokštumų efektyvumo dydžių, todėl uodegos plokštumos patalpintos 3,75 m. nuo pagrindinio sparno priekinės briaunos. Horizontalaus stabilizatoriaus efektyvumo radimui, pirmiausia apskaičiuojamas atstumas  $L_{HP}$  tarp sparno ir horizontalaus stabilizatoriaus  $AC$ , šis atstumas lygus 3,626 m. (3,486 m. – 0,3 m. + 0,44 m. = 3,626 m.). Skaičiuojant horizontalaus stabilizatoriaus efektyvumą, naudojama (3) formulė: Turime:  $S_{HP} = 1,81 \text{ m}^2$ ,  $L_{HP} = 3,626 \text{ m.}$ ,  $S_{SP} = 9 \text{ m}^2$ ,  $c = 1,2 \text{ m.}$

$$A_{HP} = \frac{1,81 \cdot 3,626}{9 \cdot 1,2} = 0,607$$

Iš šio skaičiavimo gaunamame, jog turime vidutiniškai efektyvų horizontalų stabilizatorių, kadangi horizontalaus stabilizatoriaus efektyvumo koeficientas turėtų būti ribose tarp 0,35 ir 0,8.

Vertikalaus stabilizatoriaus efektyvumas skaičiuojamas pagal kiek kitokią formulę, tačiau jam taip pat reikia rasti atstumą  $L_{VP}$  tarp sparno  $AC$  ir vertikalaus stabilizatoriaus  $AC$ , ir jis lygus 3,612 m. (3,375 m. – 0,3 m. + 0,537 m. = 3,612 m.). Taip pat reikalingas sparno mojis  $B$ , kuri nustatėme 7,5 m. Vertikalaus stabilizatoriaus efektyvumas skaičiuojamas pagal (4) formulę.

Turime:  $S_{VP} = 0,9 \text{ m}^2$ ,  $L_{VP} = 3,612 \text{ m.}$ ,  $S_{SP} = 9 \text{ m}^2$ ,  $B = 7,5 \text{ m.}$

Duomenis sustatome į formulę:

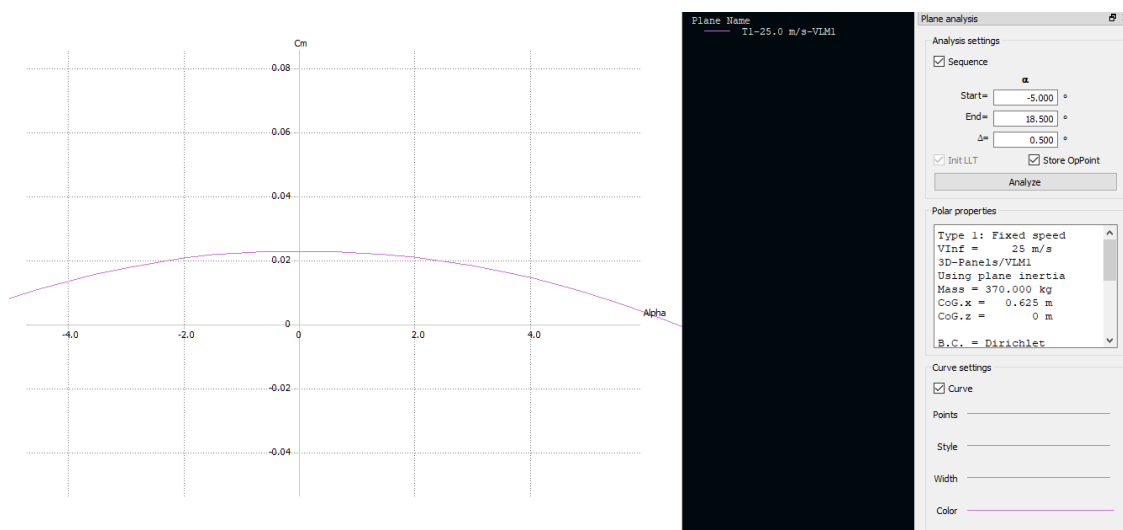
$$A_{VP} = \frac{0,9 \cdot 3,612}{9 \cdot 7,5} = 0,04816$$

Skaičiuojant vertikalaus stabilizatoriaus efektyvumą, jis turėtų būti tarp 0,02 ir 0,05, šiuo atveju matome, kad orlaivio vertikalus stabilizatorius bus labai efektyvus, turės labai gerą stabilumą ir pastovumą išlaikant tiesią skrydžio trajektoriją ir lengvai atlikinės posūkius.

Toliau atliekamas orlaivio aerodinaminių plokštumų projektavimas ir išdėstymas naudojantis programine įranga „XFLR5“, kurioje atlikus visų aerodinaminių plokštumų įskaitant ir kilio bei stabilizatoriaus aerodinaminių simetrijų profilių tyrimą pagal atliktus aerodinaminių plokštumų plotų paskaičiavimus braižomos aerodinaminės plokštumos ir išdėstomos į vieną visumą (12 pav.). Taip pat orlaiviui pritaikomas bendras  $CoG$  kuris tyrimo pradžioje esti orlaivio sparno priekinėje dalyje, atliekamas viso orlaivio tyrimas pagal 1 tipo analizę, kurios metu taikomas nekintantis greitis, tačiau keičiami atakos kampai  $\alpha$ , nuo  $-5^\circ$  iki  $20^\circ$ .

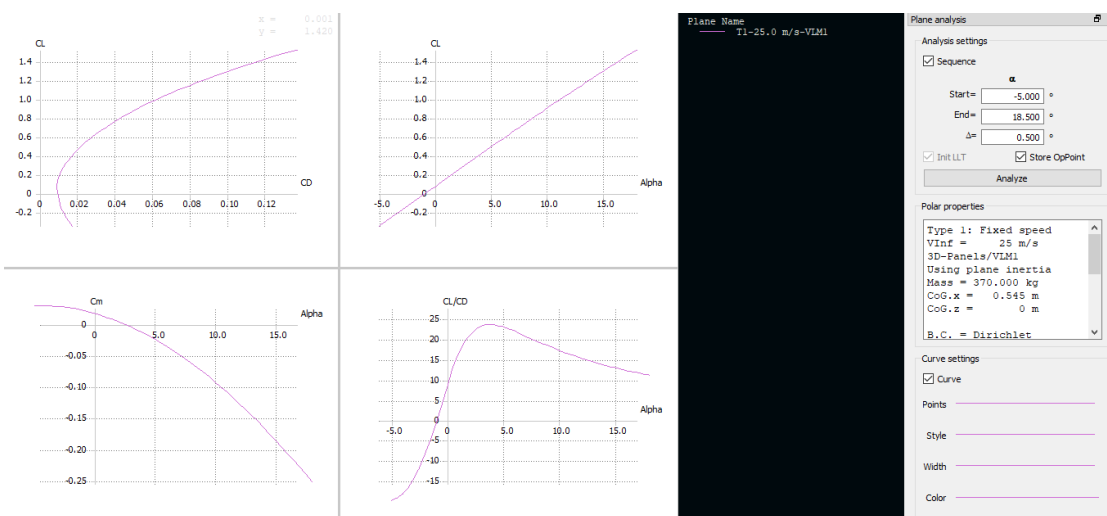
Atlikus tyrimą matome, kad orlaivio pirminis projektavimas atliktas tinkamai ir orlaivis gali skristi nurodytame greičių diapazone, tačiau kol kas nėra tinkamai parinktas  $CoG$ . Tam, kad tinkamai parinkti  $CoG$  vietą, reikia rasti  $NP$  vietą, jos radimo procesas aprašytas 1 skyriaus 1.5.1 dalyje. Ieškojimo pradžioje žinant, kad orlaivio  $CoG$  turėtų būti už orlaivio sparno  $AC$ , o šis esti 0,3 m. nuo sparno priekinės dalies, ieškoti pradėdame ne arčiau kaip 0,3 m. nuo priekinės sparno briaunos. Kadangi nagrinėjama orlaivio elgsena nuo  $-5^\circ$  iki  $+20^\circ \alpha$ , ieškant  $NP$  svarbu, kad kreivės centrene ašimi laikant  $C_m$  ašį į abi puses kreivės dalys nueitų vienodai lygiagrečiai, tai reiškia  $NP$  radimą, nepaisant to, kad į dešinę pusę nuo  $C_m$  ašies reikšmės nueina toliau nei į kairę, dėl didesnio kiekio teigiamų atakos kampų lyginant su neigiamais, svarbu kad ties  $-5^\circ$  ir  $+5^\circ \alpha$ , kreivė turėtų kuo

panašesnius  $C_m$  dydžius,  $NP$  gaunamas orlaivio  $CoG$  patalpinus ties 0,643 m. nuo priekinės orlaivio briaunos (13 pav.).



13 pav. Orlaivio  $NP$  radimas  $CoG$  patalpinus ties 0,625 m. nuo priekinio sparno briaunos

Radus orlaivio  $NP$ , galima apsiskaičiuoti  $CoG$  ribas, jos turėtų būti 5-15 % profilio pagrindo stygos  $c_r$  ilgio į priekį nuo  $NP$ . Kadangi profilio pagrindo styga  $c_r$  yra 1,2 m., tai  $CoG$  turėtų būti tarp 0,53125 m. ir 0,59375 m. nuo priekinės orlaivio sparno briaunos link sparno galinės briaunos. Iš  $C_L/C_D$  ir  $\alpha$  grafiko matome, kad orlaivio geriausios kokybės atakos kampas  $\alpha$  yra tarp  $3,5^\circ$  ir  $4^\circ$ , taigi ieškome tokios  $CoG$  padėties, kai  $C_m/\alpha$  grafike esanti tiesė kirs  $\alpha$  ašį būtent ties  $\alpha 3,75^\circ$ . Tokia  $\alpha$  reikšmė gaunama, kai  $CoG$  parenkamas ties 0,58 m. nuo priekinės sparno briaunos, tačiau tokiu atveju iš grafiko pastebime, kad orlaiviui trūksta stabilumo, o iš teroroijos žinome, kad kuo centruotė labiau priekinė, tuo orlaivis stabilus, todėl suvokdami riziką, aukojame orlaivio ekonomišumą vardan didesnio stabilumo, ir  $CoG$  talpiname labiau priekyje, centruotei parenkame 0,545 m. nuo priekinės sparno briaunos link sparno galo, ir gauname, kad centruotei esant tokioje orlaivio vietoje, orlaivis bus stabiliausias jam skrendant  $2,5^\circ$  atakos kampu (14 pav.). 2 priedo 9 pav. iliustruoja orlaivio  $CoG$  vietos atitikimą parinktąjam, kai orlaivio konstrukcijoje išdėstyti anksčiau minėtos orlaivio komponentų masės. Liemens ilgis leidžia patogiai išdėstyti visus komponentus ir išlaikyti  $CoG$ .



14 pav. Orlaivio kokybės ir stabilumo grafikai, kai  $CoG$  0,565 m. nuo priekinės sparno briaunos



## 2.2. Reikiamų konstrukcijų stiprumų skaičiavimas

### 2.2.1. Sparno jėginių konstrukcijų reikiamų stiprumų skaičiavimas

Apskaičiavus orlaivio aerodinaminių plokštumų parametrus norimam skrydžiui pagal išsikeltus parametrus atlikti, reikia apskaičiuoti kokias apkrovas turės atlaikyti pagrindinės konstrukcijos dalys, ir suprojektuoti jas taip, kad šios atlaikytų numatomas apkrovas. Pagal EASA projektavimo reikalavimus CS-VLA, orlaivis turėtų atlaikyti ne mažesnę kaip +3,8 teigiamą perkrovą skrendant  $V_D$ , ir ne mažesnę kaip -1,5 neigiamą perkrovą skrendant  $V_C$ , taikant saugos faktorių konstrukcijai  $f_I=1,5$ . Gauname, kad orlaivio konstrukcija turi atlaikyti +5,7 teigiamas ir -2,25 neigiamas eksploatacines apkrovas.

Toliau vertiname koks apkrovos dydis veiks sparnus, dėl skaičiavimų paprastumo apkrovos išdalintos bėginams aerodinaminių plokštumų metrams, apkrovas  $\pm g$  dalijant iš plokštumos mojo  $B$ . Sparnai kaip orlaivio masę laikantis elementas, ore išlaiko ne tik save, bet ir visą orlaivį, todėl jų masę skaičiuojant apkrovą veikiančią sparnus galima atimti. Sparnai sudaro apie 1/6 viso orlaivio masės, šio orlaivio atveju tai yra apie 62 kg. Tolimesniuose skaičiavimuose naudojamas apkrovos dydis veikiantis bėginį sparnų metrą, atliekamas apkrovų dydžio veikiančio bėginį sparnų metrą skaičiavimas, pagal (6) formulę.

$$\begin{aligned} -q &= -2,25., +q = +5,7., W = 370 \text{ kg.} - 62 \text{ kg.} = 308 \text{ kg. (3026,408 N.)}, B = 7,5 \text{ m.} \\ +g &= \frac{5,7 \cdot 308}{7,5} = 234,08 \approx 235 \text{ kg. (2034,41 N.) bėginiam metrui;} \\ -g &= \frac{-2,25 \cdot 308}{7,5} = -92,4 \approx -93 \text{ kg. (911,958 N.) bėginiam metrui.} \end{aligned}$$

Sparnų prijungimo vietos apkrovų veikiama bene labiausiai, o spyriai papildomai jungiantys ir laikantys sparnus su liemeniu apkrovas ženkliai sumažina, todėl orlaivio sparnus projektuojame su dviem lonžeronais, kad geriau atlaikyti sparno susukimą, kiekvieno sparno parėmimą projektuojame su dviem spyriais, kurie su sparnais papildomai sujungti kontraspyriais. Labiausiai laužiama sparnų vieta yra ties spyrių sujungimu prie sparnais, reikia įvertinti kokios apkrovos veiks lonžeronus šiose vietose. Taip pat reikia įvertinti koku atstumu  $Z$  nuo sparno galo, sparnai bus paremti spyriais, tam parenkamas 55 % vienos sparno dalies ilgis nuo liemens. Kadangi orlaivyje pilotas ir keleivis sėdės vienas paskui kitą, liemens plotis  $u$  parenkamas 0,65 m. gauname, kad viena sparno dalis išsikišusi už liemens  $(B-u)/2$  yra:

$$\frac{B-u}{2} = \frac{7,5-0,65}{2} = 3,425 \text{ m.}$$

Atstumas nuo spyrio pajungimo vietos iki sparno galo  $Z$ :

$$Z = 3,425 \cdot 0,45 = 1,54125 \approx 1,54 \text{ m.}$$

Lenkimo momentų ties spyrių pajungimo vieta įvertinimas pagal (7) formulę:

$$\begin{aligned} +g &= 235 \text{ kg. (2034,41 N.) bėginiam metrui;} -g = -93 \text{ kg. (911,958 N.) bėginiam metrui;} \\ Z &= 1,54 \text{ m;} \end{aligned}$$

$$+ M_{lenk.max} = \frac{235 \cdot 1,54^2}{2} = 282,29 \approx 283 \text{ kg. (2780,758 N.) bėginiam metrui;}$$

$$- M_{lenk.max} = \frac{93 \cdot 1,54^2}{2} = -111,71 \approx -112 \text{ kg. (1682,486 N.) bėginiam metrui.}$$

Projektuojant sparną, reikia įvertinti kokio lonžerono reikia, kad šis atlaikytų skaičiuotinas apkrovas. Lonžerono įvertinimui jau žinome, kokios didžiausios apkrovos veiks spyrių prijungimo prie sparnų vietoje, toliau reikia pasirinkti iš kokių medžiagų bus gaminamas lonžeronas, išmatuoti lonžeronų aukščiu pagal naudojamą profilį ir apskaičiuoti kokio skerspjūvio ploto reikia lonžerono lentynėlėms. Kadangi žinome, jog mūsų sparno  $c$  yra 1,2 m., NACA 23012 12 % storio profilyje storiausioje vietoje ties 0,35 m. nuo sparno priekio kur projektuojamas pirmasis lonžeronas, gaunamas aukštis 142,59 mm. Antrojo lonžerono aukštis ties 0,85 m. nuo sparno priekio gaunamas 82,98 mm. (žiūrėti 5 priedo 6 pav.). Žinodami lonžeronų aukščius nuo jų apatinės iki viršutinės dalies apskaičiuojame lonžeronų darbinis aukščius tarp lonžeronų lentynėlių masės centrų  $h$ , kuris sudaro 84 % viso lonžerono aukščio. Pirmojo lonžerono darbinis aukštis gaunamas  $h_{pirm.lonž.} = 119,7756$  mm., antrojo lonžerono darbinį aukštį gauname  $h_{antr.lonž.} = 69,7032$  mm. Žinant tai, kad pirmasis lonžeronas priims 60 % apkrovų, o antrasis 40 %, apskaičiuojame kokios lenkimo momentų apkrovos veiks kiekvieno lonžerono viršutines ir apatines lentynėles. Esant teigiamoms perkrovoms, sparno bėginis metras bus veikiamas 283 kg. (2775,098 N.) apkrova, tokiu atveju pirmojo lonžerono bėginis metras priims 169,8 kg. (1665,0588 N.) apkrovas, o antrojo bėginis metras - 113,2 kg. (1110,0392 N.). Esant neigiamoms perkrovoms, pirmojo lonžerono bėginis metras priims 67,2 kg. (658,9632 N.) apkrovą, o antrojo bėginis metras - 44,8 kg. (439,3088 N.). Toliau skaičiuojame kokios apkrovos veiks lonžeronų viršutinių ir apatinių lentynų bėginius metrus esant didžiausioms teigiamoms ir didžiausioms neigiamoms perkrovoms šiose labiausiai apkraunamose vietose, pagal (8) formulę.

$$+ M_{lenk.max.pirm.lonž} = 169,8 \text{ kg. (1665,0588 N.) bėginiam metrui;}$$

$$- M_{lenk.max.pirm.lonž} = -67,2 \text{ kg. (658,9632 N.) bėginiam metrui;}$$

$$+ M_{lenk.max.antr.lonž} = 113,2 \text{ kg. (1110,0392 N.) bėginiam metrui;}$$

$$- M_{lenk.max.antr.lonž} = -44,8 \text{ kg. (439,3088 N.) bėginiam metrui;}$$

$$h_{pirm.lonž} = 0,1197756 \text{ m; } h_{antr.lonž} = 0,0697032 \text{ m;}$$

$$+ P_{pirm.lonž} = \frac{169,8}{0,1197756} = 1417,65101 \approx 1418 \text{ kg. (13904,908 N.) bėginiam metrui;}$$

$$- P_{pirm.lonž} = \frac{67,2}{0,1197756} = 561,049162 \approx 562 \text{ kg. (5510,972 N.) bėginiam metrui;}$$

$$+ P_{antr.lonž} = \frac{113,2}{0,0697032} = 1624,02874 \approx 1625 \text{ kg. (15934,75 N.) bėginiam metrui;}$$

$$- P_{antr.lonž} = \frac{44,8}{0,0697032} = 642,725155 \approx 643 \text{ kg. (6305,258 N.) bėginiam metrui.}$$

Šie apskaičiuoti veikiančių apkrovų dydžiai reiškia, kad pirmojo lonžerono viršutinės lentynos bėginis metras esant teigiamai perkrovai bus 1418 kg. (13904,908 N.) dydžiu gniuždomas, o apatinės lentynos bėginis metras tokiu dydžiu tempiamas. Esant neigiamai perkrovai, viršutinės lentynos bėginis metras bus 562 kg. (5510,972 N.) dydžiu tempiamas, o apatinės lentynos - gniuždomas. Antrojo lonžerono viršutinės lentynos bėginis metras esant teigiamai perkrovai bus 1625 kg. (15934,75 N.) dydžiu gniuždomas, o apatinės tokiu dydžiu tempiamas. Esant neigiamai

perkrovai, viršutinės lentynos bėginis metras bus 643 kg. (6305,258 N.) dydžiu tempiamas, o apatinės lentynos - gniuždomas. Turint šiuos dydžius skaičiuojami reikiami lonžeronų lentynėlių skerspjūvių plotai. Lonžerono gamybai pasirenkama dažnai aviacijoje naudojama eglės mediena (*angl. k. „spruce sitka“*). Šios medienos techniniai duomenys: tankis  $441 \text{ kg/m}^3$ ,  $\sigma_{tempimo} = 95 \text{ MPa}$  ( $9,68730402329 \text{ kg/mm}^2$ ), tamprumo modulis  $12500 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_{gniuždymo} = 44 \text{ MPa}$  ( $4,486751337103 \text{ kg/mm}^2$ ) [47]. Žemiau apskaičiuojami minėti lentynėlių skerspjūvių plotai pagal (9) formulę.

$$\begin{aligned}
 + S_{SP.pirm.lonž.viršut.lentyn.s \text{ ker } sp.} &= \frac{1418}{4,4867} = 316 \text{ mm}^2; \quad - S_{SP.pirm.lonž.viršut.lentyn.s \text{ ker } sp} = \frac{562}{9,6873} = 58,02 \text{ mm}^2; \\
 + S_{SP.pirm.lonž.apat.lentyn.s \text{ ker } sp} &= \frac{1418}{9,6873} = 146,37 \text{ mm}^2; \quad - S_{SP.pirm.lonž.apatin.lentyn.s \text{ ker } sp} = \frac{562}{4,4867} = 125,26 \text{ mm}^2; \\
 + S_{SP.antr.lonž.viršut.lentyn.} &= \frac{1625}{4,4867} = 362,18 \text{ mm}^2; \quad - S_{SP.antr.lonž.viršut.lentyn.s \text{ ker } sp} = \frac{643}{9,6873} = 66,38 \text{ mm}^2; \\
 + S_{SP.antr.lonž.apat.lentyn.s \text{ ker } sp} &= \frac{1625}{9,6873} = 167,75 \text{ mm}^2; \quad - S_{SP.antr.lonž.apatin.lentyn.s \text{ ker } sp} = \frac{643}{4,4867} = 143,32 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

Abiejų lonžeronų abejos lentynėlės turi atlaikyti didesniąsias galinčias veikti apkrovas, pirmojo lonžerono viršutinei lentynai parenkamas  $316 \text{ mm}^2$ . skerspjūvio plotas, apatinei lentynai parenkamas  $147 \text{ mm}^2$ . skerspjūvio plotas. Antrojo lonžerono viršutinei lentynai parenkamas  $363 \text{ mm}^2$ . skerspjūvio plotas, apatinei lentynai parenkamas  $168 \text{ mm}^2$ . skerspjūvio plotas. Remiantis 1 priedu, ir atsižvelgiant į tai, jog lonžeronus patogiau gaminti vientisus, neskirstant į lentynėles ir jų papildomai nejungiant, lonžeronų gamybai pasirenkamos vientisos  $10 \text{ mm}$ . storio eglės medienos „spruce sitka“ lentos, kurių aukštis atitinka lonžeronų aukščius. Abiejuose lonžeronuose, per visą ilgį neperžengiant apskaičiuotų lentynėlių aukščių (pirmojo lonžerono viršutinės lentynėlės aukštis  $31,6 \text{ mm}$ ., apatinės –  $14,7 \text{ mm}$ . Antrojo lonžerono viršutinės lentynėlės aukštis  $36,3 \text{ mm}$ ., apatinės –  $16,8 \text{ mm}$ ., padaromos apvalios išlengvinimo išėmos, siekiant išgauti apskaičiuotų lentynėlių aukščius apskaičiuotų apkrovų atlaikymui, dėl paprastesnio gamybos proceso, ir konstrukcijos lengvumo.

Toliau vertinamas susukimo momentas  $M_{susukimo}$ , kurį svarbu įvertinti projektuojant nerviūras. Šiam įvertinimui reikia žinoti atstumą  $a_I$ , kuris yra atstumas nuo nerviūros noselės standumo centro iki  $40\%$  VAS zonos ribos, tai apytiksliai  $20\%$  VAS ilgio.  $a_I$  dydis, žinant jog VAS ilgis yra  $1,2 \text{ m}$ ., yra  $0,24 \text{ m}$ ., viena iš fiuzeliažo išsikišusi sparno dalis yra  $3,425 \text{ m}$ , o didžiausia bėginį sparnų metrą veikianti apkrova yra  $235 \text{ kg}$ . ( $2034,41 \text{ N}$ .), susukimo momentas skaičiuojamas pagal (10) formulę.

$$\begin{aligned}
 a_I &= 0,24 \text{ m.}, (B/2)-u=3,425 \text{ m.}, g=235 \text{ kg.} (2304,41 \text{ N.}) \\
 M_{susukimo} &= 235 \cdot 3,425 \cdot 0,24 = 193,17 \text{ kg.} (1894,22 \text{ N.}) \text{ bėginiam metrui.}
 \end{aligned}$$

Kadangi sparnui susukimą duoda ir staiga atlenktas eleronas, skaičiuojama ir jo pridėtinė apkrova. Tam apskaičiuoti reikia žinoti elerono apkrovą (žiūrėti 2 priedo 4 pav.), kuri randama turint keliamosios jėgos koeficientą atlenkus eleroną  $C_L$ , elerono plotą  $S_{elerono}$ , greitį kuriuo skrendama ir saugos faktoriaus koeficientą  $f_I$ . Eleronų plotis nedideliuose orlaiviuose statmenai srautui užima  $45\%$  sparno ilgio tuo tarpu jo ilgis išilgai srauto, pagal literatūrą turėtų užimti  $20\%$  profilio stygos [48]. Šie dydžiai projektuojamajame orlaivyje atitiktų  $1,7125 \text{ m}$ . elerono plotį

statmenai srautui ir 0,24 m. ilgį išilgai srauto atžvilgiu, taigi elerono plotas gaunamas 0,41 m<sup>2</sup>., pagal (11) formulę apskaičiuojama papildoma sparno apkrova atlenkus eleroną. Skaičiuojant apkrovą kilogramais (kg.), naudojamas oro tankio dydis  $\rho=0,125$ , skaičiuojant apkrovą Niutonais (N.), naudojamas oro tankio dydis  $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$ , šie dydžiai skiriasi per laisvo kritimo pagreitį  $a=9,806 \text{ m/s}^2$ .

$$C_{L\text{eleron}} = 0,69., S_{\text{eleron}}=0,41 \text{ m}^2., \rho=0,125 (1,225 \text{ kg/m}^3), V_C=25 \text{ m/s}, f_I=1,5.$$

$$P = 0,69 \cdot 0,41 \cdot \frac{0,125 \cdot 25^2}{2} \cdot 1,5 = 16,244 \approx 16,3 \text{ kg. (159,29 N.)}$$

Norint apskaičiuoti elerono sukeltą susukimo momentą sparno metrui, reikia turėti  $S_{\text{eleron}}$ , ir atstumą nuo elerono sukimosi ašies iki standumo centro ( $a_2$ ), kurie abu yra 20 % VAS ilgio, standumo centras nuo sparno priekinės dalies, o elerono sukimosi centras nuo sparno galinės dalies. Ši apkrova apskaičiuojama pagal (12) formulę.

$$P=16,3 \text{ kg. (159,29 N.)}, S_{\text{eleron}}=0,41 \text{ m}^2., a_2=1,2-0,24-0,24=0,72 \text{ m.}$$

$$M_{\text{susuk.eleron}} = 16,3 \cdot 0,41 \cdot 0,72 = 4,811 \text{ kg}\cdot\text{m. (47,184 N}\cdot\text{m.)}$$

Visas sparno metrą veikiantis susukimo momentas susumuojamas iš sparno metro susukimo momento ir elerono atlenkimo susukimo momento įtakos sparno metrui, ir gauname pilnutinį susukimo momento dydį sparno metrui.

Toliau vertiname sparno priekinės dalies gaubto iki lonžeronu storio poreikį. Sparno nerviūros priekinės dalies (iki lonžeronu) plotas  $S_{\text{nerviūros noselės}}$  yra lygus 0,04715732 m<sup>2</sup> (žiūrėti 3 priedo 1 pav.) Sparno priekinės dalies gaubtą gaminant iš aviacinės klijuotės taip, kad klijuotės raštas būtų 45° kampu lonžeronui, jos įrašas  $\tau$  yra 18000 kg·m.

$M_{\text{sukimo}} = 193,17 \text{ kg}\cdot\text{m. (1894,22 N}\cdot\text{m.)}$ ,  $M_{\text{sukimo.eleron}} = 4,811 \text{ kg}\cdot\text{m. (47,184 N}\cdot\text{m.)}$ ,  $S_{\text{nerviūros noselės}} = 0,04715 \text{ m}^2.$ ,  $\delta$  - ieškoma priartėjimo budu, siekiant neviršyti  $\tau_{\text{sukimo}}$  reikšmės = 18000 kg·m. pagal (13) formulę.

$$18000 > \frac{193,17 + 4,811}{2 \cdot 0,047517 \cdot \delta}, \delta \geq 0,116 \approx 1,5 \text{ mm.}$$

Iš čia sužinome, kad sparno priekinės dalies gaubtas iš aviacinės klijuotės turi būti ne plonesnis kaip 1,2 mm., o siekiant turėti atsargą, priimama, kad jis turi būti iš ne mažesnio kaip 1,5 mm. storio aviacinės klijuotės.

Norint įvertinti kokio stiprumo reikia kiekvienos nerviūros konstrukcijai, reikia įvertinti kokia teigiama ir neigiama apkrova apkraunama kiekviena nerviūra, tai padaroma apkrovą tenkančią sparno bėginiam metrui padalijus iš žinomo nerviūrų kiekio sparno metre. Nerviūros, prie kurių tvirtinami eleronai, apkraunamos papildoma apkrova, todėl žinant elerono ilgį, ir kiek nerviūrų laikys elerono atlenkimo apkrovas, galima pilnutinę elerono apkrovą išdalinti lygiomis dalimis tam nerviūrų kiekiui, kuris laikys eleronus. Žinant pilnutines apkrovas veikiančias kiekvieną nerviūrą pagal jos vietą, galima apskaičiuoti, kokio stiprumo reikia nerviūrų konstrukcijoms, ir atlikti statinius stiprumo bandymus (žiūrėti 6 priedo 1, 6 ir 10 pav.). Dažniausiai nedidelių lėktuvų bėginiame sparno metre būna 4 nerviūros, todėl šio orlaivio bėginiam sparnų metrui parenkamas būtent toks nerviūrų kiekis, kiekviena nerviūra bus veikiamas  $235 \text{ kg.} / 4 = 58,75 \text{ kg. (576,1025 N.)}$  Vertinant elerono generuojamą papildomą apkrovą nerviūroms, jau apskaičiavome, kad jis

generuoja 16,3 kg. (159,8378 N.) apkrovą 1,7125 m. sparno dalyje, išreiškus santykį sužinome, kad bėginis sparnų metras papildomai veikiamas 95,8 kg. (939,4148 N.) apkrova, o kiekviena nerviūra papildomai veikiama 23,95 kg. (234,8537 N.) apkrova. Taigi kiekviena eleroną laikanti nerviūra turi atlaikyti 82,7 kg. (810,9562 N.), apkrovas, o nerviūros kurios eleronų nelaiko – 58,75 kg. (576,1025 N.) apkrovas.

Remiantis paskutiniu skaičiavimu, skaičiuojame kokių nerviūros lystvelių skerspjūvio plotų reikia viršutinei ir apatinei nerviūros dalims. Kadangi orlaivio konstrukciją veikiančios teigiamos perkrovos yra didesnės, nerviūros konstrukciją pritaikius teigiamų perkrovų atlaikymui, bus patenkinti ir neigiamos perkrovos reikalavimai. Pritaikius (9) formulę, apskaičiuojame kokių skerspjūvio plotų reikia nerviūrių apatinėms ir viršutinėms lystvelėms.

$P=82,7$  kg. (810,9562 N.) (su elerono apkrova),  $P=58,75$  kg. (576,1025 N.) (be elerono apkrovos). Gamybai ir skaičiavimams naudojame tas pačias medžiagas kaip ir lonžerono atveju [47].

$$S_{SP.nerv.lystv.su.eleron.s\ ker\ sp.} = \frac{82,7}{4,4867} = 18,43 \text{ mm}^2; \quad S_{SP.nerv.lystv.su.eleron.s\ ker\ sp.} = \frac{82,7}{9,6873} = 8,53 \text{ mm}^2;$$

$$S_{SP.nerv.lystv.be.eleron.s\ ker\ sp} = \frac{58,75}{9,6873} = 6,06 \text{ mm}^2; \quad S_{SP.nerv.lystv.be.eleron.s\ ker\ sp} = \frac{58,75}{4,4867} = 13,1 \text{ mm}^2.$$

Iš čia sužinome, kad: nerviūrai nelaikančiai elerono, viršutinei gniuždomai lystvelei reikalingas skerspjūvio plotas  $18,43 \text{ mm}^2$ , o apatinei tempiamai lystvelei  $8,53 \text{ mm}^2$ . Tuo tarpu nerviūroms laikančioms eleronus, viršutinei gniuždomai lystvelei reikia  $13,1 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto, o apatinei tempiamai lystvelei  $6,06 \text{ mm}^2$ .

Taip pat pagal (9) formulę apskaičiuojame kokio storio lystvelių reikia eleronų konstrukcijai. Eleronų kiekvienos nerviūros viršutinė bei apatinė lystvelės bus veikiamos 23,95 kg. (234,8537 N.) apkrova, taigi lystvelės bus gniuždomos ir tempiamos šia apkrova, gamybai naudojamos tos pačios medžiagos [47].

$$S_{eleron.nerv.lystv.s\ ker\ sp} = \frac{23,95}{4,4867} = 5,34 \text{ mm}^2; \quad S_{eleron.nerv.lystv.s\ ker\ sp} = \frac{23,95}{9,6873} = 2,48 \text{ mm}^2.$$

Iš skaičiavimo matome, kad elerono viršutinei lystvelei reikia  $5,34 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto, o apatinei  $2,48 \text{ mm}^2$ , kad atlaikytų veikiančias apkrovas. Žemiau pateikiama apibendrinta 1 lentelė, su sparnų konstrukcijos duomenis.

**1 lentelė.** Sparno jėginių konstrukcijos elementų parametrai

Sparnas	Sparno mojis 7,5 m., stygos ilgis 1,2 m. Pirmo lonžerono aukštis 142,59 mm., antro,- 82,98 mm., storis,- 10 mm., pirmo lonžerono viršutinės lentynėlės aukštis 33,6 mm., apatinės,- 15,4 mm. Antro lonžerono viršutinės lentynėlės aukštis 38,5 mm., apatinės,- 17,7 mm.
Nerviūros	Priekinės dalies gaubto storis,- 1,5 mm. Nerviūrų nelaikančių eleronų viršutinių lystvelių skerspjūvio plotai $18,43 \text{ mm}^2$ , apatinių,- $8,53 \text{ mm}^2$ . Nerviūrų laikančių eleronus viršutinių lystvelių skerspjūvio plotai $13,1 \text{ mm}^2$ , apatinių,- $6,06 \text{ mm}^2$ .

	Bėginiame metre 4 nerviūros.
Eleronas	Elerono plotis statmenai srautui 1,7125 m., ilgis išilgai srautui 0,24 m. Viršutinės lystvelės skerspjūvio plotas 5,34 mm <sup>2</sup> ., apatinės,- 2,48 mm <sup>2</sup> .

## 2.2.2. Uodegos plokštumų jėginių konstrukcijų reikiamų stiprumų skaičiavimas

Kaip ir sparnų atveju, taip pat skaičiuojame uodegos plokštumų jėginių elementų reikiamas dimensijas apkrovų atlaikymui. Pirmiausia atliekame aukščio ir posūkio vairų plotų skaičiavimus pagal rekomenduojamus vairų plotų ir uodegos plokštumų plotų santykius. Aukščio vairo ir  $S_{HP}$  rekomenduojamas plotų santykis yra 0,22, posūkio vairo ir vertikalios stabilizatoriaus plotų santykis yra 0,25. Žinant tai, kad mūsų projektuojamojo orlaivio  $S_{HP}$  yra lygus 1,81 m<sup>2</sup>, o  $S_{VP}$  yra lygus 0,9 m<sup>2</sup>,  $S_{a.vairo}$  gauname 0,3982 m<sup>2</sup>, o  $S_{p.vairo}$  gauname 0,225 m<sup>2</sup>. Žinodami vertikalios ir horizontalios plokštumų mojus, kurie lygūs  $B_{HP}=2,26$  m.,  $B_{VP}=1$  m., nesunkiai apskaičiuojame vairų vyrių ašis abiejose plokštumose, aukščio vairo vyrių vieta gaunama 0,8639 m. nuo priekinės horizontalios uodegos plokštumos briaunos, ir tai yra 83,07 % horizontalios uodegos plokštumos pagrindo stygos  $c_r$  ilgio, posūkio vairo vyrių ašį gauname 0,975 m. nuo priekinės vertikalios uodegos plokštumos briaunos, ir tai yra 81,25 % vertikalios uodegos plokštumos pagrindo stygos  $c_r$  ilgio.

Didžiausios horizontalią uodegos plokštumą veikiančios apkrovos dydis įvertinamas pagal (11) formulę. Įvertinimui reikia žinoti keliamosios jėgos koeficientą  $C_L$ , vairą atlenkus 15 %, todėl atliekame bandymą su programine įranga "XFLR5" (žiūrėti 2 priedo 5 pav.). Skrendant greičiu  $V_C$  stabiliausiu atakos kampū  $\alpha$  2,5°, staiga aukščio vairą nulenkus 15° į apačią (keliant uodegą į viršū  $CoG$  atžvilgiu), horizontalios uodegos plokštumos keliamosios jėgos koeficientas tampa 0,982. Pilnam apkrovų dydžio įvertinimui kiti formulės dedamieji jau žinomi iš anksčiau, horizontalios uodegos plokštumos plotas  $S_{HP}$  lygus 1,81 m<sup>2</sup>, kreiserinis greitis  $V_C$  lygus 25 m/s,  $\rho$  lygus 0,125 (1,225 kg/m<sup>3</sup>),  $f_I=1,5$ .

$$P = 0,982 \cdot 1,81 \cdot \frac{0,125 \cdot 25^2}{2} \cdot 1,5 = 104,08 \text{ kg. (1020,62 N.)}$$

Gautas atsakymas reiškia, kad horizontalios plokštumos konstrukcija turi atlaikyti 104,08 kg. (1020,62 N.) apkrovą, tuo tarpu apkrova veikianti bėginį horizontalios uodegos plokštumos metrą būtų lygi pilnutinę apkrovą padalijus iš horizontalios plokštumos mojo  $B_{HP}$  ir būtų lygi 46,05 kg. (452,5177 N.) bėginiam metrui. Kadangi stabilizatoriaus konstrukcijoje planuojama naudoti 2 lonžeronus, pirmasis priims 60 % apkrovos (27,63 kg. (270,93978 N.) bėginiam metrui), antrasis priims 40 % apkrovos (18,42 kg. (180,62652 N.) bėginiam metrui). Pirmojo lonžerono aukštis ties stabilizatoriaus pagrindu 82,59 mm., ties galu 47,57 mm. Antrojo lonžerono aukštis ties pagrindu 33,6 mm., ties galu 31,11 mm. (žiūrėti 5 priedo 13-14 pav.).

Kaip ir sparno konstrukcijų projektavime, reikia įvertinti labiausiai laužiamų vietų konstrukcijų tvirtumą, tokia vieta horizontalioje uodegos plokštumoje bus ties spyrių pajungimo vieta, kuri kaip ir sparnų atveju, bus ties 45 % pusės horizontalios plokštumos mojo nuo horizontalios plokštumos galų stygų  $c_t$  link pagrindo stygos  $c_r$ .

Atsižvelgiant į Peter Sripol orlaivio liemens galą (žiūrėti 1 priedo 21 a) pav.), projektuojamajam orlaiviui liemens galo siauriausios vietos plotis  $u_{siauriausia}$  priimamas 0,2 m., taigi vienos stabilizatoriaus dalies ilgis išsikišęs už liemens bus:

$$\frac{B_{HP} - u_{siauriausia}}{2} = \frac{2,26 - 0,2}{2} = 1,03 \text{ m.}$$

Kadangi lonžeronų ilgis skiriasi dėl skirtingų strėliškumo laipsnių, pirmojo lonžerono ilgis į spyrių pajungimo ilgių projekcija į lonžeronus nuo pajungimo vietos iki stabilizatoriaus galo:

$$Z_{HP.lonž.projekc.} = 1,03 \cdot 0,45 = 0,4635 \approx 0,47 \text{ m.}$$

Gauname, kad vietos, kuriose stabilizatoriaus lonžeronai bus labiausiai laužiami, pirmajame lonžerone yra 0,69548 m. nuo stabilizatoriaus pagrindo link galų arba 0,47645 m. nuo jungimo vietos link galų, antrajame lonžerone ties 0,66856 m. nuo pagrindo link galų arba 0,46 m. nuo jungimo vietos link galų (žiūrėti 6 priedo 11-12 pav.).

