



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS

AVIACIJOS TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

## **NAMŲ DARBŲ ATASKAITA**

Atliko: AMf-23/1 grupės studentas

Mantas Kazėnas

Tikrino: Benediktas Ščiučka

VILNIUS 2025

## IVADAS

Namų darbo tikslas- susipažinti su akrobatinio orlaivio Yak-52 sparno konstrukcija ir sujungimo su liemeniu mazgais, apskaičiuoti pagrindinius lonžerono parametrus, sparną veikiančias apkrovas ir sudaryti įrašų diagramas, patikrinti lonžerono stiprumą kritiniame pjūvyje ir sudaryti lonžerono modelį pagal nurodytą sparno su liemeniu tvirtinimo būdą „Solidworks“ programoje.

## UŽDUOTIS IR PRADINĖS SĄLYGOS

P, kg/m <sup>2</sup> N/m <sup>2</sup>	m <sub>max</sub> , kg	AR	$\lambda$	n <sub>a</sub>	L <sub>k</sub> , m	b <sub>k</sub> , m	Kuro tūris, L	Profilio storis, %	Tipas
100 980.67	1600	8	1.3	6.5	1.2	0.5	240	15	Horizont aliu varžtu (1 tipo)

1 lentelė. Pradiniai duomenys.

## ORLAIVIO APRAŠYMAS

Yak-52 yra sovietų gamybos mokomasis ir akrobatinis orlaivis. Tai dvivietis, vieno radialinio variklio lėktuvas su žemai įrengtu sparnu. Orlaivis pradėtas gaminti 1976 metais ir tebėra naudojamas iki šiol. Yak-52 vertinamas dėl tvirtos konstrukcijos, manevringumo ir patikimumo.

Įgula	2
Ilgis	7.745 m
Sparno mojis	9.3m
Aukštis	2.7 m
Sparnų plotas	15m <sup>2</sup>
Tuščio orlaivio svoris	1015 kg
Maksimalus kylimo svoris	1305 kg
Jėgainė	1 × Vedeneyev M-14P - 9 cilindrų radialinis variklis
Jėgainės galia	270 kW
Maksimalus greitis	285 km/val

Kruizinis greitis	190 km/val
Maksimalus skrydžio nuotolis	550 km
g limitas	+7 / -5 g

2 lentelė. Yak-52 pagrindinės charakteristikos.



1 pav. Yak-52 orlaivio nuotrauka.

## SKAIČIAVIMAI IR BRĖŽINIAI

*Maksimalus svoris:*

$$W = m \cdot g = 1600 \cdot 9.81 = 15696N;$$

W – orlaivio masė, N;

m – orlavio masė, kg;

g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s<sup>2</sup>;

*Sparno plotas:*

$$p = P \cdot g = 100 \cdot 9.81 = 98.1kN/m^2;$$

$$S = \frac{W}{p} = \frac{15696}{980.665} = 116.01 m^2;$$

S – sparno plotas, m<sup>2</sup>

$p$  – maksimalus įkrovimas į sparną,  $N/m^2$ ;

*Sparno mostas:*

$$b = \sqrt{S \cdot AR} = \sqrt{8 \cdot 16.01} = 11.32 \text{ m};$$

$b$  – sparno mojis, m;

$AR$  – sparno proilgis.

*Šakninės ir galinės stygos*

$$C_{\text{šak}} = C_{\text{gal}} \cdot \lambda = 1.23 \cdot 1.3 = 1.599 \text{ m};$$

$$C_{\text{gal}} = \frac{2S}{b(\lambda+1)} = \frac{2 \cdot 16.06}{11.31(1.3+1)} = 1.23 \text{ m};$$

$C_{\text{gal}}$  – galutinė styga, m;

$C_{\text{šak}}$  – šaknies styga, m;

$\lambda$  – sparno susiaurėjimas.

*Sparno aukštis:*

$$C_g = \frac{b}{A} = \frac{11.32}{8} = 1.415 \text{ m};$$

$$H_{\text{sparnas}} = C_g \cdot \text{Profilio Storis} = 1.415 \cdot 15\% = 0.21225 \text{ m};$$

$C_g$  – geometrinė styga, m;

$A$  – Sparno proilgis.

$H_{\text{sparnas}}$  – sparno aukštis, m;

*Perkrovos koeficientas:*

$$n_u = n_e \cdot f = 1.5 \cdot 6.5 = 9.75;$$

$n_e$  – eksploatacinis perkrovos koeficientas;

$f$  – atsargos koeficientas;

*Sparno keliamoji jėga:*

$$n_e = \frac{L_e}{W}; L_e = n_e \cdot W;$$

$$L_u = W \cdot n_e \cdot f = 15696 \cdot 6.5 \cdot 1.5 = 153036 \text{ N};$$

*Aerodinaminė apkrova:*

$$q_1 = p \cdot C_{\text{šak}} \cdot n_u = 980.665 \cdot 9.75 \cdot 1.599 = 15288.81 \text{ N/m};$$

$$q_2 = p \cdot C_{\text{gal}} \cdot n_u = 980.665 \cdot 9.75 \cdot 1.23 = 11760.63 \text{ N/m};$$



$$Q_{in} = \frac{q_1 - q_2}{b/2} = \frac{15288.81 - 11760.63}{11.32/2} = 623.35 \text{ kN/m};$$

**Skersinės jėgos, pjūvyje atstumu  $L_i$  be degalų.**

$$Q_{ai} = \frac{a_i + b_i}{2} \cdot (L - L_i);$$

$L_i$  – pjūvio atstumas nuo sujungimo su liemeniu.

