



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

# **Biokuro sandėlio judančių grindų konstrukcijos tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

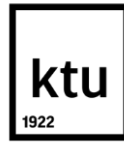
---

**Karolina Sokelytė**  
Projekto autorė

**Prof. dr. Valdas Eidukynas**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2021**



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

## **Biokuro sandėlio judančių grindų konstrukcijos tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas  
Mechanikos inžinerija (6211EX009)

---

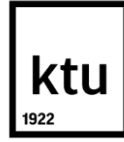
**Karolina Sokelytė**  
Projekto autorė

**Prof. dr. Valdas Eidukynas**  
Vadovas

**Doc. dr. Paulius Griškevičius**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2021**



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

## **Biokuro sandėlio judančių grindų konstrukcijos tyrimas**

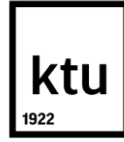
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Karolina Sokelytė

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – Mechanikos inžinerija (6211EX009)

## **Magistro studijų baigiamojo projekto užduotis**

**Studentui(-ei)** – Karolinai Sokelytei

### **1. Baigiamojo projekto tema –**

Biokuro sandėlio judančių grindų konstrukcijos tyrimas

*(Lietuvių kalba)*

Biofuel warehouse moving floor construction analysis

*(Anglų kalba)*

### **2. Baigiamojo projekto tikslas ir uždaviniai –**

**Darbo tikslas** – atlikti biokuro katilinių sandėlio judančių grindų tyrimą, kurio metu būtų identifiukuota reali problema bei atlikti gaminio stipruminiai ir ilgaamžiškumo skaičiavimai.

#### **Darbo uždaviniai:**

1. Atlikti kuro perdavimo sistemų literatūros analizę.
2. Apžvelgti biokuro katilinės sandėlio judančių grindų analogus.
3. Susipažinti su biokuro sandėlio judančių grindų konstrukcija ir ypatumais.
4. Identifiukuoti realias biokuro judančių grindų problemas.
5. Apžvelgti tyrimo metodologijas.
6. Atlikti konstrukcijos stipruminius skaičiavimus.
7. Atlikti konstrukcijos ilgaamžiškumo skaičiavimus.

### **3. Pradiniai baigiamojo projekto duomenys –**

Biokuro sandėlio platformų ilgis – 13750 mm;

Biokuro sandėlio platformų plotis – 1350 mm;

Biokuro sandėlio platformų aukštis (žertuvo) – 370 mm;

Biokuro sandėlio platformų aukštis (visos konstrukcijos su cilindro laikančiąja dalimi) – 950 mm;

Hidraulinio cilindro eiga – 500 mm;

Biokuro drėgmė – 50%;

Kuro sandėlio pripildymo užtenka 24 – 48 valandoms;

Privaloma vizuali platformų apžiūra kas dvi savaites, o generalinė apžiūra kas metus;

Žertuvo sparno viršutinės plokštelės storis – 6 mm;

Žertuvo vamzdžio sienelės storis – 10 mm;

Priešsparnio sienelės storis – 6 mm;

Apkabos sienelės storis – 10 mm;

Žertuvo sparno suvirinimo siūlės trūkio užuomazga matoma po vienerių metų;

Žertuvo sparno suvirinimo siūlės trūkis vizualiai matomas po dviejų metų;

Maksimalus cilindro slėgis – 210 barų;

Darbinis cilindro slėgis – 120 barų;

Darbinė oro temperatūra – 0 °C – 40 °C;

Platformų medžiaga – juodas plienas S355JR;

Platformų žertuvo judėjimo greitis – 0,76 m/min.

Biokuro sandėlio grindų žertuvas per metus atlieka 400000 ciklą.

#### 4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Biokuro judančios sandėlio grindys privalo tinkamai transportuoti kurą į kitas transportavimo sistemas. Turi būti metalinės ir pritaikytos įvairių rūšių biokurui. Žertuvą turi traukti cilindrai. Judančių sandėlio grindų žertuvai gali būti sudaryti iš blokų, tokiu atveju platformų žertuvai privalo judėti šachmatiškai. Privalo būti suteikta tinkama prieiga krautuvui ir sandėlio pripildymui. Įrenginio techninė apžiūra atliekama vizualiai kas dvi savaites, generalinė kas metus, kurios metu yra identifikuojami defektai. Platformos turi besidėvinčias ir keičiamas dalis – žertuvą, apkabas, priešsparnius. Pagrindinis reikalavimas – identifikuotus defektus privaloma iširti ir nurodyti remonto arba tobulinimo galimybes. Tyrimo metu suvirinimo siūlės turi būti vertinamos kaip prasčiausios 32 klasės suvirinimo siūlės. Tyrimui reikalingi duomenys imami iš objekto, kuriame yra identifikuoti defektai, programinės įrangos „SCADA“.

Projekto autorius

Karolina Sokelytė

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Baigiamojo projekto vadovas

Prof. dr. Valdas Eidukynas

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Krypties studijų programos vadovas

Doc. dr. Kęstutis Pilkauskas

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Sokelytė, Karolina. Biokuro sandėlio judančių grindų konstrukcijos tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Prof. dr. Valdas Eidukynas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų sritis (studijų krypties grupė), studijų kryptis: Technologijos mokslai, Mechanikos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: biokuro sandėlis, judančios grindys, platformos, žertuvas, ilgaamžiškumas.