Kadangi uodegos plokštumoms naudojamas simetrinis 8 % profilio stygos storio profilis, kurio ilgis ties profilio pagrindo styga  $c_r$  yra 1,04 m., pirmojo lonžerono aukštis ties spyrių prijungimo vieta yra 71,81169 mm. (žiūrėti 6 priedo 11 pav.).

Lenkimo momentų ties spyrių pajungimo vieta įvertinimas atliekamas pagal (7) formulę:

$$P_{HP.pirm.lonž.} = 27,63 \text{ kg. (270,94 N.) bėginiam metrui;}$$

$$P_{HP.antr.lonž.} = 18,42 \text{ kg. (180,63 N.) bėginiam metrui;}$$

$$Z_{HP.prim.lonž} = 0,47645 \text{ m.; } Z_{HP.antr.lonž} = 0,47 \text{ m.;$$

$$M_{lenk.max HP.pirm.lonž.} = \frac{27,63 \cdot 0,47645^2}{2} = 3,136 \approx 3,2 \text{ kg. (31,3792 N.) bėginiam metrui;}$$

$$M_{lenk.max HP.antr.lonž.} = \frac{18,42 \cdot 0,47^2}{2} = 2,034 \approx 2,1 \text{ kg. (20,6346 N.) bėginiam metrui.}$$

Žinodami lenkimo momentų dydžius stabilizatoriuje spyrių pajungimo vietose, bei lonžeronų aukščius spyrių pajungimo vietose, turime apskaičiuoti lonžeronų darbinus aukščius kaip ir sparno atveju. Šis aukštis gaunamas turimus lonžeronų aukščius spyrių pajungimo vietose padauginę iš 84 %, ir gauname  $h_{HP.pirm.lonž.} = 6,032 \text{ cm.}$  bei  $h_{HP.antr.lonž.} = 3,021 \text{ cm.}$  Toliau skaičiuojame koks momentas veiks lonžeronus šiose labiausiai apkraunamose vietose, pagal (8) formulę.

$$M_{lenk.max HP.pirm.lonž.} = 3,2 \text{ kg. (31,3792 N.) bėginiam metrui;}$$

$$M_{lenk.max HP.antr.lonž.} = 2,1 \text{ kg. (20,6346 N.) bėginiam metrui;}$$

$$h_{HP.pirm.lonž.} = 0,06032 \text{ m.; } h_{HP.antr.lonž.} = 0,03021 \text{ m.;$$

$$P_{HP.pirm.lonž.} = \frac{3,2}{0,06032} = 53,0503979 \approx 53,051 \text{ kg. (520,218106 N.) bėginiam metrui;}$$

$$P_{HP.antr.lonž.} = \frac{2,1}{0,03021} = 69,5134062 \approx 69,52 \text{ kg. (681,71312 N.) bėginiam metrui.}$$

Stabilizatoriaus gamybai naudojamos tas pačios medžiagos kaip ir sparno atveju [47]. Toliau apskaičiuojami reikiami abiejų lonžeronų lentynėlių skerspjuvių plotai juos abu atskirai veikiant teigiamoms ir neigiamoms apkrovoms pagal (9) formulę.

$$\begin{aligned}
+ S_{HP.pirm.lonž.virš.lentyn.} &= \frac{53,051}{4,4867} = 11,83 \text{ mm}^2.; & - S_{HP.pirm.lonž.viršut.lentyn.} &= \frac{53,051}{9,6873} = 5,48 \text{ mm}^2.; \\
+ S_{HP.pirm.lonž.apat.lentyn.} &= \frac{53,051}{9,6873} = 5,48 \text{ mm}^2.; & - S_{HP.pirm.lonž.apat.lentyn.} &= \frac{53,051}{4,4867} = 11,83 \text{ mm}^2.; \\
+ S_{HP.antr.lonž.virš.lentyn.} &= \frac{69,52}{4,4867} = 15,49 \text{ mm}^2.; & - S_{HP.antr.lonž.viršut.lentyn.} &= \frac{69,52}{9,6873} = 7,18 \text{ mm}^2.; \\
+ S_{HP.antr.lonž.apat.lentyn.} &= \frac{69,52}{9,6873} = 7,18 \text{ mm}^2.; & - S_{HP.antr.lonž.apat.lentyn.} &= \frac{69,52}{4,4867} = 15,49 \text{ mm}^2.
\end{aligned}$$

Abiems pirmojo lonžerono lentynoms parenkami  $11,83 \text{ mm}^2$ . plotai, priimant tai, kad jos gali būti tiek tempiamos tiek gniuždomos, veikiant teigiamoms ir neigiamoms apkrovoms. Abiems antrojo lonžerono lentynoms atitinkamai parenkami  $15,49 \text{ mm}^2$ . lentynėlių skerspjuvio plotai. Toliau kaip ir sparnų atveju skaičiuojamas stabilizatoriaus bei aukščio vairo sąlygojamas horizontalios plokštumos susukimas. Kaip ir sparnų atveju, dėl gamybos paprastumo lonžeronams parenkamos  $10 \text{ mm}$ . pločio vientisos eglės medienos „spuce“ lentos, kuriose atsižvelgiant į apskaičiuotus lentynėlių aukščius (pirmajame lonžerone  $1,183 \text{ mm}$ . nuo lonžerono viršutinės dalies žemyn ir nuo apatinės dalies į viršų, antrame šie aukščiai -  $1,549 \text{ mm}$ .) padaromos išlengvinimo išėmos, kurios išlengvina konstrukciją jos nesusilpninant ir padarant gamybą paprastesnę.

Kadangi stabilizatorius nėra simetrinės formos, o jo  $AC$  yra lygus  $0,405 \text{ m}$ . nuo priekinės stabilizatoriaus briaunos,  $a_1$  gaunamas  $0,355 \text{ m}$ . nuo priekinės stabilizatoriaus briaunos, viena iš fiuzeliažo išsikišusi stabilizatoriaus dalis yra  $1,03 \text{ m}$ ., o didžiausia bėginį stabilizatoriaus metrą veikianti apkrova yra  $46,05 \text{ kg}$ . ( $452,5177 \text{ N}$ .), susukimo momentas skaičiuojamas pagal (10) formulę.

$$M_{susukimo.HP} = 46,05 \cdot 1,03 \cdot 0,355 = 16,8381 \text{ kg}\cdot\text{m}. (165,463 \text{ N}\cdot\text{m}).$$

Kaip ir sparnų atveju, stabilizatoriui susukimą duoda staiga atlenktas aukščio vairs, tačiau horizontalios plokštumos bendras reikiamas stiprumas skaičiavimo pradžioje pradėtas skaičiuoti su aukščio vairo sąlygoto keliamosios jėgos koeficientu, todėl šiuo atveju to atlikti nebereikia.

Toliau vertiname reikiamą stabilizatoriaus priekinės dalies gaubto iki pirmojo lonžerono storį. Gamybai planuojame naudoti tas pačias medžiagas kaip ir sparno gamybos atveju [47]. Gaubto storis išskaičiuojamas iš (13) formulės priartėjimo būdu lyginant su medžiagos charakteristikomis. Stabilizatoriaus nerviūros priekinės dalies (iki lonžerono) plotas  $S_{HP.nerviūros.noselės}$  yra lygus  $0,023663 \text{ m}^2$  (žiūrėti 3 priedo 2 pav.). Stabilizatoriaus priekinės briaunos gaubtą gaminant iš aviacinės klijuotės taip, kad klijuotės raštas būtų  $45^\circ$  kampu lonžeronui, jos įraša  $\tau$  yra  $18000 \text{ kg}\cdot\text{m}$ .

$M_{susukimo.HP} = 16,8381 \text{ kg}\cdot\text{m}. (165,463 \text{ N}\cdot\text{m})$ ,  $S_{HP.nerviūros.noselės} = 0,023663 \text{ m}^2$ .,  $\delta$  - ieškoma priartėjimo būdu, siekiant neviršyti  $\tau_{susukimo}$  reikšmės =  $18000 \text{ kg}\cdot\text{m}$ .

$$18000 > \frac{16,8381}{2 \cdot 0,023663 \cdot \delta}., \delta \geq 1,97 \approx 2 \text{ mm}.$$

Iš čia sužinome, kad stabilizatoriaus priekinės dalies gaubtas iš aviacinės klijuotės turi būti ne plonesnis kaip  $2 \text{ mm}$ . storio. Toliau kaip ir sparno atveju vertiname kiek nerviūrų bus stabilizatoriuje ir kokią apkrovą laikys kiekviena iš jų. Žinome, kad bėginį stabilizatoriaus metrą



veiks 46,05 kg. (452,5177 N.) apkrova. Parenkamas 4 nerviūrų kiekis bėginiame stabilizatoriaus metre, todėl apkrovos dydis tenkantis vienai nerviūrai gaunamas  $46,05 \text{ kg.} / 4 = 11,5125 \text{ kg.}$  (112,89 N.) Šis apkrovos dydis yra suminė didžiausia nerviūrą veikianti apkrova atlenkus aukščio vairą. Pritaikius (9) formulę, apskaičiuojame kokių skerspjūvio plotų reikia nerviūrų apatinei ir viršutinei lystvelėms.

$$S_{HP.nerv.lystv.} = \frac{11,5125}{4,4867} = 2,57 \text{ mm}^2.; S_{HP.nerv.lystv.} = \frac{11,5125}{9,6873} = 1,19 \text{ mm}^2.$$

Iš čia sužinome, kad stabilizatoriaus nerviūrų viršutinėms gniuždomoms lystvelėms skerspjūvio ploto reikia  $2,57 \text{ mm}^2.$ , o apatinėms tempiamoms lystvelėms  $1,19 \text{ mm}^2.$  Tačiau atsižvelgiant į tai, kad tiek apatinės tiek viršutinės nerviūrų lystvelės gali būti tiek tempiamos tiek gniuždomos, joms abiemis parenkamas didesnis  $2,57 \text{ mm}^2.$  skerspjūvio plotas.

Taip pat reikia apskaičiuoti kokio skerspjūvio ploto reikia aukščio vairo nerviūrų lystvelėms. Šiam skaičiavimui, reikia įvertinti kokias apkrovas patirs atlenktas aukščio vairs. Tai atliekama pritaikius 19 formulę. Pirmiausia įvertinama kokį keliamosios jėgos prieaugį sukuria atlenktas aukščio vairs, pasinaudojant programine įranga „XFLR5“ (žiūrėti 2 priedo 5 pav.). Uodegos plokštumoms naudojamas profilis, be aukščio vairo atlenkimo ties stabiliausiu atakos kampu  $\alpha=2,5^\circ$  skrendant greičiu  $V_C$ , sukurs keliamosios jėgos koeficientą  $C_L=0,268$  (žiūrėti 2 priedo 6 pav.), todėl vertinant jo sukuriama keliamosios jėgos prieaugį šią reikšmę atimame iš anksčiau naudotos keliamosios jėgos koeficiento reikšmės  $C_L=0,982$ , ir gauname  $C_L$  prieaugį –  $0,714$ . Pagal šį prieaugį apskaičiuojame aukščio vairo sukuriamos apkrovos dydį naudojant (11) formulę.

$$C_{La.vairo} = 0,714., S_{a.vairo}=0,3982 \text{ m}^2., \rho=0,125 (1,225 \text{ kg/m}^3), V_C=25 \text{ m/s.}, f_I=1,5.$$

$$P = 0,714 \cdot 0,3982 \cdot \frac{0,125 \cdot 25^2}{2} \cdot 1,5 = 16,659 \approx 16,7 \text{ kg.} (163,35 \text{ N.})$$

Šis dydis nusako kokio dydžio apkrovą sukurs aukščio vairs, tuo tarpu bėginį aukščio vairo metrą veiks  $11,5125 \text{ kg.}$  (112,89 N.), o kiekvieną aukščio vairo nerviūrą veiks  $2,878 \text{ kg.}$  (28,22 N.) apkrova. Aukščio vairo kiekvienos nerviūros viršutinė bei apatinė lystvelės patirs  $2,878 \text{ kg.}$  (28,22 N.) apkrovą, tokiu apkrovos dydžiu bus gniuždomos bei tempiamos. Skaičiuojama pagal (9) formulę.

$$S_{a.vair.nerv.lystv.} = \frac{2,878}{4,4867} = 0,641 \text{ mm}^2.; S_{a.vair.nerv.lystv.} = \frac{2,878}{9,6873} = 0,297 \text{ mm}^2.$$

Iš skaičiavimo matome, kad aukščio vairo nerviūrų viršutinėms lystvelėms reikia  $0,641 \text{ mm}^2.$  skerspjūvio plotų, o apatinėms nerviūrų lystvelėms  $0,297 \text{ mm}^2.$ , kad atlaikytų veikiančias apkrovas.

Toliau atliekame vertikalios aerodinaminės plokštumos arba kilio jėginių konstrukcijų reikiamų stiprumų skaičiavimus. Didžiausios vertikalią uodegos plokštumą veikiančios apkrovos dydis įvertinamas pagal 22 formulę. Tam reikia žinoti keliamosios jėgos koeficientą  $C_L$ , posūkio vairą atlenkus 15 %, todėl atliekame bandymą su programine įranga “XFLR5” (žiūrėti 2 priedo 7

pav.). Tyrimas atliekamas skrendant greičiu  $V_C$ , kadangi ši plokštuma skirta tiesios krypties ir posūkių į šonus atlikimui parenkamas atakos kampas  $\alpha 0^\circ$ , staiga posūkio vairą pasukus  $15^\circ$  į bet kurį šoną, vertikali uodegos plokštuma sukuria keliamosios (posūkio) jėgos koeficientą 0,77. Pilnam apkrovų dydžio įvertinimui kiti formulės dedamieji jau žinomi iš anksčiau, vertikali uodegos plokštumos plotas  $S_{VP}$  lygus  $0,9 \text{ m}^2$ , kreiserinis greitis  $V_C$  lygus  $25 \text{ m/s.}$ ,  $\rho=0,125$  ( $1,225 \text{ kg/m}^3$ ),  $f_I=1,5$ . (14) formulė.

$$P = 0,77 \cdot 0,9 \cdot \frac{0,125 \cdot 25^2}{2} \cdot 1,5 = 40,605 \text{ kg. (398,177 N.)}$$

Gauname, kad vertikali uodegos plokštumos konstrukcija turi atlaikyti  $40,605 \text{ kg.}$  ( $398,177 \text{ N.}$ ), kadangi vertikali plokštumos aukštis yra lygiai  $1 \text{ m.}$ , tai ir apkrova veikianti bėginį vertikali plokštumos metrą yra tokia pati kaip apskaičiuota  $40,605 \text{ kg.}$  ( $398,177 \text{ N.}$ ). Pirmojo lonžerono bėginiam metrui tenkanti  $60 \%$  apkrovos dalis sudaro  $24,363 \text{ kg.}$  ( $238,9035 \text{ N.}$ ), antrojo lonžerono bėginiam metrui tenkanti  $40 \%$  apkrovos dalis sudaro  $16,242 \text{ kg.}$  ( $159,269 \text{ N.}$ ).

Kaip ir sparno konstrukcijų projektavime, reikia įvertinti labiausiai laužiamų vietų konstrukcijų tvirtumą, tokia vieta vertikaloje uodegos plokštumoje bus ties troselių jungiančių vertikalią uodegos plokštumą pajungimo su horizontalia plokštuma vieta, kuri kaip ir prieš tai skaičiuotais atvejais, bus ties  $45 \%$  kilio aukščio į lonžeronus nuo viršutinės vertikali plokštumos profilio galo  $c_t$  vietos link jungties prie liemens. Reikia apskaičiuoti ties kuria kilio aukščio dalimi nuo kilio galo profilio stygos  $c_t$  link pagrindo stygos  $c_r$  bus prijungti kilio troseliai:

$$Z_{VP.projek.lonž.} = 1 \cdot 0,45 = 0,45 \text{ m.}$$

Pirmojo lonžerono ilgis išlindęs nuo jungties su troseliais link kilio galo  $0,48895 \text{ m.}$  arba  $0,5976 \text{ m.}$  nuo pagrindo link jungties su troseliais (žiūrėti 6 priedo 16 pav.). Kadangi kilui kaip ir stabilizatoriui naudojamas simetrinis  $8 \%$  profilio stygos storio profilis, kurio ilgis ties profilio pagrindo styga  $c_r$  yra  $1,2 \text{ m.}$ , pirmojo lonžerono aukštis (plotis) ties troselių jungimo vieta  $68,977 \text{ mm.}$  (žiūrėti 6 priedo 16 pav.).

Lenkimo momentų ties troselių pajungimo vietomis įvertinimas atliekamas pagal (8) formulę:

$$\begin{aligned} P_{VP.pirm.lonž.} &= 24,363 \text{ kg. (238,9035 N.) bėginiam metrui;} \\ P_{VP.antr.lonž.} &= 16,242 \text{ kg. (159,269 N.) bėginiam metrui;} \\ Z_{VP.pirm.lonž.} &= 0,48895 \text{ m.}; Z_{VP.antr.lonž.} = 0,45 \text{ m.}; \\ M_{lenk.max VP.pirm.lonž.} &= \frac{24,363 \cdot 0,48895^2}{2} = 2,9112 \text{ kg. (28,547 N.) bėginiam metrui;} \\ M_{lenk.max VP.antr.lonž.} &= \frac{16,242 \cdot 0,45^2}{2} = 1,6445 \text{ kg. (16,126 N.) bėginiam metrui.} \end{aligned}$$

Žinodami lenkimo momentų dydžius kilio troselių pajungimo vietose, bei lonžeronų aukščius (pločius) troselių pajungimo vietose, turime apskaičiuoti lonžeronų darbinis aukščius kaip ir sparnų atveju. Šis aukštis gaunamas turimą lonžerono aukštį spyrių pajungimo vietoje padauginus iš  $84 \text{ proc.}$ , ir gauname  $h_{VP.pirm.lonž.}=57,94 \text{ mm.}$   $h_{VP.antr.lonž.}=29,91 \text{ mm.}$  Toliau

skaičiuojame kokiomis apkrovomis bus veikiami lonžeronai šiose labiausiai apkraunamose vietoje, pagal (8) formulę.

$$\begin{aligned}
 M_{lenk.max VP.pirm.lonž.} &= 2,9112 \text{ kg. (28,547 N.) bėginiam metrui;} \\
 M_{lenk.max VP.antr.lonž.} &= 1,6445 \text{ kg. (16,126 N.) bėginiam metrui;} \\
 h_{VP.pirm.lonž.} &= 0,05794 \text{ m.}; \quad h_{VP.pirm.lonž.} = 0,02991 \text{ m.}; \\
 P_{VP.pirm.lonž.} &= \frac{2,9112}{0,05794} = 50,245 \approx 51 \text{ kg. (500,106 N.) bėginiam metrui;} \\
 P_{VP.antr.lonž.} &= \frac{1,6445}{0,02991} = 54,981 \approx 55 \text{ kg. (539,33 N.) bėginiam metrui.}
 \end{aligned}$$

Kilio gamybai naudosime tas pačias medžiagas kaip ir sparno bei stabilizatoriaus atvejais [47]. Toliau apskaičiuojami reikiami kilio lonžeronų lentynų skerspjūvių plotai, pagal (9) formulę.

$$\begin{aligned}
 S_{VP.pirm.lonž.lentyn.s ker sp} &= \frac{51}{4,4867} = 11,37 \text{ mm}^2.; \quad S_{VP.pirm.lonž.lentyn.s ker sp} = \frac{51}{9,6873} = 5,27 \text{ mm}^2.; \\
 S_{VP.antr.lonž.lentyn.s ker sp} &= \frac{55}{4,4867} = 12,26 \text{ mm}^2.; \quad S_{VP.antr.lonž.lentyn.s ker sp} = \frac{55}{9,6873} = 5,68 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

Kadangi orlaivis dažnai keis kryptis, ir dažniausiai abi pusės patirs vienodas apkrovas, todėl abiejų lonžeronų lentynėlės turi būti vienodos, pirmajam lonžeronui parenkami  $11,37 \text{ mm}^2$ ., siekiant atlaikyti didesniąsias veiksiančias apkrovas, antrajam parenkami  $12,26 \text{ mm}^2$ . lentynėlių skerspjūvio plotai. Kaip ir sparnų atveju, dėl gamybos paprastumo lonžeronams parenkamos 10 mm. pločio vientisos eglės medienos „spuce“ lentos, kuriose atsižvelgiant į apskaičiuotus lentynėlių aukščius ( $11,37 \text{ mm}$ . nuo lonžerono viršutinės dalies žemyn ir nuo apatinės dalies į viršų pirmajame lonžerone ir  $12,26 \text{ mm}$ . antrajame) padaromos apvalios išlengvinimo išėmos, kurios išlengvina konstrukciją jos nesusiūpinant ir padarant gamybą paprastesne (žiūrėti 6 priedo 16-17 pav.). Toliau kaip ir sparnų bei stabilizatoriaus atvejais skaičiuojamas kilio bei posūkio vairo sąlygojamas vertikalios plokštumos susukimas.

Kadangi kilis nėra simetrinės formos, o jo AC yra lygus  $0,505 \text{ m}$ . nuo priekinės kilio briaunos,  $a_1$  gaunamas  $0,455 \text{ m}$ . nuo priekinės kilio briaunos, nuo liemens į viršų ties aukščiausia kilio vieta kilis siekia  $1 \text{ m}$ . aukštį, didžiausia bėginį kilio metrą veikianti apkrova yra  $40,605 \text{ kg}$ . ( $398,17 \text{ N}$ .), susukimo momentas skaičiuojamas pagal 18 formulę.

$$M_{susukimo.VP} = 40,605 \cdot 1 \cdot 0,455 = 18,475 \text{ kg}\cdot\text{m.}, (181,168 \text{ N}\cdot\text{m}).$$

Kaip ir stabilizatoriaus atveju, kiliui susukimą duoda staiga atlenktas posūkio vairas, tačiau kilio bendras reikiamas stiprumas skaičiavimo pradžioje pradėtas skaičiuoti su posūkio vairo sąlygoto keliamosios jėgos (posūkio) koeficientu, todėl šiuo atveju to atlikti nebereikia.

Toliau vertiname reikiamą kilio priekinės dalies iki pirmojo lonžerono gaubto storį. Gamybai planuojame naudoti tas pačias medžiagas kaip ir sparno bei stabilizatoriaus atvejais [47]. Gaubto storis išskaičiuojamas iš (13) formulės priartėjimo būdu lyginant su medžiagos charakteristikomis. Kilio nerviūros noselės plotas  $S_{VP.nerviūros.noselės}$  yra lygus  $0,031504 \text{ m}^2$ . (žiūrėti 3 priedo 3 pav.)

Gaubtą gaminant iš aviacinės klijuotės taip, kad klijuotės raštas būtų 45° kampu lonžeronui, jos įrašas  $\tau$  yra 18000 kg·m.

$M_{sukimo\ VP} = 18,475 \text{ kg}\cdot\text{m}$ . (181,168 N·m),  $S_{VP\ nerviūros\ noselės} = 0,031504 \text{ m}^2$ .,  $\delta$  - ieškoma priartėjimo būdu, siekiant neviršyti  $\tau_{sukimo}$  reikšmės = 18000 kg·m.

$$18000 > \frac{18,475}{2 \cdot 0,031504 \cdot \delta} \text{., } \delta \geq 1,628 \approx 1,7 \text{ mm.}$$

Iš čia sužinome, kad kilio priekinės dalies gaubtas iš aviacinės klijuotės turi būti ne plonesnis kaip 1,7 mm., siekiant turėti atsargą, priimamas 2 mm. gaubto storis. Toliau kaip ir sparno bei stabilizatoriaus atvejais, vertiname kiek nerviūrų bus kilyje ir kokią apkrovą laikys kiekviena iš jų. Žinome, kad bėginį kilio metrą veiks 40,605 kg. (398,17 N.) apkrova. Pasirenkame 3 nerviūrų kiekį bėginiame kilio metre, todėl apkrovos dydis tenkantis vienai nerviūrai gaunamas 40,605 kg. / 3 = 13,535 kg. (132,724 N.). Šis apkrovos dydis yra suminė didžiausia kiekvieną nerviūrą veikianti apkrova atlenkus posūkio vairą. Pritaikius (9) formulę, apskaičiuojame kokių skerspjuvio plotų reikia nerviūrių lystvelėms. Kilio nerviūroms planuojama naudoti tas pačias medžiagas kaip ir sparno bei stabilizatoriaus gamyboje [47].

$$S_{VP.nerv.lystv.s\ ker\ sp} = \frac{13,535}{4,4867} = 3,02 \text{ mm}^2 \text{.; } S_{VP.nerv.lystv.s\ ker\ sp} = \frac{13,535}{9,6873} = 1,39 \text{ mm}^2.$$

Iš čia sužinome, kad kilio nerviūrų lystvelės turi būti iš ne mažesnio kaip 3,02 mm<sup>2</sup>. skerspjuvio ploto, siekiant atlaikyti tempimo ir gniuždymo apkrovas.

Taip pat reikia apskaičiuoti kokio skerspjuvio ploto reikia posūkio vairo nerviūrų lystvelėms. Šiam skaičiavimui, reikia įvertinti, kokias apkrovas patirs atlenktas posūkio vairs. Tai atliekama pritaikius (11) formulę. Pirmiausia įvertinama, kokį keliamosios jėgos prieaugį sukuria atlenktas posūkio vairs, pasinaudojant programine įranga „XFLR5“. Uodegos plokštumoms naudojamas profilis, be posūkio vairo atlenkimo skrendant greičiu  $V_C$ , nesukurs jokio keliamosios jėgos koeficiento  $C_L=0$ , turint šį dydį, galima įvertinti, koks bus apkrovos prieaugis atlenkus vairą ir jo nejudinant (žiūrėti 2 priedo 6-7 pav.). Apskaičiuojame aukščio vairo sukuriamos apkrovos dydį.

$$C_{Lp.vairo} = 0 \text{., } S_{p.vairo} = 0,225 \text{ m}^2 \text{., } \rho = 0,125 \text{ (1,225 kg/m}^3\text{)., } V_C = 25 \text{ m/s.}, f_I = 1,5.$$

$$P = 0 \cdot 0,225 \cdot \frac{0,125 \cdot 25^2}{2} \cdot 1,5 = 13,183 \approx 13,2 \text{ kg. (129,27 N.)}$$

Šis dydis nusako, kokio dydžio apkrova veiks visą posūkio vairą, tai lygu bėginei posūkio vairo metro apkrovai, o kiekvieną posūkio vairo nerviūrą veiks 4,4 kg. (43,14 N.) apkrova. Šia apkrova bus veikiamos ir posūkio vairo nerviūrų lystvelės, tai reiškia, kad šiuo dydžiu bus gniuždomos bei tempiamos. Nerviūrų gamybai naudojamos tos pačios medžiagos kaip ir sparnų bei stabilizatoriaus atvejais [47]. Naudojama (9) formulė.

$$S_{p.vair.nerv.lystv.s\ ker\ sp} = \frac{4,4}{4,4867} = 0,98 \text{ mm}^2 \text{.; } S_{p.vair.nerv.lystv.s\ ker\ sp} = \frac{4,4}{9,6873} = 0,45 \text{ mm}^2.$$

Iš skaičiavimo matome, kad posūkio vairo nerviūrų lystvelėms reikia 0,98 mm<sup>2</sup>. skerspjuvio ploto, siekiant atlaikyti tempimo ir gniuždymo apkrovas. Žemiau pateikiama apibendrinta 2 lentelė su duomenimis apie uodegos plokštumų konstrukcijos reikalavimus.

## 2 lentelė. Uodegos plokštumų jėginių konstrukcijų matmenys

Horizontali plokštuma	Stabilizatoriaus pagrindo stygos ilgis 1,04 m., galo stygos ilgis 0,6 m., mojis 2,26 m. Pirmojo lonžerono aukštis ties pagrindu 85,9 mm., ties galu 47,57 mm. ties spyrių tvirtinimo vieta 61,79 mm. Antrojo lonžerono aukštis ties pagrindu 33,6 mm., ties galu 31,11 mm. Lonžeronų storis 10 mm., pirmojo lonžerono lentynėlių aukštis 1,183 mm., antrojo lonžerono lentynėlių aukštis 1,549 mm. Stabilizatoriaus priekinės dalies gaubto iki pirmojo lonžerono storis 2 mm., nerviūrų lystvelių skerspjūvių plotai 2,57 mm <sup>2</sup> ., aukščio vairo nerviūrų lystvelių skerspjūvio plotai 0,297 mm <sup>2</sup> . Stabilizatoriaus metre 4 nerviūros, aukščio vairo plotis statmenai srautui lygus stabilizatoriaus pločiui 2,26 m., ilgis statmenai srautui 0,1761 m.
Vertikali plokštuma	Kilio pagrindo stygos ilgis 1,2 m., galo stygos ilgis 0,6 m. kilio aukštis 1 m. kilio pirmojo lonžerono plotis ties pagrindu 95,14 mm., ties galu 47,57 mm., ties troselių tvirtinimo vieta 68,977 mm. lonžeronų plotis 10 mm., pirmojo lonžerono lentynėlių aukštis 11,37 mm., antrojo lonžerono lentynėlių aukštis 12,26 mm. kilio priekinės dalies iki pirmojo lonžerono gaubto storis 1,5 mm., nerviūrų lystvelių skerspjūvio plotai 3,02 mm <sup>2</sup> ., posūkio vairo nerviūrų lystvelių skerspjūvių plotai 0,98 mm <sup>2</sup> . Kilio metre 3 nerviūros, posūkio vairo ilgis išilgai srautui 0,225 m., plotis statmenai srautui 1,3 m. (iki fiuzeliažo apačios su užapvalinimu prasidedančiu nuo kilio apačios).

### 2.2.3. Sparno ir uodegos plokštumų spyrių ir troselių reikiamų stiprumų skaičiavimas

Projektuojamo orlaivio sparnai ir stabilizatorius turės po 2 lonžeronus, sparnai abiejose pusėse bus paremti po 2 spyrius, sparno spyriai taip pat bus sujungti su sparnu kontraspjūriais. Stabilizatorius bus paremtais po vieną spyrį iš abiejų pusių į didesnius lonžeronus, o kilis kaip ir Peter Sripol orlaivio atveju nuo didesniojo lonžerono į abi puses prie stabilizatoriaus didesniojo lonžerono bus prijungtas troselais. Siekiant tinkamai parinkti spyrius ir troselius, reikia apskaičiuoti kokių reikia skerspjūvio plotų, iš kokios medžiagos jie turi būti pagaminti, siekiant atlaikyti numatomas apkrovas. Ieškant apkrovos dydžių veikiančių šias atramas, reikia žinoti kokiu kampu  $\alpha$  į liemenį (kilio atveju į stabilizatorių) jie bus pastatyti, kokia jų projekcija į kiekvienos aerodinaminės plokštumos ilgį  $t$ , didžiausia veikianti apkrova bėginiam aerodinaminių plokštumų metrui  $q$ , ir pusės aerodinaminės plokštumos ilgį išsikišusį už liemens  $(B-u)/2$  (kilio atveju visą kilio aukštį) (žiūrėti 3 priedo 7 pav.). Skaičiuojame pagal (15) formulę.

$$(B - u) / 2 = (7,5 - 0,65) / 2 = 3,425 \text{ m.}; \quad t = 3,425 - 1,54125 = 1,88375 \text{ m.}; \quad \alpha = 36^\circ;$$

$$+ q = 235 \text{ kg. (2304,41 N.) bėginiam metrui}; \quad - q = -93 \text{ kg. (911,958 N.) bėginiam metrui};$$

$$+ R = \frac{235 \cdot (3,425^2 / 2)}{\sin 32 \cdot 1,88} = 1383,5 \text{ kg. (13566,601 N.)};$$

$$- R = \frac{93 \cdot (3,425^2 / 2)}{\sin 32 \cdot 1,88} = 547,53 \text{ kg. (5369,079 N.)};$$

Apskaičiavus gauti rezultatai rodo, kad sparno spyris bus tempiamas 1383 kg. (13566,601 N.) apkrovos dydžiu, kai perkrova teigiama, ir 547,53 kg. (5369,079 N.) apkrova gniuždomas, kai

perkrova neigiama. Kadangi tempimo apkrova didesnė, reikia projektuoti tokio skersmens spyrį, kad šis atlaikytų būtent tempimo apkrovą. Spyrio gamybai pasirenkamas dažnai aviacinių konstrukcijų mazguose naudojamas plienas AISI 4130, kurio atsparumas tempimui  $\sigma$  yra 560 MPa, vykdant skaičiavimus norint išlaikyti literatūroje naudojamus vienetus, paverčiama į  $\text{kg/mm}^2$  ir gauname  $57,104 \text{ kg/mm}^2$ , šios medžiagos atsparumas gniuždymui 460 MPa, pavertus gauname  $46,907 \text{ kg/mm}^2$  [49]. Reikia apskaičiuoti, kokio skerspjūvio ploto reikia vamzdžio, norint spyrio, kuris atlaikytų projektuojamas apkrovas. Reikiamas skerspjūvio plotas apskaičiuojamas iš (16) formulės.

$$S_{SP, \text{spyrio.s ker sp.temp.atvej.}} = \frac{1383,5}{57,104} = 24,2277 \approx 25 \text{ mm}^2.$$

Taip pat reikia patikrinti ar tokio skerspjūvio pločio spyris atlaikytų gniuždymą. Perdarę (16) formulę įvertiname tokio skerspjūvio ploto spyrio vamzdžio tinkamumą gniuždymo apkrovų atlaikymui.

$$S_{SP, \text{spyrio.s ker sp.gniužd.atvej.}} = \frac{547,53}{46,907} = 11,6726 < 12 \text{ mm}^2.$$

Atsakymas teigia, kad tokio skerspjūvio ploto spyrio vamzdžio turėtų užtekti tempimo ir gniuždymo apkrovoms atlaikyti. Taip pat reikia įvertinti, kokią kritinę apkrovą išlaikytų toks gniuždomas spyris. Tai įvertinama pagal (18) formulę, pilnam apskaičiavimui reikia: spyrio galų tvirtinimo koeficiento  $C_{\text{spyr. gal. tvirtin.}}$ , kuris lygus 1, jei tvirtinimas šarnyrinis, tai pat spyriui naudojamos medžiagos tamprumo modulio  $E$ , kuris mūsų atveju naudojant minėtą plieną yra lygus  $205000 \text{ N/mm}^2$  arba  $20904,18236605 \approx 20904,1824 \text{ kg/mm}^2$  [49]. Tai pat spyrio ilgio  $l_{\text{spyrio}}$ , spyrio skerspjūvio inercijos momento  $I$ .  $I$  apskaičiuojamas pagal (17) formulę. Spyrius dėl gamybos ir projektavimo paprastumo planuojama neprofiluoti, o dėl geresnio aptakumo apgaubti mediniais aerodinaminiais gaubtais, vadovaujantis R. Kalinausko vykdyta ANBO II atkuriamąja gamyba [50].

$$I = \frac{3,14}{4} \cdot (9 \cdot 9^3 - 6 \cdot 6^3) = 4133,025 \text{ mm}^4.$$

Kadangi sparnų laikymui planuojama naudoti kontrasparyrius, kurių vieta spyrių atžvilgiu būtų ties spyrių viduriu, skaičiuojant  $P_{\text{kritinė}}$ ,  $l_{\text{spyrio}}$  galima sumažinti dvigubai. Sparno parėmimo spyriais ir kontrasparyriais schema ir matmenys pateikiami 3 priedo 8 pav. spyrio ilgį  $l_{\text{spyrio}}$  gauname 2,2335 m., tačiau naudojant kontrasparyrius, kurie į spyrį bus paremti ties jų viduriu, skaičiuojant naudojame tik pusę ilgio, t.y. 1,11675 m. = 1116,75 mm. pagal (18) formulę skaičiuojame ar tokio spyrio užteks atlaikyti gniuždymui.

$$P_{\text{kritinė}} = \frac{1 \cdot 3,14^2 \cdot 20904,1823 \cdot 4133,025}{1116,75^2} = 683,04 \text{ kg. (6697,89 N.)}$$

Gautas rezultatas rodo, kad sparną parėmus spyriais ir kontrasparyriais iš AISI 4130 plieno tokia konstrukcija kritines gniuždymo apkrovas atlaikys, tačiau jam reikia  $141,3 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto, kas yra 5,6 karto daugiau nei apskaičiuota pagal 24 formulę. Spyrius ir kontrasparyrius gaminant iš tokių vamzdžių, bus pasiektas didelis atsargos koeficientas. Kadangi sparnas bus dviejų lonžeronų ir dviejų spyrių, priekinis spyris bus apkraunamas 60 % o galinis 40 % pilnutinės gniuždymo ir tempimo apkrovos. Išsiaiškinus, jog tikslesnis atsakymas gaunamas skaičiuojant konstrukcijos atsparumą kritinei gniuždymo jėgai, skaičiuojame, kokių išmatavimų reikia

priekiniams ir galiniams spyriams bei kontraspyriams. Kadangi priekiniai spyriai ir kontraspyriai priima 60 % pilnutinės spyrių bei kontraspyrių apkrovos, jie turi atlaikyti nemažesnę kaip 547,53 kg. (5369,079 N.) gniuždymo apkrovą. 328,518 kg. (3221,44751 N.) iš (18) formulės išsivedame, kad priekiniams spyriams ir kontraspyriams reikalingi vamzdeliai, kurių inercijos momentas 0,1987271, o galiniams spyriams bei kontraspyriams – 0,16532007. Gauti rezultatai rodo, kad priekiniams spyriams ir kontraspyriams užtenka 20 mm. išorinio skersmens 1 mm. storio vamzdžių, galiniams spyriams ir kontraspyriams užtenka 18 mm. išorinio skersmens ir 1 mm. sienelės storio vamzdžių.

Stabilizatoriaus spyrių stiprumo skaičiavimas vykdomas analogiškai kaip ir sparnų atveju. (19) formulė.

$$(B_{HP} - u_{siauriaisiai}) / 2 = (2,26 - 0,2) / 2 = 1,03 \text{ m.}; t = 1,03 - 0,4635 = 0,5665 \text{ m.}; \alpha = 27^\circ.,$$

$$q = 46,05 \text{ kg. (4532,5177 N.) bėginiam metrui;}$$

$$R = \frac{46,05 \cdot (1,03^2 / 2)}{\sin 27 \cdot 0,5665} = 45,08639 \text{ kg. (442,11714 N.) bėginiam metrui.}$$

Rezultatas rodo, kad didžiausia gniuždymo ir tempimo apkrova kurią gali tekti atlaikyti spyriui yra 45,087 kg. (442,11714 N.). Stabilizatoriaus spyrio gamybai naudojamos tos pačios medžiagos kaip ir sparno spyrių atveju. Reikiamas skerspjūvio plotas apskaičiuojamas iš (16) formulės.

$$S_{HP.spyr.s \text{ ker } sp.temp.atvej.} = \frac{46,05}{57,104} = 0,806 \approx 1 \text{ mm}^2.$$

Gniuždymo atveju:

$$S_{HP.spyr.s \text{ ker } sp.gniužd.atvej.} = \frac{46,05}{46,907} = 0,9817 \approx 1 \text{ mm}^2.$$

Atsakymas teigia, jei stabilizatorius būtų gniuždomas tempimui vienoda apkrova, jo spyriui reikėtų didesnio skerspjūvio ploto, todėl pasirenkamas didesnis apskaičiuotas reikiamas plotas. Stabilizatoriaus spyrių taip pat planuojame neprofiluoti, o dengti gaubtais, toliau skaičiuojamas spyrio inercijos momentas pagal (17) formulę.

$$I = \frac{3,14}{4} \cdot (4 \cdot 4^3 - 3 \cdot 3^3) = 137,375 \text{ mm}^4.$$

Skaičiuojant kritinę apskaičiuoto stabilizatoriaus spyrio galimą atlaikyti gniuždymo apkrovą, spyrio ilgį  $l_{stabilizatoriaus.spyrio}$  gauname 0,64 m. pagal 26 formulę skaičiuojame ar tokio spyrio užteks atlaikyti gniuždymui.

$$P_{kritinė} = \frac{3,14^2 \cdot 20904,1823 \cdot 137,375}{1 \cdot 640^2} = 69,1258 \text{ kg. (677,8475 N.)}$$

Gautas rezultatas rodo, kad stabilizatorių reikia paremti didesnio skerspjūvio ploto spyriais nei apskaičiuota pagal (16) formulę, norint, kad spyriai atlaikytų kritinę gniuždymo apkrovą, kuriai reikia  $21,98 \text{ mm}^2$ . skerspjūvio ploto, kurį turi 8 mm. išorinio skersmens 1 mm. storio vamzdis. Stabilizatorių užtenka paremti po 1 spyrį iš kiekvienos stabilizatoriaus pusės ties pirmuoju lonžeronu, tokiu atveju spyriai turės apie 1,533 atsargos koeficientą.