$Q_{a, \max} = 76.5515 \text{ kN}$ , gauta su  $i = 0$ ;

$Q_{a, \min} = 0 \text{ kN}$ , gauta su  $i = i_{\max} = 57$ ;

**Kuro skersinės jėgos, pjūvyje atstumu  $L_i$ .**

Kadangi kuro bakas yra įrengtas atstume  $0.5 \text{ m} - 1.7 \text{ m}$  nuo liemens, skersinių jėgų pokytis egzistuoja tiktais šiame ruože, einant arčiau liemens skersinė jėga išliks tokia pati kaip ir maksimali, einant toliau nuo liemens, skersinės jėgos nebus, tai matoma ir skaičiavimuose.

$$Q_{ki} = q_{kuro} \cdot (L - L_i);$$

$Q_{k, \max} = 8.608 \text{ kN}$ , gauta su  $0 < i < 5$ , kai  $L_i < 0.5 \text{ m}$ ;

$Q_{k, \min} = 0 \text{ kN}$ , gauta su  $17 < i < 57$ , kai  $L_i > 1.7 \text{ m}$ ;

**Bendra skersinė jėga.**

Bendra skersinė jėga atstumu  $L_i$  yra lygi iš  $Q_{ai}$  atėmus  $Q_{ki}$ , skersinės jėgos.

$$Q_i = Q_a - Q_k;$$

$Q_{\max} = 67.94 \text{ kN}$ , gauta su  $i = 0$ ;

$Q_{\min} = 0 \text{ kN}$ , gauta su  $i = i_{\max} = 57$ ;

**Keliamosios jėgos pridėjimo taškas.**

Jėgos pridėjimo taškas randamas trapecijos svorio centro koordinatės formule, pasitelkiant išskirstytą apkrovą kaip trapeciją.

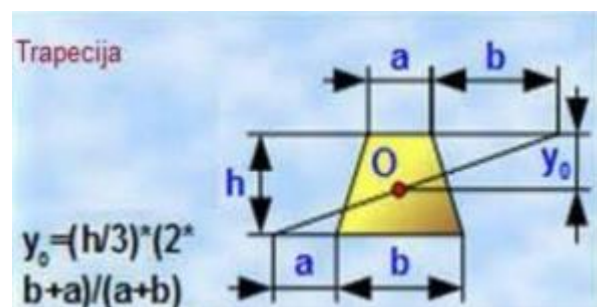
$$y_{0, \text{kelimo}} = \frac{h}{3} \cdot \frac{2b + a}{b + a};$$

$y_{0, \max} = 2.953 \text{ m}$ , gauta su  $i = 0$ ;

$y_{0, \min} = 0 \text{ m}$ , gauta su  $i = i_{\max} = 57$ ;

**Degalų jėgos pridėjimo taškas.**

Degalų jėgos pridėjimo taškas reikalingas tik iki  $L_i = 1.7 \text{ m}$ , nes už šio atstumo pridedama jėga neegzistuoja.



pav. 3 Trapecijos Svorio centro koordinatės formulė

$$y_{0, \text{ kuro}} = \frac{b_i - a_i}{2};$$

$$y_{0, \text{ kuro, max}} = 0.8\text{m, gauta su } i = 0;$$

$$y_{0, \text{ kuro, min}} = 0\text{m, gauta su } i < 16;$$

### ***Lenkimo momentas.***

Lenkimo momentas yra randamas sudauginus jėgą su pridėjimo tašku. Kadangi turime dvi skirtingas jėgas kurios veikia priešingai viena kitai, pilnas lenkimo momentas gaunamas atimant kuro lenkimo momentą iš kelimo momento.