Kaunas, 2021. 55 p.

### **Santrauka**

Sparčiai besivystant biokuro katilinių statybos projektams, vis dažniau susiduriama su specifinių biokuro katilinių įrangos konstrukcijų tyrimų bei jų tobulinimo reikiamybe. Kad užtikrinti tinkamą kuro tiekimą yra statomi biokuro katilinių sandėliai su specialia biokuro transportavimo sistema – judančių grindų konstrukcija.

Eksploatacijos metu, tokio tipo gaminiams, kurie yra cikliškai veikiami įvairių aplinkos sąlygų ir jėgų, yra nustatomi, dėl įtempių ir nuovargio atsirandantys, defektai. Magistro baigiamojo projekto tikslas – ištirti biokuro judančių sandėlio grindų žertuvo sparno suvirinimo siūlės trūkį pagal ją veikiančių aplinkos veiksnių įtaką, nustatyti įtempių koncentratorių vietas bei ištirti siūlės ilgaamžiškumą.

Baigiamojo projekto analizės metu yra apžvelgtos biokuro katilinių kuro perdavimo sistemos bei biokuro judančių sandėlio grindų analogai. Susipažinta su judančių grindų konstrukcija, veikimo principu, eksploatacijos bei techninės apžiūros reikalavimais, identifikuotos besidėvinčios ir keičiamos konstrukcinės dalys.

Aptariamos realios, eksploatacijos metu nustatytos, problemos bei įvardijamos problemų atsiradimo galimos priežastys – viena iš jų sandėlio judančių grindų žertuvo sparno suvirinimo siūlės trūkis.

Judančių sandėlio grindų sparno suvirinimo siūlės trūkio tyrimas atliktas panaudojant tam skirtą „karštų“ taškų metodiką. Gauti rezultatai panaudojami sprendžiant atsiradusias analogiškas problemas skirtinguose objektuose bei konstrukcijos tobulinimo procese.

Sokelytė, Karolina. Biofuel warehouse moving floor construction analysis. Master's Final Project / supervisor Prof. dr. Valdas Eidukynas; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study area (study field group), study field: Technological Sciences, Mechanical Engineering.

Key words: biofuel warehouse, moving floor, platforms, scrapper, fatigue.

Kaunas, 2021. 55 p.

### **Summary**

With the rapid development of biomass plant projects, the need for specific research and improvement of biomass plant equipment is becoming more and more common. To ensure proper fuel supply, biomass plants are being built with a special biomass transportation system called push floor.

During operation, defects due to fatigue arise, caused by varying operating conditions, environmental effects and fluctuation in forces. The aim of the Master's Thesis is to investigate the fracture at the welding seam of push floor's scraper, taking into account environmental factors, to determine locations of stress concentrators and to investigate the longevity of the seam.

During the analysis of the Master's Thesis, the fuel supply systems of biomass plants and analogues of the push floor systems are reviewed. The design of the push floor, the principle of operation, the requirements for operation and technical inspection were introduced, wear and tear parts were specified.

Relevant problems during operation are discussed, possible causes of these problems are identified - one of them being the crack at the welding seam of the push floor's scraper.

The investigation of the fracture at the welding seam of the push floor's scraper was performed using the dedicated "hot-spot stress" methodology. The obtained results are used in solving analogous problems on different plants, as well as on improvement on overall design of push floor.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Biokuro judančių sandėlio grindų analizė .....</b>	<b>13</b>
1.1. Biokuro katilinės .....	13
1.2. Kuro padavimo sistemos .....	14
1.2.1. Transporteriai .....	14
1.2.2. Hidraulinis rotorius.....	15
1.2.3. Greiferinis kranas .....	16
1.2.4. Judančios grindys .....	16
1.3. Biokuro katilinių kuro sandėlio judančių grindų analogai .....	17
1.4. Biokuras.....	21
1.5. Nagrinėjamų biokuro katilinių judančių grindų analizė .....	22
1.6. Nagrinėjamų biokuro katilinės judančių grindų eksploatacija ir techninė priežiūra .....	24
1.7. Judančių sandėlio platformų besidėvinčios ir keičiamos dalys .....	27
1.8. Judančių biokuro sandėlio grindų problemos.....	29
<b>2. Biokuro judančių sandėlio grindų tyrimas .....</b>	<b>33</b>
2.1. Problematika.....	33
2.2. Tyrimo metodai .....	34
2.3. Stipruminiai skaičiavimai.....	36
2.3.1. Tyrimo modelio pasiruošimas .....	36
2.3.2. Tyrimo duomenys.....	37
2.3.3. Tiriamojo modelio medžiaga, apkrovos ir įtvirtinimai.....	38
2.3.4. Tiriamojo modelio baigtinių elementų tinklelis ir „karštų“ taškų nustatymas .....	41
2.3.5. Skaičiavimų rezultatai .....	45
2.4. Ilgaamžiškumo skaičiavimai .....	46
2.4.1. S-N kreivės nustatymas .....	46
2.4.2. Ilgaamžiškumo skaičiavimų sąlygos .....	48
2.4.3. Ilgaamžiškumo skaičiavimų rezultatai .....	50
<b>Išvados .....</b>	<b>53</b>
<b>Literatūra .....</b>	<b>54</b>