Kilio tvirtinimui atsižvelgiant į Peter Sripol orlaivio konstrukciją, planuojama naudoti nerūdijančio plieno troselius įtempiant iš abiejų kilio pusių ties pirmuoju lonžeronu ir pritvirtinant prie stabilizatoriaus pirmojo lonžerono. (žiūrėti 3 priedo 8 pav.). Kilio tvirtinimo troselių reikiamo

stiprumo skaičiavimas vykdomas analogiškai kaip ir sparnų atveju. skaičiuojama pagal (15) formulę.

$$B_{VP} = 1 \text{ m.}; t = 1 - 0,45 = 0,55 \text{ m.}; \alpha = 50^\circ; q = 40,605 \text{ kg. (398,177 N.) bėginiam metrui.}$$

$$R = \frac{40,605 \cdot (1^2 / 2)}{\sin 50 \cdot 0,55} = 140,69 \text{ kg. (1379,60614 N.)}$$

Rezultatas rodo, kad didžiausia gniuždymo ir tempimo apkrova kurią gali tekti atlaikyti troseliams yra 140,69 kg. (1379,60614 N.). Kilio įtvirtinimą ir atsparumą tempimui planuojama įgyvendinti įtemptiant troselius iš abiejų kilio pusių į stabilizatorių ties pirmuoju lonžeronu. Šiuo atveju reikiamo troselio skersmens įvertinimą planuojama atlikti priartėjimo būdu, pasinaudojant (16) formule. Planuojama naudoti 0,04 colio skersmens nerūdijančio plieno troselį, kuris lygus 1 mm., o atsparumas tempimui yra lygus 262 KSI, tai lygu 184,21 kg/mm<sup>2</sup>. [51].

$$S_{VP.tros.s\ ker\ sp.temp.atvej.} = \frac{140,69}{184,21} = 0,763 \text{ mm}^2.$$

Atsakymas rodo, kad reikalingas troselio skerspjūvio plotas yra 0,763 mm<sup>2</sup>., iš apskritimo ploto formulės randame, kad reikalingas troselio storis yra 1 mm., tinkantis su atsarga. Šiuo atveju atsparumo gniuždymui neskaičiuosime, kadangi kilis paremtas iš abiejų pusių, o gniuždymo atveju gniuždant vieną kilio pusę, kitos kilio pusės troseliai apkrovą priimtų kaip tempimą.

Žemiau pateikiama apibendrinta 3 lentelė, su duomenimis apie sparnų ir uodegos plokštumų parėmimo konstrukcijų reikiamus duomenis.

**3 lentelė.** Sparno ir uodegos plokštumų parėmimo konstrukcijų parametrai

<p>Sparnų spyriai</p>	<p>Spyrių ilgis 2,2335 m., kontraspyrių ilgis 0,7114 m., kontraspyrių prijungimo prie spyrių vieta ties puse spyrių ilgio, prijungimo vieta prie sparnų 0,55966 m. nuo liemens krašto. Priekinių spyrių ir kontraspyrių išorinis skersmuo 20 mm., sienelės storis 1 mm. Galinių spyrių ir kontraspyrių išoriniai skersmenys 18 mm., sienelių storis 1 mm. spyriai ir kontraspyriai gaminami iš plieno AISI 4130, neprofiliuojami, dengiami mediniais aerodinaminiais gaubtais siekiant gauti mažesnę pasipriešinimą ir išlaikyti stiprumą. Spyriai ir kontraspyriai tvirtinami prie abiejų sparno lonžeronų.</p>
<p>Stabilizatorių spyriai</p>	<p>Stabilizatoriaus spyriai gaminami iš plieno AISI 4130, jų ilgis 0,64 m., išorinis skersmuo 8 mm., sienelės storis 1 mm. spyriai į stabilizatorių prijungiami ties 0,67 m. nuo orlaivio centrinės ašies link stabilizatoriaus galo. Spyriai neprofiliuojami, apgaubiami mediniais aerodinaminiais gaubtais. Spyriai tvirtinami prie stabilizatoriaus pirmojo lonžerono.</p>
<p>Kilio troseliai</p>	<p>Kilis tvirtinamas plieniniais troseliais, kurių skersmuo 1 mm., ilgis 0,86 m., prijungiami prie kilio ties 0,55 m. nuo kilio pagrindo ir prie stabilizatoriaus ties 0,67 m. nuo stabilizatoriaus centrinės ašies. Kilio troseliai prie kilio tvirtinami ties kilio ir stabilizatoriaus didesniaisiais lonžeronais.</p>



## 2.2.4. Važiuklės apkrovų įvertinimas

Orlaivio važiuoklės išplanavimas numatomas 3 taškų - 2 priekiniai ratai su galiniu ratuku uodegoje, galinis ratukas 3,61057 m. nuo  $CoG$ , o priekiniai ratai 0,195 m. nuo  $CoG$  (žiūrėti 4 priedo 1 pav.). Iš teorijos žinome, jog lėktuvo masė pasiskirsto atvirkščiai proporcingai važiuoklės atramų atstumui nuo  $CoG$ , tai reiškia, kad galiniam ratukui teks 5,125 % orlaivio masės, kuris lygus 18,97 kg. (185,95 N.). Galinėje važiuoklės dalyje planuojama naudoti amortizacinius mechanizmus, todėl skaičiuojant apkrovas tenkančias šiai važiuoklės daliai taikomas 4,5 perkrovų dydis ir pritaikomas saugos faktorius  $f_j=1,5$ , gauname 128 kg. (1255,16 N.) Priekinėms važiuoklės dalims tenka 94,875 % orlaivio masės, kuris lygus 351,04 kg. (3442,3 N.) Priekinė važiuoklė taip pat turės amortizatorius, todėl skaičiuojant reikiamas atlaikyti apkrovas skaičiuojame naudodami 4,5 perkrovų dydį ir saugos faktorių  $f_j=1,5$ . Taigi priekinės važiuoklės ir jos tvirtinimo taškų su liemeniu pilnutinė apkrova leidimosi metu gaunama 2369,52 kg. (23235,52 N.), kadangi šią apkrovą pasidalins dvi liemens vertikaliuosios santvaros dalys, joms teks po 1184,76 kg. (11617,76 N.) apkrovos dydžio.

## 2.2.5. Liemens santvaros elementų reikiamo konstrukcijos stiprumo skaičiavimai

Kadangi projektuojamas orlaivis bus varomas kelių elektros variklių, kurie bus išdėstyti palei sparną ir ties liemens vidurine dalimi, orlaivis neturės vidaus degimo jėgainės kuri paprastai būna orlaivio priekyje ir perduoda dideles masės apkrovas, liemenį dalijame į dvi dalis: priekinę-vidurinioji (apkrovos nuo  $CoG$ , baterijų, variklių, piloto bei keleivio) ir galinė (apkrovos pagal literatūros analizę nuo uodegos plokštumų ir galinio ratuko). Vertikalių santvaros įstrižainių išdėstymas pasirenkamas pagal mažesnio greičio orlaiviams rekomenduojamą išdėstymą, stovų skaičius pasirenkamas atsižvelgiant į R. Kalinausko vykdytą ANBO II orlaivio atstatymą [50].

Pagal anksčiau atliktus skaičiavimus, stabilizatoriaus apkrova  $P_H$  – 104,081175 kg. (1020,62 N). 4 priedo 1 pav. iliustruojamas liemens vertikaliuosios santvaros stovų ir įstrižainių išdėstymas, atstumai tarp jų, bei kiekvienos vertikaliuosios santvaros plokštumos galinės dalies mazgų numeracija, pagal kurią atliekami žemiau pateikiami mazgų reikiamos atlaikyti apkrovos reikalavimai. Skaičiavimas vykdomas pagal (23) ir (24) formules. Stabilizatoriaus  $AC$  – 0,44 m. nuo priekinės briaunos. Skaičiavimo rezultatai pateikiami žemiau 4 lentelėje.

**4 lentelė.** Vertikaliuosios santvaros mazgus apskaičiuoti veikiančių apkrovų dydžiai

Mazgai	Stovo aukštis $b$ (2b)	Atstumas $r$ nuo mazgo iki stabilizatoriaus $AC$	Mazgą veikiančios apkrovos $Q_H$
1, 2 mazgai	0,7 m. (1,4 m.)	3,0761 m.	228,686 kg. (2242,49492 N.)
3, 4 mazgai	0,63204 m. (1,26408 m.)	2,48146 m.	204,314 kg. (2007,58936 N.)
5, 6 mazgai	0,56678 m. (1,13356 m.)	1,9104 m.	175,407 kg. (1720,04104 N.)
7, 8 mazgai	0,51022 m. (1,02044 m.)	1,41549 m.	144,373 kg. (1415,72164 N.)
9, 10 mazgai	0,45366 m. (0,90732 m.)	0,92058 m.	105,601 kg. (1035,52341 N.)
11, 12 mazgai	0,404 m. (0,808 m.)	0,4861 m.	62,615 kg. (614,00269 N.)
13, 14 mazgai	0,35217 m. (0,70434 m.)	0,03262 m.	4,82 kg. (47,36132 N.)
15, 17 mazgai	0,3 m. (0,6 m.)	0,4239 m.	73,532 kg. (721,054792 N.)

16 mazgas bus veikiamas uodegos ratuko apkrovų leidimosi metu, kurį apskaičiavome 128 kg. (1255,16 N.). Pagal anksčiau atliktus skaičiavimus, kilio apkrova  $P_V$  – 40,58 kg. (397,93 N.) 4 priedo 2 pav. iliustruojamas liemens horizontalios santvaros stovų ir įstrižainių išdėstymas, atstumai tarp jų, bei kiekvienos horizontalios santvaros plokštumos galinės dalies mazgų numeracija, pagal kurią atliekami žemiau pateikiami mazgų reikiamos atlaikyti apkrovos reikalavimai. Skaičiavimas vykdomas pagal 33 formulę. Kilio AC – 0,537 m. nuo priekinės kilio briaunos. Skaičiavimo rezultatai pateikiami žemiau 5 lentelėje.

**5 lentelė.** Horizontalios santvaros mazgus apskaičiuoti veikiančių apkrovų dydžiai

Mazgai	Stovo aukštis $h$ ( $2h$ )	Atstumas $r$ nuo mazgo iki kilio AC	Mazgą veikiančios apkrovos $Q_V$
A, B mazgai	0,65 m. (1,3 m.)	3,087 m.	96,37 kg. (945,005 N.)
C, D mazgai	0,57355 m. (1,1471 m.)	2,49236 m.	88,18 kg. (864,694 N.)
E, F mazgai	0,50012 m. (1,0024 m.)	1,9213 m.	77,78 kg. (762,71 N.)
G, H mazgai	0,43649 m. (0,87298 m.)	1,42639 m.	66,31 kg. (650,19 N.)
I, J mazgai	0,37286 m. (0,74572 m.)	0,93148 m.	50,69 kg. (497,05 N.)
K, L mazgai	0,317 m. (0,634 m.)	0,497 m.	31,82 kg. (311,94 N.)
M, N mazgai	0,2587 m. (0,5174 m.)	0,04352 m.	3,42 kg. (3,47 N.)
O, P mazgai	0,2 m. (0,4 m.)	0,413 m.	41,9 kg. (410,86 N.)

O ir P mazgai yra už kilio AC, tačiau vistiek bus veikiami apkrovų, atsirandančių nuo srauto, todėl jų reikiamas stiprumas atlaikyti apkrovas bus apskaičiuotas taip pat, kaip ir kiti galinės fiuzeliažo santvaros dalies mazgai. Toliau atliksime kiekvieno vamzdelio reikiamo storio skaičiavimą, naudodamiesi (25) formule. Liemens santvarą planuojama gaminti iš aliuminio lydinio 6082 T6 vamzdelių, kurių tamprumo modulis yra 69 Gpa arba 7036,041869548 kg/mm<sup>2</sup> [52].

**6 lentelė.** Galinės liemens dalies vertikalios santvaros vamzdelių skaičiavimas

Vamzdelių galai mazuose	Galų tvirtinimo koeficientas $C$	Vamzdelio ilgis $l$	Vamzdelio galus veikiančių apkrovų vidurkis	Vamzdeliui reikalingas Inercijos momentas $I$	Vamzdelio išmatavimai (skersmuo ir sienelės storis)
1-2	2,5 stovas	700 mm.	228,69 kg. (2242,54 N.)	0,40382719	24x1
2-3	2,5 įstrižainė	918,48 mm.	433 kg. (4246 N.)	1,31637493	34x1
1-3	1,5 lonžeronas	594,64 mm.	216,5 kg. (2123 N.)	0,16552732	18x1
2-4	1,5 lonžeronas	598,52 mm.	216,5 kg. (2123 N.)	0,16769449	18x1
3-4	2,5 stovas	632,04 mm.	204,32 kg. (2003,57 N.)	0,29413879	22x1
3-5	1,5 lonžeronas	571,05 mm.	189,87 kg. (1861,87 N.)	0,13387768	18x1
4-5	2,5 įstrižainė	851,81 mm.	379,73 kg. (3723,64 N.)	0,99291638	32x1
4-6	1,5 lonžeronas	574,77 mm.	189,87 kg. (1861,87 N.)	0,1356276	18x1
5-6	2,5 stovas	566,78 mm.	175,41 kg. (1720,08 N.)	0,20306528	20x1
5-7	1,5 lonžeronas	494,91 mm.	159,89 kg. (1567,9 N.)	0,08467931	14x1
6-7	2,5 įstrižainė	752,44 mm.	319,78 kg. (3135,77 N.)	0,65245016	26x1
6-8	1,5 lonžeronas	498,13 mm.	159,89 kg. (1567,9 N.)	0,08578478	14x1
7-8	2,5 stovas	510,22 mm.	144,38 kg. (1415,8 N.)	0,13544853	18x1

7-9	1,5 lonžeronas	494,91 mm.	124,99 kg. (1225,66 N.)	0,06619593	14x1
8-9	2,5 įstrižainė	710,81 mm.	124,99 kg. (1225,66 N.)	0,22758028	20x1
8-10	1,5 lonžeronas	498,13 mm.	124,99 kg. (1225,66 N.)	0,20670601	20x1
9-10	2,5 stovas	453,66 mm.	105,61 kg. (1035,62 N.)	0,07832823	14x1
9-11	1,5 lonžeronas	434,48 mm.	84,11 kg. (824,79 N.)	0,03433134	12x1
10-11	2,5 įstrižainė	628,15 mm.	168,22 kg. (1649,57 N.)	0,23919751	20x1
10-12	1,5 lonžeronas	437,91 mm.	84,11 kg. (824,79 N.)	0,03487554	12x1
11-12	2,5 stovas	404 mm.	62,62 kg. (614,06 N.)	0,03683224	12x1
11-13	1,5 lonžeronas	453,49 mm.	33,72 kg. (330,66 N.)	0,01499431	10x1
12-13	2,5 įstrižainė	607,34 mm.	67,44 kg. (661,32 N.)	0,08964656	16x1
12-14	1,5 lonžeronas	456,44 mm.	33,72 kg. (330,66 N.)	0,01519003	10x1
13-14	2,5 stovas	352,17 mm.	4,82 kg. (47,27 N.)	0,00215429	6x1
13-15	1,5 lonžeronas	456,52 mm.	39,18 kg. (384,2 N.)	0,01765581	10x1
14-15	2,5 įstrižainė	576,57 mm.	78,36 kg. (768,4 N.)	0,09387519	16x1
15-16	2,5 įstrižainė	376,34 mm.	100,77 kg. (988,16 N.)	0,05143329	12x1
14-16	1,5 lonžeronas	263,80 mm.	201,53 kg. (1976,21 N.)	0,03032444	12x1
16-17	1,5 lonžeronas	195,69 mm.	201,53 kg. (1976,21 N.)	0,01668709	10x1
15-17	2,5 stovas	300 mm.	201,53 kg. (1976,21 N.)	0,06536338	14x1

**7 lentelė.** Galinės liemens dalies horizontalios santvaros vamzdelių skaičiavimas

<b>Vamzdelių galai mazguose</b>	<b>Galų tvirtinimo koeficientas</b>	<b>Vamzdelio ilgis <i>l</i></b>	<b>Vamzdelio galus veikiančių apkrovų vidurkis</b>	<b>Vamzdeliui reikalingas Inercijos momentas <i>I</i></b>	<b>Vamzdelio išmatavimai (skersmuo ir sienelės storis)</b>
A-B	2,5 stovas	650 mm.	96,36 kg. (944,93 N.)	0,14214771	18x1
A-C	1,5 lonžeronas	595,87 mm.	92,27 kg. (904,765 N.)	0,07083813	14x1
B-D	1,5 lonžeronas	595,87 mm.	92,27 kg. (904,765 N.)	0,07083813	14x1
B-C	2,5 įstrižainė	853,15 mm.	92,27 kg. (904,765 N.)	0,24202688	20x1
C-D	2,5 stovas	573,55 mm.	88,18 kg. (864,6 N.)	0,10453578	16x1
C-F	2,5 įstrižainė	783,77 mm.	82,98 kg. (813,655 N.)	0,1836974	18x1
D-F	1,5 lonžeronas	572,23 mm.	82,98 kg. (813,655 N.)	0,0587514	14x1
C-E	1,5 lonžeronas	572,23 mm.	82,98 kg. (813,655 N.)	0,0587514	14x1
E-F	2,5 stovas	500,12 mm.	77,78 kg. (762,71 N.)	0,07010818	14x1
E-G	1,5 lonžeronas	495,93 mm.	72,05 kg. (706,45 N.)	0,03831583	12x1
F-H	1,5 lonžeronas	495,93 mm.	72,05 kg. (706,45 N.)	0,03831583	12x1
F-G	2,5 įstrižainė	681,36 mm.	72,05 kg. (706,45 N.)	0,12054232	16x1
G-H	2,5 stovas	436,49 mm.	66,31 kg. (650,19 N.)	0,04552814	12x1
G-I	1,5 lonžeronas	495,93 mm.	58,5 kg. (573,62 N.)	0,03111001	12x1
H-J	1,5 lonžeronas	495,93 mm.	58,5 kg. (573,62 N.)	0,03111001	12x1
G-J	2,5 įstrižainė	639,3 mm.	58,5 kg. (573,62 N.)	0,08616236	14x1
I-J	2,5 stovas	372,86 mm.	50,69 kg. (497,05 N.)	0,02539605	10x1
I-K	1,5 lonžeronas	435,38 mm.	41,25 kg. (404,495 N.)	0,01690692	10x1
J-L	1,5 lonžeronas	435,38 mm.	41,25 kg. (404,495 N.)	0,01690692	10x1
J-K	2,5 įstrižainė	554,75 mm.	41,25 kg. (404,495 N.)	0,04574787	12x1
K-L	2,5 stovas	315,71 mm.	31,82 kg. (311,94 N.)	0,01142955	8x1
L-N	1,5 lonžeronas	454,42 mm.	17,62 kg. (172,705 N.)	0,00786727	8x1

K-M	1,5 lonžeronas	454,42 mm.	17,62 kg. (172,705 N.)	0,00786727	8x1
K-N	2,5 įstrižainė	537,13 mm.	17,62 kg. (172,705 N.)	0,01831964	10x1
M-N	2,5 stovas	261,07 mm.	3,42 kg. (33,47 N.)	0,00084003	6x1
N-O	2,5 įstrižainė	510,89 mm.	22,66 kg. (222,165 N.)	0,0213141	10x1
M-O	1,5 lonžeronas	457,46 mm.	22,66 kg. (222,165 N.)	0,01025344	8x1
N-P	1,5 lonžeronas	457,46 mm.	22,66 kg. (222,165 N.)	0,01025344	8x1
O-P	2,5 stovas	200 mm.	41,9 kg. (410,86 N.)	0,00603985	8x1

Toliau detaliam skaičiuojame liemens priekinės dalies (nuo nosies iki sparnų galinės pajungimo vietos). Kaip minėjome anksčiau, šią liemens santvarą veiks masės apkrovos, tenkančios būtent šiai santvaros daliai, tai yra 2 asmenų masės po 80 kg. (784,48 N.), sparnų masė 62 kg. (607,972 N.), baterijų masė 30 kg. (314,432 N.), variklių masė 15 kg. (147,09 N.), sparnų spyrių masė 20 kg. (215,732 N.), šios santvaros dalies masė 30 kg. (314,432 N.), važiuoklės masė 15 kg. (147,09 N.), viso gauname – 332 kg. (3255,592 N.) šios apkrovos pridėties vieta – 0,545 m. nuo sparno priekinės briaunos srauto kryptimi, o liemens ilgis nuo sparnų priekio iki galinės prijungimo vietos 0,85 m., o nuo sparnų priekio iki nosies – 1,15 m., visas šios liemens dalies ilgis – 2 m. 4 priedo 3 pav. iliustruoja šios santvaros mazgus.

Į priekį nuo *CoG* priešinga srautui kryptimi, šios dalies mazgus veikiančių apkrovų dydžius skaičiuosime imdami masės apkrovų sumą, veikiančią į priekį nuo mazgo priešinga srautui kryptimi, ir veikiančių apkrovų sumą dauginami iš atstumo iki *CoG*. Vertinant liemens santvaros taškus jungiačius liemenį su važiuokle, jiems tenkančias apkrovas vertinsime imdami apskaičiuotas pagrindinės važiuoklės apkrovas leidimosi metu. Apkrova nuo važiuoklės tenkanti vienai vertikaliai santvaros daliai yra lygi 1184,76 kg. (11617,76 N.), todėl jei vertinimo metu paaiškės, kad skridimo metu mazgą, laikantį važiuoklę veikianti masė neviršija apkrovos tenkančios važiuoklės tvirtinimo taškams dydžio, konstrukcijos stiprumas šiose tvirtinimo vietose bus skaičiuojamas apkrovoms leidimosi metu atlaikyti.

**8 lentelė.** Priekinę liemens dalį veikiančių apkrovos elementų dedamosios

masė / apkrovos priežastis	Atstumas nuo liemens priekinės dalies	Atstumas <i>r</i> nuo apkrovos pridėjimo vietos iki masės centro priešinga srautui kryptimi	masė / apkrova
Pilotas	1,35 m.	0,345 m.	80 kg. (784,48 N.)
Keleivis	1,95 m.	-0,255 m.	80 kg. (784,48 N.)
Sparnai	1,45 m.	0,245 m.	62 kg. (607,972 N.)
Baterijos	0,377 m.	1,318 m.	30 kg. (314,432 N.)
2 varikliai (sparno priekyje)	0,95 m.	0,745 m.	7,5 kg. (73,545 N.)
2 varikliai (už keleivio)	2 m.	-0,26 m.	7,5 kg. 73,545 N.)
Važiuoklė	1,5 m.	0,145 m.	15 kg. (147,09 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)
Sparno priekiniai spyriai	1,45 m.	0,245 m.	10 kg. (98,06 N.)
Sparno galiniai spyriai	1,95 m.	-0,255 m.	10 kg. (98,06 N.)
Santvaros <i>CoG</i>	1,25 m.	0,445 m.	30 kg. (314,432 N.)

**9 lentelė.** Priekinės liemens dalies horizontalios apatinės santvaros mazgus veikiančios apkrovos

<b>Mazgai</b>	<b>Veikiančių apkrovų apibūdinimas ir dydis</b>	<b>Atstumas <math>r_j</math> priekį nuo CoG (priešinga srautui kryptimi)</b>	<b>Veikianti apkrova</b>
<i>1, 2 mazgai</i>	-	-	-
<i>3, 4 mazgai</i>	-	-	-
<i>5, 6 mazgai</i>	Baterijų masė 30 kg. (314,432 N.)	1,318 m.	39,54 kg.
<i>7, 8 mazgai</i>	Baterijų masė 30 kg. (314,432 N.)	0,82916 m.	24,8748 kg.
<i>9, 10, 20 mazgai</i>	Baterijų masė, 2 variklių masė, važiuoklės masė 52,5 kg. (184,59 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)	0,53171 m.	839,93 kg. (8236,36979 N.)
<i>11, 12 mazgai</i>	Baterijų masė, 2 variklių masė, sparnų masė, spyrių masė, piloto masė, važiuoklės masė, santvaros CoG. 227 kg. (2225,962 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)	0,195 m.	308,0376 kg. (3020,61671 N.)
<i>13, 14, 21 mazgai</i>	Sparno galiniai spyriai, keleivis, 2 varikliai už keleivio, važiuoklė. 112,5 kg. (1103,175 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)	-	112,5 kg. (1103,175 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)
<i>15, 16 mazgai</i>	Sparno galiniai spyriai, keleivis, 2 varikliai už keleivio 97,5 kg. (956,085 N.)	-	97,5 kg. (956,085 N.)
<i>17 mazgas</i>	-	-	-
<i>18 mazgas</i>	-	-	-
<i>19 mazgas</i>	Baterijų masė. 30 kg. (314,432 N.)	1,10789 m.	33,26 kg. (325,91908 N.)

**10 lentelė.** Priekinės liemens dalies vertikalų santvaros dalių mazgus veikiančių apkrovų dydžiai

<b>Mazgai</b>	<b>Veikiančių apkrovų apibūdinimas ir dydis</b>	<b>Atstumas <math>r_j</math> priekį nuo CoG (priešinga srautui kryptimi)</b>	<b>Veikianti apkrova / 2</b>
<i>A, B mazgai</i>	-	-	-
<i>C, D mazgai</i>	Baterijų masė 30 kg. (314,432 N.)	1,318 m.	19,77 kg. (193,86462 N.)
<i>E, F mazgai</i>	Baterijų masė 30 kg. (314,432 N.)	0,82916 m.	12,4374 kg. (121,961144 N.)
<i>J, K mazgai</i>	Baterijų masė, 2 variklių masė, sparnų masė, spyrių masė, piloto masė, važiuoklės masė, santvaros CoG 234 kg. (2299,507 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)	0,195 m.	22,815 kg. (223,72389 N.) 154,0188 kg. (1510,30835 N.)
<i>O, P mazgai</i>	Sparno galiniai spyriai, keleivis, 2 varikliai už keleivio 97,5 kg. (956,085 N.)	-	48,75 kg. (478,0425 N.)
<i>G, H, I mazgai</i>	Baterijų masė, 2 variklių masė, važiuoklės	0,53171 m.	13,9573875 kg.

	masė 52,5 kg. (514,815 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)		(136,866142 N.) 419,965826 kg. (4118,18489 N.)
<i>L, N, M mazgai</i>	Sparno galiniai spyriai, keleivis, 2 varikliai už keleivio, važiuoklė 112,5 kg. (1103,175 N.) 2369,52 kg. (23235,52 N.)	-	56,25 kg. (551,5875 N.) 1184,76 kg. (11617,76 N.)

**11 lentelė.** Priekinės liemens dalies vertikalių santvarų vamzdelių storio skaičiavimas

Vamzdelių galai mazguose	Galų tvirtinimo koeficientas $C$	Vamzdelio ilgis $l$	Vamzdelio galus veikiančių apkrovų vidurkis	Vamzdeliui reikalingas Inercijos momentas $I$	Vamzdelio išmatavimai (skersmuo ir sienelės storis)
A-B	2,5 stovas	284,19 mm.	1 kg. (9,806 N.)	0,00029105	5x1
A-C	1,5 lonžeronas	293,83 mm.	19,77 kg. (193,87 N.)	0,00000944	4x1
B-C	2,5 įstrižainė	457,66 mm.	19,77 kg. (193,87 N.)	0,01492261	10x1
B-D	1,5 lonžeronas	315,65 mm.	19,77 kg. (193,87 N.)	0,00425914	6x1
C-D	2,5 stovas	504,64 mm.	19,77 kg. (193,87 N.)	0,01814355	10x1
C-E	1,5 lonžeronas	533,09 mm.	16,11 kg. (157,92 N.)	0,00989533	8x1
D-E	2,5 įstrižainė	775,6 mm.	16,1 kg. (157,88 N.)	0,03490228	12x1
D-F	1,5 lonžeronas	540,28 mm.	16,11 kg. (157,92 N.)	0,01016405	8x1
E-F	2,5 stovas	674,4 mm.	12,44 kg. (12197 N.)	0,0203853	10x1
E-I	2,5 įstrižainė	744,75 mm.	432,41 kg. (4210,17 N.)	0,86429549	16x1
I-J	2,5 įstrižainė	776,77 mm.	573,99 kg. (5628,5 N.)	1,24806569	34x1
E-J	1,5 lonžeronas	590,98 mm.	83,23 kg. (816,14 N.)	0,062852	14x1
F-G	2,5 įstrižainė	309,26 mm.	432,41 kg. (4210,15 N.)	0,14903516	18x1
G-H	2,5 įstrižainė	251,82 mm.	419,97 kg. (4118,19 N.)	0,09597247	16x1
H-K	2,5 įstrižainė	355,4 mm.	573,99 kg. (5628,5 N.)	0,26126871	20x1
F-I	2,5 įstrižainė	255,55 mm.	432,41 kg. (4210,17 N.)	0,10176372	16x1
I-K	1,5 lonžeronas	336,71 mm.	287 kg. (2814,25 N.)	0,07035352	14x1
J-K	2,5 stovas	700 mm	154,02 kg. (1510,31 N.)	0,2719707	22x1
J-M	2,5 įstrižainė	743,3 mm.	943,86 kg. (9255,48 N.)	1,87926313	38x1
M-O	2,5 įstrižainė	743,3 mm.	838,59 kg. (8223,22 N.)	1,66966846	36x1
J-O	1,5 lonžeronas	500 mm.	101,39 kg. (994,18 N.)	0,05480431	14x1
K-L	2,5 įstrižainė	330,99 mm.	943,86 kg. (9255,48 N.)	0,37263966	24x1
L-N	2,5 įstrižainė	213,05 mm.	1184,76 kg. (11617,76 N.)	0,12919762	16x1
N-P	2,5 įstrižainė	330,99 mm.	838,59 kg. (8223,22 N.)	0,33107907	22x1
K-M	1,5 lonžeronas	250 mm.	471,93 kg. (4627,74 N.)	0,06377649	14x1
M-P	1,5 lonžeronas	250 mm.	419,3 kg. (4111,61 N.)	0,05666348	14x1
O-P	2,5 stovas	700 mm.	48,75 kg. (478,05 N.)	0,08608411	14x1

**12 lentelė.** Priekinės liemens dalies horizontalios apatinės santvaros vamzdelių storio skaičiavimas

Vamzdelių galai mazguose	Galų tvirtinimo koeficientas $C$	Vamzdelio ilgis $l$	Vamzdelio galus veikiančių apkrovų vidurkis	Vamzdeliui reikalingas Inercijos momentas $I$	Vamzdelio išmatavimai (skersmuo ir sienelės storis)
1-2	2,5 stovas	903,6 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00294242	6x1
1-3	2,5 stovas	150,54 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00008167	4x1
2-4	2,5 stovas	150,54 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00008167	4x1
1-17	2,5 įstrižainė	106,1 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00004057	4x1
2-17	2,5 įstrižainė	106,1 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00004057	4x1
3-17	2,5 stovas	157,89 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00008984	4x1
4-17	2,5 stovas	157,89 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00008984	4x1
3-5	1,5 lonžeronas	296,75 mm.	39,54 kg. (387,73 N.)	0,00752873	8x1
4-6	1,5 lonžeronas	296,75 mm.	39,54 kg. (387,73 N.)	0,00752873	8x1
3-18	2,5 įstrižainė	193,02 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00013426	4x1
18-6	2,5 įstrižainė	299,95 mm.	39,54 kg. (387,73 N.)	0,01281996	8x1
4-18	2,5 įstrižainė	193,02 mm.	1 kg. (9,81 N.)	0,00013426	4x1
18-5	2,5 įstrižainė	299,95 mm.	39,54 kg. (387,73 N.)	0,01281996	8x1
5-6	2,5 stovas	490,71 mm.	39,54 kg. (387,73 N.)	0,03431143	12x1
5-7	1,5 lonžeronas	492,75 mm.	32,21 kg. (315,86 N.)	0,01690879	10x1
6-8	1,5 lonžeronas	492,75 mm.	32,21 kg. (315,86 N.)	0,01690879	10x1
5-19	2,5 įstrižainė	322,42 mm.	72,8 kg. (713,88 N.)	0,02727267	10x1
19-8	2,5 įstrižainė	427,09 mm.	58,14 kg. (570,13 N.)	0,03821442	12x1
6-19	2,5 įstrižainė	322,42 mm.	72,8 kg. (713,88 N.)	0,02727267	10x1
19-7	2,5 įstrižainė	427,09 mm.	58,14 kg. (570,13 N.)	0,03821442	12x1
7-8	2,5 stovas	650 mm.	24,88 kg. (243,98 N.)	0,03787378	12x1
7-9	1,5 lonžeronas	297,45 mm.	432,41 kg. (4240,22 N.)	0,08272173	14x1
8-10	1,5 lonžeronas	297,45 mm.	432,41 kg. (4240,22 N.)	0,08272173	14x1
9-11	1,5 lonžeronas	336,71 mm.	573,99 kg. (5628,55 N.)	0,14070684	18x1
10-12	1,5 lonžeronas	336,71 mm.	573,99 kg. (5628,55 N.)	0,14070684	18x1
7-20	2,5 įstrižainė	440,57 mm.	864,81 kg. (8480,33 N.)	0,60492319	26x1
8-20	2,5 įstrižainė	440,57 mm.	864,81 kg. (8480,33 N.)	0,60492319	26x1
9-20	2,5 stovas	325 mm.	839,93 kg. (8236,36 N.)	0,31971434	22x1
20-10	2,5 stovas	325 mm.	839,93 kg. (8236,36 N.)	0,31971434	22x1
20-11	2,5 įstrižainė	467,97 mm.	1147,97 kg. (11257 N.)	0,90597863	30x1
20-12	2,5 įstrižainė	467,97 mm.	1147,97 kg. (11257 N.)	0,90597863	30x1
11-12	2,5 stovas	650 mm.	308,04 kg. (3020,65 N.)	0,46901069	24x1
11-13	1,5 lonžeronas	250 mm.	943,86 kg. (9255,5 N.)	0,012755298	8x1
13-15	1,5 lonžeronas	250 mm.	838,59 kg. (8223,22 N.)	0,11332696	16x1
12-14	1,5 lonžeronas	250 mm.	943,86 kg. (9255,5 N.)	0,12755298	16x1
14-16	1,5 lonžeronas	250 mm.	838,59 kg. (8223,22 N.)	0,11332696	16x1
11-21	2,5 įstrižainė	410,03 mm.	1887,72 kg. (18510,99 N.)	1,1437223	34x1
12-21	2,5 įstrižainė	410,03 mm.	1887,72 kg. (18510,99 N.)	1,1437223	34x1
13-21	2,5 stovas	325 mm.	2369,52 kg. (23235,52 N.)	0,60129576	26x1
21-14	2,5 stovas	325 mm.	2369,52 kg. (23235,52 N.)	0,60129576	26x1
21-15	2,5 įstrižainė	410,03 mm.	1677,18 kg. (16446,43 N.)	1,01616268	32x1

21-16	2,5 įstrižainė	410,03 mm.	1677,18 kg. (16446,43 N.)	1,01616268	32x1
15-16	2,5 stovas	650 mm.	97,5 kg. (956,09 N.)	0,14845117	18x1

Susumavus gautus duomenis, lonžeronai kaip ištisiniai konstrukcijos elementai per visą liemens ilgį parenkami didžiausio reikiamo 18 mm. skersmens ir 1 mm. sienelės storio, visų kitų elementų vamzdelių kaip atskirų elementų skersmenys parenkami pagal gautus individualius apskaičiavimus.

### 2.2.6. Jungimosi mazgų skaičiavimai

Toliau skaičiuojame svarbiausių tvirtinimo mazgų elementų reikiamus parametrus. Mazgams konstrukciją pasirenkame 2 auselių šakutės ir auselės jungtį, sujungtą kaiščiu (8 pav.). Visus elementus planuojama gaminti iš AISI 4130 nerūdijančio plieno, kurio atsparumas tempimui 560 MPa (57,1041 kg/mm<sup>2</sup>), atsparumas gniuždymui 460 MPa (46,9069 kg/mm<sup>2</sup>), tamprumo modulis 205000 MPa [49]. Pirmiausia įvertiname šiems mazgams reikiamus kaiščių (varžtų) skersmenis pagal (19) formulę, priimame, kad kiekviename mazge bus po dvi nukirpimo plokštumas  $n$ , veikiančias apkrovas padauginame iš papildomo atsargos koeficiento  $f_2=1,5$ . Kai kuriose veikiančios apkrovos grafose veikianči apkrova pateikiama kaip pilnutinė, veikianči visą elementą, todėl skliaustuose pateikiama skaičiuotina apkrova, veikianči pusę konstrukcijos tvirtinimo vietų pvz. vienos pusės sparno.

Taip pat skaičiuojame reikalingus auselių storius  $\delta$ . Šiam skaičiavimui naudojame (20) formulę, kuriai reikia apskaičiuoto kaiščio diametro  $d$ , veikiančios apkrovos  $R$  ir medžiagos atsparumo tempimui  $\sigma$ . Apskaičiavę auselių storius, skaičiuojame reikiamus auselių ir šakučių auselių pločius  $D$  statmenai kaiščiui, pagal (21) formulę.

Šiame vertinime naudojame įtampos koncentracijos koeficientą  $k$ , kuris lygus 1,1 kai apkrova statinė ir pastovi, ir 2,5 kai apkrova kintanti. Galiausiai skaičiuojame auselių šlyties plokštumos  $a_1$  ilgį, pagal (22) formulę.

**13 lentelė.** Mazgams reikalingų kaiščių (varžtų) apskaičiuoti skersmenys, mazgų auselių  $\delta$  ir šakučių auselių  $\delta/2$  reikiami storiai, auselių pločiai statmenai kaiščiui, auselių šlyties plokštumų ilgiai

Mazgai	Mazgus veikianči apkrova ( $R \cdot f_2$ )	Reikalingas kaiščio skersmuo $d$	Reikiamas ausies arba šakutės auselių storis $\delta$	Įtampos koncentracijos koeficientas $k$	Auselės plotis statmenai kaiščiui $D$	Auselių šlyties plokštumos ilgis $a_1$
Sparnų centroplano pagrindo prie liemens, sparnų pagrindo prie sparnų	3701,25 kg. (36294,46 N.) 1850,63 kg. (18147,23 N.)	4,6435 $\approx$ 5 mm.	7,89 $\approx$ 8 mm.	2,5	16,87916 $\approx$ 17 mm.	3,3758 $\approx$ 4 mm.
Sparnų spyrių prie centroplano, sparnų spyrių prie liemens, kontrasparyių prie	2075,25 kg. (20349,91 N.)	5,166439 $\approx$ 6 mm.	7,3736 $\approx$ 8 mm.	2,5	18,92787 $\approx$ 19 mm.	3,7855 $\approx$ 4 mm.



sparnų spyrių, sparnų kontrasparyų prie sparnų						
Pagrindinės važiuoklės liemens	3554,28 kg. (34853,27 N.)	6,688441 ≈ 7 mm.	10,8247 ≈ 11 mm.	2,5	23,57655 ≈ 24 mm.	4,7153 ≈ 5 mm.
Stabilizatoriaus liemens	156,12 kg. (1530,92 N.)	2,077009 8 ≈ 3 mm.	1,1094 ≈ 2 mm.	1,1	2,50612 ≈ 3 mm.	1,13914 ≈ 2 mm.
Stabilizatoriaus spyriai stabilizatoriaus ir prie liemens	67,63 kg. (663,18 N.)	1,157072 5 ≈ 2 mm.	0,72089 ≈ 1 mm.	1,1	2,17126 ≈ 3 mm.	0,98694 ≈ 1 mm.
Kilio stabilizatoriaus	60,91 kg. (598,51 N.)	1,117157 ≈ 2 mm.	0,72089 ≈ 1 mm.	1,1	1,95552 ≈ 2 mm.	0,88887 ≈ 1 mm.
Kilio troselių kilio ir stabilizatoriaus	211,04 kg. (2069,41 N.)	2,760208 ≈ 3 mm.	1,4997 ≈ 2 mm.	1,1	3,38773 ≈ 4 mm.	1,53987 ≈ 2 mm.
Važiuoklės galinio ratuko	192 kg. (1882,76 N.)	2,3794 ≈ 3 mm.	1,4997 ≈ 2 mm.	2,5	7,0047 ≈ 8 mm.	1,40095 ≈ 2 mm.

### **3. Suprojektuoto orlaivio įvertinimas**

#### **3.1. Apskaičiuotų konstrukcijos elementų tyrimas**

Atlikus orlaivio konstrukcijų skaičiavimus, atliekamas orlaivio konstrukcijos dalių projektavimas naudojantis programine įranga „SolidWorks“, visų elementų iliustracijos ir geometrija pateikiamos 5 priede. Apskaičiuotos konstrukcijos dalys braižomos vadovaujantis 2 skyriuje aprašytais elementų skaičiavimais. Sparnų pusė, centroplanas, uodegos plokštumos braižytos naudojantis komanda „Surfaces“, o liemens santvara naudojantis komanda „Weldments“, kadangi toks braižymo būdas leidžia tinkamai atlikti ir įvertinti jų stiprumą simuliacijų metu.