$$M_b = Q_{ai} \cdot y_{0, \text{ kelimo}} - Q_{ki} \cdot y_{0, \text{ kuro}};$$

$$M_{b, \text{ max}} = 218.7475\text{kNm, gauta su } i = 0;$$

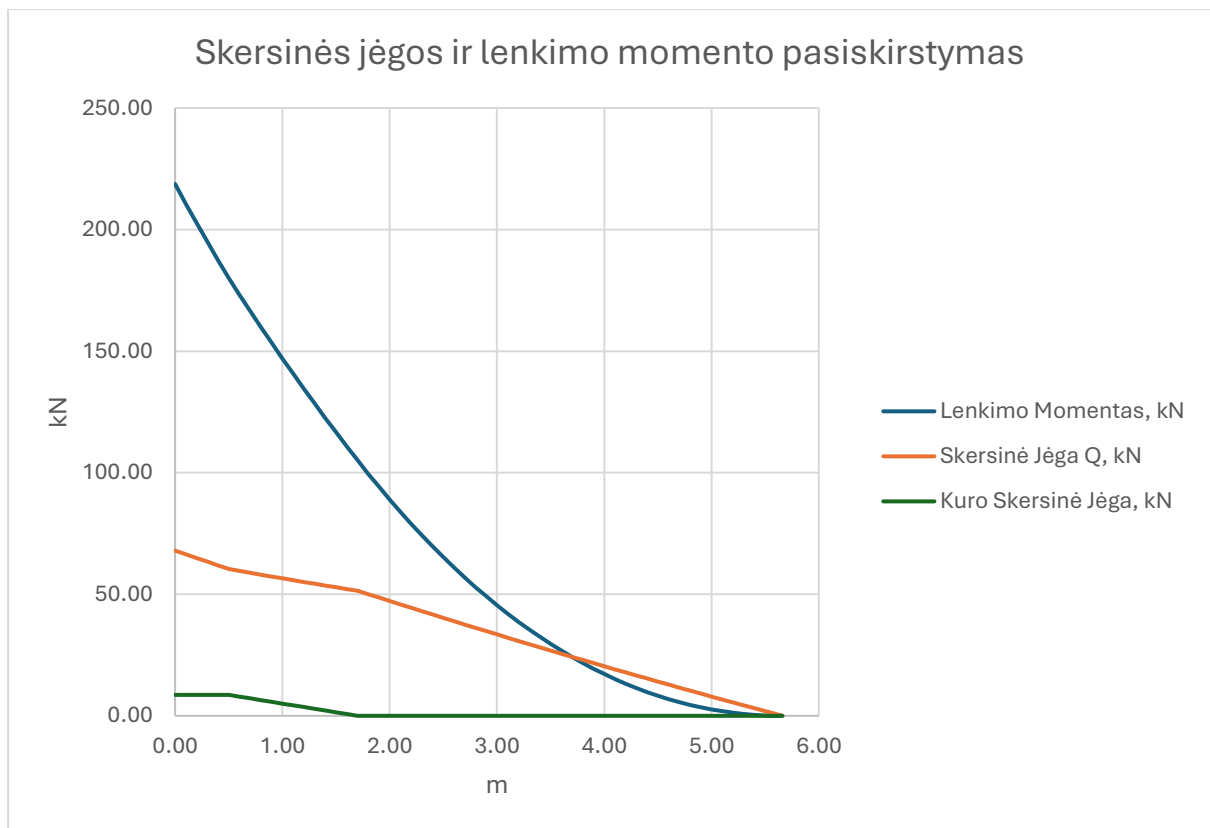
$$M_{b, \text{ min}} = 0\text{kNm, gauta su } i = i_{\text{max}} = 57;$$

### ***Skaičiavimų lentelė, bei pasiskirstymų diagramos iš „Excel“:***

i	Pjūvio koordinatė	qi, KN	qi, KN2	Skersinė Jėga be kuro	Kuro skersinė jėga	Skersinė Jėga su kuro	y0 be kuro	y0 kuro	Lenkimo momentas be kuro	Kuro Lenkimo momentas	Bendras Lenkimo Momentas
0.00	0.00	15.29	15.29	76.55	8.61	67.94	2.95	0.85	226.06	-7.32	218.75
1.00	0.10	15.23	15.23	75.03	8.61	66.42	2.90	0.80	217.50	-6.89	210.62
2.00	0.20	15.17	15.17	73.51	8.61	64.90	2.85	0.75	209.13	-6.46	202.67
3.00	0.30	15.10	15.10	71.99	8.61	63.38	2.79	0.70	200.94	-6.03	194.92
4.00	0.40	15.04	15.04	70.49	8.61	61.88	2.74	0.65	192.94	-5.60	187.34
5.00	0.50	14.98	14.98	68.98	8.61	60.38	2.68	0.60	185.12	-5.16	179.96
6.00	0.60	14.92	14.92	67.49	7.89	59.60	2.63	0.55	177.48	-4.34	173.14
7.00	0.70	14.85	14.85	66.00	7.17	58.83	2.58	0.50	170.03	-3.59	166.44
8.00	0.80	14.79	14.79	64.52	6.46	58.06	2.52	0.45	162.75	-2.91	159.84
9.00	0.90	14.73	14.73	63.04	5.74	57.30	2.47	0.40	155.65	-2.30	153.35
10.00	1.00	14.67	14.67	61.57	5.02	56.55	2.42	0.35	148.73	-1.76	146.97
11.00	1.10	14.60	14.60	60.11	4.30	55.81	2.36	0.30	141.98	-1.29	140.69
12.00	1.20	14.54	14.54	58.65	3.59	55.07	2.31	0.25	135.41	-0.90	134.51
13.00	1.30	14.48	14.48	57.20	2.87	54.33	2.26	0.20	129.01	-0.57	128.43
14.00	1.40	14.42	14.42	55.76	2.15	53.60	2.20	0.15	122.78	-0.32	122.46
15.00	1.50	14.35	14.35	54.32	1.43	52.88	2.15	0.10	116.72	-0.14	116.58
16.00	1.60	14.29	14.29	52.89	0.72	52.17	2.10	0.05	110.84	-0.04	110.80
17.00	1.70	14.23	14.23	51.46	0.00	51.46	2.04	0.00	105.12	0.00	105.12
18.00	1.80	14.17	14.17	50.04	0.00	50.04	1.99	0.00	99.57	0.00	99.57
19.00	1.90	14.11	14.11	48.63	0.00	48.63	1.94	0.00	94.18	0.00	94.18
20.00	2.00	14.04	14.04	47.22	0.00	47.22	1.88	0.00	88.96	0.00	88.96
21.00	2.10	13.98	13.98	45.82	0.00	45.82	1.83	0.00	83.90	0.00	83.90
22.00	2.20	13.92	13.92	44.42	0.00	44.42	1.78	0.00	79.00	0.00	79.00
23.00	2.30	13.86	13.86	43.03	0.00	43.03	1.73	0.00	74.27	0.00	74.27
24.00	2.40	13.79	13.79	41.65	0.00	41.65	1.67	0.00	69.69	0.00	69.69