## Lentelių sąrašas

<b>1.1 lentelė.</b> Pagrindinės kuro charakteristikos.....	22
<b>1.2 lentelė.</b> Galimi rizikos faktoriai ir pavojai eksploatuojant .....	25
<b>1.3 lentelė.</b> Techninės priežiūros grafikas .....	26
<b>1.4 lentelė.</b> Besidėvinčių dalių leistini nusidėvėjimo rodikliai .....	28
<b>1.5 lentelė.</b> Judančių sandėlio grindų atsarginės keičiamos dalys .....	29
<b>2.1 lentelė.</b> Hidraulinės stotelės duomenys .....	38
<b>2.2 lentelė.</b> Slėgių ir jėgų lentelė.....	40
<b>2.3 lentelė.</b> Gautos įtempių vertės su skirtingais elementų dydžiais.....	42
<b>2.4 lentelė.</b> Stipruminių skaičiavimų rezultatai.....	45
<b>2.5 lentelė.</b> S-N kreivės rodikliai .....	47
<b>2.6 lentelė.</b> Ilgaamžiškumo skaičiavimo rezultatai .....	50
<b>2.7 lentelė.</b> Platformų žertuvo ciklą skaičius pagal metus.....	51

## Paveikslų sąrašas

<b>1.1 pav.</b> Biokuro katilinės pavyzdinė struktūrinė schema .....	13
<b>1.2 pav.</b> Juostinis transporteris [4] .....	14
<b>1.3 pav.</b> Grandiklinis transporteris [6] .....	14
<b>1.4 pav.</b> Sraigtinis transporteris [7] .....	15
<b>1.5 pav.</b> Hidraulinis rotorius [5] .....	15
<b>1.6 pav.</b> Greiferinis kranas [9] .....	16
<b>1.7 pav.</b> Judančios grindys [10] .....	17
<b>1.8 pav.</b> UAB „New heat group“ modulinės kuro sandėlio platformos su hidrauline grandikline kuro padavimo sistema [11] .....	18
<b>1.9 pav.</b> UAB „Kalvis“ Hidraulinis kuro padavimo įrenginys su hidrauline įranga [12] .....	19
<b>1.10 pav.</b> UAB „Enerstena“ kuro sandėliavimo ir tiekimo sistema [13] .....	19
<b>1.11 pav.</b> UAB „Axis Tech“ kuro sandėlio platformos .....	20
<b>1.12 pav.</b> Biokuras [2] .....	21
<b>1.13 pav.</b> Pagrindinės kuro sandėlio platformos dalys .....	22
<b>1.14 pav.</b> Pagrindiniai kuro sandėlio platformos matmenys .....	23
<b>1.15 pav.</b> Kuro sandėlio platformos kinematinė schema .....	23
<b>1.16 pav.</b> Sandėlio platformų iš šešių žertuvų bloko judėjimo pavyzdinė schema .....	24
<b>1.17 pav.</b> Darbų saugos ženklai .....	26
<b>1.18 pav.</b> Žertuvo sparno bloko susidėvėjimo schema, 1 – žertuvo sparno rėmas, 2 – žertuvo sparno viršutinė plokštelė, 3 – žertuvo sparno apatinė plokštelė .....	27
<b>1.19 pav.</b> Žertuvo vamzdžio apačios susidėvėjimo schema, 1 – žertuvo vamzdis, 2 – žertuvo sparno blokas .....	27
<b>1.20 pav.</b> Judančių sandėlio grindų atsarginės keičiamos dalys .....	28
<b>1.21 pav.</b> Žertuvo sparno lūžimas dėl netinkamo suvirinimo .....	30
<b>1.22 pav.</b> Žertuvo „ausies“ lūžimas .....	30
<b>1.23 pav.</b> Sušalusio kuro dalelės po platformų žertuvų sparnais .....	31
<b>1.24 pav.</b> Atkaitintas žertuvo vamzdis .....	31
<b>1.25 pav.</b> Žertuvas su nulaužtais sparnais dėl jų deformacijos .....	32
<b>2.1 pav.</b> Matomas suvirinimo siūlės trūkis .....	33
<b>2.2 pav.</b> Nominalių įtempių metodo tyrimo įtempių tyrimo srities apibrėžimas [18] .....	34
<b>2.3 pav.</b> Efektyvių įpjovos įtempių metodo įtempių tyrimo srities apibrėžimas [18] .....	35
<b>2.4 pav.</b> Struktūrinių „karštų“ taškų įtempių metodo įtempių tyrimo srities apibrėžimas [18] .....	36
<b>2.5 pav.</b> 3D sandėlio grindų žertuvo dalies modelis skaičiavimams .....	36
<b>2.6 pav.</b> Hidraulinės stotelės darbinis slėgis kintant sandėlio užkrovimui .....	37
<b>2.7 pav.</b> Gaminio medžiagos S355JR plieno markės charakteristikos [21] .....	39
<b>2.8 pav.</b> Tiriamojo modelio įtvirtinimai, a - „Roller/Slider“ įtvirtinimas žertuvo „ausies“ apačioje, b - „Roller/Slider“ įtvirtinimas apkabos vietoje iš šono ir iš viršaus, c - „Roller/Slider“ įtvirtinimas žertuvo vamzdžio nupjautoje vietoje, d - „Virtual Wall“ įtvirtinimas žertuvo apačioje iki sandėlio duobės .....	39
<b>2.9 pav.</b> Tiriamojo modelio apkrovos .....	41
<b>2.10 pav.</b> Stipruminiai testiniai skaičiavimai didžiausių įtempių vietoms nustatyti .....	41
<b>2.11 pav.</b> Vietinio baigtinių elementų tinklelio vieta .....	42
<b>2.12 pav.</b> Baigtinių elementų tinklelio konvergacijos grafikas .....	43