Atlikus visų elementų braižymą, atlikti statiniai bandymai apkraunant apskaičiuotomis apkrovomis, elementus įtvirtinant tvirtinimo vietose ir pridėdant jėgas į jėginių elementų briaunas. Tiriamus elementus įtvirtinus ir į jėginių elementų briaunas pridėjus apskaičiuotas apkrovas, braižomi kuo tankesni tinkleliai, siekiant gauti tikslesnius bandymų rezultatus. Atlikus bandymus, ir gavus didžiausius gniuždymo arba tempimo įtempimus, apskaičiuojami atsargos koeficientai didžiausių įtempimų vietose, priklausomai nuo apkrovos pobūdžio (tempimo arba gniuždymo) dalijant žinomą naudojamos medžiagos atsparumą tempimui arba gniuždumui iš bandymu metu gautų didžiausių įtempimų. Jėginiuose elementuose turi būti gauti nemažesni kaip 1,5, o tvirtinimo mazguose 2,25 atsargos koeficientai. Apibendrinti rezultatai pateikiami 14 lentelėje, o simuliacijų iliustracijos 6 priede.

##### **3.1.1. Sparno pusės jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai**

Atliekant sparno jėginių elementų simuliaciją, sparnas įtvirtinamas tik tvirtinimo vietose prie fiuzeliažo didžiausi įtempiai 14,99 MPa dydį gaunami lonžeronuose ties spyrių tvirtinimo vietomis, kas reiškia, jog konstrukcija pakankamai plastiška ir atspari didžiausiai teigiamai perkrovai, gaunamas atsargos koeficientas lygus 6. Pusę sparno įtvirtinus tvirtinimo vietose, didžiausi įtempiai 258,6 MPa gaunami spyrių tvirtinimo vietose, atsargos koeficientas gaunamas 2,17, vietoje reikiamų 2,25, todėl šiuos mazgus pastorinus iki 10 mm., didžiausi įtempiai gaunami 246,3 MPa, pasiekiamas atsargos koeficientas 2,27. Sparno nerviūrą įtvirtinus lonžeronų vietose, ir pridėjus apskaičiuotą apkrovą vienai nerviūrai, gaunami įtempiai lygūs 20,84 MPa, atsargos koeficientą gaunamas 4,31.

##### **3.1.2. Stabilizatoriaus jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai**

Pirmiausiai stabilizatorius įtvirtinamas tik per pagrindo nerviūrą, atliekamas jėginių konstrukcijų stiprumo tyrimas. Gaunami didžiausi įtempiai lygūs 24,62 MPa, atsargos koeficientas gaunamas 3,65. Toliau stabilizatorius įtvirtinamas visose tvirtinimo vietose, didžiausi įtempiai gaunami 345,7 MPa troselių tvirtinimo mazguose, atsargos koeficientą gauname 1,62, vietoje reikiamų 2,25. Šiuos mazgus mazgus pastorinus iki 4 mm., didžiausi įtempiai gaunami 242,7 MPa, atsargos koeficientas pasiekiamas 2,31. Stabilizatoriaus nerviūrą įtvirtinus tvirtinimo vietose, didžiausi įtempiai gaunami 8,925 MPa, atsargos koeficientas 10,08. Tiriant aukščio vairą, didžiausi įtempiai gaunami 11,18 MPa, atsargos koeficientas 8,05.

### 3.1.3. Kilio jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai

Pirmiausia kilis įtvirtinamas per pagrindo nerviūrą ir ieškoma įtempių jėginiuose elementuose. Didžiausi įtempiai 13,17 MPa, atsargos koeficientas 6,83. Toliau kilis tvirtinimas tvirtinimo vietose. Didžiausi įtempiai gaunami 391,7 MPa, atsargos koeficientas gaunamas 1,43, vietoje 2,25. Troselių tvirtinimo mazgus pastorinus iki 5 mm., gaunami didžiausi įtempiai 206,1 MPa, pasiekiamas pakankamas 2,71 atsargos koeficientas. Atliekant kilio nerviūros bandymus, didžiausi įtempiai gaunami 0,2924 MPa, atsargos koeficientas gaunamas 307,79. Atliekant posūkio vairo tyrimą, didžiausi įtempiai gaunami 15,62 MPa, atsargos koeficientas gaunamas 5,76.

### 3.1.4. Liemens jėginių elementų ir mazgų tyrimo rezultatai

Pirmiausia atliekamas liemens santvaros tyrimas tiriant atsparumą uodegos plokštumų apkrovoms veikiant didžiausioms abiejų plokštumų apkrovoms vienu metu. Didžiausi gniuždymo įtempiai gaunami 107,7 MPa, atsargos koeficientas gaunamas 2,5. Atliekant liemens atsparumą nuo priekinės važiuoklės apkrovų, didžiausi gniuždymo įtempiai gaunami 121,4 MPa., atsargos koeficientas gaunamas 2,24. Atliekant tyrimą nuo galinės važiuoklės apkrovų, didžiausi gniuždymo įtempiai gaunami 126,7 MPa, atsargos koeficientas gaunamas 2,6.

### 3.1.5. Simuliacijų apibendrinimas

Atlikus visų elementų tyrimus, gauti rezultatai rodo, jog visi orlaivio dalių jėginių elementų stiprumai pakankami atlaikyti didžiausias galimas apkrovas. Atlikus visų tvirtinimo mazgų tyrimus, gauti rezultatai parodė, jog spyrių ir troselių tvirtinimo vietose mazgų storiai parinkti per maži, todėl juos padidinus, gauti reikiami atsargos koeficientai.

**14 lentelė.** Orlaivio konstrukcijos elementų atsparumo tyrimų rezultatų suvestinė

	<b>Apkrovos dydis</b>	<b>Didžiausi įtempiai</b>	<b>Atsargos koeficientas</b>
Pusės sparno jėginiai elementai	819,9 kg. (8040 N.)	14,99 MPa	6
Pusės sparno tvirtinimo mazgai	819,9 kg. (8040 N.)	246,3 MPa	2,27
Sparno nerviūra	82,7 kg. (810,9562 N.)	20,84 MPa	4,31
Stabilizatoriaus jėginiai elementai	140,08 kg. (1020,62 N.)	24,62 MPa	3,65
Stabilizatoriaus tvirtinimo mazgai	140,08 kg. (1020,62 N.)	242,7 MPa	2,31
Stabilizatoriaus nerviūra	11,5125 kg. (112,89 N.)	8,925 MPa	10,08
Aukščio vairas	16,7 kg. (163,35 N.)	11,18 MPa	8,05
Kilio jėginiai elementai	40,6 kg. (398,12 N.)	13,17 MPa	6,83
Kilio tvirtinimo mazgai	40,6 kg. (398,12 N.)	206,1 MPa	2,71
Kilio nerviūra	13,535 kg. (132,724 N.)	0,292 MPa	307,79
Posūkio vairas	13,2 kg. (129,27 N.)	15,62 MPa	5,76
Liemens atsparumas uodegos plokštumoms	140,08 kg. (1020,62 N.) + 40,6 kg. (398,12 N.)	107,7 MPa	2,5
Liemens atsparumas priekinės važiuoklės apkrovoms	2369,52 kg. (23235,52 N.)	121,4 MPa	2,24
Liemens atsparumas galinės važiuoklės apkrovoms	128 kg. (1255,16 N.)	126,7 MPa	2,6

### 3.2. Orlaiviui reikalingos jėgainės parinkimas

Atsižvelgiant į literatūros apžvalgą, žinome jog norint turėti orlaivį kuris turėtų geras kilimo ir manevravimo ore charakteristikas bei nepatektų į akrobatinių orlaivių kategoriją, jam reikalinga 1/3 orlaivio kilimo masės jėgainės trauka. Projektuojamas orlaivis kaip minėta anksčiau, neturi viršyti 370 kg. (3628,22 N.) kilimo masės, taigi jėgainės trauka turėtų būti apie 122,5 kg. (1209,4 N.). Peter Sripol savo orlaivyje naudojo 2 vnt. „Turnigy RotoMax 150 cc“ elektros variklius ir 24x10 colių (0,6096 m. x 0,254 m.) išmatavimų propelerius (žiūrėti 1 priedą). Atlikus paiešką internete, forumuose rasta informacijos, jog vienas toks variklis gali sukurti 20 kg. (196,12 N.) statinę trauką, tačiau taip pat rasta informacijos, jog naudojant didesnius 32x10 colių (0,8128 m. x 0,254 m.) išmatavimų propelerius, vienu varikliu galima pasiekti 30 kg. statinę trauką [54]. 4 tokių variklių ir propelerių naudojimas orlaivyje leistų pasiekti norimą trauką.

Atlikus papildomus bandymus ir skaičiavimus ir apskaičiavus, kad 4 tokių variklių ir propelerių naudojimas leistų pasiekti norimą suminę jėgainės trauką, 2 varikliai būtų išdėstomi kaip ir Peter Sripol atveju už keleivio nugaros įtvirtinant orlaivio liemenyje variklių laikiklius, ir kitus du palei priekinę sparnų briauną simetriškai po 1 variklį nuo centrinės sparnų ašies į abi puses. Jei tokia orlaivio jėgainė ir propeleriai sukurtų tik po 20 kg. (196,12 N.) trauką, suminė trauka siektų 80 kg. (786,08 N.), ir tai sudarytų kiek daugiau nei 1/5 kilimo masės traukos dydį, o tai reiškia, jog tokios traukos greičiausiai nepakaktų lėktuvui pakelti net ir idealiomis sąlygomis, todėl orlaiviui reiktų tokių pačių 2 papildomų variklių ir propelerių, išdėstytų taip pat sparnų priekinėje briaunoje link sparnų galų, viso įtvirtinant 4 variklius priekinėje sparnų briaunoje, ir 2 kaip Peter Sripol atveju.

Peter Sripol, savo orlaivyje naudojo 9 vnt. Tattu 16000 mAh. 22,2 V 15C 6 S1P lipo baterijas, kurių vienos masė 1990 g., viso masė – 17,91 kg., taigi orlaivio jėgainei naudojant 4 variklius kurių kiekvienas sveria 3,5 kg., proporcingai reikia 18 vnt. tokių baterijų sveriančių 35,82 kg., naudojant 6 variklius – 27 vnt. baterijų sveriančių 53,73 kg.

### 3.3. Orlaivio kainos įvertinimas

Vienos „Tattu 16000 mAh. 22,2 V 15C 6 S1P“ lipo baterijos kaina 289,99 JAV dolerių, arba 260,179 Eur., naudojant 18 vnt. tokių baterijų kaina 4683,22 Eur, naudojant 27 vnt. – 7024,83 Eur. Vieno „Turnigy RotoMax 150 cc“ elektros variklio kaina 353,46 JAV dolerių, arba 317,231 Eur. 4 tokių variklių kaina būtų 1268,93 Eur., 6 tokių variklių kaina būtų 1903,38 Eur. Naudojant 32x10 colių (0,8128 m. x 0,254 m.) išmatavimų propelerius, vieno propelerio kaina 38,11 Eur, naudojant 4 variklius, 4 propelerių kaina 152,44 Eur., naudojant 6 variklius, 6 propelerių kaina 228,66 Eur [60]. Vieno variklio masė 3,5 kg., 4 variklių masė 14 kg., 6 variklių masė 21 kg. 18 vnt. baterijų masė 35,82 kg., 27 vnt. baterijų masė 53,73 kg., vieno propelerio masė 1,5 kg., 4 propelerių masė 6 kg., 6 propelerių masė 9 kg.

Žemiau pateiktoje 15 lentelėje surašyti apibendrinti duomenys apie aliuminio lydinio 6082 T6 vamzdelių ilgio poreikius liemens konstrukcijai pagal išmatavimus, ilgio poreikius, bei masę.

**15 lentelė.** Liemens santvaros vamzdelių ilgio, masės ir kainos įvertinimas

Išmatavimai	Skerspjūvio plotas	Ilgio poreikis	Tūrio poreikis	Masė
10x1	28,26 mm <sup>2</sup>	16399,72 mm.	463456,087 mm <sup>3</sup>	1251,33 g.
12x1	34,54 mm <sup>2</sup>	5091,44 mm.	175858,338 mm <sup>3</sup>	474,81 g.
14x1	40,82 mm <sup>2</sup>	3188,64 mm.	130160,285 mm <sup>3</sup>	351,43 g.
16x1	47,1 mm <sup>2</sup>	17370,06 mm.	818129,826 mm <sup>3</sup>	2208,95 g.
18x1	53,38 mm <sup>2</sup>	29558 mm.	1577806,04 mm <sup>3</sup>	4260,07 g.
22x1	65,94 mm <sup>2</sup>	1264,08 mm.	83353,44 mm <sup>3</sup>	225,05 g.
24x1	72,22 mm <sup>2</sup>	4800 mm.	346656 mm <sup>3</sup>	935,97 g.

Priklausomai nuo išmatavimų, vamzdelių kaina kilogramui svyruoja nuo 2,95 JAV dolerių iki 4,21 JAV dolerių (2,63 – 3,75 Eur.). Gauname, kad bendras vamzdelių poreikis pagal masę yra 9,70761 kg., atsižvelgiant į tai, liemens vamzdelių kaina gali būti tarp 25,53 – 36,40 Eur. [55].

Sparnus ir stabilizatorių apskaičiuota paremti spyriais naudojant plieną AISI 4130. Kilį apskaičiuota įtvirtinti iš abiejų pusių įtempiant troselius iš nerūdijančio plieno AISI 304. Žemiau pateikta 16 lentelė, kurioje ieškomi aerodinaminių plokštumų tvirtinimo konstrukcijų tūriai, masės ir kainos.

**16 lentelė.** Spyrių, kontraspyrių ir tvirtinimo ir troselių ilgio, masės ir kainos įvertinimas

Tvirtinimo elementai	Išmatavimai	Ilgio poreikis	Skerspjūvio plotas	Tūrio poreikis	Masė
Pirmas sparno spyris ir kontraspyris	20x1	5889,8 mm.	59,66 mm <sup>2</sup>	351385,468 mm <sup>3</sup>	2758,37 g.
Antras sparno spyris ir kontraspyris	18x1	5889,8 mm.	53,38 mm <sup>2</sup>	314397,524 mm <sup>3</sup>	2468,02 g.
Stabilizatoriaus spyris	8x1	1280 mm.	21,98 mm <sup>2</sup>	28134,4 mm <sup>3</sup>	220,85 g.
Kilio troselis	d=1 mm.	1720 mm.	0,763 mm <sup>2</sup>	1312,36 mm <sup>3</sup>	10,3 g.

Šio plieno vamzdžių kainos 1 pėdai (304,8 mm.) priklausomai nuo išmatavimų svyruoja nuo 9,78 iki 14,46 JAV dolerių (8,73 – 12,91 Eur.), todėl spyrių kaina gali būti tarp 375,39 – 555,13 Eur. [56]. Kilio troselių kaina svyruoja nuo 0,02 iki 0,06 JAV dolerių už metrą (0,017 – 0,053 Eur.) [57], vertinant tai, kad troseliai reikalingi ne tik kilio įtvirtinimui, bet ir vairų valdymui, apytiksliai įvertinama, jog bendras troselio poreikis yra 40 m., tokio ilgio troselio kaina būtų tarp 0,68 – 2,12 Eur. Bendra spyrių ir troselių masė gaunama 10,69 kg.

Lonžeronus ir nerviūras apskaičiuota gaminti iš eglės „spruce sitka“ medienos. Žemiau pateikiama 17 lentelė, su apibendrintais duomenimis, kiek reikia šios medienos vertinant jos kainą.

**17 lentelė.** Aerodinaminių plokštumų jėginių elementų tūriai ir kainos

Elementai	Plotas	Storis	Tūris	Masė
Pusės sparno 1 lonžeronas	48838,55 mm <sup>2</sup>	10 mm.	488385,5 mm <sup>3</sup>	219,77 g.
Pusės sparno 2 lonžeronas	28419,5 mm <sup>2</sup>	10 mm.	284195 mm <sup>3</sup>	127,88 g.
Pusės sparno nerviūros	939102,34 mm <sup>2</sup>	3 mm.	2817307,02 mm <sup>3</sup>	1267,78 g.
Pusės sparno priekinės dalies gaubtas	2536678,81 mm <sup>2</sup>	1,5 mm.	3805018,22 mm <sup>3</sup>	1712,25 g.

1 elerono lonžeronas	21119,36 mm <sup>2</sup>	10 mm.	211193,6 mm <sup>3</sup>	95,03 g.
Stabilizatoriaus 1 lonžeronas	20577,74 mm <sup>2</sup>	10 mm.	205777,4 mm <sup>3</sup>	92,59 g.
Stabilizatoriaus 2 lonžeronas	15204,09 mm <sup>2</sup>	10 mm.	152040,9 mm <sup>3</sup>	68,41 g.
Stabilizatoriaus nerviūros	7537,48 mm <sup>2</sup>	4 mm.	30149,92 mm <sup>3</sup>	13,56 g.
Stabilizatoriaus gaubtas	277195,74 mm <sup>2</sup>	2 mm.	554391,48 mm <sup>3</sup>	249,47 g.
Aukščio vairo lonžeronas	63683,72 mm <sup>2</sup>	10 mm.	636837,2 mm <sup>3</sup>	286,57 g.
Kilio 1 lonžeronas	18606,72 mm <sup>2</sup>	10 mm.	186067,2 mm <sup>3</sup>	83,73 g.
Kilio 2 lonžeronas	14288,57 mm <sup>2</sup>	10 mm.	142885,7 mm <sup>3</sup>	64,29 g.
Kilio nerviūros	7456,68 mm <sup>2</sup>	4 mm.	29826,72 mm <sup>3</sup>	13,42 g.
Posūkio vairo lonžeronas	37725,42 mm <sup>2</sup>	10 mm.	377254,2 mm <sup>3</sup>	169,76 g.
Kilio gaubtas	545162,44 mm <sup>2</sup>	1,5 mm.	817743,66 mm <sup>3</sup>	367,98 g.
Centroplano 1 lonžeronas	83321 mm <sup>2</sup>	10 mm.	833210 mm <sup>3</sup>	374,94 g.
Centroplano 2 lonžeronas	48878,45 mm <sup>2</sup>	10 mm.	488784,5 mm <sup>3</sup>	219,95 g.
Centroplano nerviūros	84134,51 mm <sup>2</sup>	3 mm.	252403,53 mm <sup>3</sup>	113,58 g.
Centroplano gaubtas	433510,77 mm <sup>2</sup>	1,5 mm.	650266,155 mm <sup>3</sup>	292,61 g.

Viską susumavus (pusės sparno elementai imami dvigubi), gaunama, jog viso reikia 0,0205 m<sup>3</sup> egls „Spruce Sitka“ tūrio, šios medienos kaina svyruoja nuo 90 iki 200 JAV dolerių už kubinį metrą (80,4 – 178,69 Eur.) [58], gauname, kad toks kiekis išdžiovintos, neapdorotos medienos kainuotų nuo 16,4 iki 36,6 Eur. Susumavę visų medinių konstrukcijų mases, gauname 9,256 kg. masę.

Tvirtinimo mazguose apskaičiuota naudoti šakutes ir auseles iš plieno AISI 4130. Tokių mazgų visoje konstrukcijoje yra 92, 16 sparnų tvirtinimo vietose, 8 centroplano tvirtinimo vietose, 8 stabilizatoriaus tvirtinimo vietose, 5 kilio tvirtinimo vietose, 20 spyrių ir kontraspyrių tvirtinimo vietose, 16 liemenyje sparnų ir centroplano tvirtinimo vietose, 6 liemenyje spyrių tvirtinimo vietose, 6 liemenyje važiuoklės tvirtinimo vietose, 3 liemenyje kilio tvirtinimo vietose, 4 liemenyje stabilizatoriaus tvirtinimo vietose. Žemiau pateikiama detalizuota visų storių mazgų kiekių, masių ir kainos skaičiavimo 18 lentelė.

**18 lentelė.** Mazgų tūriai ir masės

Mazgo storis	Mazgų kiekis	Paviršiaus plotas	Mazgo tūris	Mazgo masė
10 mm.	66	2078,28 mm <sup>2</sup>	20782,8 mm <sup>3</sup>	163,14 g.
5 mm.	2	2931,26 mm <sup>2</sup>	14656,3 mm <sup>3</sup>	115,05 g.
4 mm.	18	1884,18 mm <sup>2</sup>	7536,72 mm <sup>3</sup>	59,16 g.
2 mm.	6	2078,28 mm <sup>2</sup>	4156,56 mm <sup>3</sup>	32,62 g.

Šio plieno lakštai kainuoja 0,7 – 1,9 JAV dolerių už kilogramą (0,62 – 1,69 Eur.) [59], todėl viską susumavus, gaunama, jog tvirtinimo mazgams reikia 12,257 kg. šio plieno plokštelių, kurių kaina tarp 7,6 – 20,7 Eur.

92 tvirtinimo vietoms reikalingi 92 varžtai su užrakinamomis veržlėmis, visiems jungimo mazgams apskaičiuota naudoti standartinius aviacinius 10 mm. skersmens varžtus. Vieno varžto kaina iš specializuotos parduotuvės 0,34 JAV doleriai (0,3 Eur.), užrakinamos veržlės – 0,67 JAV doleriai (0,6 Eur.). kadangi viso reikia 92 tokių tvirtinimo elementų komplektų, jų kaina gaunama 82,8 Eur., masė apytiksliai 1 kg. [61].

Atsižvelgiant į 1 priede aprašytą Peter Sripol orlaivio gamybą, projektuojamojo orlaivio konstrukcijas planuojama dengti stiklo pluošto audiniu, siekiant papildomai apjungti ir sujungti tarpusavyje liemens santvarą ir aerodinamines plokštumas, bei suteikti joms formą. Reikiamas medžiagos kiekis skaičiuojamas siekiant kiekvieną konstrukcijos elementą apvynioti nemažiau kaip po 2 kartus, todėl bendras audinio poreikis  $80 \text{ m}^2$ . Vieno kvadratinio metro kaina 1,13 Eur., todėl audinio kaina 90,4 Eur. [62].

Kadangi orlaivyje privalo būti sertifikuoti saugos diržai, šie taip pat turi būti perkami iš sertifikuotų pardavėjų, kainos svyruoja tarp 4,7 iki 29,95 JAV dolerių (4,2 – 26,76 Eur.) [63]. Kadangi orlaivis projektuojamas pilotui ir vienam keleiviui, kainos dviems diržų komplektams: 8,4 – 53,52 Eur., diržų masė apytiksliai 2 kg.

Orlaivio kaina neįtraukiant važiuoklės, amortizatorių, valdymo prietaisų, stabdžių, darbo sąnaudų ir sugadintų dalių kainų gaunama 6 711,89 Eur., jei medžiagos gaunamos mažiausiomis kainomis ir naudojant 4 variklius bei 18 baterijų. Jei naudojamos aukštesnės kokybės ir brangesnės medžiagos, bei diegiami 6 varikliai ir 27 baterijos, orlaivio kaina pakyla iki 10 034,54 Eur.

Orlaivio konstrukcijos ir 4 variklių su 18 baterijų masė be važiuoklės gaunamas 100,72 kg. naudojant 6 variklius ir 27 baterijas, masė gaunamas 128,63 kg. prie šių gautų dydžių pridėjus apytikslę važiuoklės masę 15 kg. ir 2 asmenų mases, pirmuoju atveju naudojant 4 variklius ir 18 baterijų gaunama 275 kg. kilimo masė, o antruoju atveju naudojant 6 variklius ir 27 baterijas, gaunama 303 kg. kilimo masė. Matome, kad orlaivis nesiekia ir neviršija skaičiavimo pradžioje nustatytos kilimo masės, atlikus pakartotinį orlaivio stabilumo tyrimą gaunami geri rezultatai atliepiant į masės centruotės ribas, reikia pakeisti baterijų vietą, jas patalpinant po keleivio kėde (žiūrėti 2 priedo 10-11 pav.). Orlaivio jėgainės konfigūracijai naudojant 4 variklius ir 18 baterijų, kilimo masės ir traukos santykis gaunamas tarp  $1/2$  ir  $1/3$ , o tai leidžia turėti pakankamą trauką orlaiviui pakelti ir manevruoti, taip pat leidžia priimti mažesnę orlaivio medžiagų ir gamybos kainą. Gaunama orlaivio kaina – 6 909,79 Eur.

## Išvados

1. Prieš projektuojant orlaivį buvo išnagrinėta *MKO* gamybos literatūra ir keletas gamybos atvejų, jų konstrukcija ir gamyba. Taip pat buvo išnagrinėti teisės aktai galiojantys išimtinai *LR* ir *ES*, reguliuojantys tokių orlaivių projektavimą ir gamybą. Atlikti tyrimai ieškant tinkamiausių sparno profilių, tikrinamas jų panaudojimo dažnis kituose panašaus dydžio orlaiviuose skraidančiuose panašiais greičiais. Sparno profilio pasirinkimui geriausių rezultatus turėjo *NACA 23012* aerodinaminis profilis, kuris ir buvo pasirinktas.
2. Naudojantis programine įranga „*XFLR5*“, buvo atlikti bandymai tiriant atrinktus aerodinaminius profilius sparnui ir uodegos plokštumoms, tiriant keliamosios jėgos dydžius prie skirtingų atakos kampų, greičių ir atlenkus aukščio bei posūkio vairus ir eleronus, tai leido įvertinti vairų ir eleronų sukuriamus susukimo momentus plokštumoms ir papildomų apkrovų atsiradimą liemenyje. Taip pat atliktas orlaivio aerodinaminių paviršių parametru parinkimas ir *CoG*, *NP* ir masės centruotės ribų nustatymas bei visų aerodinaminių plokštumų *AC* ir *VAS* radimas. Taip pat atlikti orlaivio statinio stabilumo bandymai ir *CoG* ieškojimas išdalijus ir išskirsčius visus pagrindinius masės koncentracijos elementus pagal jų pridėties vietas.
3. Parinkus orlaivio aerodinaminių plokštumų dydžius ir juos ištyrus bei tiksliai radus jų reikiamas vietas, atlikti orlaivio konstrukcijų jėginių elementų skaičiavimai. Skaičiavimų metu atsižvelgta į išnagrinėtus *MKO ULO* ir galiojančius teisės aktus. Atliekant skaičiavimus, buvo konsultuotasi su *CAA MKO* priėmimo ir tikrinimo komisijos nariu Rolandu Kalinausku.
4. Apskaičiavus visų jėginių konstrukcijų ir jungimosi mazgų apkrovas ir jų reikiamus stiprumus, atliktas visų dalių braižymas programinėje įrangoje „*Solidworks*“. Visi apskaičiuoti ir nubraižyti konstrukcijos elementai įvertinti atliekant statinius bandymus, tiriant jėginių konstrukcijų ir jungimosi mazgų atsparumus. Medinėse konstrukcijose gauti geri atsparumo rezultatai, tačiau kai kuriuose tvirtinimo mazguose gauti per maži atsargos koeficientų dydžiai, todėl šie mazgai buvo pastorinti ir gauti reikiami atsargos koeficientai.
5. Atlikus orlaivio konstrukcijos kainos ir masės vertinimą, identifikuota, jog orlaivį pavyko suprojektuoti 100 kg. lengvesnį, ir jam pilnai užtenka 4 vnt. „*Turnigy RotoMax*“ 150 cc *RC* variklių, kurių kiekvienas priklausomai nuo propelerio gali generuoti nuo 20 kg. iki 30 kg. statinę trauką, tai sudaro nuo 1/3 iki beveik 1/2 statinės traukos dydį. 2 varikliai įmontuojami priekinėje sparno briaunos dalyje į šonus nuo sparno pagrindo ašies tarp spyrių ir kontraspyrių, kiti 2 už keleivio nugaros išnešant tvirtinimo ašis nuo liemens į šonus.
6. Orlaivio aerodinamiamiai paviršiai parinkti tinkamai, orlaivis statiškai ir dinamiškai stabilus, *CoG* atitinka nustatytas apskaičiuotas ribas, konstrukcinių jėginių elementų reikiami stiprumai apskaičiuoti ir išbandyti statiniais bandymais, atliktos korekcijos. Orlaivio projektavimas tenkina *LR* ir *ES* projektavimo ir sertifikavimo reikalavimus keliamus *MKO*, orlaivis tinkamas vienetinei gamybai, kaina 6 909,79 Eur.



## Literatūros sąrašas

### Knygos

1. SIMPSON R. W., *Airlife's General Aviation.*, Shrewsbury., 1995 m., 87–88 psl.
2. Davenas A., *Solid rocket propulsion technology.*, Pergamon press., 1984., [Interaktyvus], Prieiga per: <http://www.spl.ch/temp/ARIS-ETH/Davenas/>, [Žiūrėta: 2018-12-31].
3. CS-VLA ., *Certification Specifications for Very Light Aeroplanes.*, European Aviation Safety Agency., 2009.03.05., Amendment 1., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CSVLA%20%20Amdt%201%20combined.pdf>., [Žiūrėta: 2019-02-11].
4. TULAPURKARA E., *Airplane design (Aerodynamic).*, Department of Aerospace Engineering., Indian Institute of Technology, Madras 2013.10.15., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://nptel.ac.in/courses/101106035/1>., [Žiūrėta: 2019-02-12].
5. SALAYMEH A., *A New Conceptual Design Tool for General Aviation Aircraft (FLEX).*, *A user-friendly computer implementation of classical design methods.*, Linköpings Universitet., Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling., Amnesområdet Fluida och Mekaniska System., Examensarbete 2018|LIU-IEI-TEK-A-18/03151-SE., 2018., [Interaktyvus], Prieiga per: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1241559/FULLTEXT01.pdf>., [Žiūrėta: 2019-02-14].
6. SCHOLZ D., *Aircraft Design - an Open Educational Resource.*, Hamburg Open Online University (HOOU)., 2018.08.18., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/HOOU/>., [Žiūrėta: 2019-02-17].
7. Massachusetts institute of technology., MITOPENCOURSEWARE., S/L8., *Aircraft Design for Stability and Control.*, 2006.04.06., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-01-unified-engineering-i-ii-iii-iv-fall-2005-spring-2006/systems-labs-06/spl8.pdf>., [Žiūrėta: 2019-02-20].
8. SADRAEY M., *Chapter 6, Tail Design.*, Daniel Webster College., [Interaktyvus], Prieiga per: <http://wingsofaero.in/wp-content/uploads/2018/11/Tail-design.pdf>., [Žiūrėta: 2019-02-24].
9. LASAUSKAS E., *Skrydžio principai.*, Vilniaus Gedimino technikos universitetas., Vilnius, Technika, 2008., [Interaktyvus], Prieiga per: [http://www.manosparnai.lt/e107\\_files/public/1284367475\\_313\\_FT14984\\_skrydzio\\_principai.pdf](http://www.manosparnai.lt/e107_files/public/1284367475_313_FT14984_skrydzio_principai.pdf)., žiūrėta: 2019.02.27.
10. HULL D. G., *Fundamentals of airplane flight mechanics.*, Springer., The university of Texas at Austin., Aerospace Engineering and Engineering Mechanics., University station., USA., [Interaktyvus], Prieiga per: [http://airspot.ru/book/file/73/hull\\_airplane\\_flight\\_mechanics.pdf](http://airspot.ru/book/file/73/hull_airplane_flight_mechanics.pdf)., [Žiūrėta: 2019-02-28].
11. PAJNO V., *Sailplane design.*, *A guide for students and designers. From drafting to flight test.*, IBN Istituto Bibliografico Napoleone., Via dei Marsi, 57-00185 Roma., 2010.
12. BARREDA V. J. S., *Conceptual Design Optimisation of a Strut Braced Wing Aircraft.*, Hamburg University of Applied Sciences., 2013.07.12., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/arbeiten/TextSanchez.pdf>., [Žiūrėta: 2019-03-14].
13. NAGHSHINEH-POUR A. H., *Structural Optimization and Design of a Strut-Braced Wing Aircraft.*, Virginia Polytechnic Institute and State University., Blacksburg, Virginia., 1998.10.30., [Interaktyvus], Prieiga per:

- <https://pdfs.semanticscholar.org/5c5b/46c1d61e7025b790662185941584595eca1b.pdf>, [Žiūrėta: 2019-03-21].
14. CHIOZZOTTO G. P., *Wing weight estimation in conceptual design: a method for strut-braced wings considering static aerolastic effects.*, CEAS Aeronautical Journal., Volume 7 Issue 3., Springer Link., 2016.08.02., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-016-0204-5>, [Žiūrėta: 2019-03-26].
  15. SEDAGHATI R., ELSAYED M. S. A., *WING-BOX STRUCTURAL DESIGN OPTIMIZATION., Report 5., Wing Rib Stress Analysis and Design Optimization.*, Department of Mechanical and Industrial Engineering Concordia University., 2006.06.01., [Interaktyvus]., Prieiga per: [http://users.encs.concordia.ca/~sedagha/researchgroup\\_website/mostafa\\_sa\\_elsayed/Wing%20Rib%20Stress%20Analysis%20and%20Design%20Optimization.pdf](http://users.encs.concordia.ca/~sedagha/researchgroup_website/mostafa_sa_elsayed/Wing%20Rib%20Stress%20Analysis%20and%20Design%20Optimization.pdf), [Žiūrėta: 2019-04-02].
  16. ABDALLA M., BREUKER R. D., GÜRDAL Z., HOL J., *Aircraft Stress Analysis and Structural Design., Chair of Aerospace Structures.*, Faculty of Aerospace Engineering., Delft University of Technology., The Netherlands., 2008.01.01., [Interaktyvus]., Prieiga per: <http://www.aerostudents.com/courses/aircraft-stress-analysis-and-structural-design/reader.pdf>, [Žiūrėta: 2019-04-10].
  17. KALINAUSKAS R., *Lengvų lėktuvų projektavimas.*, Lietuvos aviakonstruktorių federacija., Prienai., 1998., [Interaktyvus]., Prieiga per: [http://www.wings.lt/wp-content/uploads/2015/01/1336041892\\_549\\_FT26259\\_lektuvai.pdf](http://www.wings.lt/wp-content/uploads/2015/01/1336041892_549_FT26259_lektuvai.pdf), [Žiūrėta: 2019-02-13].

## Straipsniai

18. *Propulsion E: Electrical spirit.*, Lange Aviation., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.lange-aviation.com/en/produkte/antares-20e/antrieb-e/>, [Žiūrėta: 2019-01-02].
19. *Historic flight.*, Solar impulse foundation., La Souris Verte., SA., 2016., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, [Žiūrėta: 2019-01-02].
20. GIBBS Y., *NASA Armstrong Fact Sheet: Helios Prototype.*, 2014.02.28., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-068-DFRC.html>, [Žiūrėta: 2019-01-02].
21. *Soar the future ...now!.*, Alisport., [Interaktyvus]., Prieiga per: <http://www.alisport.com/>, [Žiūrėta: 2019-01-02].
22. *Taurus electro.*, [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.pipistrel.si/plane/taurus-electro/overview>, [Žiūrėta: 2019-01-02].
23. *Flight of the century., The Fastest Electric Airplane in the World. The Most Powerful Electric Airplane in the World. First to Break the 200 MPH Barrier.*, [Interaktyvus]., Prieiga per: <http://www.flightofthecentury.com/long-esa/>, [Žiūrėta: 2019-01-02].
24. *Extra 330LE Electric Aircraft.*, [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.aerospace-technology.com/projects/extra-330le-electric-aircraft/>, [Žiūrėta: 2019-01-02].
25. *Zephyr Pioneering the Stratosphere.*, Airbus., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html>, [Žiūrėta: 2019-01-02].

## LR teisės aktai

26. CIVILINĖS AVIACIJOS ADMINISTRACIJA., *Įsakymas nr. 109 dėl mėgėjiškos konstrukcijos orlaivių gamybos, jų tinkamumo skraidyti nustatymo ir naudojimo taisyklių.*,

- civilinės aviacijos administracijos direktorius., 2001.12.27., Vilnius., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.158296>., [Žiūrėta: 2019-01-19].
27. CIVILINĖS AVIACIJOS ADMINISTRACIJA., *Isakymas nr. 4r-25 dėl civilinės aviacijos administracijos direktoriaus 2001 m. Gruodžio 27 d. Isakymo nr. 109 „dėl mėgėjiškos konstrukcijos orlaivių gamybos, jų tinkamumo skraidyti nustatymo ir naudojimo taisyklių“ pakeitimo.*, Civilinės aviacijos administracijos direktorius., 2004 m. vasario 11 d. Vilnius., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230139>., [Žiūrėta: 2019-01-19].
28. CIVILINĖS AVIACIJOS ADMINISTRACIJA., *Isakymas nr.4r-187 dėl eksperimentinių orlaivių registravimo, tinkamumo skraidyti ir jų pilotavimo.*, civilinės aviacijos administracijos direktorius., 2016.10.31., Vilnius., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/4de100f0a20011e69ad4c8713b612d0f>., [Žiūrėta: 2019-01-19].
29. CIVILINĖS AVIACIJOS ADMINISTRACIJA., *Isakymas nr. 4r-31 dėl eksperimentinių orlaivių kalendorinių tarpremontinių resursų panaikinimo.*, civilinės aviacijos administracijos direktorius., 2011.02.04., Vilnius., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.392303>., [Žiūrėta: 2019-01-19].

## Informacijos šaltinių sąrašas

30. *Airplane Wing Lift Design Equation Calculator.*, Aircraft Aerospace Aerodynamics Formulas., [Interaktyvus], Prieiga per: [https://www.ajdesigner.com/phpwinglift/wing\\_lift\\_equation\\_force.php](https://www.ajdesigner.com/phpwinglift/wing_lift_equation_force.php), [Žiūrėta: 2019-02-26].
31. PEET M. M., *Spacecraft and Aircraft Dynamics., Lecture 6: Neutral Point and Elevator Control.*, [Interaktyvus], Prieiga per: <http://control.asu.edu/Classes/MMAE441/Aircraft/441Lecture6.pdf>, [Žiūrėta: 2019-03-02].
32. BENSON T., *Beginner's Guide to Propulsion., Thrust to Weight Ratio.*, National Aeronautics and Space Administration., 2014.06.12., [Interaktyvus], Prieiga per: [https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/BGP/Donna/t\\_w\\_ratio\\_answers.htm](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/BGP/Donna/t_w_ratio_answers.htm), [Žiūrėta: 2019-03-10].
33. POTTER G., *Conceptual Design of a Strut-Braced Wing Configuration.*, Bombardier., 2017.06.22., [Interaktyvus], Prieiga per: [http://www.utias.utoronto.ca/wp-content/uploads/2017/09/Potter-Strut\\_Braced\\_Wing.pdf](http://www.utias.utoronto.ca/wp-content/uploads/2017/09/Potter-Strut_Braced_Wing.pdf), [Žiūrėta: 2019-03-25].
34. *Plywood covering.*, [Interaktyvus], Prieiga per: [http://flysafe.raa.asn.au/scratchbuilder/ANC18\\_chapter\\_4.html](http://flysafe.raa.asn.au/scratchbuilder/ANC18_chapter_4.html), [Žiūrėta: 2019-03-27].
35. *Aluminum Shapes.*, Carlson Aircraft Inc., 2011., [Interaktyvus], Prieiga per: <http://www.carlsonaircraft.com/struts.html>, žiūrėta: 2019.04.05.
36. *Fuselage.*, Design plane., 2008.09.01., [Interaktyvus], Prieiga per: <http://design-plane.blogspot.com/2008/09/fuselage.html>, [Žiūrėta: 2019-04-15].
37. SANTHOSH R. N., *Which aircraft use NACA4412 and NACA0012 airfoil?.*, 2018.04.25., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.quora.com/Which-aircraft-use-NACA4412-and-NACA0012-airfoil>, [Žiūrėta: 2019-02-26].
38. LEDNICER D., *The incomplete guide to airfoil usage.*, Aeromechanical Solutions LLC., 2010.09.15., Redmond WA., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/aircraft.html>, [Žiūrėta: 2019-02-26].
39. *Reynolds number calculator.*, Airfoil tools., [Interaktyvus], Prieiga per: <http://airfoiltools.com/calculator/reynoldsnumber>, [Žiūrėta: 2019-03-25].
40. *DIY electric ULTRALIGHT pt1(fuselage and basic design).*, PeterSripol., 2017.08.12., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=KidFSfdb8t8>, [Žiūrėta: 2019-01-03].
41. *DIY Electric ultralight pt2 (tail section).*, PeterSripol., 2017.08.22., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=0V7z4uAeVdc>, [Žiūrėta: 2019-01-03].
42. *DIY Electric Ultralight airplane pt3 (cockpit and controls).*, PeterSripol., 2017.09.11., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=GjQ48hrLx34>, [Žiūrėta: 2019-01-07].
43. *DIY Electric Ultralight pt4 (fiberglassing fuselage and wing construction).*, PeterSripol., 2017.09.27., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=biZ2Sl63nr0>, [Žiūrėta: 2019-01-07].
44. *DIY Electric ultralight pt5 (Making the Wings).*, PeterSripol., 2017.10.13., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=xEqCt7GZo7M>, [Žiūrėta: 2019-01-08].
45. *DIY Electric ultralight pt6 (GIANT MOTORS and final checks).*, PeterSripol., 2017.10.25., [Interaktyvus], Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=O6sy5bt4D-Y>, [Žiūrėta: 2019-01-08].
46. *Orlaiviai.*, Ultralengvųjų orlaivių federacija., [Interaktyvus], Prieiga per: <http://www.ulopf.lt/orlaiviai>, [Žiūrėta: 2019-02-26].