25.00	2.50	13.73	13.73	40.28	0.00	40.28	1.62	0.00	65.28	0.00	65.28
26.00	2.60	13.67	13.67	38.91	0.00	38.91	1.57	0.00	61.01	0.00	61.01
27.00	2.70	13.61	13.61	37.54	0.00	37.54	1.52	0.00	56.91	0.00	56.91
28.00	2.80	13.54	13.54	36.18	0.00	36.18	1.46	0.00	52.96	0.00	52.96
29.00	2.90	13.48	13.48	34.83	0.00	34.83	1.41	0.00	49.16	0.00	49.16
30.00	3.00	13.42	13.42	33.49	0.00	33.49	1.36	0.00	45.52	0.00	45.52
31.00	3.10	13.36	13.36	32.15	0.00	32.15	1.31	0.00	42.02	0.00	42.02
32.00	3.20	13.29	13.29	30.82	0.00	30.82	1.26	0.00	38.68	0.00	38.68
33.00	3.30	13.23	13.23	29.49	0.00	29.49	1.20	0.00	35.48	0.00	35.48
34.00	3.40	13.17	13.17	28.17	0.00	28.17	1.15	0.00	32.43	0.00	32.43
35.00	3.50	13.11	13.11	26.86	0.00	26.86	1.10	0.00	29.53	0.00	29.53
36.00	3.60	13.04	13.04	25.55	0.00	25.55	1.05	0.00	26.77	0.00	26.77
37.00	3.70	12.98	12.98	24.25	0.00	24.25	1.00	0.00	24.15	0.00	24.15
38.00	3.80	12.92	12.92	22.95	0.00	22.95	0.94	0.00	21.68	0.00	21.68
39.00	3.90	12.86	12.86	21.66	0.00	21.66	0.89	0.00	19.35	0.00	19.35
40.00	4.00	12.80	12.80	20.38	0.00	20.38	0.84	0.00	17.15	0.00	17.15
41.00	4.10	12.73	12.73	19.10	0.00	19.10	0.79	0.00	15.10	0.00	15.10
42.00	4.20	12.67	12.67	17.83	0.00	17.83	0.74	0.00	13.18	0.00	13.18
43.00	4.30	12.61	12.61	16.57	0.00	16.57	0.69	0.00	11.40	0.00	11.40
44.00	4.40	12.55	12.55	15.31	0.00	15.31	0.64	0.00	9.75	0.00	9.75
45.00	4.50	12.48	12.48	14.06	0.00	14.06	0.59	0.00	8.24	0.00	8.24
46.00	4.60	12.42	12.42	12.82	0.00	12.82	0.53	0.00	6.85	0.00	6.85
47.00	4.70	12.36	12.36	11.58	0.00	11.58	0.48	0.00	5.60	0.00	5.60
48.00	4.80	12.30	12.30	10.34	0.00	10.34	0.43	0.00	4.48	0.00	4.48
49.00	4.90	12.23	12.23	9.12	0.00	9.12	0.38	0.00	3.49	0.00	3.49
50.00	5.00	12.17	12.17	7.90	0.00	7.90	0.33	0.00	2.62	0.00	2.62
51.00	5.10	12.11	12.11	6.68	0.00	6.68	0.28	0.00	1.88	0.00	1.88
52.00	5.20	12.05	12.05	5.48	0.00	5.48	0.23	0.00	1.26	0.00	1.26
53.00	5.30	11.98	11.98	4.27	0.00	4.27	0.18	0.00	0.77	0.00	0.77
54.00	5.40	11.92	11.92	3.08	0.00	3.08	0.13	0.00	0.40	0.00	0.40
55.00	5.50	11.86	11.86	1.89	0.00	1.89	0.08	0.00	0.15	0.00	0.15
56.00	5.60	11.80	11.80	0.71	0.00	0.71	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02
57.00	5.66	11.76	11.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

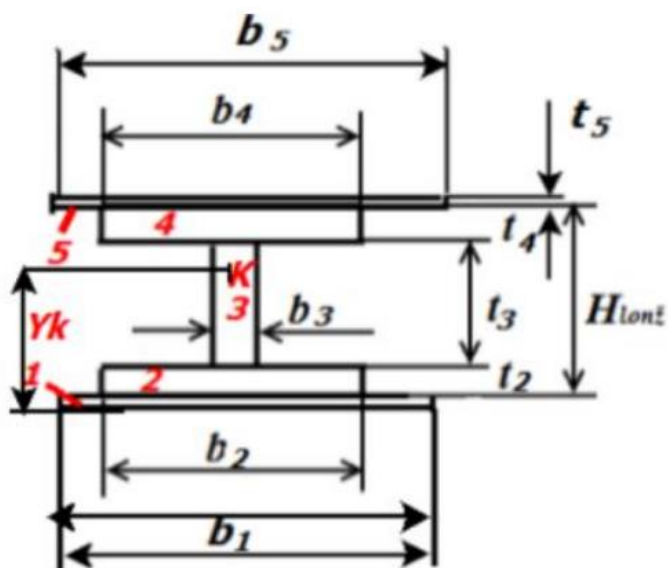
4 lentelė, Skersinių jėgų ir lenkimo momentų skaičiavimo pjūviuose rezultatai.



3pav. Skersinės jėgos ir lenkimo momento pasiskirstymas pagal sparno mostą.