<b>2.13 pav.</b> Galutinis baigtinių elementų tinklelis.....	43
<b>2.14 pav.</b> „Karštų“ taškų nustatymo būdai.....	44
<b>2.15 pav.</b> Nustatytos „karštų“ taškų vietos.....	45
<b>2.16 pav.</b> Jėgų ir įtempių priklausomybės grafikas.....	46
<b>2.17 pav.</b> Duomenys S-N kreivei suskaičiuoti pagal suvirinimo klases [19].....	47
<b>2.18 pav.</b> Ilgaamžiškumo skaičiavimų parametrų skiltis .....	48
<b>2.19 pav.</b> Ilgaamžiškumo skaičiavimų įvykio sukūrimo skiltis .....	49
<b>2.20 pav.</b> Ilgaamžiškumo skaičiavimų S-N kreivės aprašymas .....	49
<b>2.21 pav.</b> Ilgaamžiškumo skaičiavimų rezultatų matavimo būdas.....	50
<b>2.22 pav.</b> Ilgaamžiškumo skaičiavimų rezultatai .....	51

## Įvadas

Nuo senų laikų mediena yra pagrindinis šilumos šaltinis, tačiau sparčiai vystantis šilumos gavybos technologijoms pradėta naudoti ir kitas kuro rūšis, tokias kaip anglis, dyzelinis kuras, nafta. Dėl tokio iškastinio kuro poreikio pradėjo didėti ir užterštumas. Taigi, imtas vystyti atsinaujinančios energijos šaltinių vartojimas. Paprastas katilines pakeitė biokuro katilinės, kurios naudoja biomasę.

Lietuvoje, daugelyje miestų, taip pat vykdomi biokuro katilinių statybos projektai. Siekiant užtikrinti tinkamą kuro tiekimą yra statomi biokuro katilinių sandėliai su specialia biokuro transportavimo sistema – judančių grindų konstrukcija, arba kitaip – kuro sandėlio platformos.

Ši konstrukcija leidžia aprūpinti katilinę biokuru, bei užtikrina, kad kuras reikiamais intervalais būtų stumiamas pirmyn ir kokybiškai perduodamas į tolimesnes kuro transportavimo sistemas.

Tačiau kartais kuro sandėlio platformos neatlaiko reikiamo ilgaamžiškumo ir lūžta. Dėl šios problemos gali būti stabdomas katilinės veikimas, stipriai išaugti kaštai dėl reikiamo remonto, o neretai ir pačios konstrukcijos pakeitimo, todėl yra svarbu išsiaiškinti lūžimo priežastis ir užtikrinti reikiamą konstrukcijos ilgaamžiškumą.

Šio **darbo tikslas** – atlikti biokuro katilinių sandėlio judančių grindų tyrimą, kurio metu būtų identifikuota reali problema bei atlikti gaminio stipruminiai ir ilgaamžiškumo skaičiavimai.

### **Darbo uždaviniai:**

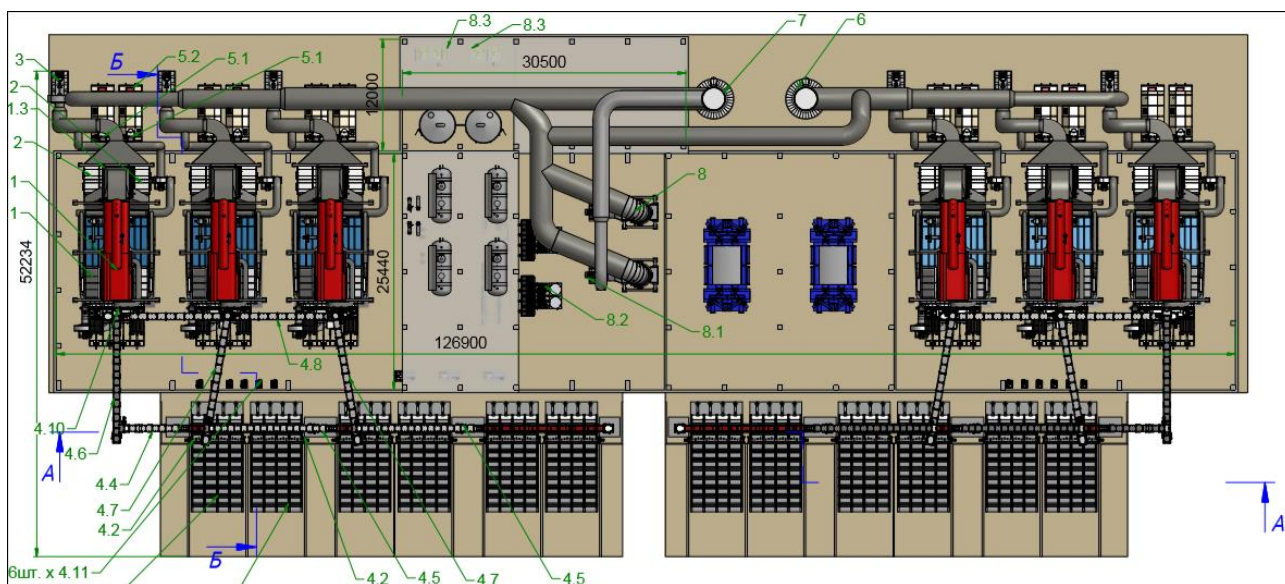
1. Atlikti kuro perdavimo sistemų literatūros analizę.
2. Apžvelgti biokuro katilinės sandėlio judančių grindų analogus.
3. Susipažinti su biokuro sandėlio judančių grindų konstrukcija ir ypatumais.
4. Identifikuoti realias biokuro judančių sandėlio grindų problemas.
5. Apžvelgti tyrimo metodologijas.
6. Atlikti konstrukcijos stipruminius skaičiavimus.
7. Atlikti konstrukcijos ilgaamžiškumo skaičiavimus.