47. *Spruce sitka*, European wood Japan., [Interaktyvus]., Prieiga per: <http://jp.europeanwood.org/en/living-with-wood/selected-european-wood-species/spruce/>., [Žiūrėta 2019-03-28].
48. *Professional Advice 3: AILERON SIZING*., flight level engineering., [Interaktyvus]., Prieiga per: <http://www.flightlevelengineering.com/downloads/ProAdvice%203%20%20AILERON%20SIZING.pdf>., [Žiūrėta: 2019-03-30].
49. *AISI 4130 steel, normalized at 870°C (1600°F)*., Material property data, MatWeb., [Interaktyvus]., Prieiga per: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e1ccebe90cf94502b35c2a4745f63593&ckck=1>., [Žiūrėta: 2019-04-01].
50. *ANBO atstatymo klausimai*., internetinis forumas „Mano sparnai“., [Interaktyvus]., Prieiga per: [http://manosparnai.lt/e107\\_plugins/forum/forum\\_viewtopic.php?455.870](http://manosparnai.lt/e107_plugins/forum/forum_viewtopic.php?455.870)., [Žiūrėta 2019-04-01].
51. *Tensile Strength of Stainless Steel Wire*., Component supply., [Interaktyvus]., Prieiga per: <http://www.componentsupplycompany.com/Stainless-steel-wire-tensile-strength.php>., [Žiūrėta: 2019-04-03].
52. *Alluminum 6082 T6*., MatWeb., [Interaktyvus]., Prieiga per: [http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=fad29be6e64d4e95a241690f1f6e1eb7](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=fad29be6e64d4e95a241690f1f6e1eb7)., [Žiūrėta: 2019-04-15].
53. *Turnigy RotoMax 150 cc size brushless outrunner motor*., Hobby King., [Interaktyvus]., Prieiga per: [https://hobbyking.com/en\\_us/turnigy-rotomax-150cc-size-brushless-outrunner-motor.html?store=en\\_us](https://hobbyking.com/en_us/turnigy-rotomax-150cc-size-brushless-outrunner-motor.html?store=en_us)., [Žiūrėta: 2019-05-03].
54. *75 kg. thrust motor*., drone trest., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.dronetrest.com/t/75-kg-thrust-motor/3192>., [Žiūrėta: 2019-05-03].
55. *Small size aluminum pipe, aluminum 6082 t6 capillary tube*., Alibaba.com., [Interaktyvus]., Prieiga per: [https://www.alibaba.com/product-detail/small-size-aluminum-pipe-aluminum-6082\\_60582258494.html?spm=a2700.7724857.normalList.165.7bdb1170Qik3eq](https://www.alibaba.com/product-detail/small-size-aluminum-pipe-aluminum-6082_60582258494.html?spm=a2700.7724857.normalList.165.7bdb1170Qik3eq)., [Žiūrėta: 2019-05-06].
56. *Tubing*., Mark Williams Enterprices., [Interaktyvus]., Prieiga per: [https://www.markwilliams.com/tubing.html?gclid=EA1aIQobChMI7uno6q7H4gIVhtGyCh0n6wNDEAAYAyAAEgIVF\\_D\\_BwE](https://www.markwilliams.com/tubing.html?gclid=EA1aIQobChMI7uno6q7H4gIVhtGyCh0n6wNDEAAYAyAAEgIVF_D_BwE)., [Žiūrėta: 2019-05-06].
57. *Stainless steel 316 304 wire rope wire cable*., Alibaba.com., [Interaktyvus]., Prieiga per: [https://www.alibaba.com/product-detail/Stainless-Steel-316-304-Wire-Rope\\_62101855248.html?spm=a2700.7735675.normalList.4.24EL1C&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Stainless-Steel-316-304-Wire-Rope_62101855248.html?spm=a2700.7735675.normalList.4.24EL1C&s=p)., [Žiūrėta: 2019-05-07].
58. *Sawn timber/ lumber/plank all grade Ash/Elm/Basswood/ Wooden planks - Softwood Pine , Spruce, Kiln Dried for sale*., Alibaba.com., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=200&From=USD&To=EUR>., [Žiūrėta: 2019-05-08].
59. *AISI 4130 alloy steel sheet plate price*., [Interaktyvus]., Prieiga per: [https://www.alibaba.com/product-detail/AISI-4130-4140-alloy-steel-sheet\\_62007093865.html?spm=a2700.7724857.normalList.11.42f9603fgCh205&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/AISI-4130-4140-alloy-steel-sheet_62007093865.html?spm=a2700.7724857.normalList.11.42f9603fgCh205&s=p)., [Žiūrėta: 2019-05-09].
60. *Aerostar Gas Series Wood Propeller 32x10*., Hobby King., [Interaktyvus]., Prieiga per: [https://hobbyking.com/en\\_us/aerostar-gas-series-wood-propeller-32x10-1pc.html](https://hobbyking.com/en_us/aerostar-gas-series-wood-propeller-32x10-1pc.html)., [Žiūrėta: 2019-05-09].
61. *Bolts*., Aircraft spruce., everything for planes and and pilots., [Interaktyvus]., Prieiga per: [https://www.aircraftspruce.com/categories/aircraft\\_parts/ap/menus/ha/bolts.html](https://www.aircraftspruce.com/categories/aircraft_parts/ap/menus/ha/bolts.html)., [Žiūrėta: 2019-05-09].

62. *Konstrucinis stiklo pluošto audinys EW180.*, E-plastena., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://e-plastena.lt/stiklo-pluosto-audiniai/3104-konstrucinis-stiklo-audinys-ew-180.html>., [Žiūrėta: 2019-05-09].
63. *SEAT BELT END FITTINGS FOR EXPERIMENTAL.*, Aircraft spruce., everything for planes and pilots., [Interaktyvus]., Prieiga per: <https://www.aircraftspruce.com/catalog/appages/triendfitting.php>., [Žiūrėta: 2019-05-10].

## Priedai

### 1 priedas. Peter Sripol orlaivio konstrukcijos analizė

#### Fiuzeliažo konstrukcija

Fiuzeliažo gamybai buvo panaudota 10, 25 ir 50 mm. storio didelio tankio polistireno lakštai, 10 mm. Ir 25 mm. storio faneros lakštai, 20x20 ir 15x10 mm. liepos medžio tašeliai. 50 mm. storio putplastis naudojamas tik apatinei daliai po piloto ir sparno vieta, 10 mm. polistirenas tik priekinės dalies viršui ir apačiai dengti, visur kitur fiuzeliažui buvo naudojamas 25 mm. storio polistirenas. Pirmiausia iš polistireno buvo išpjautos šoninės fiuzeliažo pusės, jų vidinės pusės buvo pastorintos faneros lakštais ties piloto vieta aplink masės centrą, faneros lakštuose buvo padarytos išėmos siekiant sumažinti masę, bei padidinti stiprumą (1 pav.). 20x20 mm. tašeliai buvo priklijuoti palei išorines fiuzeliažo briaunas, su tikslu į juos atremti apatinę ir viršutinę fiuzeliažo dalis. Už piloto vietos link uodegos, tarp išorinių medinių tašelių buvo padaryta vidinė ferminė konstrukcija priklijuojant 15x10 mm. tašelius (1 pav.). Visi ferminės konstrukcijos mazgai buvo papildomai pastiprinti juos apjungiant jungiamąja faneros ploštele iš vidinės pusės (2 pav.).



**1 pav.** Fiuzeliažo šoninės dalys, ties piloto vieta pastorintos fanera, ir ferminė uodegos konstrukcija [40]



a)

b)

**2 pav. a)** Ferminės konstrukcijos jungimas jungiamąja plokštele. **b)** Sujungti serminės konstrukcijos mazgai [40]

Šoninės fiuzeliažo dalys jungiamos su viršutine ir apatine fiuzeliažo dalimis, kurioms nėra darytas joks papildomas storinimas ar tvirtinimas (3 pav.), sujungus šias dalis, iš fiuzeliažo vidaus, papildomai paklijuojami statmenai tašeliai kaip ferminė fiuzeliažo konstrukcija iš vidaus (4, 5 pav.).



**3 pav.** 25 mm. storio šoninių fiuzeliažo dalių jungimas su apatine 50 mm. storio fiuzeliažo dalimi po pilotu ir sparnais [40]



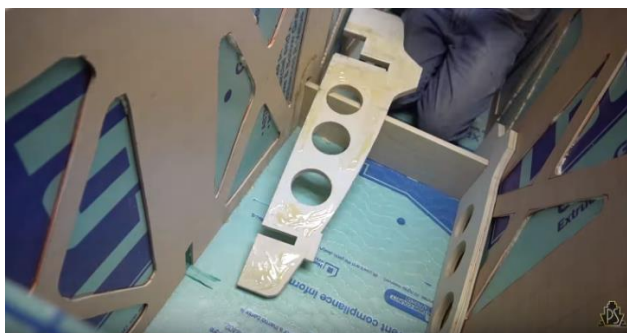
**4 pav.** Ant apatinės dalies paklijuoti ferminės konstrukcijos elementai jungimui tarp šoninių dalių bei papildomos juostelės virš lonžeronų atramų tvirtinimo vietų [40]



**5 pav.** Po viršutine dalimi paklijuoti ferminės konstrukcijos elementai jungimui tarp šoninių dalių [40]

Iš 25 mm. storio faneros, buvo išpjautos sparno profilio formos, su skylėmis lonžeronams, sparnų tvirtinimui prie lėktuvo, ir priklijuojamos iš fiuzeliažo vidaus (6 pav.). Taip pat iš 25 mm. storio faneros išpjaunamos papildomos juostelės pastorinti fanerą priklijuotą iš vidinės fiuzeliažo pusės, ir priklijuojamos virš jau priklijuotų lonžeronų tvirtinimo vietų, su tikslu sudaryti dar didesnę atramą apatinio sparno lonžeronams (4 pav.). Iš to pačio storio faneros išpjaunama dengiamoji plokštė su išėmomis viršutinių sparnų tvirtinimo vidurinėms atramoms įrengti (7 pav.), ir įmontuojama už piloto nugaros (8 pav.). Ties piloto sėdėjimo vieta, iš vidinės pusės ant grindų priklijuojamas 10 mm. storio faneros lakštas, nuo piloto kojų vietos, iki sparnų pirmojo lonžerono pradžios.





**6 pav.** Apatinio sparno lonžeronų tvirtinimo vietų atramos iš vidinės fiuzeliažo pusės [40]

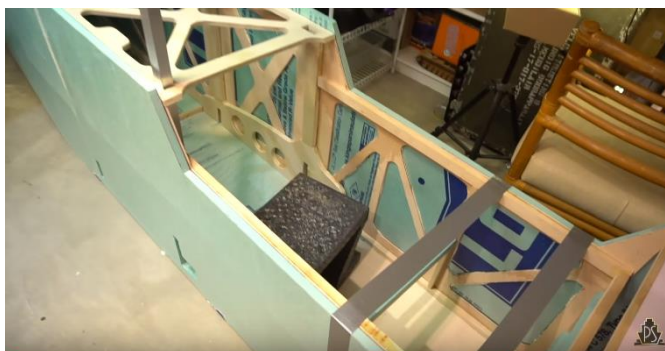


**7 pav.** Dengiamoji plokštė su išėmomis viršutinių sparnų tvirtinimo vidurinėms atramoms [40]



**8 pav.** Įmontuota dengiamoji plokštė už piloto nugaros su išėmomis viršutinių sparnų tvirtinimo vidurinėms atramoms [40]

Ties piloto sėdėjimo vieta, prie iš pradžių prie šoninių fiuzeliažo sienų prikluota 10 mm. fanera su išėmomis, ties ferminėmis konstrukcijomis buvo pastorinama 10x15 mm. tašeliais (9 pav.). Už piloto nugaros fiuzeliažo viduje link uodegos, įklijuojamos skersinės atramos jungiančios apatinės dalies mazgus su viršutinės priešingos pusės mazgais, siekiant padaryti konstrukciją atsparesnę susukimui (10 pav.). Viršutinio sparno tvirtinimo atramos, pritvirtinamos prie fiuzeliažo jo vidinėje dalyje, jų šonus priglaudžiant prie pastorinimų padarytų vir lonžeronų tvirtinimo vietų, iš išorinės pusės polistirole išfrezuojamos skylės ir į jas įklijuojamos faneros kaladėlės, siekiant kietesnio paviršiaus varžtų priveržimui. Kiaurai per aliumines viršutinio sparno atramas išgrežiamos skylės į išorę per įklijuotas kaladėles, ir suveržiamos varžtais (10, 11 pav.). Galiausiai visas liemuo dengiamas stiklo pluoštu, ir aptepamas derva, taip gaunant dar didesnę konstrukcijos vientisumą ir stiprumą.



**9 pav.** Įklijuotos lonžeronų atramos ir papildomai įklijuojami pastorimai besiremiantys į dengiamąją plokštę, papildoma ferminė konstrukcija prie faneros pastorinimų ties piloto vieta, ir faneros plokštė ties grindimis po piloto vieta [40]



**10 pav.** Apatinės dalies mazgų sujungimas skersinėmis atramomis su priešingos pusės viršutinės dalies mazgais [41]



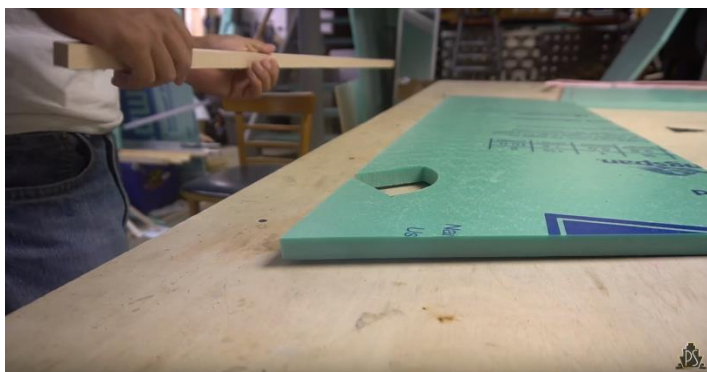
**11 pav.** Viršutinio sparno atramų tvirtinimas prie fiuzeliažo šonų [41]

### **Uodegos plokštumų konstrukcija.**

Uodegos plokštumų gamybai buvo pasitelktas tie patys 25 mm. storio didelio tankio polistireno lakštai, 25x25 mm. aliuminio vamzdeliai, 25x25 ir 25x10 mm. beržo tašeliai, taip pat 4 mm. faneros lakštai. Verta paminėti tai, kad autorius nei vienai iš išvardytų plokštumų nesuteikinėja aerodinaminio profilio formos, išskyrus tai, kad užapvalina visų briaunų kampus.

Tiek vertikalios tiek horizontalios plokštumos stabilizatoriais ir vairai, buvo vientisi išpjauti iš polistireno lakštų, tada peiliu padalinti į stabilizatorių, kilį ir aukščio bei posūkio vairus (12 pav.). Visų 4 dalių išorinės briaunos buvo pastorintos 25x25 mm. medienos tašeliais (13 pav.), išskyrus

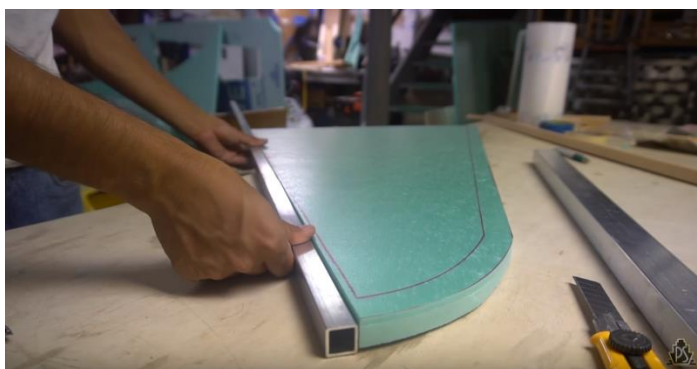
kilio ir stabilizatoriaus galines briaunas, nes jos storinamos 25x25 mm. aliuminio vamzdeliais (14 pav.), tarp kurių vėliau bus įtempti troseliai. Aukščio ir posūkio vairų priekinėms briaunoms suteikiamas 60° kampas, kadangi lankstas bus dedamas ne per vidurį o vienoje pusėje (17 pav.).



**12 pav.** Posūkio vairas gamybos pradžioje, be skersinių ir išilginių konstrukcijos jėginių elementų [41]



**13 pav.** Posūkio vairas sustiprintas išilginiais ir skersiniais tašeliais [41]



**14 pav.** Kilio galinės briaunos sustiprinimas aliuminio vamzdeliu [41]

Aukščio ir posūkio vairose padaryti papildomi 25x10 mm. tašelių intarpai išilgai srauto krypties, ir įstrižai nuo vieno mazgo link kito (15 pav.). Aukščio vairo viduryje, ties siauriausia ir silpniausia vieta, įdedamas didesnio pločio storinimas, siekiant suteikti didesnę konstrukcijos stiprumą (16 pav.). Visų kitų mazgų vietose išfrezuotos 4 mm. išėmos, ir jose įklijuoti 4 mm. faneros pastorinimai, siekiant didesnio jungties stiprumo (17 pav.). Visos detalės dengiamos stiklo pluoštu ir tepamos derva.



**15 pav.** Tašelių intarpai galinėse plokštumose ir mazgų surišimas įleistomis jungiamosiomis faneros plokštelėmis [41]



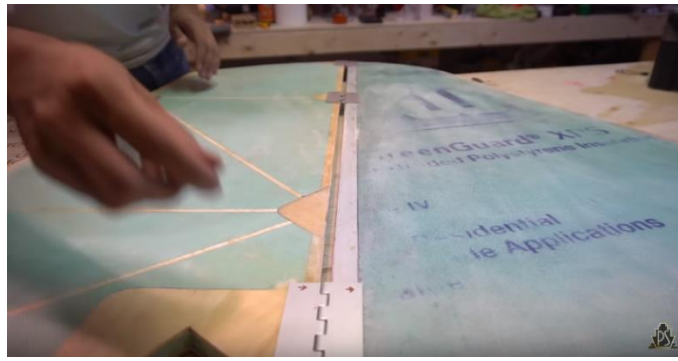
**16 pav.** Aukščio vairo ploniausios vietos storinimas didesnio ploto plokšte [41]



**17 pav.** Mazgų apjungimas jungiamosiomis plokštelėmis, priekinės briaunos kampas  $60^\circ$  [41]

### Uodegos plokštumų tvirtinimas prie liemens

Galinių plokštumų jungiams tarpusavyje ir prie liemens vykdomas pasitelkiant 10 mm. faneros lakštą, 3 mm. aliuminio plokštę, varžtus ir lankstus. Prie aliuminio vamzdžių tvirtinami lankstai, kurių kitos pusės tvirtinamos prie aukščio ir posūkio vairų per jungiamųjų plokštelių vietas (18 pav.).

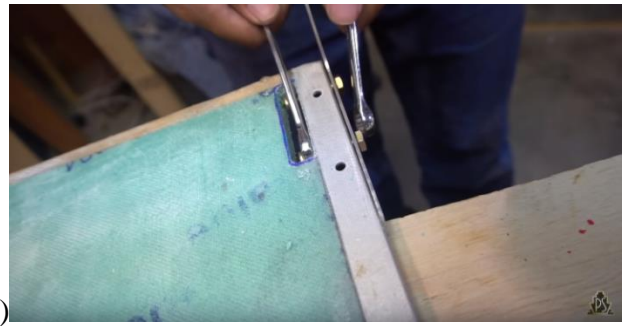


**18 pav.** Posūkio vairo ir kilio jungimas lankstais per aliuminio vamzdį ir pastorinimus [42]

Stabilizatorius ir kilis sujungiami į vieną visumą priekinėje ir galinėje jungimosi dalyse. Galinės dalys sujungiamos T formos detale išjauta iš 3 mm. storio aliuminio lakšto (19 pav.). Priekinės dalys sujungiamos iš dviejų pusių perpjovus pusiau aliuminio vamzdį ir gavus L formos tvirtinimo detales (20 pav.).



a)



b)

**19 pav. a)** T formos detalė kilio ir stabilizatoriaus galinių dalių jungimui. **b)** T formos detalės tvirtinimas prie kilio [42]



a)



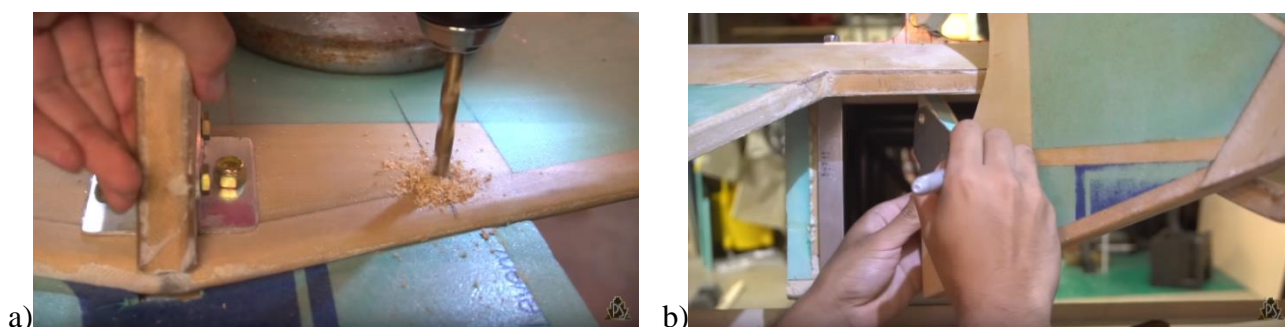
b)

**20 pav. a)** Kilio ir stabilizatoriaus galinių dalių jungimas per T formos detalę. **b)** Kilio ir stabilizatoriaus priekinių dalių jungimas per L formos detales [42]

Liemens galinėje dalyje, dalis polistireno išpjaunama, daliniam stabilizatoriaus įleidimui į konstrukciją (21 pav. a)). Toje vietoje įklijuojama jungiamoji plokštė iš 10 mm. faneros (21 pav. b)). Prie jungiamosios plokštės priekinės dalies tvirtinama stabilizatoriaus priekinė dalis priveržiant varžtais, galinė dalis tvirtinama jos šonuose, iš 3 mm. aliuminio išpjovus 20 mm. pločio juosteles kurių galai užlenkti gaunant U formos detales, ir tvirtinami apkabinant stabilizatoriaus viršutinę dalį ir liemens apatinę dalis (22 pav.).



**21 pav. a)** Ertmės išpjovimas galinėje liemens dalyje. **b)** Jungiamosios dalies įklijavimas galinėje liemens dalyje [42]

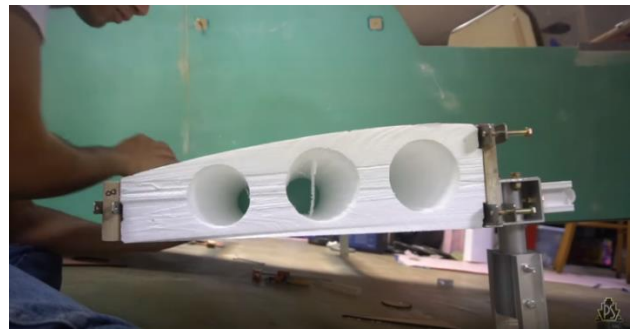


**22 pav. a)** Stabilizatoriaus priekinės dalies tvirtinimas prie liemens. **b)** Stabilizatoriaus galinės dalies tvirtinimas prie liemens U formos aliuminio juostelėmis [42]

### Sparnų ir važiuoklės gamyba bei tvirtinimas prie orlaivio

Sparnai gaminami iš mažo tankio politireno, mediniai lonžeronai iš liepos lentų, aliuminio ir plieno juostelių, važiuoklė iš kvadratinio ir apvalaus aliuminio vamzdžių bei U formos profiliuotos aliuminio plokštės, amortizatoriai neinstaliuojami. Orlaivis biplano tipo, viršutinis sparnas remiamas į jau pritvirtintas atramas liemenyje iškart už piloto nugaros, sparnai laisvai nešantys tarpusavyje sujungti spyriais ir įtemptais troseliais, surenkamos konstrukcijos, kas leidžia orlaivį paprasčiau perdislokuoti. Apatinis sparnas tvirtinamas orlaivio apačioje, sulig liemens apačia, viršutinis sparnas tvirtinamas vos aukščiau nei sėdinčio piloto galva. Apatinio sparno išnešimai į šonus po 600 mm. nuo liemens kraštų, viršutinio taip pat.

Pirmiausia gaminamas lonžeronas. Pagrindinio lonžerono gamybai naudojama liepos medienos obliuota lenta, 1800 mm. ilgio, 100 mm. aukščio ir 20 mm. pločio. Lonžerono viršus ir apačia stiprinami iš 3 mm. aliuminio plokštės išpjautomis 25 mm. pločio juostelėmis klijuojant, ir prisukant varžtais (23 pav.). Mažesnis lonžeronas taip pat iš liepos medienos lentos, jos galai nestorinti, vienas kraštas nuobliuotas 70° laipsnių kampu. Abiejų lonžeronų, abiejose liemens pusėse ir iš abiejų lonžerono pusių tvirtinamos iš plieno plokštės išpjautos juostelės, kurios bus sparnų tvirtinimo mazgai (24 pav.). Taip pat, 50 mm. nuo liemens, abiejuose lonžeronuose ir abiejose liemens pusėse tvirtinamos vertikalios plieninės plokštelės, ir po 30 mm. jų išnešama į viršų virš lonžerono viršaus, čia bus trosų įtempimo tvirtinimo vietos.

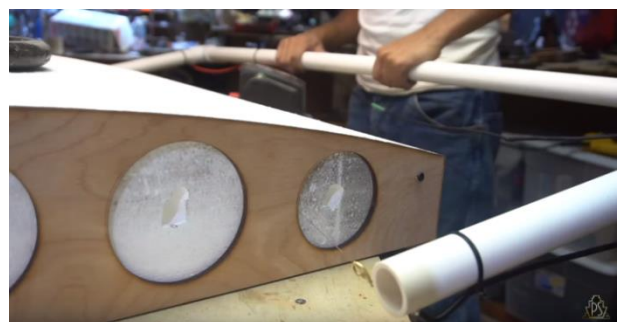
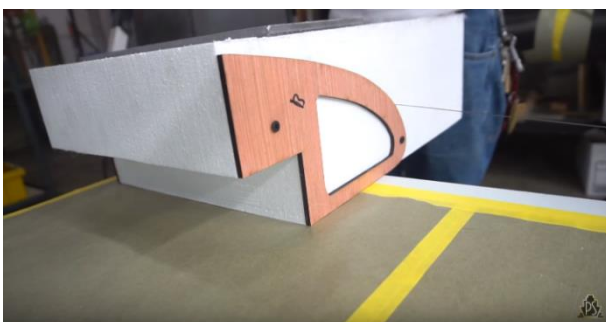


**23 pav.** Lonžerono stiprinimas aliumine juostele [43]. **24 pav.** Sparnų tvirtinimo mazgų tvirtinimas [43].

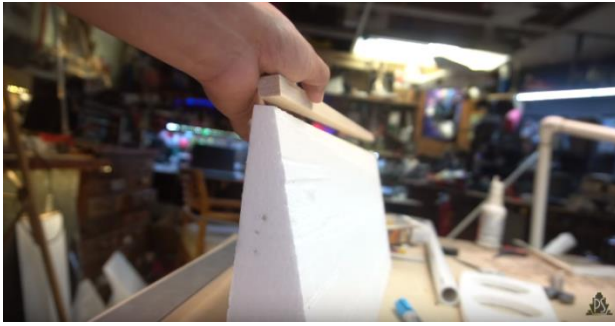


**25 pav.** Trosų tvirtinimo vietų įrengimas [43]

Iš 4 mm. faneros lazeriu arba staklėmis išpjaunamos sparno profilio dalių formos kurios bus panaudotos kaip šablonai. Nedidelio tankio polistireno ploštės naudojamos sparnų užpildų išpjovimui, pjovimas vykdomas įkaitintu nichromo vielos siūlu (26 pav.). Išpjautose polistireninėse dalyse padaromos apvalios ir kitokių formų išėmos siekiant sumažinti sparno masę (27 pav.). Išpjautos polistireninės dalys klijuojamos tarp lonžeronų, jų priekyje ir gale. Galinės polistireninės sparno dalies galinė dalis kaip ploniausia ir pažeidžiamiausia, stiprinama priklijuojant medinį tašelį per visą ilgį, kuris vėliau šlifuojamas kol įgauna nuožulnumą (28 pav.). Suklijuoto sparno visuma šlifuojama švitrinio popieriumi iki pašalinami po išpjovimo likę ir po klijavimo atsiradę nelygumai, nuvaloma ir viskas dengiama stiklo audiniu ir derva (29 pav.).



**26 pav.** Sparno dalių pjovimas karštu nichromo vielos siūlu [43]. **27 pav.** Išėmų išpjovimas [43]



**28 pav.** Galinės sparno dalies stiprinimas tašeliu [43]. **29 pav.** Sparno dengimas audiniu ir derva [43]

Kartu prie lonžerono iš jo priekinės dalies tvirtinamas tokio pat kaip lonžeronas ilgio 40x40 mm. kvadratinis aliuminio vamzdis, kurio priekinėje ir galinėje dalyse išgręžiama skylių siekiant sumažinti masę, į šį vamzdį bus įstatomos važiuoklės atramos (30 pav.). Važiuoklės atramos gaminamos iš U formos profiliuotos aliuminio plokštės, taip pat 3D printeriu atspausdintų jungiamųjų dalių ir apvalaus aliuminio vamzdžio. Apvalus aliuminio vamzdis įstatomas į 3D printeriu atspausdintą detalę ir priveržiamas varžtais, tada iš abiejų 3D spausdintos detalės šonų priveržiamos U formos aliuminio profiliuotos plokštės detalės ir tarp jų įstatomas ratas bei priveržiamas varžtais (31 pav.). Apvalusis vamzdžio galas įstatomas į kvadratinės formos aliuminio vamzdį kiaurai, atsiremiant į papildomai prisuktą plokštelę, ir priveržiamas varžtais (32 pav.). Svarbu paminėti, kad važiuoklės konstrukcijoje nenumatyti amortizatoriai.



**30 pav.** Važiuoklės ašis ir lonžeronas [43]

**31 pav.** Surinkta važiuoklės atrama [43]

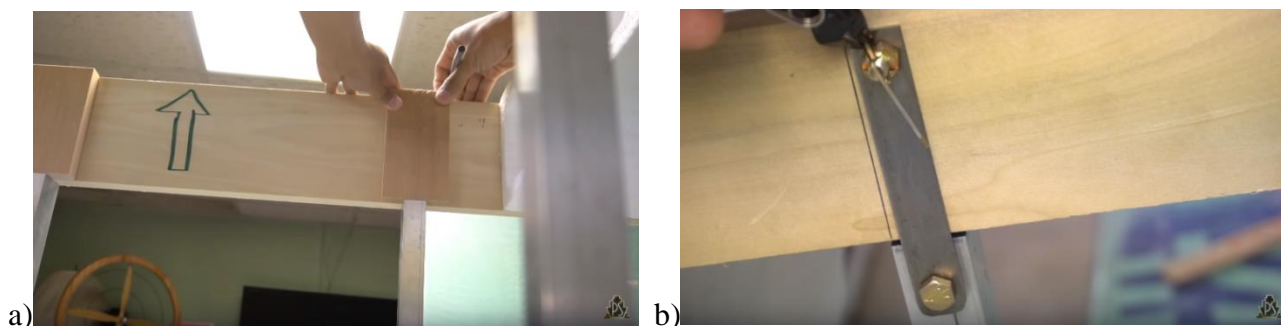


**32 pav.** Važiuoklės atramos tvirtinimas [43]

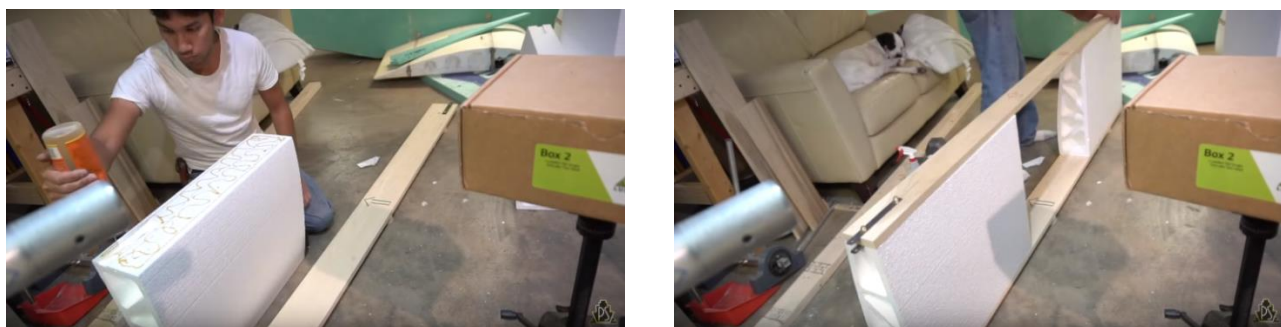
Viršutinio sparno pagrindinė dalis gaminama taip pat 1800 mm. ilgio, jos gamybai pasitelkiamos tos pačios priemonės kaip ir apatinio sparno pagrindinei daliai. Pagrindinis lonžeronas gaminamas iš 1800 mm. ilgio liepos lentos, kurios išmatavimai taip pat 100x20 mm,



mažesnysis lonžeronas iš tokio paties ilgio ir pločio, tačiau 60 mm. aukščio liepos lentos, abiejų lonžeronų briaunos nestiprinamos aliuminio juostelėmis. Viršutinis sparnas prie orlaivio korpuso tvirtinamas per 4 aliuminio vamzdžius vertikaliai įrengtus už piloto nugaros, 4 tvirtinimo vietose. Mažesnysis ir didysis lonžeronai ties tvirtinimo prie liemens vietomis per aliuminius vamzdžius storinami 20 mm. pastorinimais iš liepos lentos, siekiant tvirtinimo mazgų vietoms atitikti aliuminio vamzdžių storį (33 pav. a)). Tada iš abiejų pusių tais pačiais varžtais per pastorinimą ir už jo priveržiamos tvirtinimo juostelės iš plieno plokštės, o išgręžus skylės į aliuminio vamzdžius bus galima pritvirtinti prie korpuso (33 pav. b)). Viršutinio sparno lonžeronų galuose ir iš abiejų lonžeronų pusių tvirtinamos plieninės juostelės kraštinių sparnų tvirtinimui (34 pav.). Abiejuose viršutinio sparno pagrindinės dalies lonžeronuose, nuo jų centro į abi puses per 350 mm. priveržiamos trosų įtempimo tvirtinimo vietos, padarytos iš plieno juostelių, išsikišimą išnešant į apačią, šios vietos troseliais bus sujungtos su apatinio sparno šoninių dalių tolimosiomis tvirtinimo vietomis kurios bus ties sparnų galais. Viršutinio sparno pagrindinė dalis pilnai surenkama abu lonžeronus suklijuojant su dalimis išpjautomis iš mažo tankio polistireno, kuriose padarytos išėmos.



**33 pav. a)** Viršutinio sparno pagrindinės dalies tvirtinimo vietų storinimas. **b)** Viršutinio sparno pagrindinės dalies lonžeronų tvirtinimas per aliuminius vamzdžius prie korpuso [44]



**34 pav.** Viršutinės dalies pagrindinio sparno lonžeronų ir kraštinių dalių tvirtinimo mazgai [44]

Apatinio sparno šoninės dalys gaminamos iš tų pačių priemonių kaip ir apatinio sparno pagrindinė dalis. Naudojami tokių pačių išmatavimų didysis ir mažasis lonžeronai. Pagrindiniame lonžerone išgręžiamos 60 mm. skersmens skylės, siekiant sumažinti lonžeronų masę (35 pav.). Šių dalių tvirtinimo prie pagrindinės sparno dalies vietose, iš abiejų lonžeronų pusių išfrezuojamos nelygiagrečios horizontalios 3 mm. gylio išėmos (36 pav.) kuriose klijuojamos 3 mm. plieninės plokštės juostelės ir papildomai paviršiuje uždengiamos dengiamąja aliuminio plokšte su sutampančiomis skylėmis, per kurias tais pačiais varžtais tvirtinimo ašys suveržiamos tarpusavyje (37 pav.). Link šoninių apatinio sparno galų, abiejuose lonžeronuose iš abiejų pusių priveržiamos vertikalios juostelės iš plieninės plokštės išsikišimus išnešant į viršų, kurios bus viršutinio ir apatinio sparnų jungimosi per aliuminio vamzdžius tvirtinimo vietos (38 pav.). Abiejuose apatinio

sparno šoninių sparnų lonžeronuose, iš išorinių pusių per 50 mm. nuo vamzdžių tvirtinimo vietų link orlaivio pritvirtinamos tokių pačių matmenų vertikali plieninė juostelė, išsikišimus išnešant į viršų, tai bus trosų sujungimo su viršutinio sparno pagrindine dalimi tvirtinimo vietos (39 pav.).

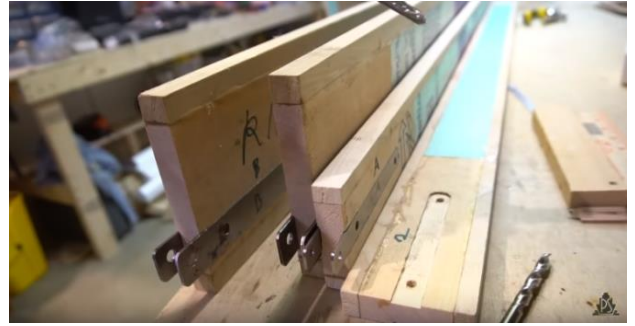


**35 pav.** Skylės lonžerone [44]. **36 pav.** Apatinio sparno pagrindinės ir šoninės dalies jungimas [44]



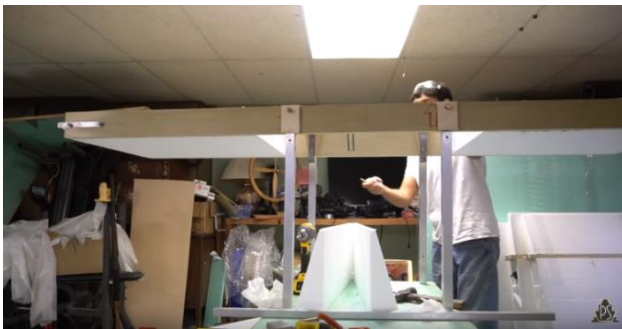
**37 pav.** Pagrindinio lonžerono sustiprinimas plokštele [44]. **38 pav.** Viršutinio ir apatinio sparnų jungimo vietų tvirtinimo detalių ir trosų tvirtinimo detalių priveržimas [44]

Viršutinio sparno kraštinių dalių sparnų gamybai naudojamos tos pačios medžiagos kaip ir anksčiau minėtos. Lonžeronai gaminami iš 20x20 mm. išmatavimų liepos tašelių, tarp kurių įterpiami 20 mm. storio ir atitinkamai 60 ir 30 mm aukščio didelio tankio polistireno intarpai. Intarpai sustiprinami tarp jų įterpiant vertikalius tašelius o tvirtinimo vietose lentos dalis (39 pav.). Sparnų kraštinių dalių tvirtinamuosiuose galuose įtvirtinamos horizontalios jungiamosios juostelės per kurias bus jungiamos kraštinės viršutinio sparno dalys su pagrindine dalimi (40 pav.). Kraštinių sparnų tolimuosiuose galuose abiejuose lonžeronuose ir iš abiejų jų pusių įrengiamos vertikali viršutinio ir apatinio sparnų jungimosi per aliuminius vamzdžius tvirtinimo vietos, o per 50 mm. link orlaivio visuose lonžeronuose troselių tvirtinimo mazgų vietos iš plieninių juostelių, išsikišimus išnešant į apačią. Tarpai tarp lonžeronų bei į jų priekį ir galą užpildomi įterpiant karštos vielos siūlu išpjautomis sparno dalimis su išėmomis. Sparnų galuose priklijuojamos sparno profilio formos didesnio tankio polistireno 50 mm. storio datelės, kurių kampai užapvalinami (45 pav.). Orlaivio visos sparnų dalys dengiamos stiklo pluoštu ir impregnuojamos derva.