## LONŽERONO STIPRUMO SKAIČIAVIMAI IR PARAMETRŲ PARINKIMAS

Šiai daliai atlikti, buvo pasirenkta skaičiavimus atlikti „MatLAB“ programoje, kadangi ja lengva automatizuoti skaičiavimo procesą ir greitai keisti bei parinkti geometriją atsižvelgiant į gaunamus rezultatus.



4pav. Lonžerono pjūvis.

Detalė	Medžiaga	Tamprumo modulis E, GPa	Takumo riba $\sigma_{UTS}$ , MPa	Aukštis h, m	Plotis b, m	Tankis $\rho$ , Mg/m <sup>3</sup>
Viršutinė apsiuva	Al 7075-T6	550	480	0.0015	0.4	2.8
Viršutinė lentyna	Al 2014-T6	480	410	0.023615	0.2	2.8
Sienelė	Al 6061-T6	310	275	0.165	0.01	2.7
Apatinė lentyna	Al 2014-T6	480	410	0.023615	0.2	2.8
Apatinė apsiuva	Al 7075-T6	550	480	0.0015	0.4	2.8

5 lentelė, Lonžerono detalių medžiagos ir jų parametrai.

### Medžiagų parinkimo logika.

Renkant medžiagas detalėms buvo atsižvelgta į šiuos kriterijus:

Skaiciavimuose neturime sukimo momento, todėl sienelės neveikia praktiškai jokios stiprios jėgos. Taigi sienelės medžiaga buvo parinkta pati lengviausia. Realybėje medžiaga priklausytų nuo sienelės patiriamų sukimo momentų, kadangi ji būtų kritinė detalė jų atžvilgiu.

Apsiuva ir lentyna patiria didžiausius krūvius, ir kritinė detalė priklauso nuo priskirtos medžiagos (tai buvo atrasta priskiriant „Matlab“ programoje skirtingas medžiagas

skirtingoms detalėms). Detalė kuriai priskirta Al 2014-T6 visada pasieks kritinį tašką anksčiau ir jos parametrai bus didesni. Todėl parenkant kuriai detalei priskirti kurią medžiagą buvo atsižvelgta į tai, kad priskyrus kritinę medžiagą lentynai, galima atlikti žymiai didesnius masės sumažinimus nei ją priskyrus apsiuvai.

Realybėje rinkčiausi tiek apsiuvai tiek lentynoms Al 7075-T6, kadangi būtų galima sumažinti masę dar labiau, tačiau šiame darbe jos pasirinktos skirtingos, norint pademonstruoti daugiasluoksnius skaičiavimus.

#### ***Detalių plotas.***

$$A_i = h_i \cdot b_i;$$

$$A_1 = 0.0015 \cdot 0.4 = 0.0006\text{m};$$

$$A_2 = 0.023615 \cdot 0.2 = 0.0047\text{m};$$

$$A_3 = 0.165 \cdot 0.01 = 0.0017\text{m};$$

$$A_4 = 0.023615 \cdot 0.2 = 0.0047\text{m};$$

$$A_5 = 0.0015 \cdot 0.4 = 0.0006\text{m};$$

#### ***Detalių standumas.***

$$B_i = A_i \cdot E_i;$$

$$B_1 = 0.0006 \cdot 72 \cdot 10^9 = 43.2 \cdot 10^6\text{N};$$

$$B_2 = 0.0047 \cdot 73 \cdot 10^9 = 345 \cdot 10^6\text{N};$$

$$B_3 = 0.0017 \cdot 69 \cdot 10^9 = 114 \cdot 10^6\text{N};$$

$$B_4 = 0.0047 \cdot 73 \cdot 10^9 = 345 \cdot 10^6\text{N};$$

$$B_5 = 0.0006 \cdot 72 \cdot 10^9 = 43.2 \cdot 10^6\text{N};$$

$$B = \sum A_i \cdot E_i = 8.901 \cdot 10^8;$$

#### ***Neutralios linijos koordinatė.***

$$y_n = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot t_i + 2 \cdot \sum_{j=1}^{i-1} t_j}{2 \cdot \sum_{i=1}^n B_i} = 0.1076\text{m};$$

#### ***Atstumai nuo neutraliosios linijos iki dalių centrų koordinatės***

$$y_{ci} = \frac{b_i h_i^3}{12};$$

$$y_1 = y_{c1} - y_n = -0.1069\text{m};$$

$$y_2 = y_{c2} - y_n = -0.0943\text{m};$$

$$y_3 = y_{c3} - y_n = 0m;$$

$$y_4 = y_{c4} - y_n = 0.0943m;$$

$$y_5 = y_{c5} - y_n = 0.1069m;$$

### ***Lonžerono detalių inercijos momentai***

$$I_{xni} = I_{xi} + A_i y_{ic}^2 = \frac{b_i h_i^3}{12} + A_i y_{ic}^2;$$

$$I_{xn1} = \frac{b_1 h_1^3}{12} + A_1 y_{1c}^2 = \frac{0.4 \cdot 0.0015^3}{12} + 0.006 \cdot (-0.1069)^2 = 0.0685 \cdot 10^{-4} m^4;;$$

$$I_{xn2} = \frac{b_2 h_2^3}{12} + A_2 y_{2c}^2 = \frac{0.2 \cdot 0.023615^3}{12} + 0.0047 \cdot (-0.0943)^2 = 0.4225 \cdot 10^{-4} m^4;$$

$$I_{xn3} = \frac{b_3 h_3^3}{12} + A_3 y_{3c}^2 = \frac{0.01 \cdot 0.165^3}{12} + 0.0017 \cdot (0)^2 = 0.0374 \cdot 10^{-4} m^4;$$

$$I_{xn4} = \frac{b_4 h_4^3}{12} + A_4 y_{4c}^2 = \frac{0.2 \cdot 0.023615^3}{12} + 0.0047 \cdot (-0.0943)^2 = 0.4225 \cdot 10^{-4} m^4;$$

$$I_{xn5} = \frac{b_5 h_5^3}{12} + A_5 y_{5c}^2 = \frac{0.4 \cdot 0.0015^3}{12} + 0.006 \cdot (-0.1069)^2 = 0.0685 \cdot 10^{-4} m^4;$$