## 1. Biokuro judančių sandėlio grindų analizė

### 1.1. Biokuro katilinės

Biokuro deginimas – tai Lietuvoje plačiai paplitusi atsinaujinančios energetikos sritis. Pagal „Energetikos statistika 2017 m.“ dokumento duomenis, Lietuvoje iš atsinaujinančios energijos šaltinių, būtent, kietojo biokuro sunaudojimas yra didžiausias, jis siekia net 80,6 %. 2017 m. deginant biokurą (medienos atliekas) pagaminta 65 % visos šiluminės energijos, kuri gauta iš elektrinių ir katilinių veikimo [1]. Taigi, matome, kad biokuro katilinės ir biokuro (biomasės) naudojimas Lietuvoje yra plačiai paplitęs.

Biokuro katilinė – tai įrangos kompleksas šilumos gavybai (žr. 1.1 pav.). Įrangos sudėtis kiekvieną kartą gali skirtis. Pavyzdžiui, galima rinktis kietųjų dalelių valymui multicikloną arba galima naudoti elektrostatinis filtrus. Jeigu kietosios dalelės nebūtų valomos – katilinė veiktų. Tačiau jokia katilinė neveiks be kuro. Taigi, kuro sandėliai, transporteriai ir kitokie kuro pernešimo įrenginiai yra privalomi.



1.1 pav. Biokuro katilinės pavyzdinė struktūrinė schema

Pagrindinės biokuro katilinės sudedamosios dalys:

- Kuro padavimo sistema;
- Transporteriai;
- Pakuros įranga;
- Katilas;
- Kietųjų dalelių valymo įranga;
- Vamzdynai;
- Ventiliatoriai/dūmsiurbiai;
- Kaminas;
- Pelenų išmetimo/valymo įranga;
- Kita papildoma įranga.

## 1.2. Kuro padavimo sistemos

### 1.2.1. Transporteriai

Transporteriai skirti transportuoti grūdus, granules, sėklas, biomasę ir kitus birius produktus. Jie naudojami grūdų saugyklose, pašarų ruošimo linijose, malūnuose, biomasės saugojimo patalpose ir aliejaus spaudyklose. Taip pat plačiai naudojama žemės ūkyje, kur pagrindinis aspektas yra kokybė. Aukštos kokybės priemonės užtikrina patikimumą ir ilgaamžiškumą [2].

**Juostiniai transporteriai.** Šie transporteriai (žr. 1.2 pav.) gali būti tiek atviro, tiek uždaro tipo. Jie gali būti tiekiami su išoriniu vežimu arba su elektriniu dvikrypčiu išpylimo mechanizmu (proporcingai pripildomi sandėliai).

Privalumai – turi didelį našumą, kuris gali siekti iki (500-1000 t/h). Trūkumai – gali būti per mažas juostos posvyrio kampas, galintis svyruoti nuo 12° iki 27° laipsnių, transportuojant birius produktus, pvz. medienos drožles [3].



1.2 pav. Juostinis transporteris [4]

**Grandikliniai transporteriai.** Siauruose sandėliuose įrengiamos dvi grandinės, kurios yra tvirtinamos prie žvaigždučių, plačiuose – keturios. Tarp grandinių yra tvirtinama viena arba kelios eilės grandiklių, kurie yra pagaminti iš plokščio plieno arba kampuočių. Grandinės varanti pavara yra sandėlio gale ties iškrovimo anga, viršutinė grandinės atšaka – vedančioji. Kadangi grandiklių judėjimo greitis yra sąlyginai mažas (1–25 cm/s), naudojamas strektės – reketo mechanizmas, varomas elektrine arba hidro- pavara, gali būti varomas ir hidrovarkliu. Grandikliai vienakrypčiai ir juda tik viena kryptimi. Šią sistemą galima naudoti stačiakampių sandėlių su plokščiu dugnu iškrovimui (žr. 1.3 pav.) [5].



1.3 pav. Grandiklinis transporteris [6]

Privalumai – didelis posvyrio kampas, kuris gali siekti net 45° laipsnius, o panaudojus skersinius galima padidinti iki 60° laipsnių, taip pat turi didelį našumą, net nuo 2000 t/h. Trūkumai – didelis svoris bei energijos sąnaudos, sudėtingesnė gamyba, priežiūra.

**Sraigtiniai transporteriai.** Sraigtiniai transporteriai (žr. 1.4 pav.) gali būti tiek su judamąja, tiek su stacionariąja ašimi. Pirmieji skirstomi į transporterius, kurių šneko ašies judėjimas slenkamasis arba sukamasis. Sraigtiniai transporteriai su slenkamuoju ašies judėjimu naudojami bunkeriuose su stačiakampiais plokščiais dugnais.