**39 pav.** Viršutinio sparno kraštinių dalių lonžeronai [44]. **40 pav.** Šoninių viršutinių sparnų tvirtinimo vietos lonžeronuose [44]

Viršutinio sparno pagrindinė dalis jungiama su orlaivio korpusu per 4 tvirtinimo vietas vertikaliais aliuminio vamzdžiais (41 pav.), viršutinių ir apatinių sparnų kraštinės dalys per tvirtinimo mazgus suveržiamos varžtais (42 pav.), kraštinių sparnų viršutinės ir apatinės dalys jungiamos tarpusavyje per aliuminius vamzdžius tolimuosiuose galuose (43 pav.), įtempiami troseliai jungiantys apatinio sparno pagrindinę dalį su viršutinio sparno kraštinėmis dalimis ir troseliai jungiantys viršutinio sparno pagrindinę dalį su apatinio sparno kraštinėmis dalimis (44 pav.).



**41 pav.** Viršutinio sparno pagrindinės dalies tvirtinimas prie orlaivio [44]. **42 pav.** Šoninio apatinio sparno jungimas prie pagrindinio sparno [44]



**43 pav.** Viršutinio ir apatinio šoninių sparnų tarpusavyo jungimas [44]. **44 pav.** Troselių įtempimas [44]



**45 pav.** Sparnų galinių dalių užapvalinimas [45]

### **Variklių vietos įrengimas**

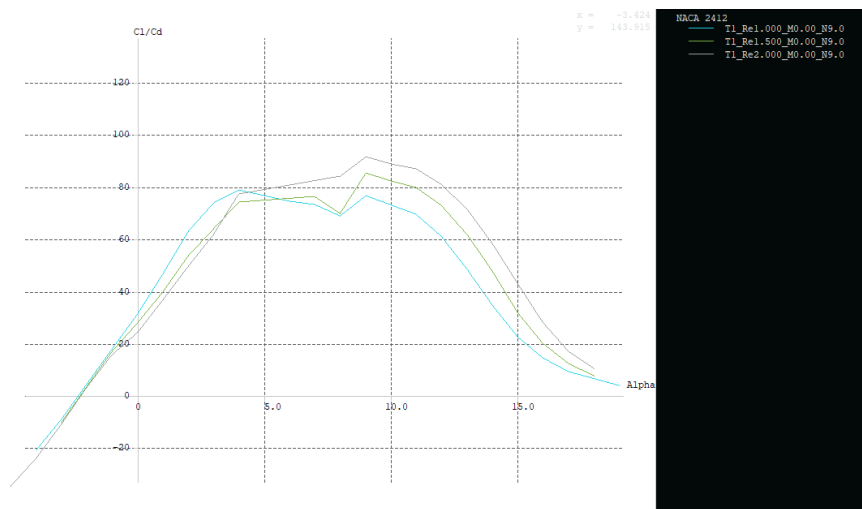
Variklių blokai kabinami ant dviejų lygiagrečių 30x30 mm. kvadratinių aliuminio vamzdelių, kurie perveriami per orlaivio korpusą skersai skridimo ašiai vienas už kito 300 mm. atstumu. Vamzdeliai perkišami per fiuzeliažą nuo jo viršutinės dalies 100 mm. žemyn, už piloto nugaros tarp viršutinio sparno pagrindinę dalį laikančių vamzdelių. Variklių blokai surenkami iš 4 mm. faneros lazeriu išpjautų skylėtų detalių, siekiant kad varikliai gautų kuo didesnę aušinimą ir pritvirtinami varžtais (46 pav.).



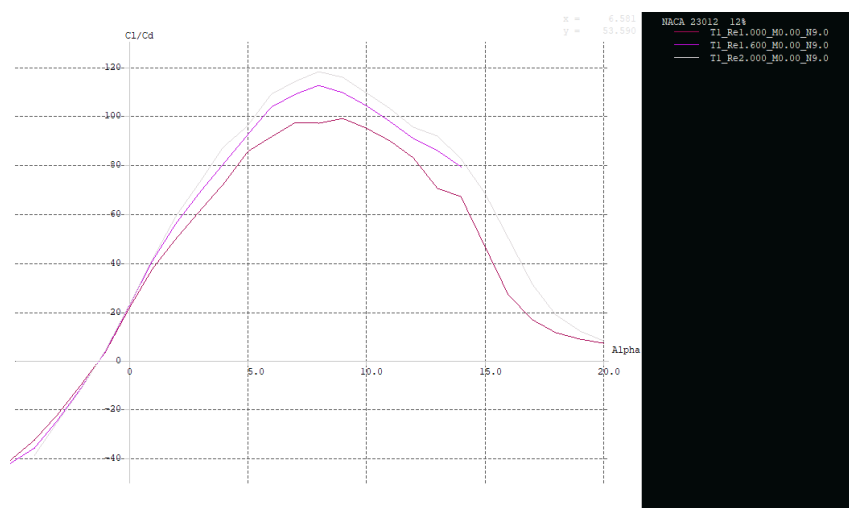
**46 pav.** Variklių blokų tvirtinimas prie fiuzeliažo [45]

## 2 priedas. Aerodinaminių profilių tyrimai

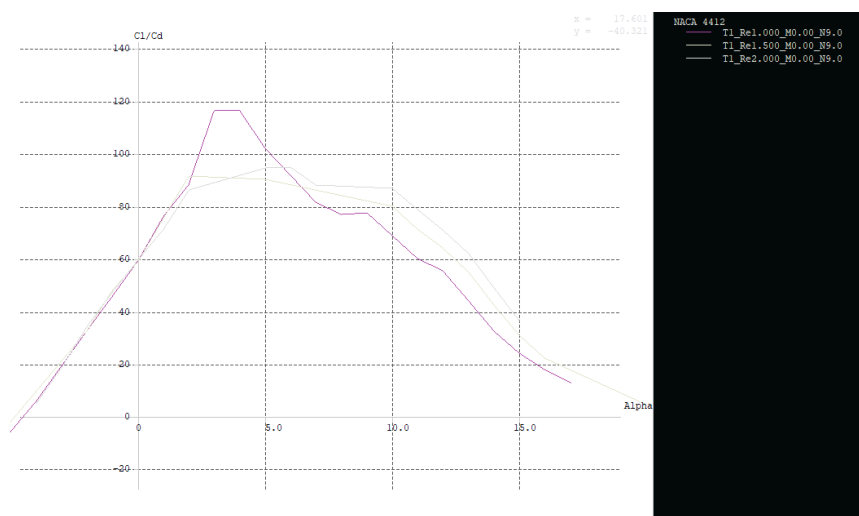
### Aerodinaminių profilių parinkimas sparnui



1 pav. NACA 2412 profilio tyrimo rezultatai

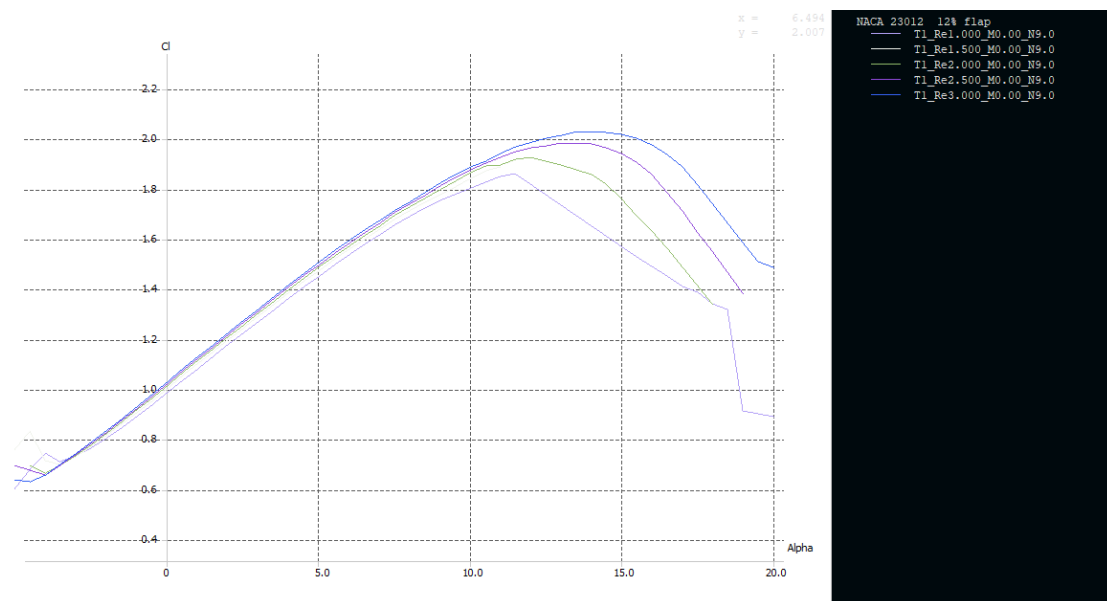


2 pav. NACA 23012 profilio tyrimo rezultatai

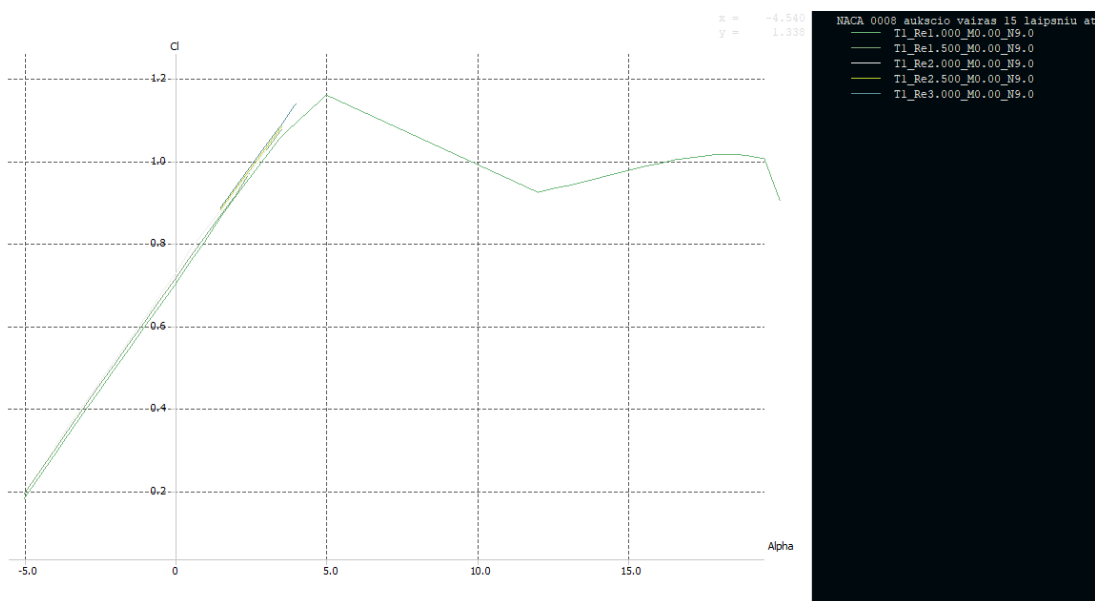


3 pav. NACA 4412 profilio tyrimo rezultatai

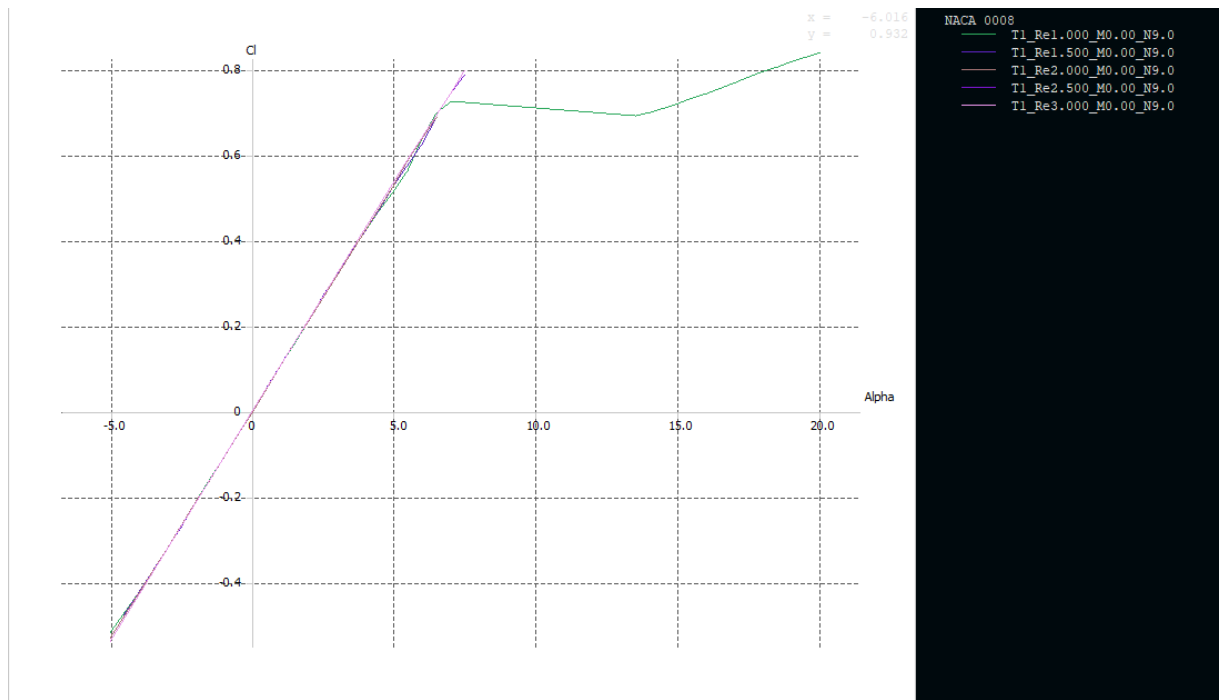
## Orlaiviui naudojamų aerodinaminių plokštumų tyrimai



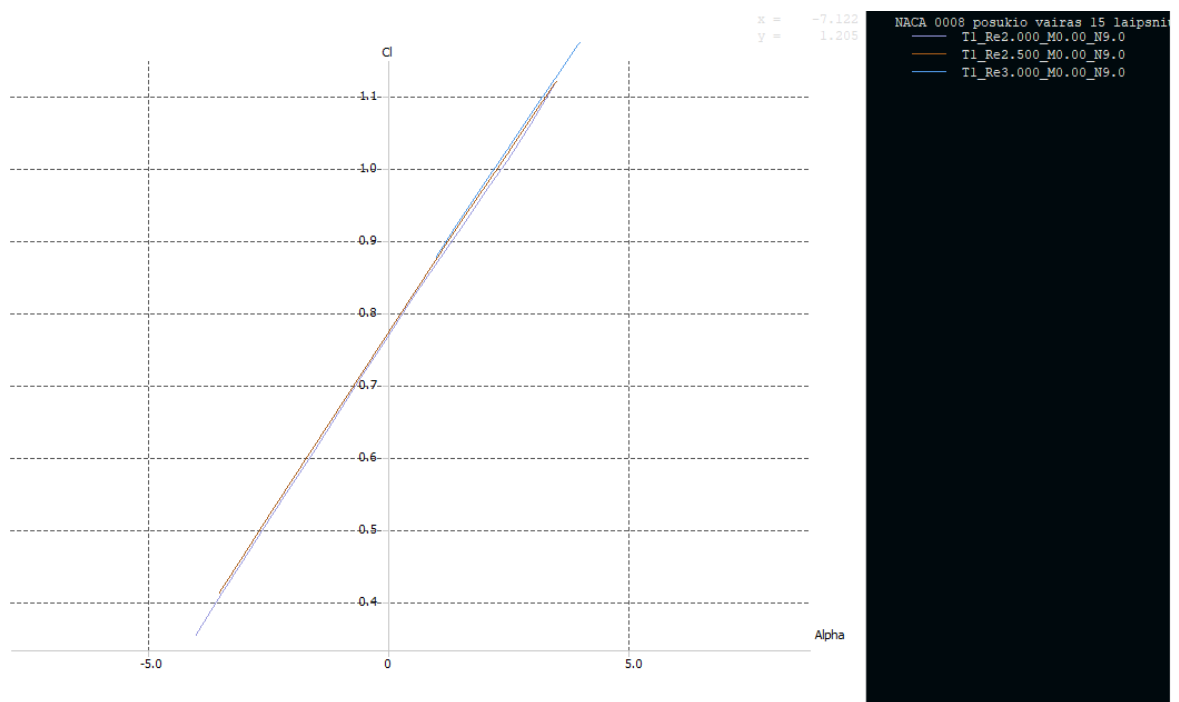
4 pav. Sparnui naudojamą aerodinaminio profilio keliamosios jėgos prieaugis nulenkus eleroną į apačią prie  $\alpha 8^\circ - 0,69$



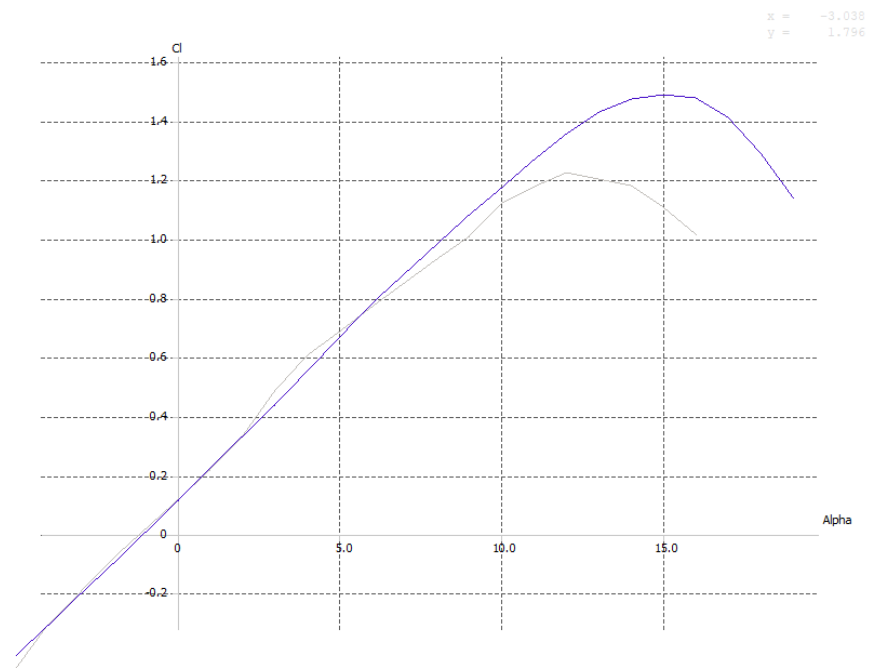
5 pav. Horizontaliai uodegos plokštumai naudojamą aerodinaminio profilio NACA 0008 keliamosios jėgos koeficientas  $C_L 0,982$  skrendant  $V_C$  stabiliausiu atakos kampū  $\alpha 2,5^\circ$



6 pav. Uodegos plokštumoms naudojamo aerodinaminio profilio NACA 0008 tyrimas be vairų atlenkimo



7 pav. Vertikaliai uodegos plokštumai naudojamo aerodinaminio profilio NACA 0008 keliamosios jėgos koeficientas  $C_L$  0,77 skrendant  $V_C$  atakos kampu  $\alpha$  0°



8 pav. Sparno  $C_{Lmax}$  leidimosi metu

	Mass (kg)	x (m)	y (m)	z (m)	Description
1	80.000	0.200	0.000	0.000	pilotas
2	80.000	0.800	0.000	0.000	keleivis
3	62.000	0.300	0.000	0.000	sparnai ties lonžeronu
4	10.000	3.920	0.000	0.000	stabilizatorius
5	5.000	3.920	0.000	0.000	kilis

Total Mass = Volume + point masses

Center of gravity		Inertia in CoG Frame	
Total Mass=	370.000 kg	Ixx=	0.00000 kg.m <sup>2</sup>
X_CoG=	0.545 m	Iyy=	308.23851 kg.m <sup>2</sup>

9 pav. Orlaivio komponentų masių išdėstymas sparnų priekinės dalies atžvilgiu, parinkto  $CoG$  atitikimas

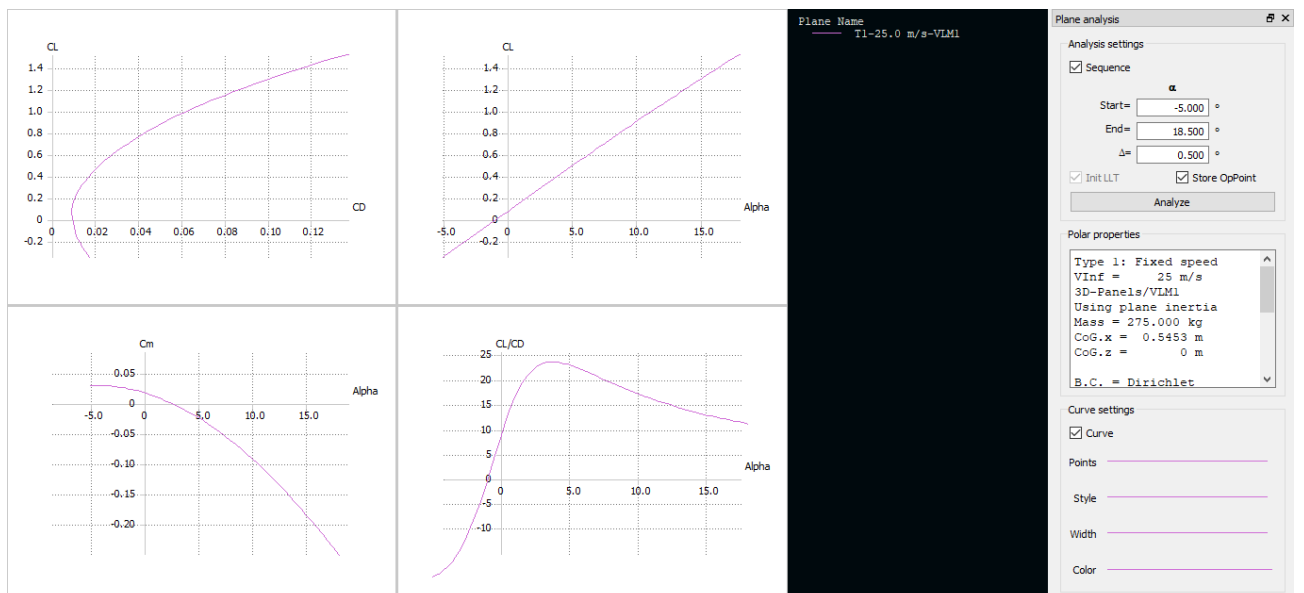


	Mass (kg)	x (m)	y (m)	z (m)	Description
1	86.000	0.200	0.000	0.000	pilotas
2	86.000	0.800	0.000	0.000	keleivis
3	7.200	0.300	0.000	0.000	sparnai ties lonžer
4	3.200	3.420	0.000	0.000	stabilizatorius

Total Mass = Volume + point masses

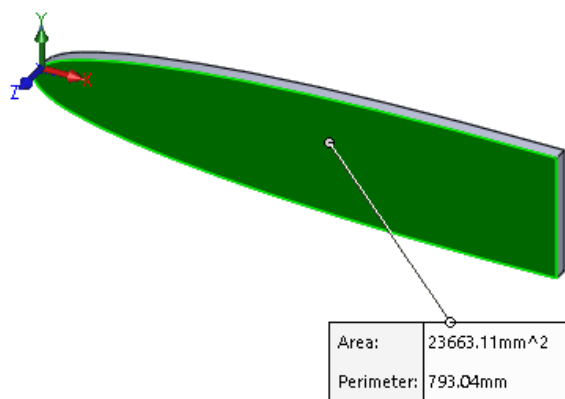
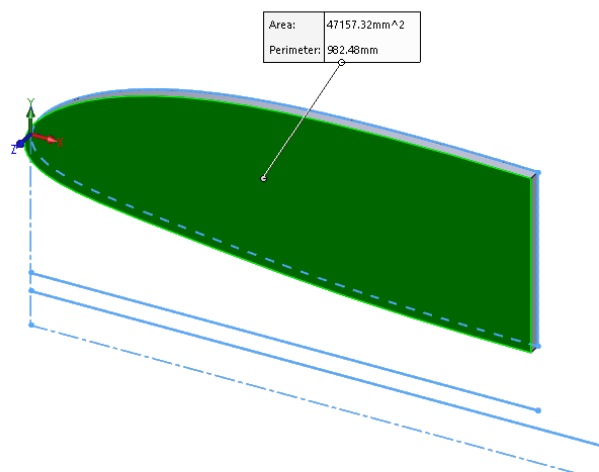
Center of gravity		Inertia in CoG Frame	
Total Mass=	275.000 kg	Ixx=	0.00000 kg.m <sup>2</sup>
X_CoG=	0.545 m	Iyy=	76.58732 kg.m <sup>2</sup>

10 pav. Nauja masės centro vieta pakeitus masių išdėstymą

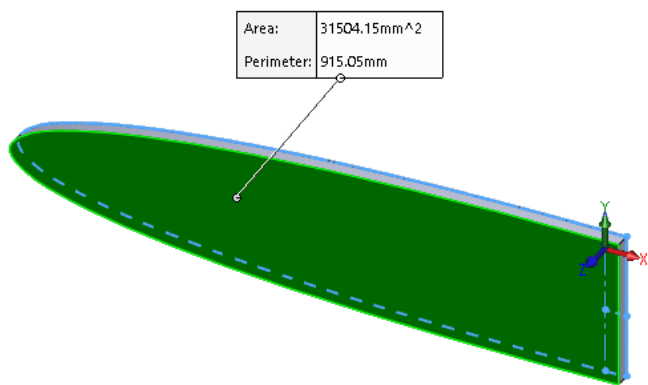


11 pav. Orlaivio kokybės grafikai su perskaičiuota kilimo mase

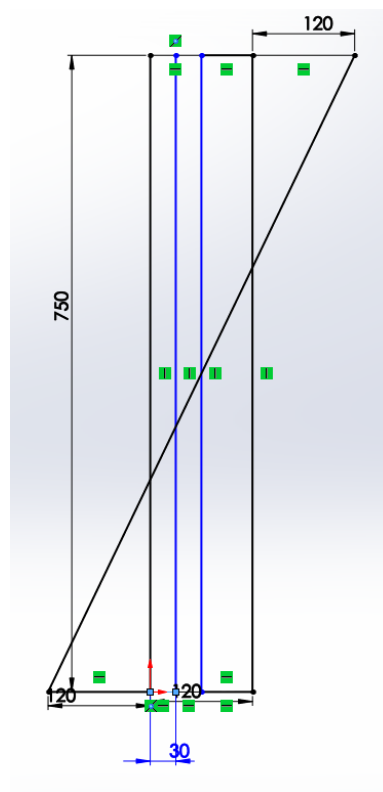
### 3 priedas. Aerodinamių plokštumų parametrų ieškojimas



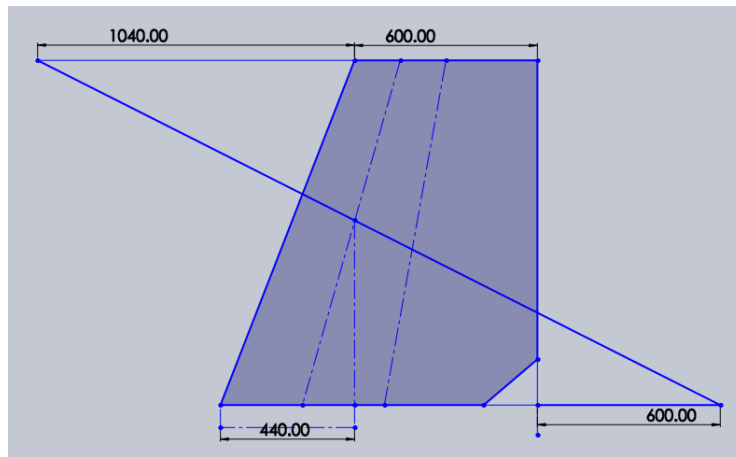
**1 pav.** Sparno pagrindo nerviūros noselės plotas. **2 pav.** Stabilizatoriaus pagrindo nerviūros noselės plotas



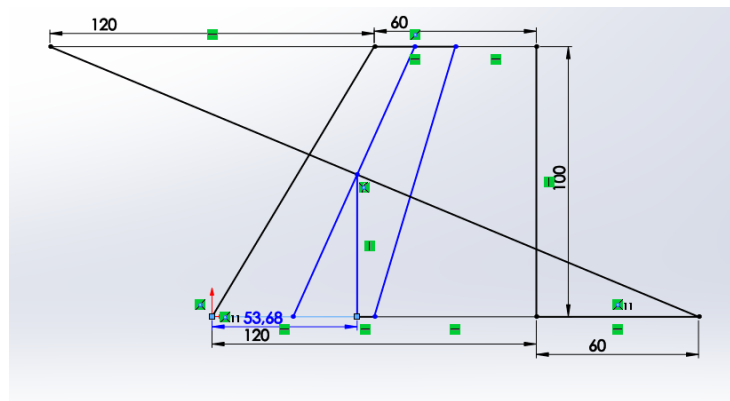
**3 pav.** Kilio pagrindo nerviūros noselės plotas



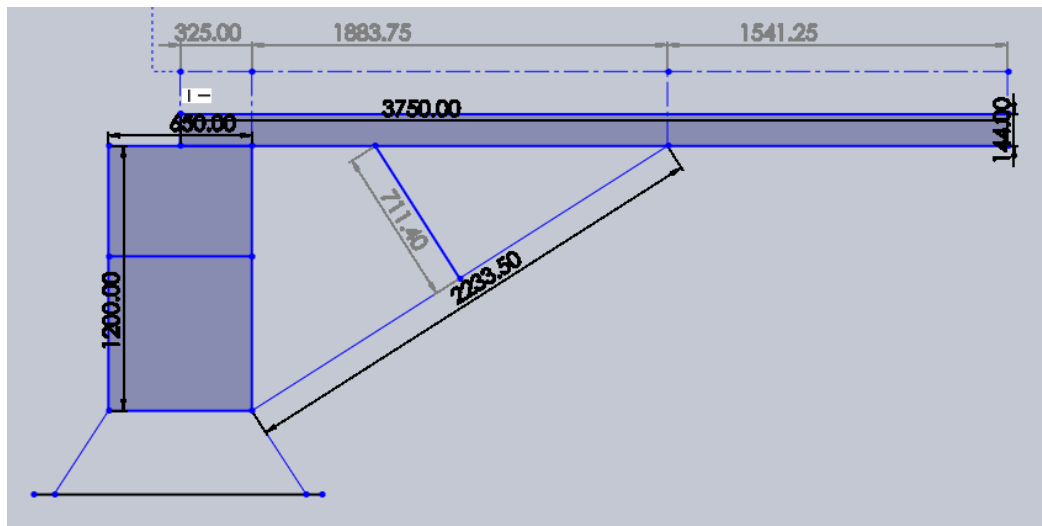
**4 pav.** Sparno AC radimas



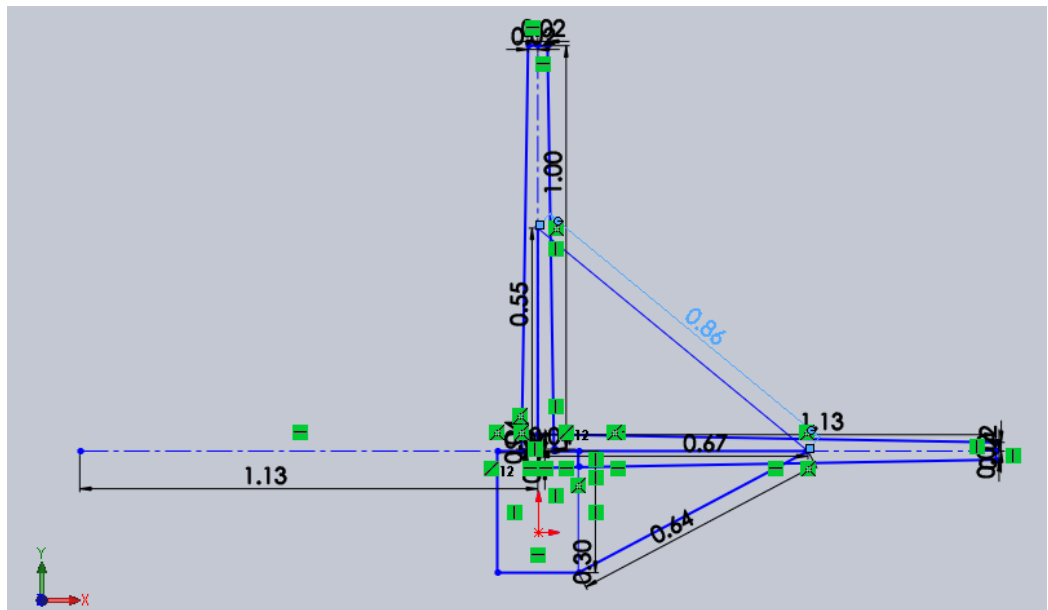
5 pav. Stabilizatoriaus AC radimas



6 pav. Kilio AC radimas

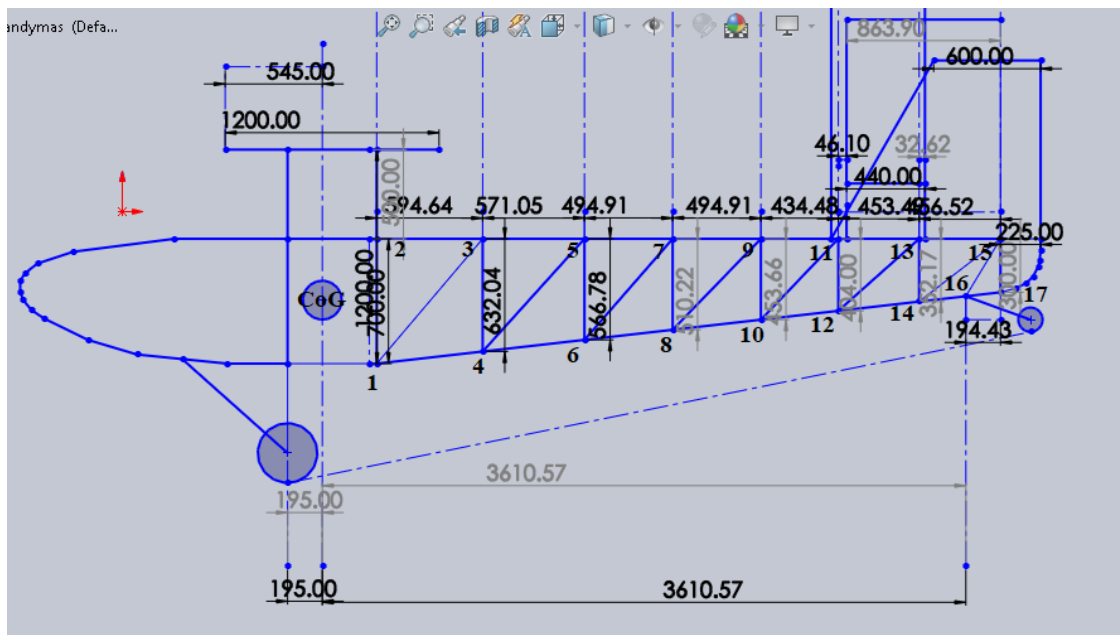


7 pav. Sparno parėmimo spyriais ir kontrapryiais schema ir matmenys

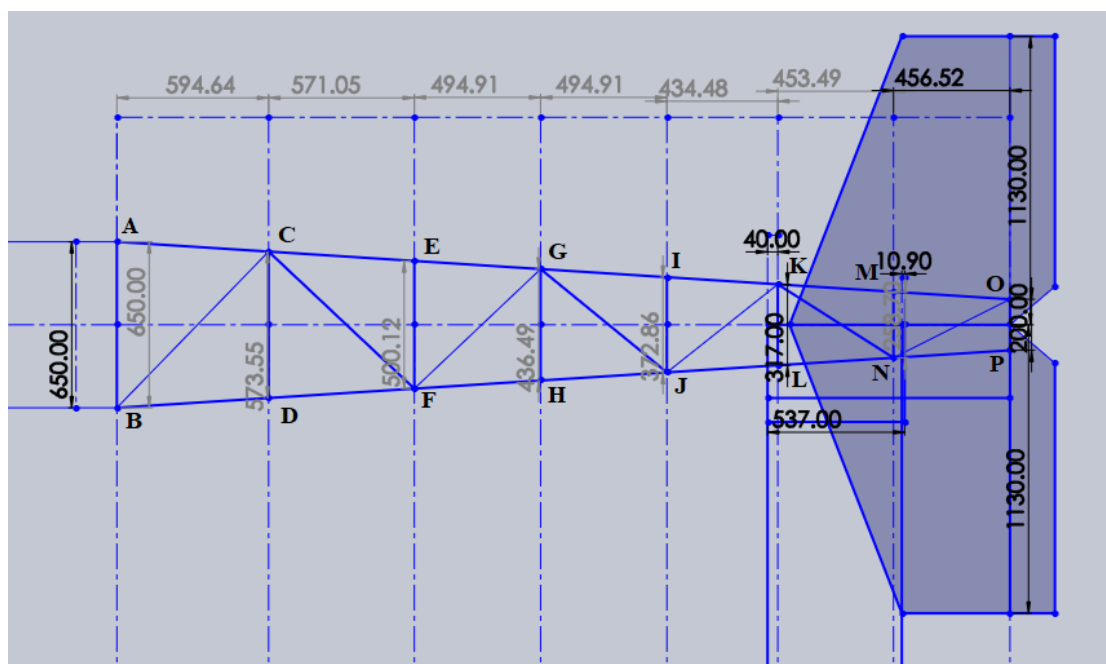


**8 pav.** Uodegos plokštumų ir spyrių / troselių tvirtinimo schema

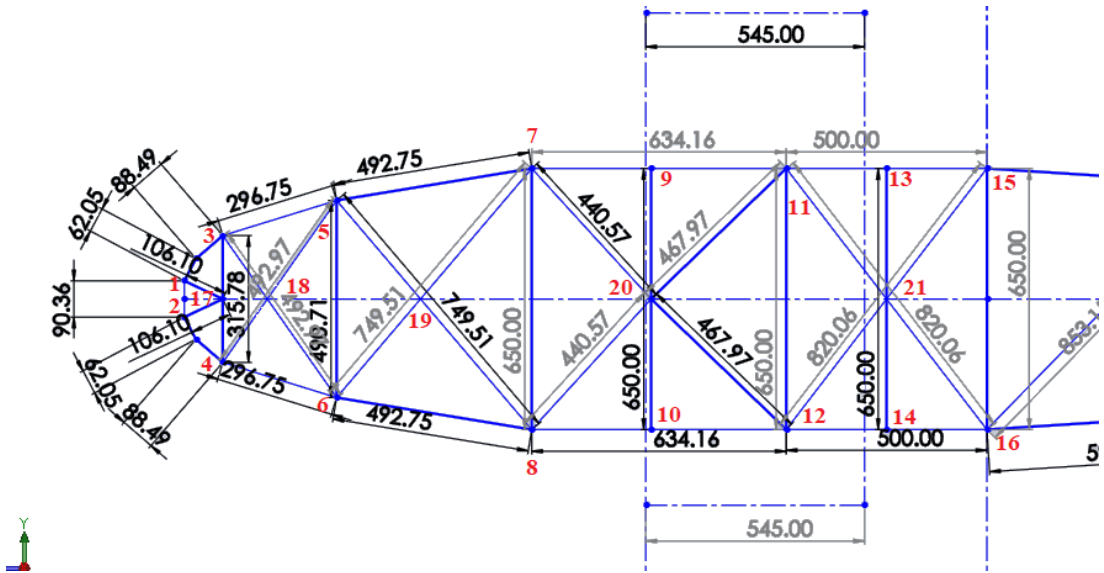
#### 4 priedas. Liemens santvaros projektavimas



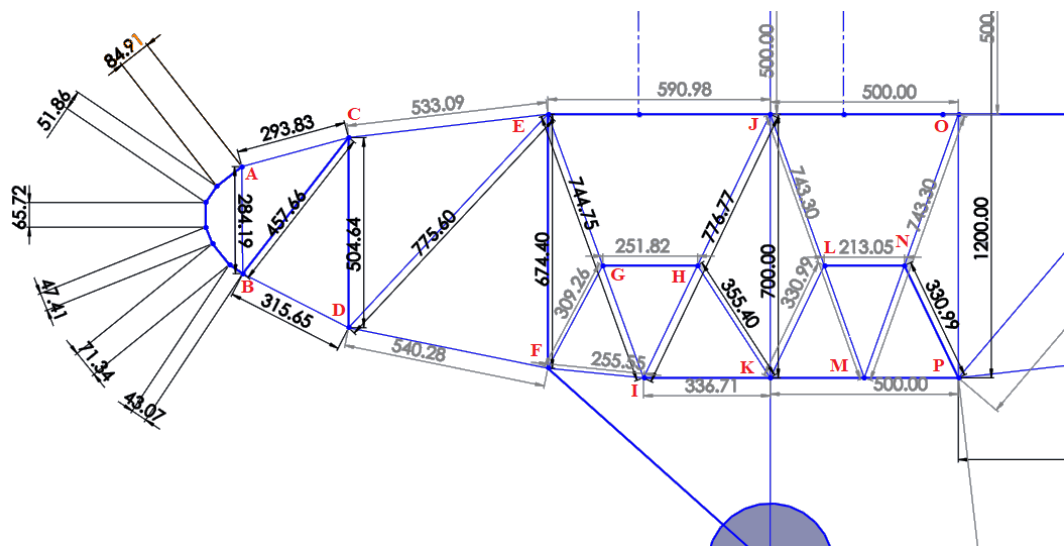
1 pav. Liemens santvaros galinės dalies vertikalų santvaros dalių stovų ir įstrižainių išdėstymas, atstumai tarp jų, priklausomybė nuo stabilizatoriaus AC