### ***Bendras lenkimo standumas***

$$D = \sum E_i \cdot I_{xni} = 0.4934 \cdot 3.0841 \cdot 0.2583 \cdot 3.0841 \cdot 0.4934 = 7.41 \cdot 10^6 Nm^2;$$

### ***Normaliniai įtempiai***

$$\sigma_i = E_i \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_i}{D} \right);$$

$$\sigma_1 = E_1 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_1}{D} \right) = 72 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot 0.1069}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = 2.2706 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_2 = E_2 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_2}{D} \right) = 73 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot 0.0943}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = 2.0315 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_3 = E_3 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_3}{D} \right) = 73 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot 0.07791}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = 1.67823 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_4 = E_4 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_4}{D} \right) = 73 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot 0.0943}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = 2.0315 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_5 = E_5 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_5}{D} \right) = 72 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot 0.1069}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = 2.2706 \cdot 10^8 Pa;$$

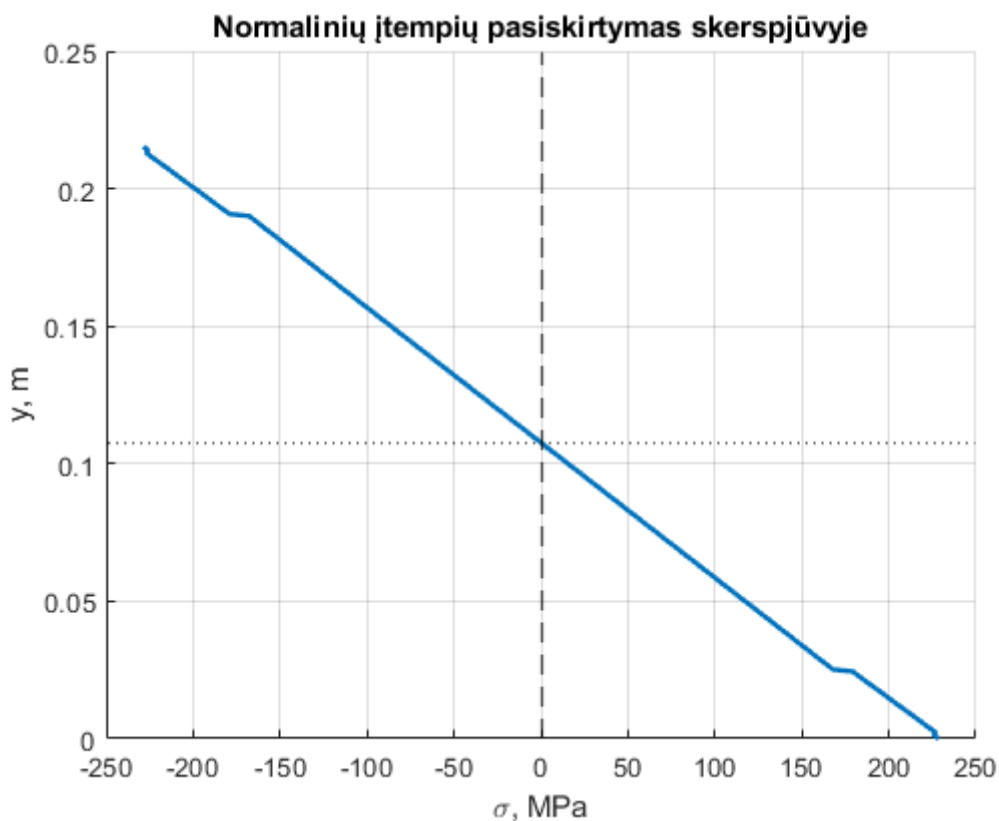
$$\sigma_6 = E_6 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_6}{D} \right) = 72 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot -0.1069}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = -2.2706 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_7 = E_7 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_7}{D} \right) = 73 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot 0.0943}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = -2.0315 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_8 = E_8 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_8}{D} \right) = 73 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot -0.07791}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = -1.67823 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_9 = E_9 \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_9}{D} \right) = 73 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot -0.0943}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = -2.0315 \cdot 10^8 Pa;$$

$$\sigma_{10} = E_{10} \left( \frac{N}{B} + \frac{M \cdot y_{10}}{D} \right) = 72 \cdot 10^9 \left( 0 + \frac{2.1875 \cdot 10^5 \cdot -0.1069}{7.4134 \cdot 10^6} \right) = -2.2706 \cdot 10^8 Pa;$$



5pav. Normalinių įtempių pasiskirstymas skerspjūvyje

### **Detalių stiprumų patikrinimas**

Jeigu  $\frac{\sigma_i}{\sigma_{allow,i}} < 1$ , detalė atlaikys įtempius.

$$\sigma_{allow,i} = \frac{\sigma_{UTS}}{f};$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{allow,1}} = \frac{2.2706 \cdot 10^8}{3.3533 \cdot 10^8} = 0.6771;$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_{allow,2}} = \frac{2.0315 \cdot 10^8}{2.16 \cdot 10^8} = 0.9405;$$