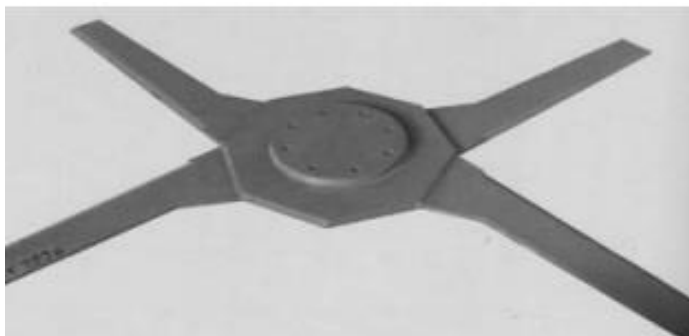
**1.4 pav.** Sraigtinis transporteris [7]

Sraigtas bunkerio dugnu juda atgal ir pirmyn, išstumdamas kurą iš bunkerio ant statmenai bunkerio krašte įrengto transporterio. Sraigtiniai transporteriai su besisukančia ašimi naudojami bunkeriuose su kūginiu arba plokščiu apvaliu dugnu. Besisukantis sraigtas perkelia kurą prie angos bunkerio dugno centre, kur kuras krinta ant kito transporterio [5].

Privalumai – didelis našumas, taip pat didelis transportavimo kampas, paprasta ir nebrangi konstrukcija, žemas triukšmo lygis. Trūkumai – transportuojamo kuro smulkinimas, didelis dilimo procentas, didelės energinės sąnaudos.

### **1.2.2. Hidraulinis rotorius**

Cilindrinio bunkerio dugne įrengiamas daugiamentis rotorius (žr. 1.5 pav.), kurio mentes sukamuoju-grįžtamuoju judesiu suka hidrauliniai cilindrai, sumontuoti po bunkerio dugnu.



**1.5 pav.** Hidraulinis rotorius [5]

Profiliuotos rotoriaus mentės stumia kurą prie angų, esančių virš transporterio, bunkerio dugne. Hidrauliniai rotoriai naudojami kuro iškrovimui iš cilindrinė bunkerio, kurių skersmuo neviršija 10 m, o aukštis – 25 m [5].

### 1.2.3. Greiferinis kranas

Greiferiniai kėlimo įrangai (žr. 1.6 pav.) keliami labai aukšti patikimumo (pvz.: konstrukcijos atsparumas ugniai) bei tikslumo (pvz.: tinkamas įrenginio veikimo ir valdymo algoritmas) reikalavimai. Šie įrenginiai dažniausiai turi modernią kranų valdymo sistemą, kuri padidina kėlimo darbų našumą bei gali prailginti įrangos eksploatacijos laiką. Naujausiais inžineriniais sprendimais paremta siūbavimo kontrolė užtikrina kėlimo procesų tikslumą ir patikimą apsaugą nuo išorinių kliūčių. Taip ne tik spartinama darbų plėtotė, bet ir užtikrinama efektyvi įrangos apsauga, mažinanti techninės priežiūros poreikį [8].



1.6 pav. Greiferinis kranas [9]

Kadangi didesnieji pramonėje esantys sektoriai neretai pareikalauja didelio kėlimo darbų tikslumo ir sklandaus automatizuoto veiklos proceso, t. y. sustojimai ir remontai bei kiti pasitaikantys trikdžiai gali sukelti grėsmę tinkamam sektoriaus plėtimuisi. Greiferinių kranų panaudojimas yra skirtas užtikrinti sklandų kėlimo procesą. Tam, kad tai įgyvendinti yra sukurta moderni siūbavimo sistema, kuri yra valdoma tiek automatiškai, tiek rankiniu būdu, o tai leidžia išnaudoti maksimalią įrenginio galią. Transportavimo įranga yra tiksli ir lengvai valdoma, be to užtikrina efektyvų darbą ir tinkamas sąlygas techninei apžiūrai atlikti, taupo sąnaudas [8].

### 1.2.4. Judančios grindys

Betoninėje sandėlio grindų vietoje, kitaip vadinamajame bunkeryje, yra sumontuojami žertuvai, turintys galimybę judėti pirmyn ir atgal. Šiuos žertuvus traukia hidrauliniai cilindrai pirmyn ir atgal pagal nustatytą laiką. Žertuvo formos ir greta priešpriešinį judėjimą turinčio žertuvo dėka yra užtikrinamas kryptingas ir tiesus kuro pasistūmėjimas link tolimesnių kuro transportavimo sistemų. Kai kuro sluoksnis yra sąlyginai plonas, dalis kuro įgauna judėjimą priešprieša. Šio susiformavusio efekto panaikinimui yra naudojama speciali bunkerio dugno konstrukcinė sistema, neleidžianti kurui stumtis atgal (žr. 1.7 pav.). Anga, per kurią kuras yra išstumiamas yra formuojama per visą judančių grindų sistemos plotį. Po šia anga statomos vibrogrotos ar sietai, kurie užtikrina tik



smulkaus kuro patekimą į kitas sistemas - dažniausiai transporterį, kuris užtikrina tinkamą išstumto kuro kiekio iškrovimą [5].