2 pav. Liemens santvaros galinės dalies horizontalių santvaros dalių stovų ir įstrižainių išdėstymas, atstumai tarp jų, priklausomybė nuo kilio AC

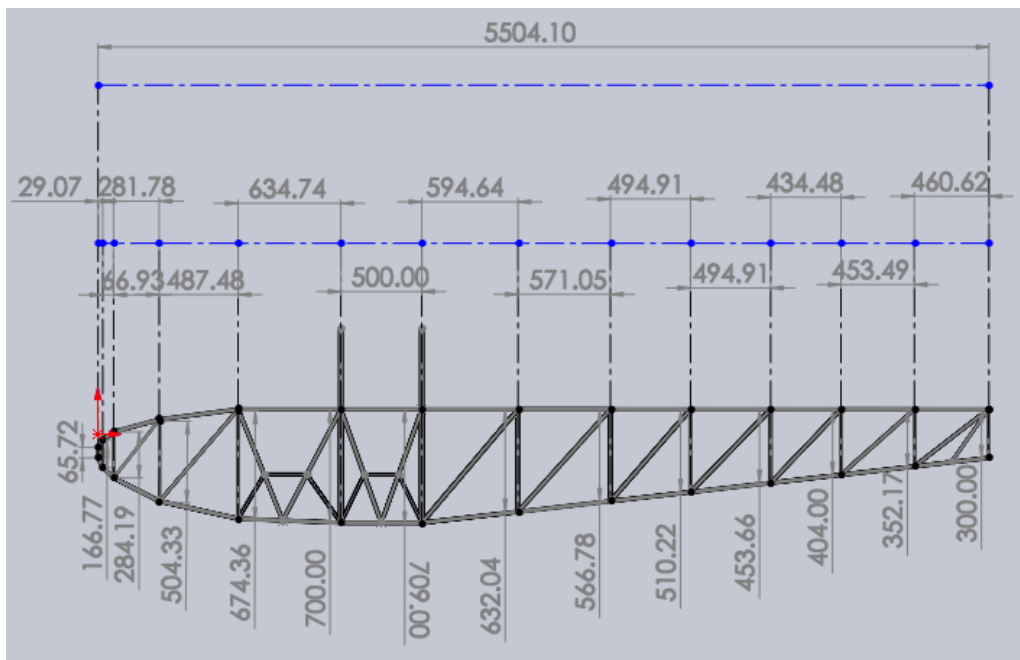


3 pav. Priekinės liemens dalies apatinės horizontalios santvaros parametrai ir mazgai

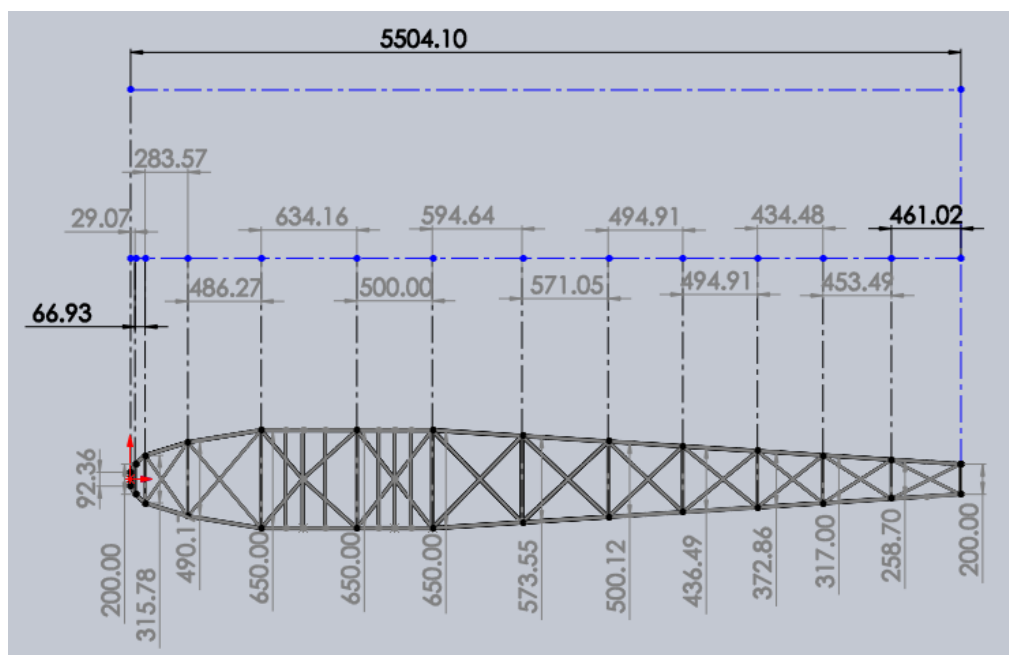


4 pav. Priekinės liemens dalies vertikalųjų santvaros konstrukcijų parametrai ir mazgai

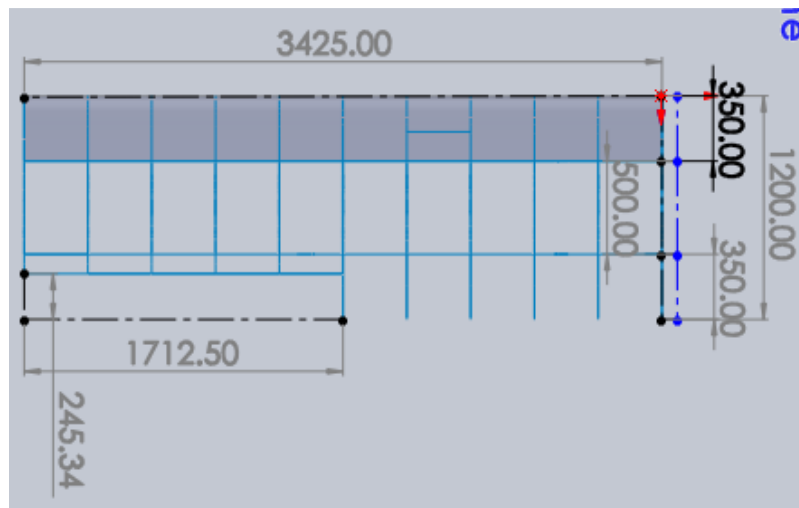
## 5 priedas. Orlaivio konstrukcijos elementai



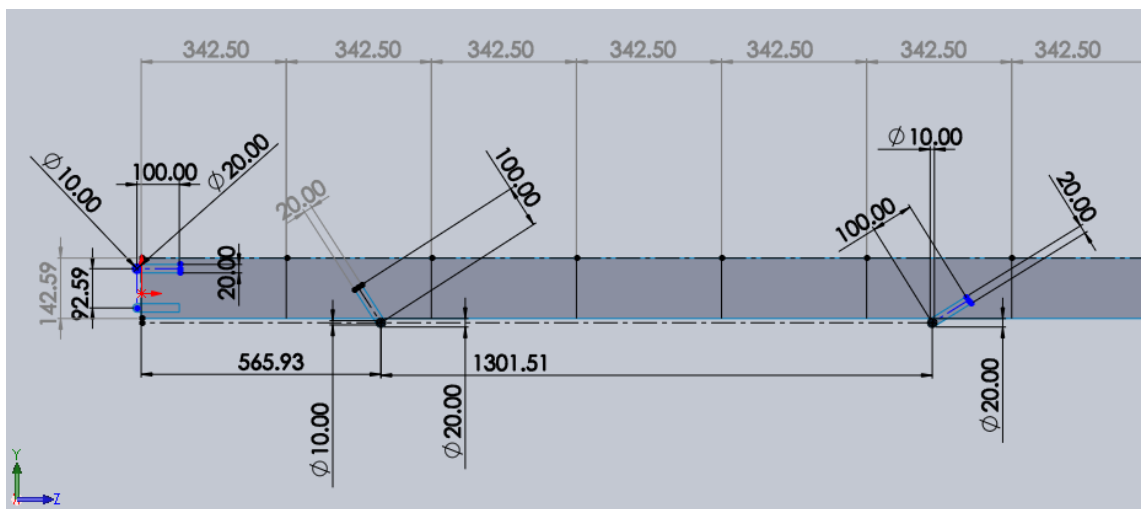
1 pav. Liemens konstrukcija



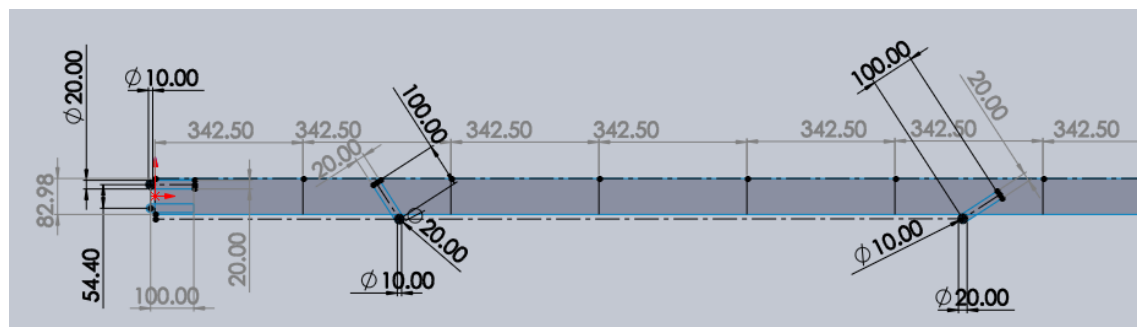
2 pav. Liemens konstrukcija



3 pav. Pusės sparno dalies geometrija

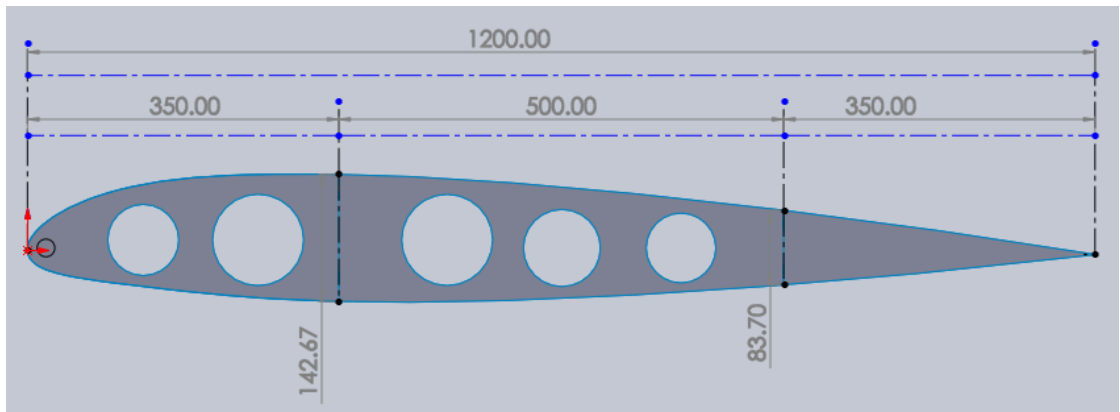


4 pav. Pusės sparno dalies pirmojo lonžerono geometrija

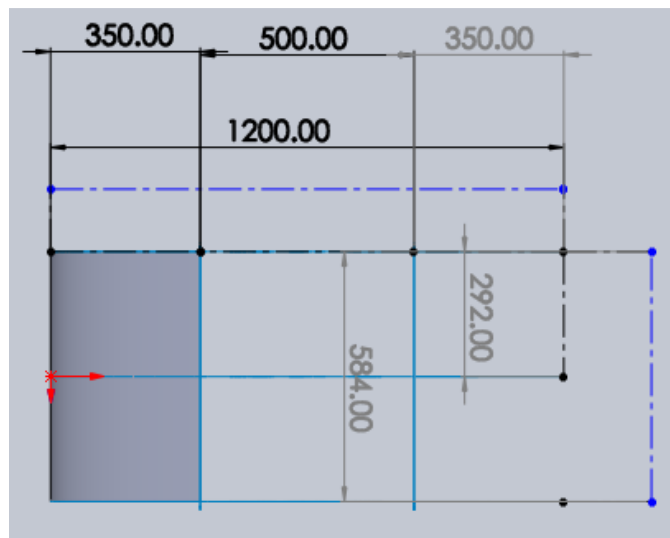


5 pav. Pusės sparno dalies antrojo lonžerono geometrija

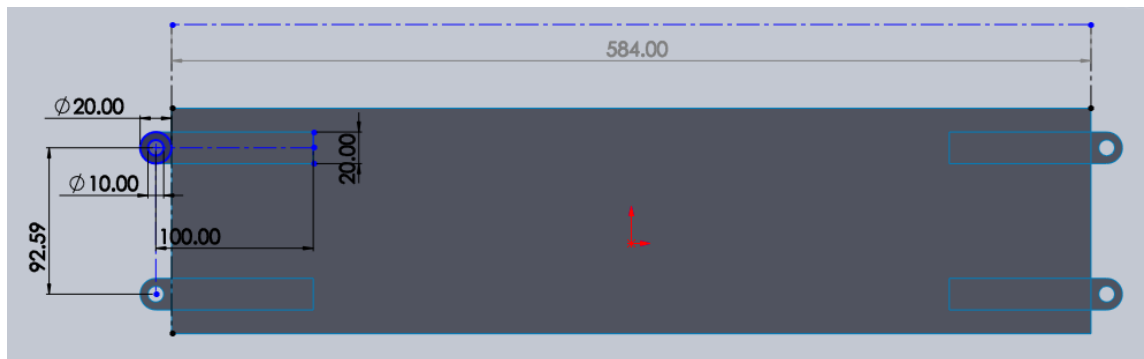




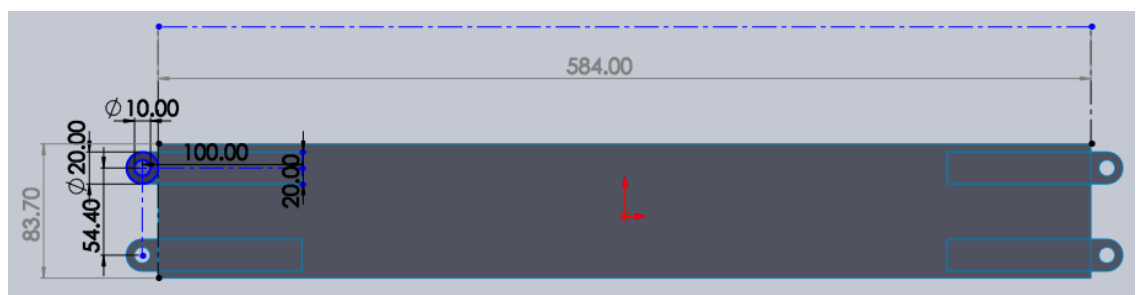
6 pav. Sparno nerviūros geometrija



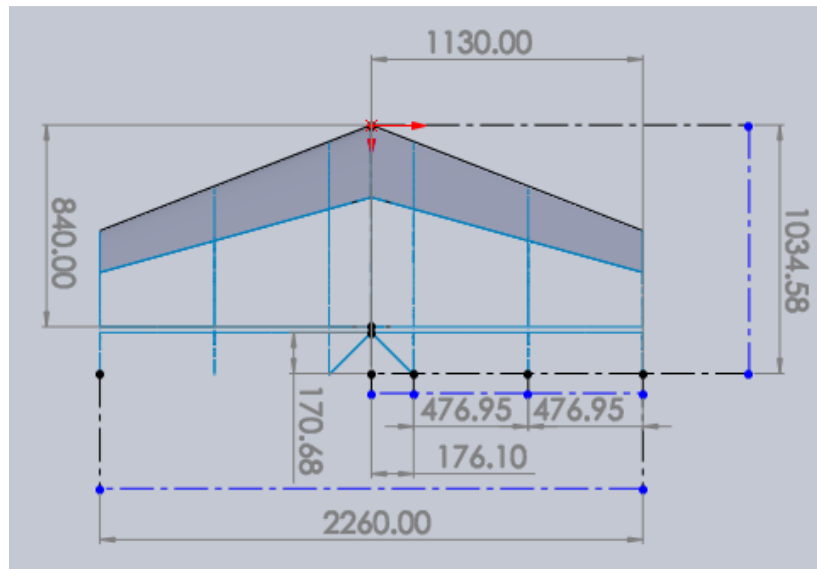
7 pav. Sparnų centroplano geometrija



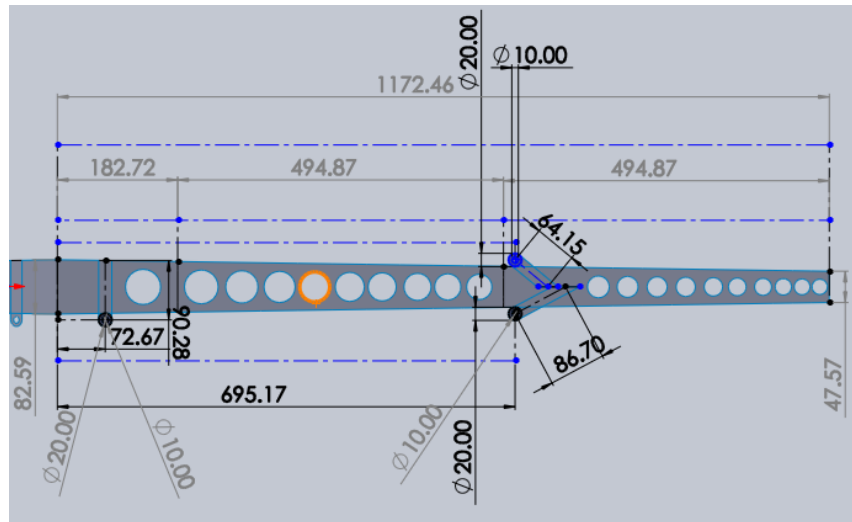
8 pav. Sparnų centroplano pirmojo lonžerono geometrija



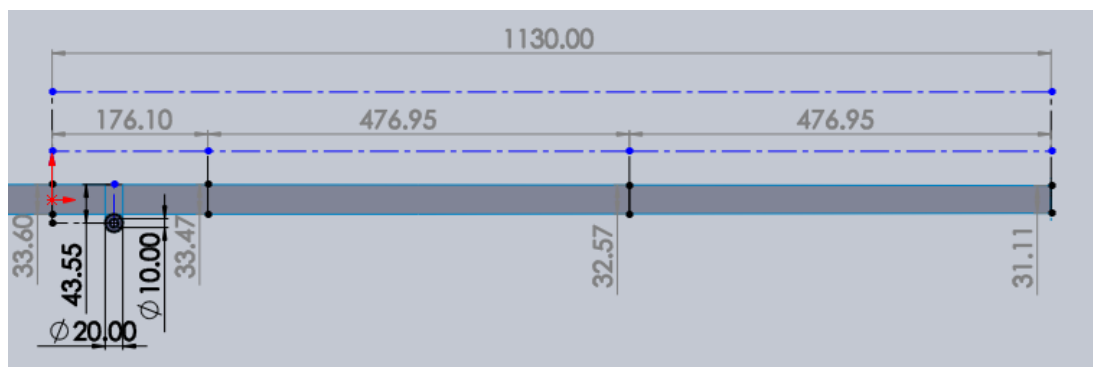
9 pav. Sparnų centroplano antrojo lonžerono geometrija



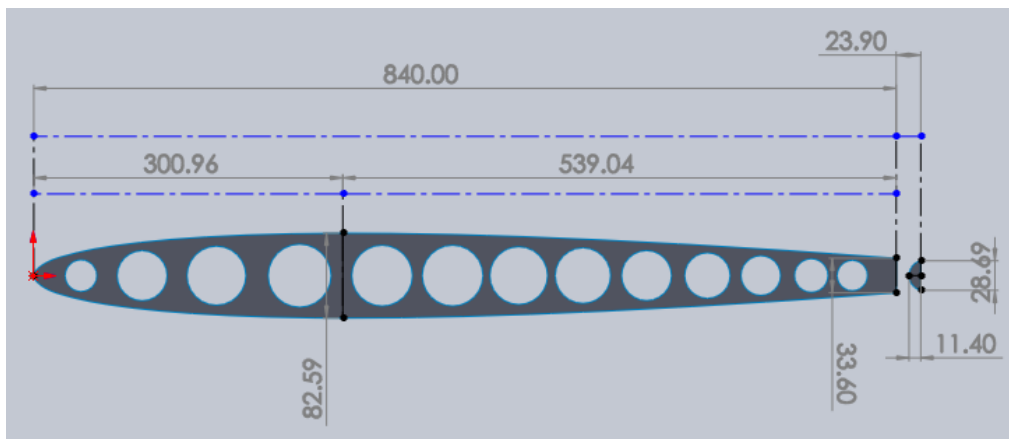
10 pav. Stabilizatoriaus geometrija



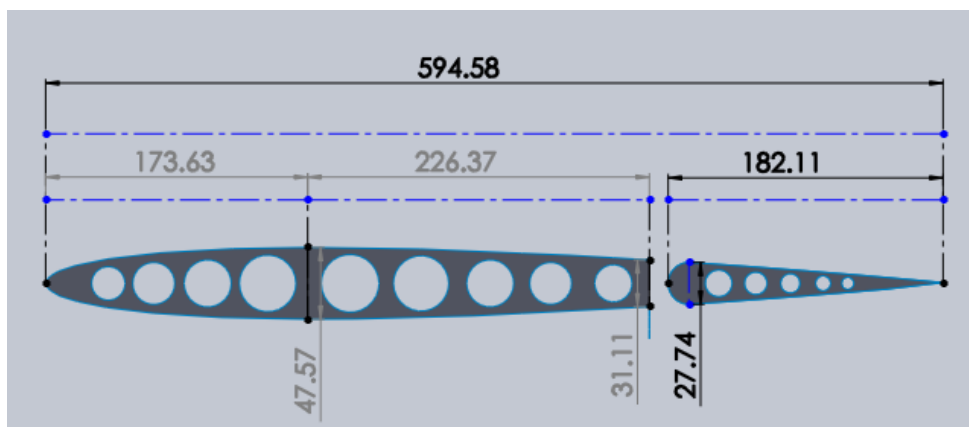
11 pav. Stabilizatoriaus pirmojo lonžerono geometrija



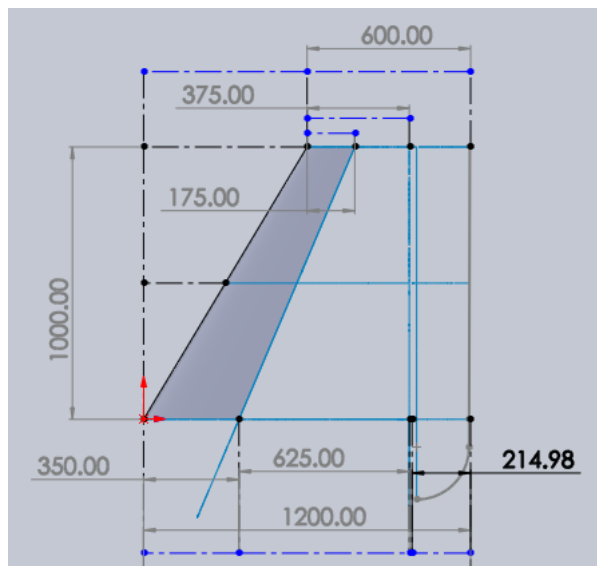
12 pav. Stabilizatoriaus antrojo lonžerono geometrija



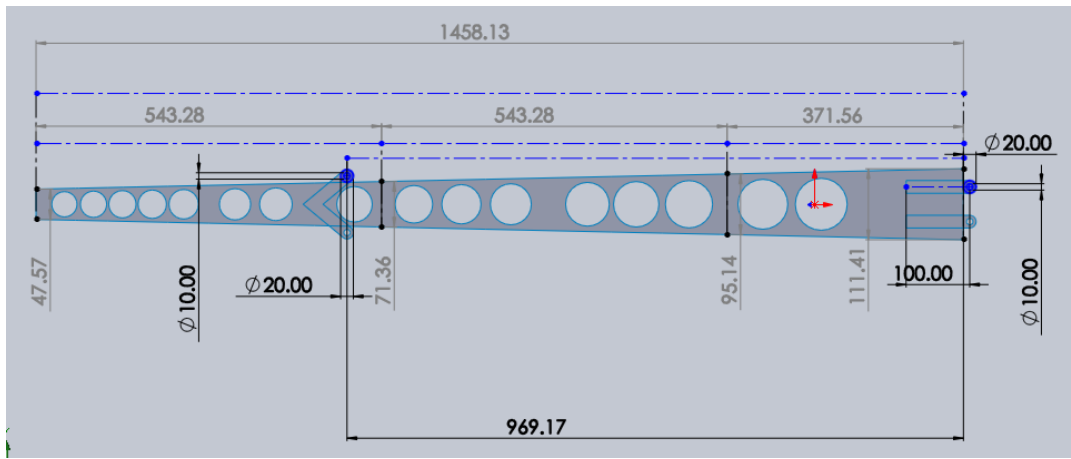
**13 pav.** Stabilizatoriaus pagrindo nerviūros geometrija



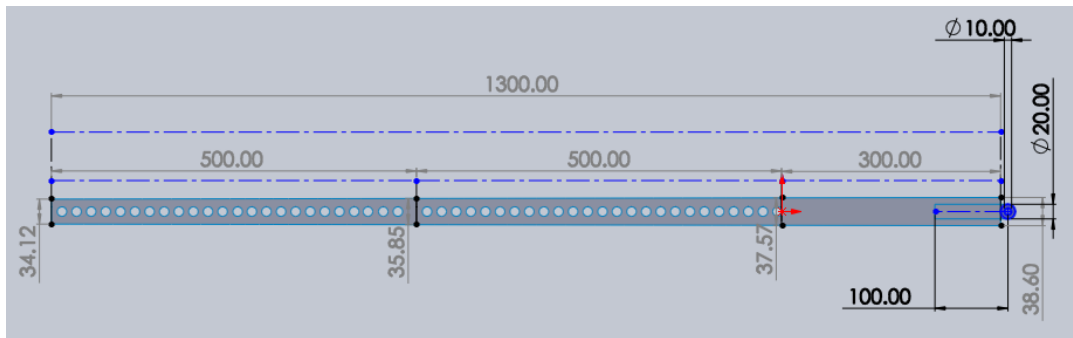
**14 pav.** Stabilizatoriaus galo nerviūros geometrija



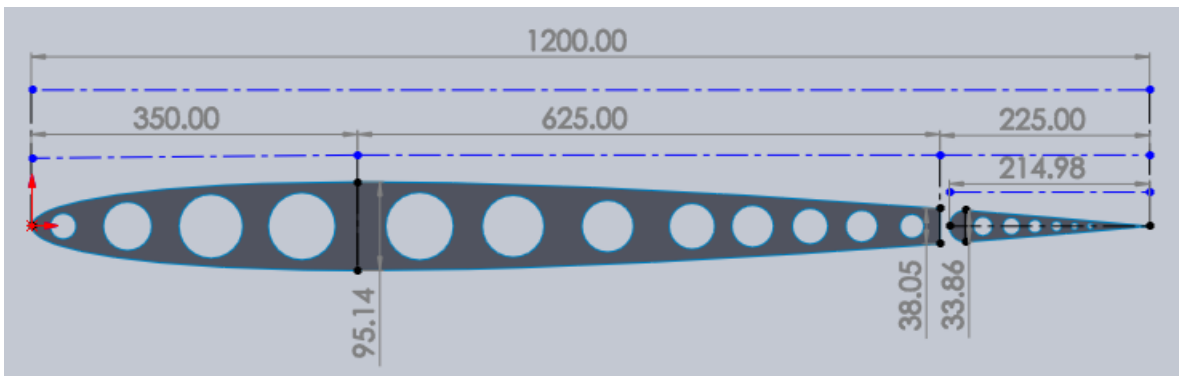
**15 pav.** Kilio geometrija



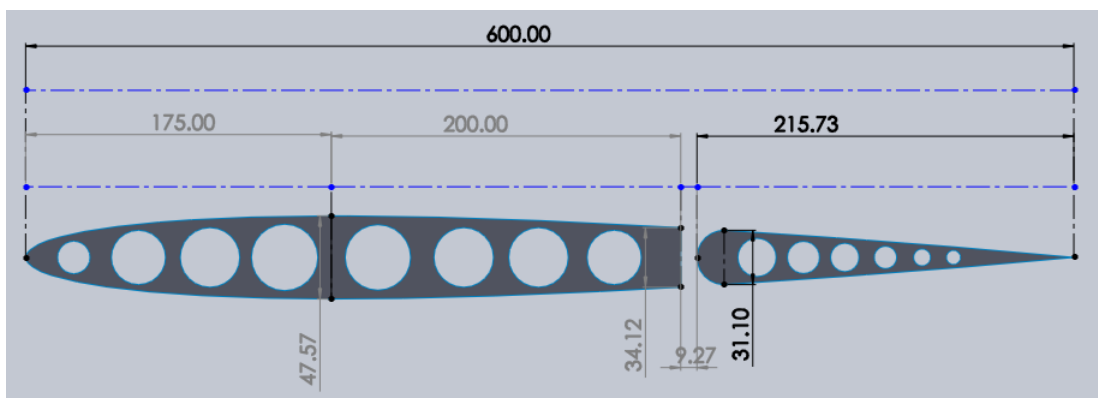
16 pav. Kilio pirmojo lonžerono geometrija



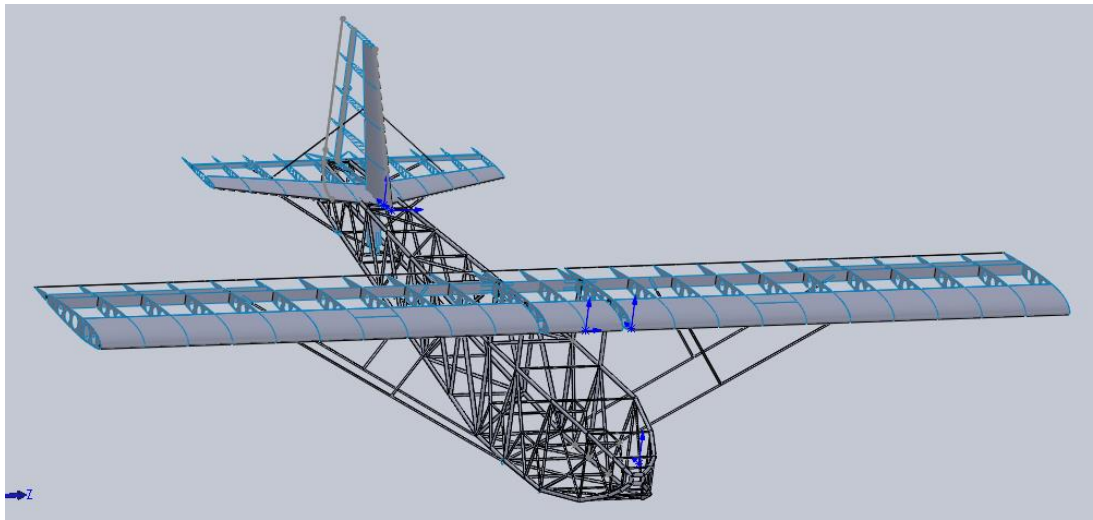
17 pav. Kilio antrojo lonžerono geometrija



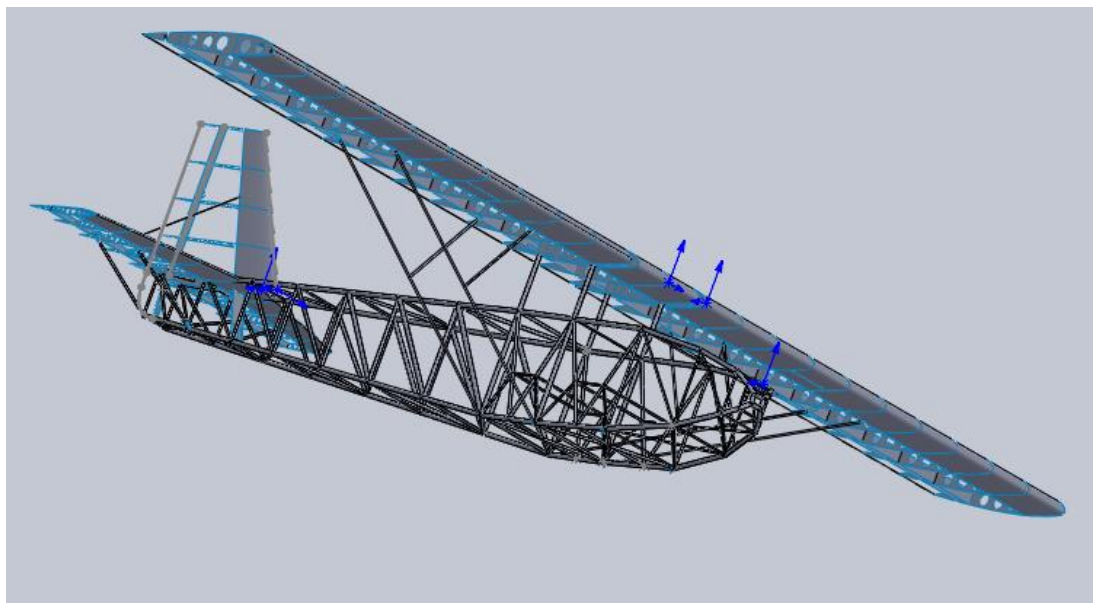
18 pav. Kilio pagrindo nerviūros geometrija