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_{allow,3}} = \frac{0 \cdot 10^8}{1.8333 \cdot 10^8} = 0;$$

$$\frac{\sigma_4}{\sigma_{allow,4}} = \frac{-2.0315 \cdot 10^8}{-2.16 \cdot 10^8} = 0.9405;$$

$$\frac{\sigma_5}{\sigma_{allow,5}} = \frac{-2.2706 \cdot 10^8}{-3.3533 \cdot 10^8} = -0.6771;$$

## LONŽERONO SURINKIMAS

### *Lonžerono elementai*

1. Viršutinė apsiuva
2. Viršutinė lentyna
3. Viršutinis sujungimas (Horizontaliu varžtu, pirmas tipas)
4. Sienelė
5. Sujungimas
6. Apatinis sujungimas (Horizontaliu varžtu, pirmas tipas)
7. Apatinė lentyna
8. Apatinė apsiuva

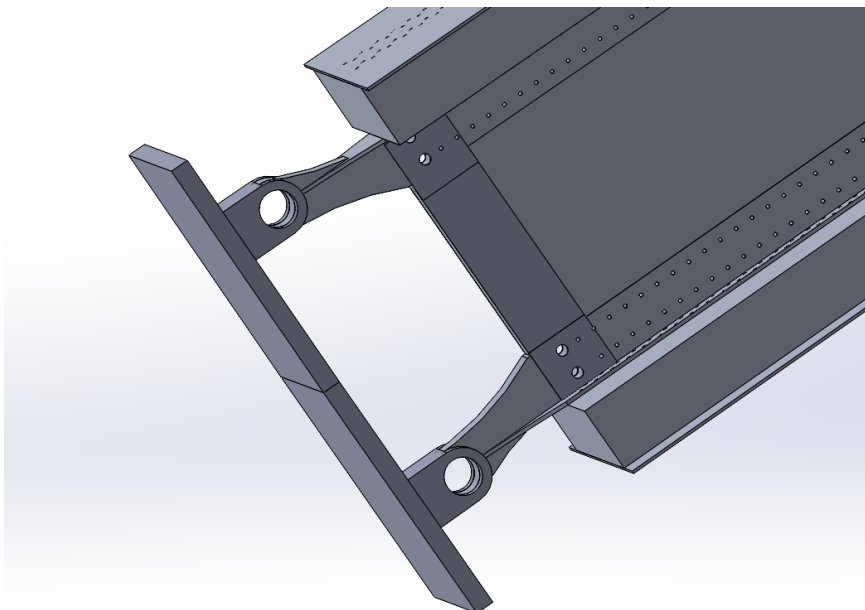
Lonžeronas modeliuotas programos „Solidworks“ programoje.

Pagrindinė lonžerono struktūra yra sudaryta iš sienelės ir dviejų lentynų viršuje ir apačioje. Sienelės kartu su lentyna yra jungiamos kampuočiais, kurie yra integruoti į sujungimų dizainą. Lentynai sujungti naudojamos 2 mm storio kniedės, su įleistomis galvutėmis, išdėstytos dviejomis eilėmis „zigzago“ modeliu.

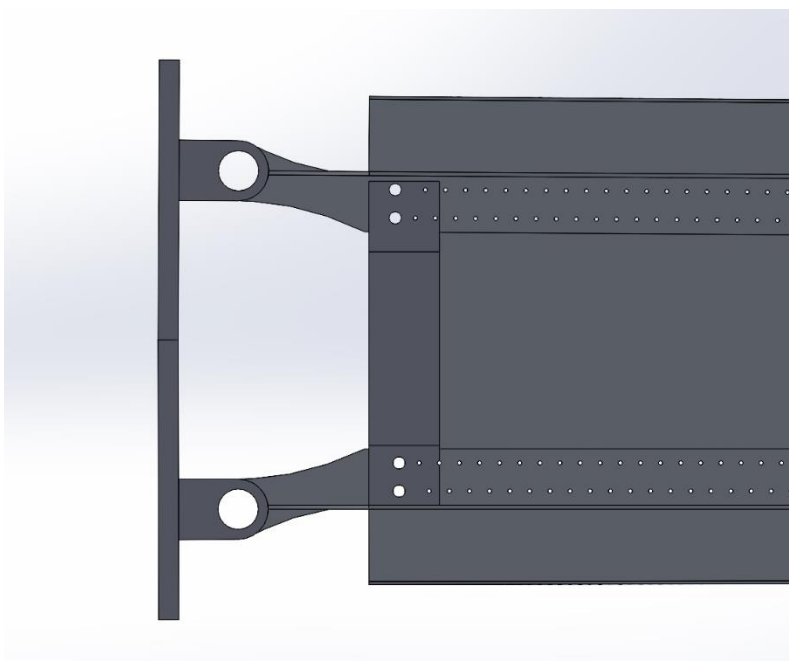
Lonžeronas su apsiuva jungiamas ties lentynomis, naudojamos 2 mm storio kniedės su įleistomis galvutėmis, išdėstytos dviejomis eilėmis „zigzago“ modeliu.

Tarp viršutinio ir apatinio sujungimo yra papildomas sujungimas, jungiantis šias detales vertikaliai dėl stabilumo.