**1.7 pav.** Judančios grindys [10]

Apžvelgę visas transportavimo sistemas, matoma, kad pagrindinės sistemos skirtos perdavimui kuro nekaupia, išskyrus judančias grindis. Judančios grindys leidžia pripildyti sandėlį kuru, veikimas yra pakankamai primityvus ir patogus naudojimo procese. Reikalauja minimalios techninės priežiūros ir mažo personalo kiekio. Taigi, šiame darbe toliau bus nagrinėjama ši perdavimo sistema.

### **1.3. Biokuro katilinių kuro sandėlio judančių grindų analogai**

Biokuro katilinių sandėlio judančios grindys – tai specialios platformos, kurios juda hidraulinių cilindų pagalba pirmyn ir atgal. Kuro sandėlio judančių grindų dydis privalo būti pritaikytas pagal kuro tipą, kuro tiekimo sąlygas, katilo dydį ir reikiamo veikimo laiką. Jų pagrindinė paskirtis – transportuoti kurą į tolimesnę biokuro katilinės įrangą. Kad būtų galima geriau suprasti konstrukciją, jos panaudojimą, tipus, panašumus ir skirtumus, toliau bus nagrinėjami rinkoje esančių biokuro katilinių sandėlio judančių grindų analogai.

#### **UAB „New heat group“ modulinės kuro sandėlio platformos su hidrauline grandikline kuro padavimo sistema [11].**

Kuro laikymui ir cikliškam kuro tiekimui į pakurą yra sumontuojama kuro sandėlio platforma su hidrauline – grandikline kuro padavimo sistema (žr. 1.8 pav.). Ji sudaryta iš:

- kuro sandėlio platformos (1,5 x3,0 m/3,0 x3,0 m) su grandikliais;
- hidrostotelės;
- sraigto kuro padavimui (diametras nuo 110 mm iki 190 mm);
- hidraulinių cilindų;
- motoreduktoriaus;
- kuro smulkinimo/pjovimo peilio.

**Veikimo principas.** Kuro sandėlyje hidrocilindrų pagalba grandiklių judančios dalys paeiliui perstumia kurą į specialaus dviejų sriegių tipų sraigtinio transporterio pusę. Prieš kurui patenkant į transporterio uždaro kanalo angą yra kuro smulkinimo/pjovimo peilis. Kuro transporterio sraigtas turi dviejų tipų sriegius – paprastos vijos ir segmentinės. Pastaroji be kuro perstūmimo dar atlieka ir sušalusio kuro gabalų ardymo funkciją. Taip pat tokia konstrukcija apsaugo nuo kuro padavimo angos užpresavimo kuru. Yra automatinio reverso funkcija. Platformos apačios ertmė yra

naudojama šilto oro iš katilinės pusės padavimui ir esant reikalui hidrocilindrų techninei apžiūrai. Iš kuro sandėlio sraigtinio transporterio kuras yra paduodamas į degiklio kuro padavimo sistemą [11].



**1.8 pav.** UAB „New heat group“ modulinės kuro sandėlio platformos su hidrauline grandikline kuro padavimo sistema [11]

***Pilnai automatizuotas biokuro sandėlis su judančiomis grindimis.*** UAB „New heat group“ kuriami ir tiekiami uždaro tipo visiškai automatizuoti sandėliai biokuro su judančių grindų mechanizmu yra reikalingi biokuro laikymui ir tolygiam kuro tiekimui į tolimesnes kuro talpas ar pakuras. Kuras yra atvežamas autokrautuvo pagalba ir iškraunamas ant sandėlio judančių grindų mechanizmo. Kuro sandėlyje sumontuoti žertuvai naudojant hidrocilindrus tolygiai ir cikliškai stumia kurą transporterių link [11].

Pagrindiniai privalumai – transportavimo ir smulkinimo funkcija viename įrenginyje, sąlyginai nedidelis ir lengvai eksploatuojamas įrenginys. Trūkumai – mažos talpos ir gabaritų įrenginys gali būti netinkamas galingoms biokuro katilinėms.

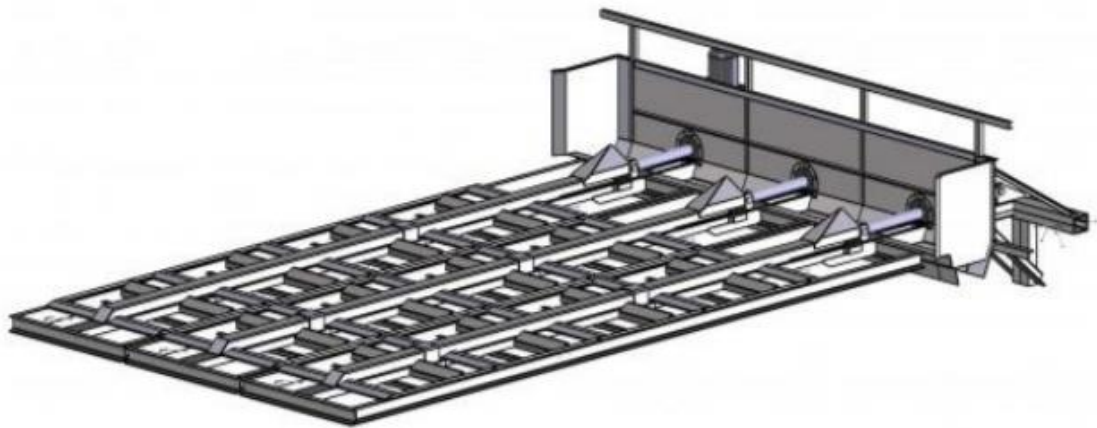
#### **UAB „Kalvis“ Hidraulinis kuro padavimo įrenginys su hidrauline įranga (HKPI) [12].**

Hidraulinis kuro padavimo įrenginys, toliau – HKPI, sudarytas iš per visą kuro sandėlio grindų plotą sumontuotų žertuvų, kurie yra stumdomi hidrocilindrų pagalba (žr. 1.9 pav.).