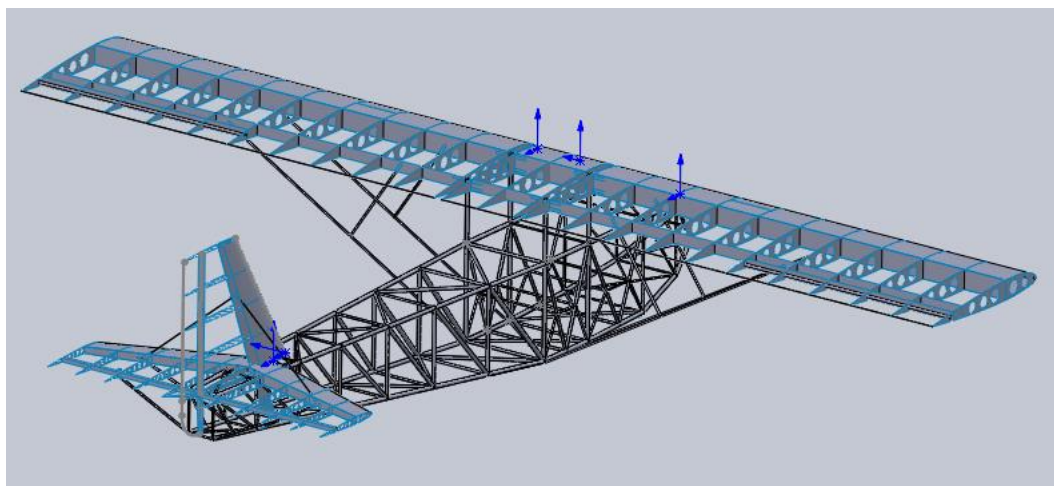
19 pav. Kilio galo nerviūros geometrija



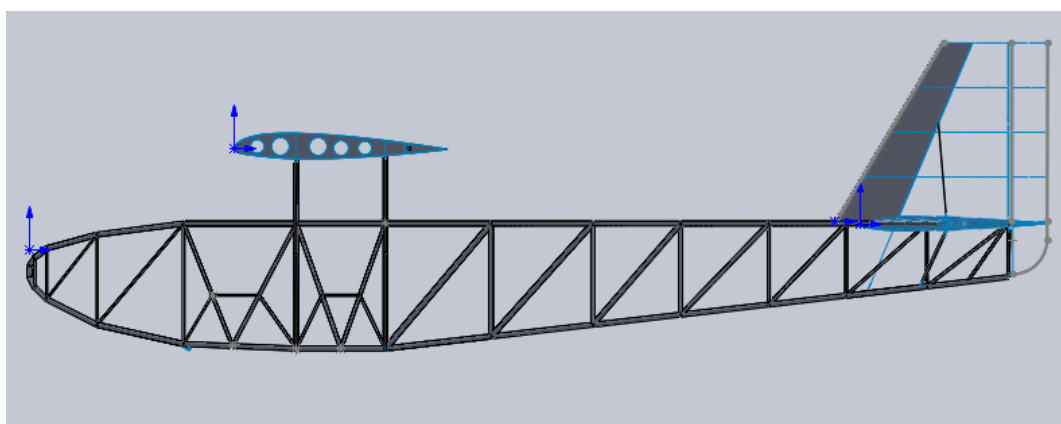
**20 pav.** Surinktas orlaivis



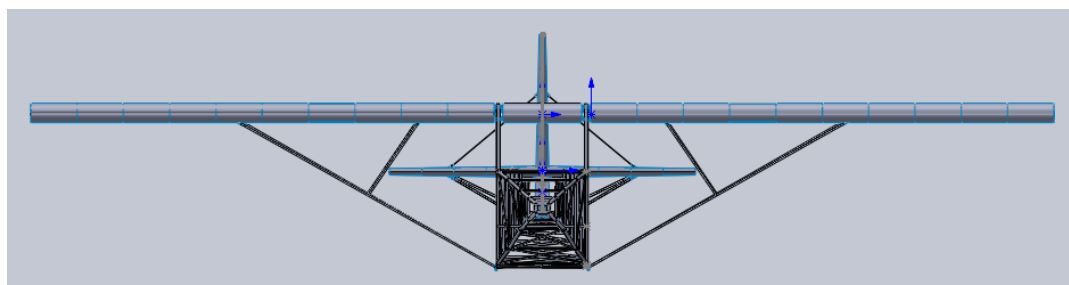
**21 pav.** Surinktas orlaivis



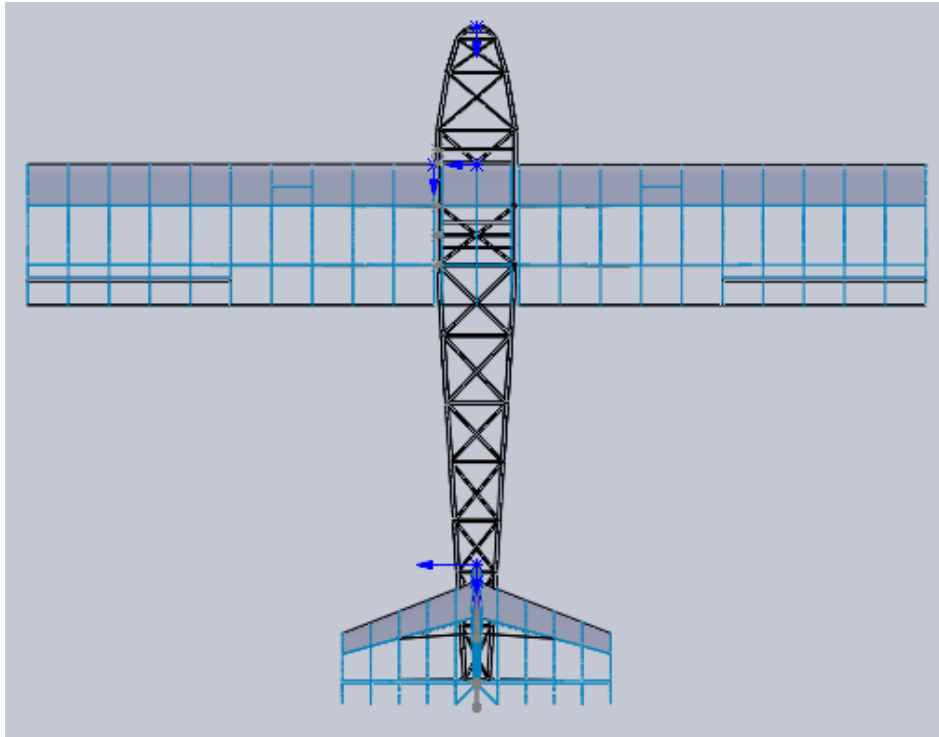
22 pav. Surinktas orlaivis



23 pav. Surinktas orlaivis

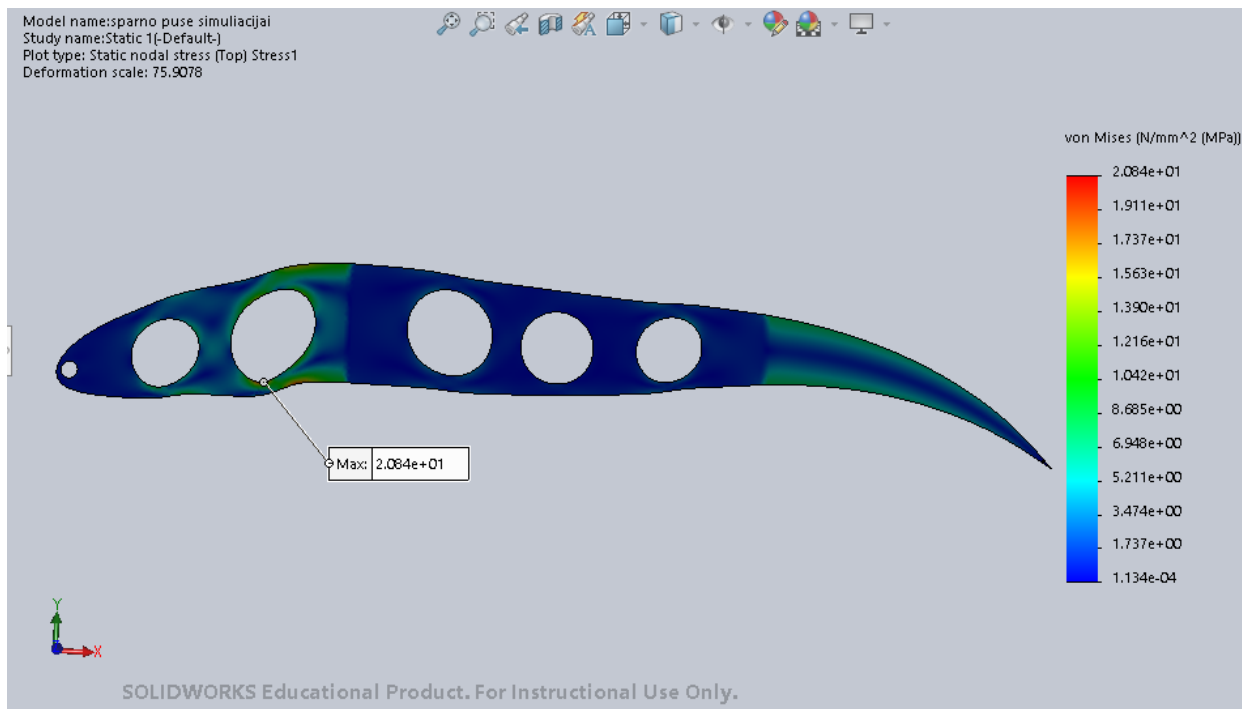


24 pav. Surinktas orlaivis

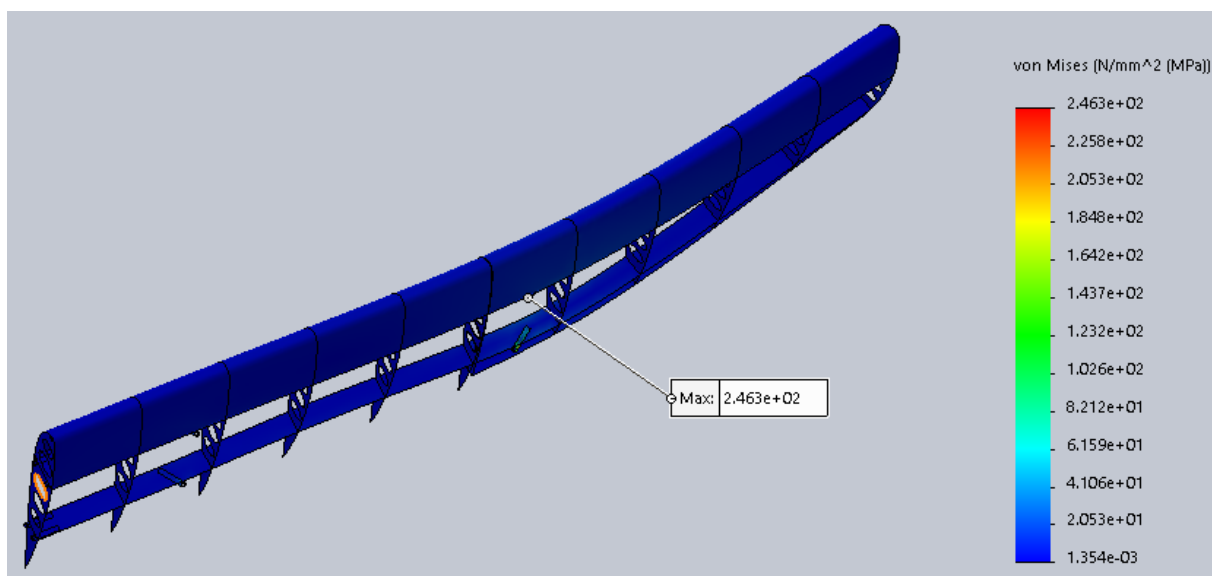


**25 pav.** Surinktas orlaivis

## 6 priedas. Konstrukcijos elementų simuliacijos

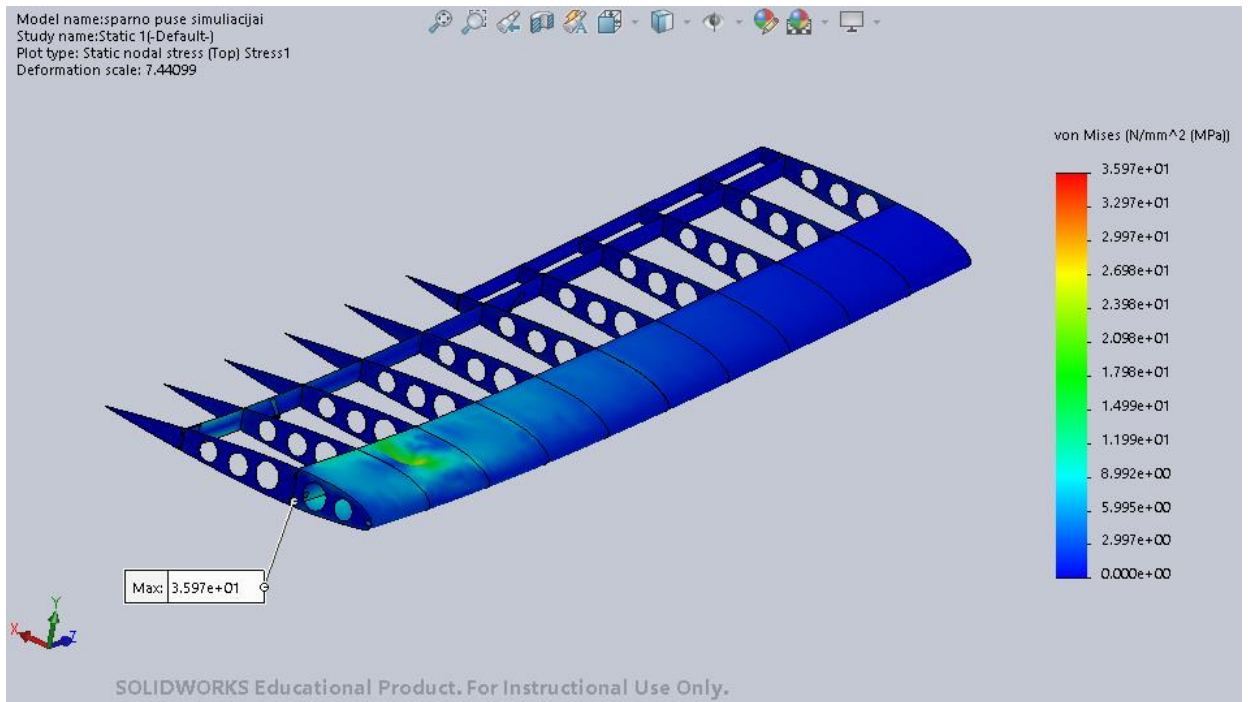


1 pav. Sparno nerviūros simuliacija

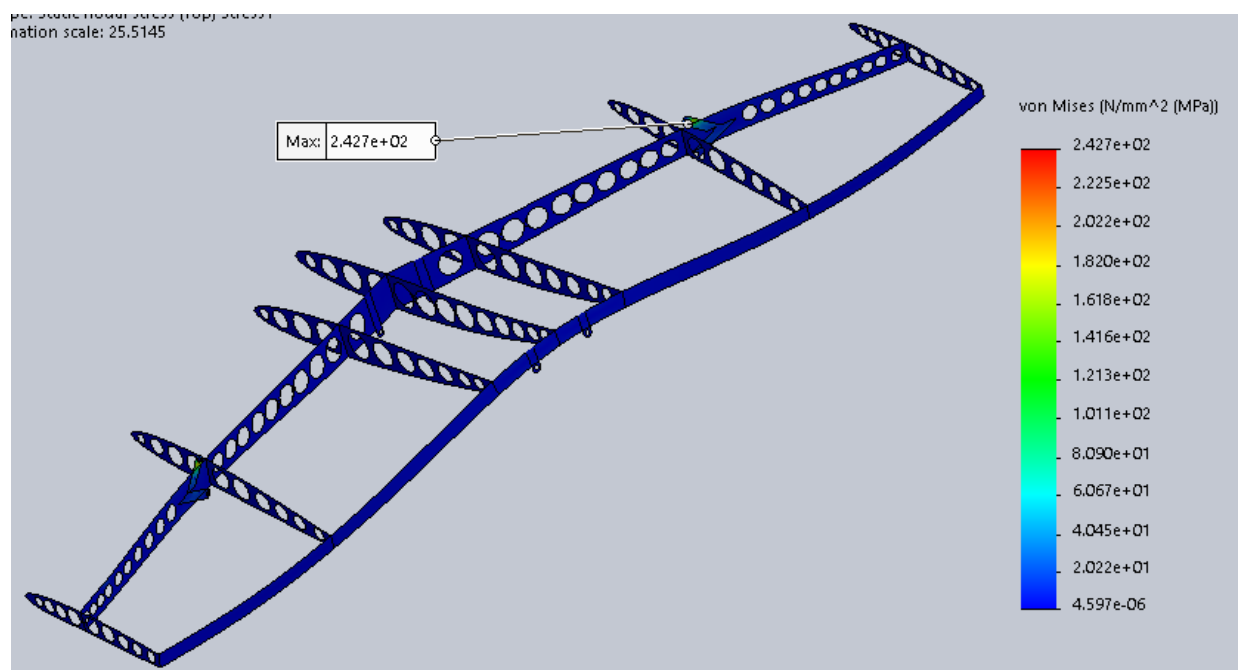


2 pav. Pusės sparno konstrukcijos ir tvirtinimo mazgų simuliacija

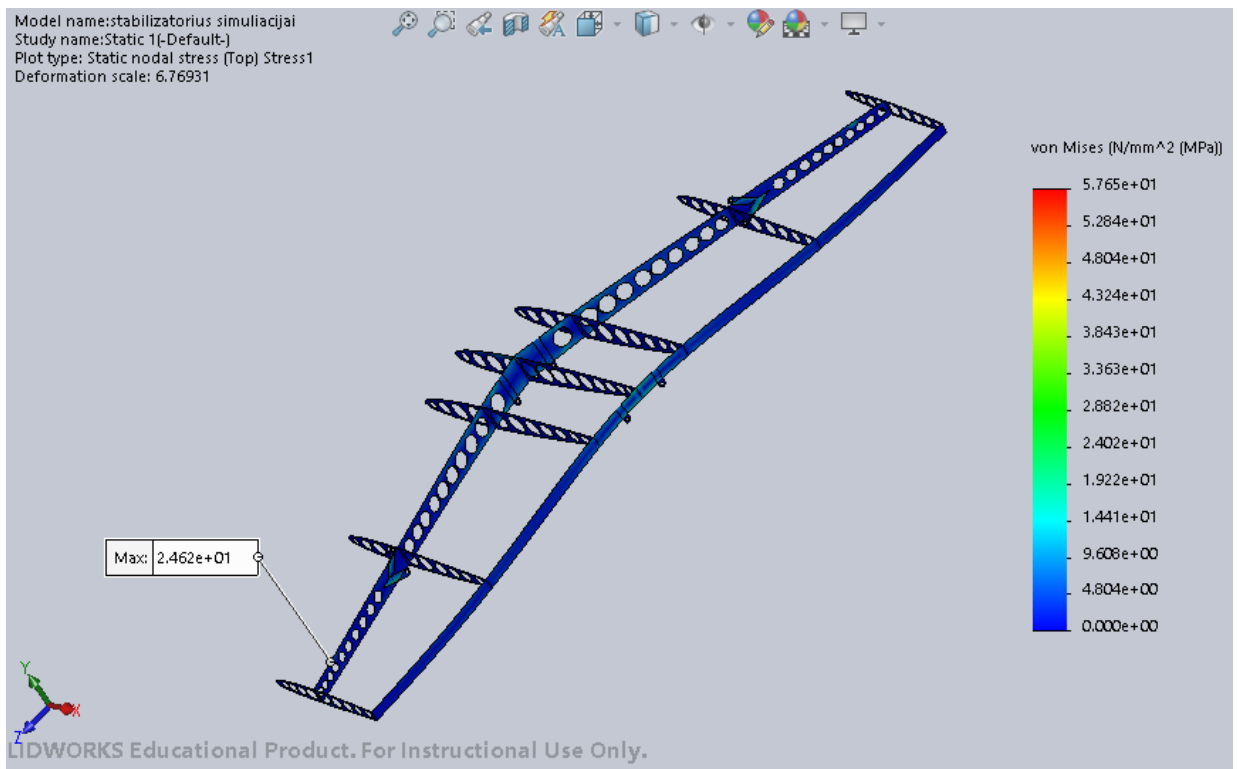




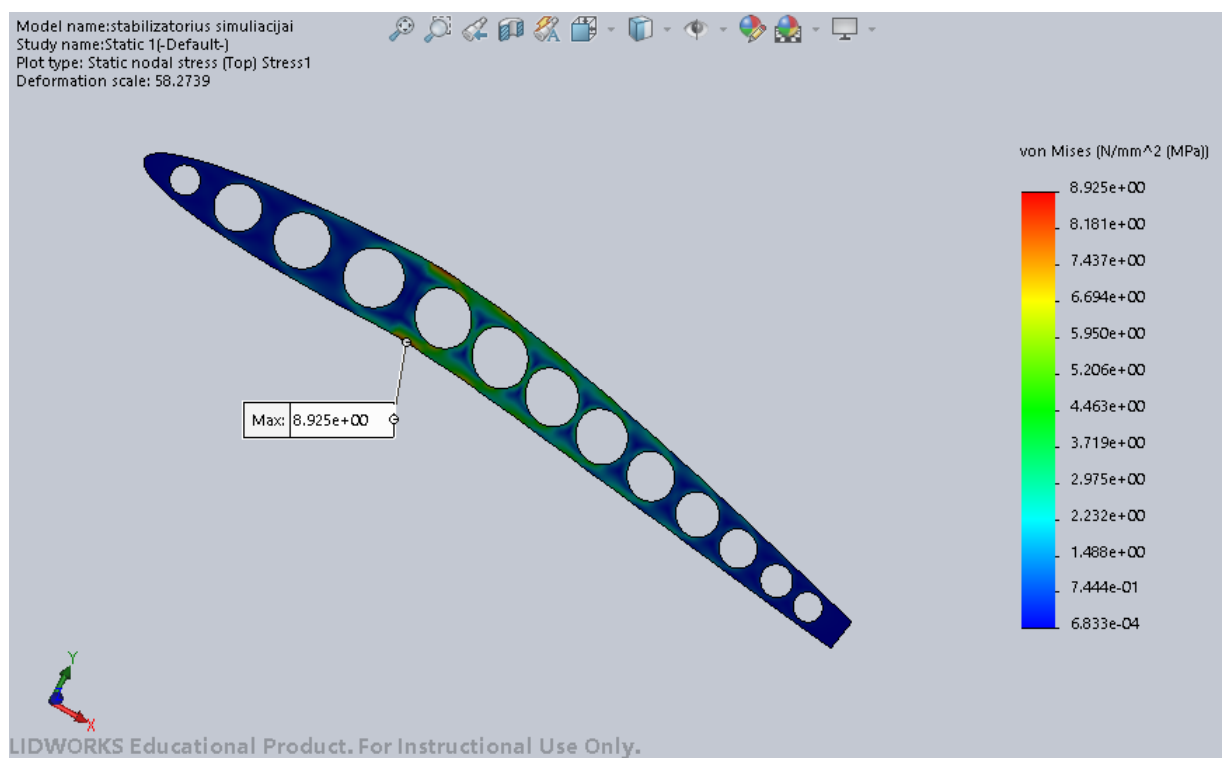
**3 pav.** Sparno jėginių konstrukcijų atsparumo simuliacija



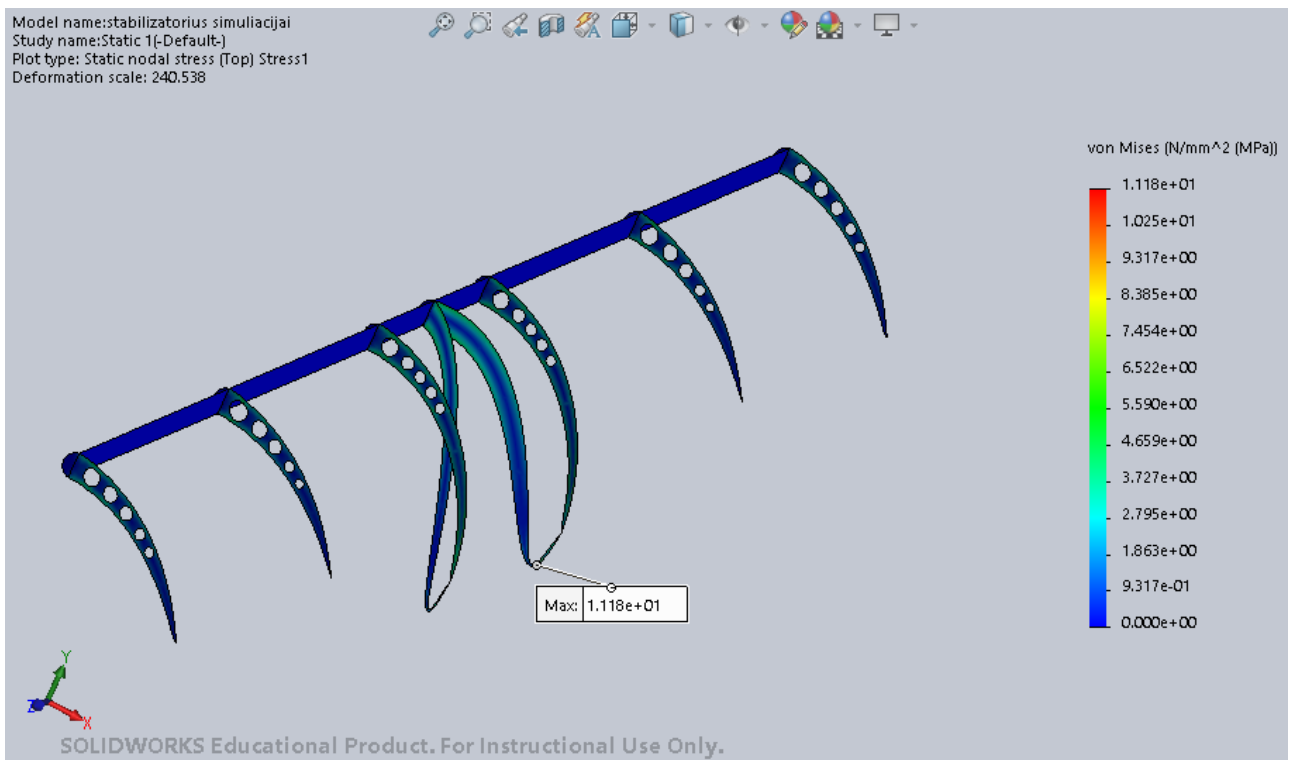
**4 pav.** Stabilizatoriaus tvirtinimo mazgų atsparumas apkrovoms įtvirtinus



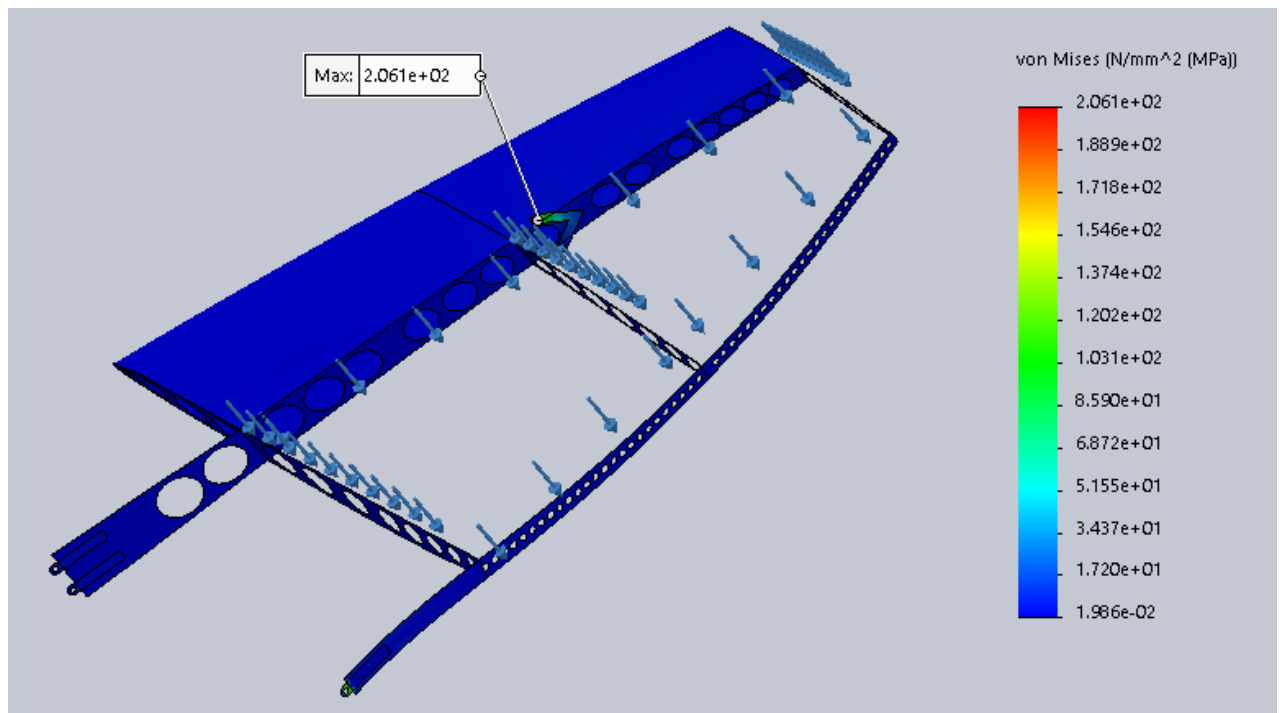
**5 pav. Stabilizatoriaus jėginių konstrukcijų atsparumas apkrovoms**



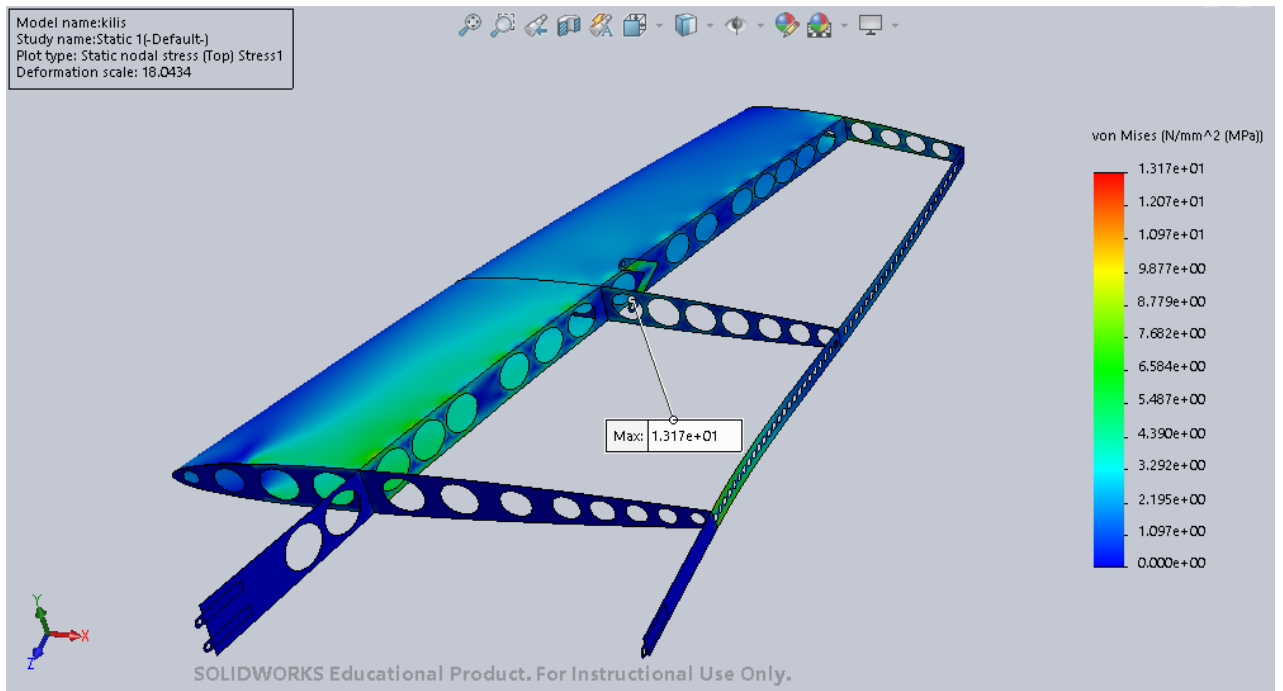
**6 pav. Stabilizatoriaus nerviūros atsparumas apkrovoms**



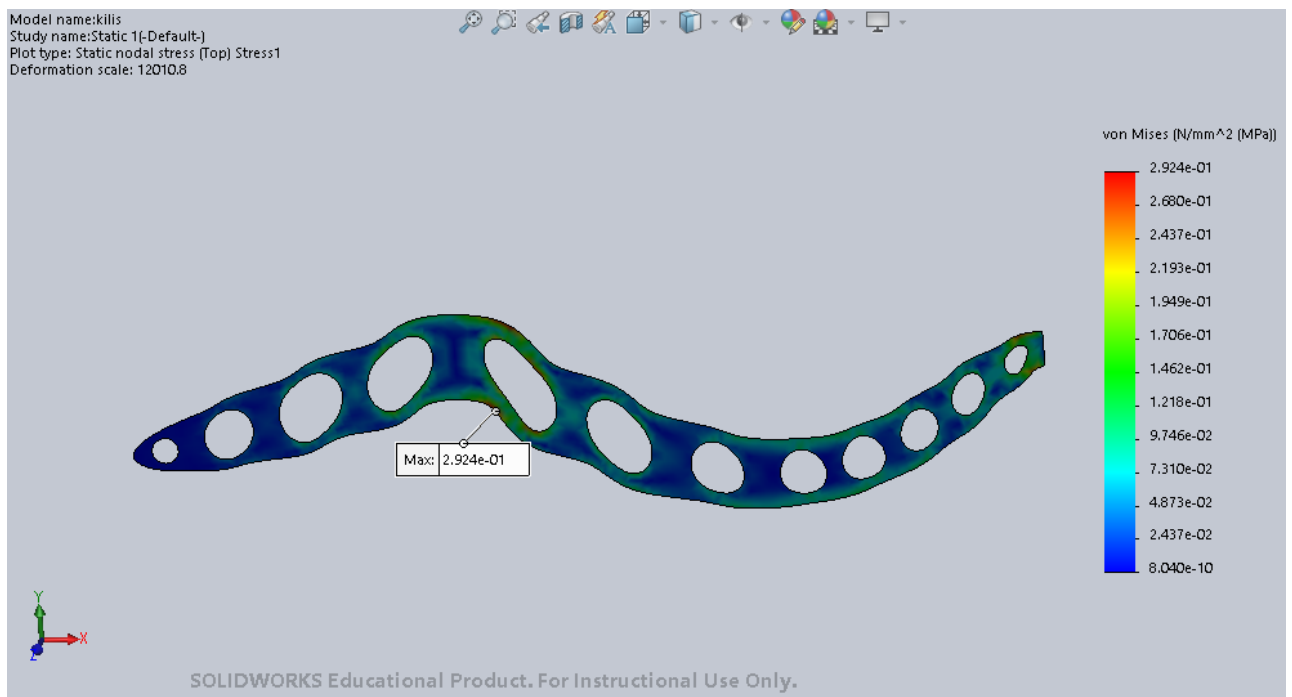
7 pav. Aukščio vairo atsparumas apkrovoms



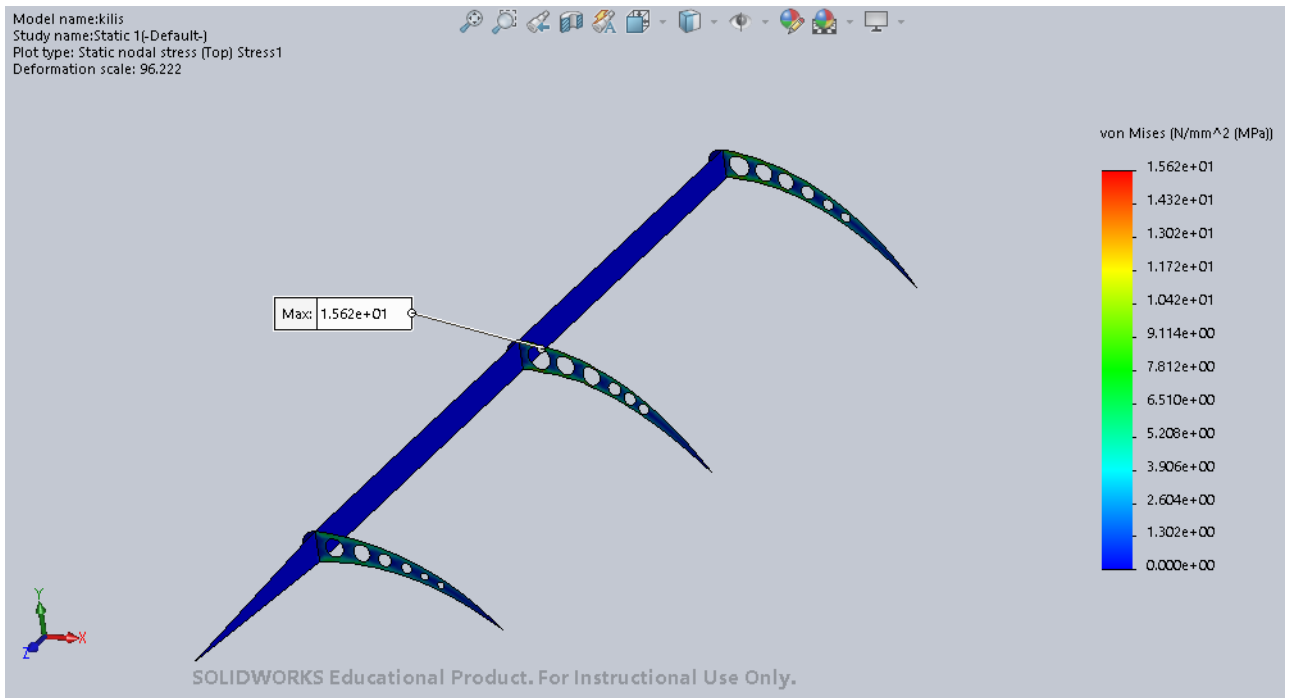
8 pav. Kilio tvirtinimo mazgų atsparumas apkrovoms įtvirtinuis



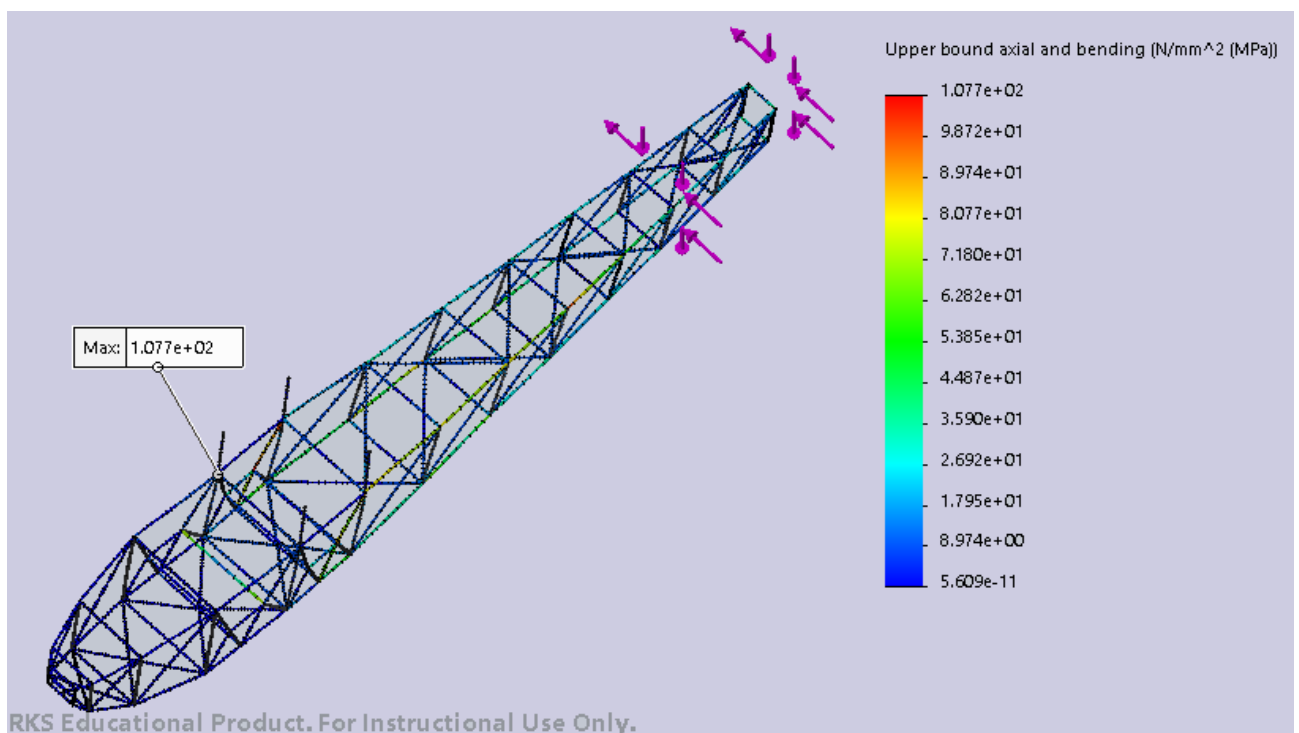
9 pav. Kilio jėginių konstrukcijų atsparumas apkrovoms



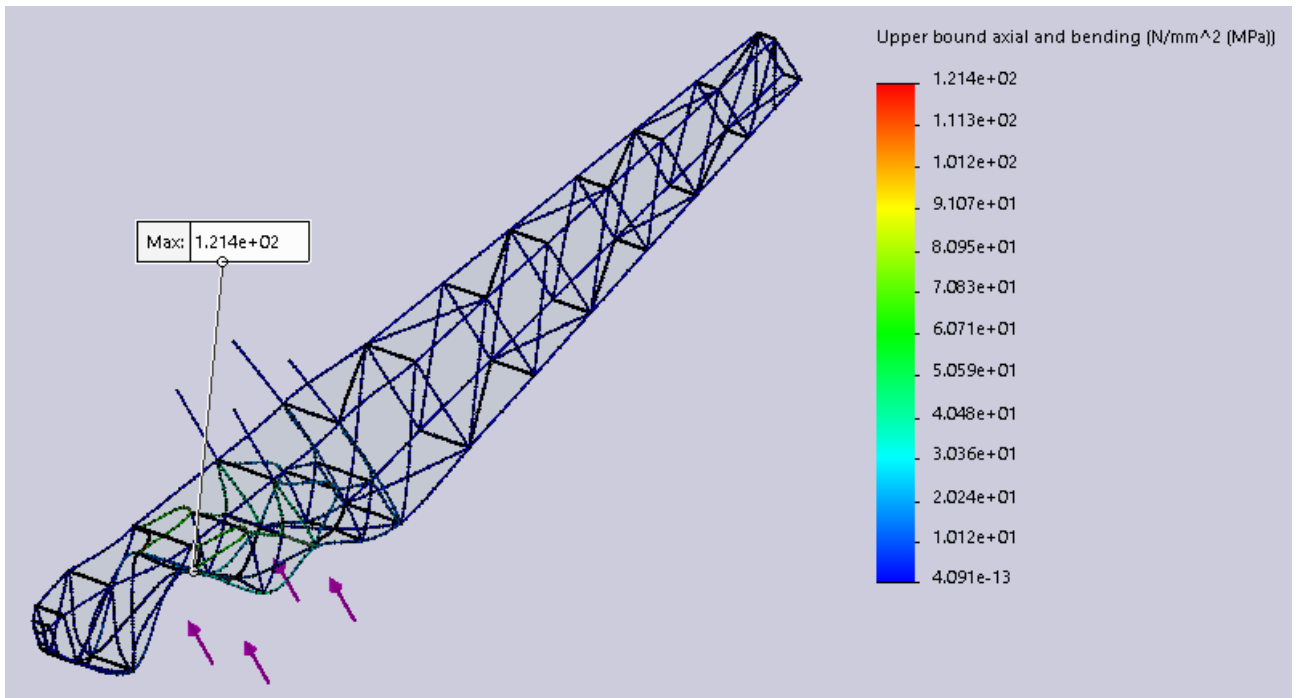
10 pav. Kilio nerviūros atsparumas apkrovoms



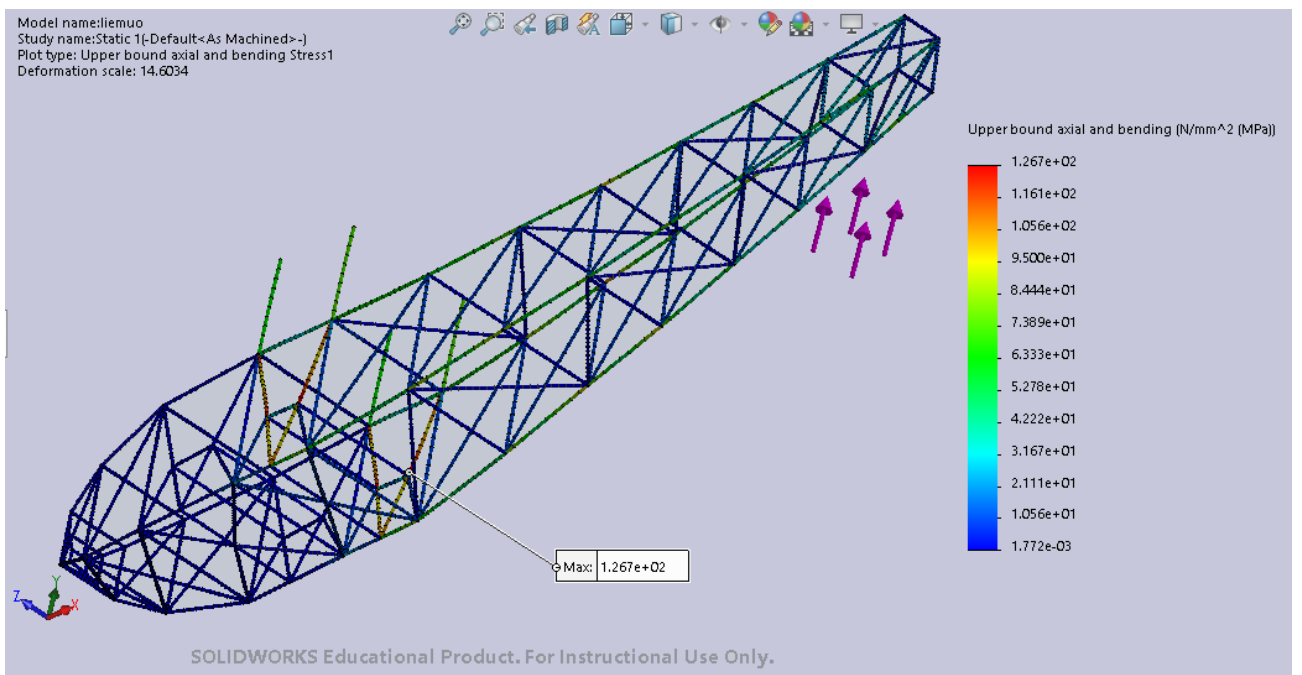
11 pav. Posūchio vairo atsparumas apkrovoms



12 pav. Liemens santvaros atsparumas uodegos plokštumų apkrovoms



13 pav. Liemens santvaros atsparumas priekinės važiuoklės apkrovoms žemės palietimo metu



14 pav. Liemens santvaros atsparumas galinės važiuoklės apkrovoms žemės palietimo metu