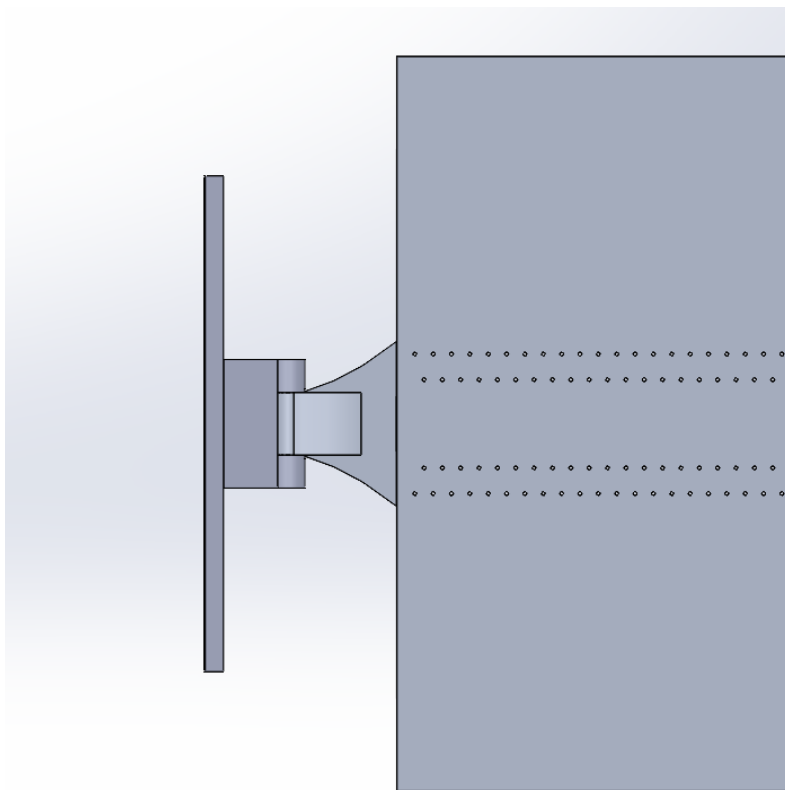
Kadangi nebuvo skaičiuojamas auselės stiprumas (kas realybėje būtų kritinis pjūvis) jos dizainas buvo paremtas daugiau nuojauta, nei realiais skaičiais, tačiau vistiek bandyta išlaikyti realistišką auselę.



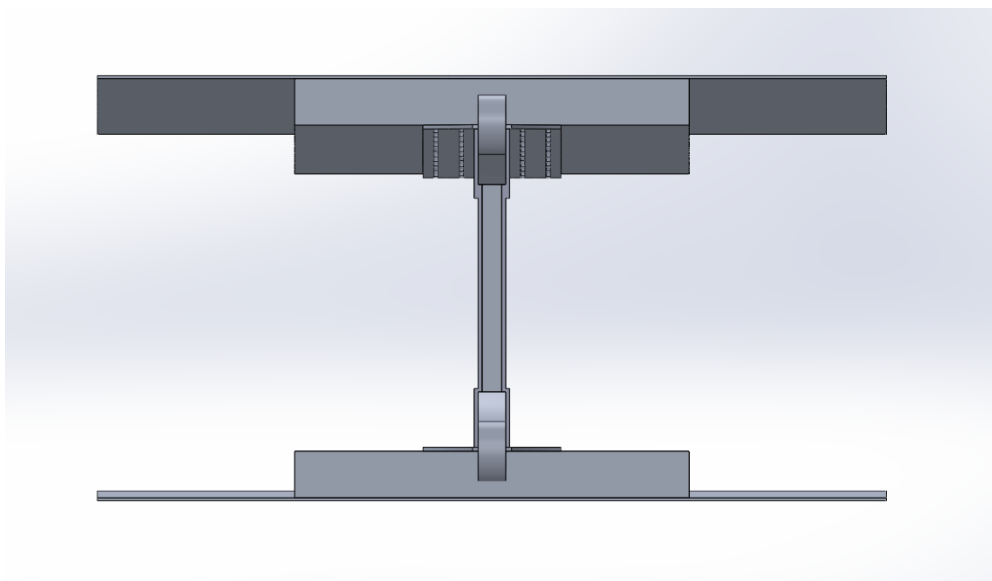
6pav. Lonžerono sujungimas su liemeniu.



7pav. Lonžerono sujungimas su liemeniu, vaizdas iš dešinės.



8pav. Lonžerono sujungimas su liemeniu ir apsiuvos kniedės, vaizdas iš viršaus.



8pav. Vaizdas iš priekio. viso lonžerono surinkimo.

## IŠVADOS

Atlikus lonžerono skaičiavimus nustatyta, kad konstrukcija tenkina stiprumo reikalavimus, o didžiausi įtempiai susidaro viršutinėje ir apatinėje apsiuvose. Kritinės detalės – viršutinė ir apatinė lentynos – apkrautos iki ~94 % leidžiamos ribos, todėl jų atsarga yra pakankama,

tačiau artima ribinei vertei. Konstrukciją būtų galima dar optimizuoti, parenkant tvirtesnę medžiagą lentynoms arba nežymiai koreguojant jų geometriją. Lonžerono modelis „SolidWorks“ programoje leido gerai suprasti lonžerono konstrukciją ir įsigilinti į jo geometrinius parametrus bei sujungimą su lėktuvu. Modeliuojant kniedės buvo nedėtos, dėl kompiuterio turimų resursų limitų (vien kniedžių skylių sudėjimas prailgino modeliavimo procesą bent valanda laukiant kol užkraus).