Įrenginys yra skirtas pjuvenų, medžio smulkintų elementų, spalių, skiedrų, pjuvenų ar kito biraus būvio kuro tiekimui iš kuro sandėlio į sraigtinį arba bet kokio kito tipo transporterį. Konkretiškai biokatilinei HKPI projektuojamas pagal turimas sąlygas bei užsakovo poreikius [12].

Charakteristikos:

- Žertuvų kiekis nuo 2 iki 5 vnt.;
- Žertuvų ilgis 12 m;
- Žertuvo plotis 1200 – 1500 mm;
- Biokuro dalelių gabaritai, ne daugiau kaip 20 mm x 50 mm x 100 mm.



**1.9 pav.** UAB „Kalvis“ Hidraulinis kuro padavimo įrenginys su hidrauline įranga [12]

Dėl didelių gabaritų šis įrenginys yra tiekiamas atskiriomis dalimis, todėl sujungimo procesas yra atliekamas montavimo metu. Įrenginio montavimas yra atliekamas pagal pateiktus reikalavimus ir kitas projektines sąlygas bei gamintojo pateiktus nurodymus [12].

Privalumai – galima keisti matmenis ir pritaikyti prie skirtingų objektų, tinkamas dideliame kiekiui biokurui užkrauti. Trūkumai – sunkus prieėjimas prie hidraulinių cilindrų, nėra kuro smulkinimo funkcijos, todėl yra pritaikytas tik specialaus dydžio kurui.

**UAB „Enerstena“ kuro sandėliavimo ir tiekimo sistema [13].**

„Enerstenos“ grupės projektuojama ir gaminama kuro transportavimo ir kuro sandėlio įranga yra naudojama automatiniam ir tolygiam kuro tiekimui (žr. 1.10 pav.). Kuras paprastai yra pristatomas krautuvu ir iškraunamas tiesiai į sandėlį ant platformų. Platformos kurą tiekia į kuro transportavimo sistemas (pvz. transporterius). Kad biokuras būtų tiekiamas tolygiai, įrengiamas kuro lygintuvas-trupintuvas, kuris tolygiai paskirsto biokurą sandėlyje ir susmulkina sušalusio kuro gabalus. Taip pat ant transporterio viršaus yra įrengiamos vibruojančios grotos, kad sulaikytų nenumatytą ir neleistiną kuro frakciją bei atskirtų didelių gabaritų kuro priemaišas (betono gabalus, akmenis). Atrūšiuotas ir susmulkintas kuras kuro transporteriais transportuojamas į pakuros maitintuvą. Maitintuvas, veikiantis hidrauliniu principu, tiekia kurą į pakurą, tai užtikrina tolygų kuro paskleidimą ant pakuros ardyno ir lemia gerą degimo procesą. Pagal kliento poreikius gali būti numatyta papildoma įranga kuro drėgmei sverti, matuoti [13].



**1.10 pav.** UAB „Enerstena“ kuro sandėliavimo ir tiekimo sistema [13]

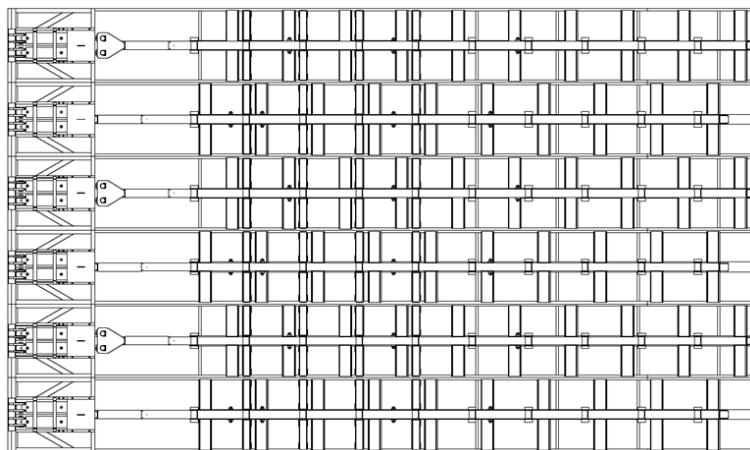
„Enerstenos“ grupė siūlo atviro tipo sandėlį, kuriame yra visa reikalinga papildoma kuro stumdymo ir smulkinimo įranga (savaeigis krautuvas) ir visiškai automatinį uždaro tipo sandėlį.

Privalumai – gali būti pritaikoma biokuro smulkinimo funkcija, galima transportuoti įvairų kurą ir pritaikyti įvairiems projektams, keičiamas ir ilgis, ir plotis, tinkamas priėjimas prie hidraulinių cilindrų. Trūkumai – sunku ištuštinti sandėlį, kuris gali netolygiai pasiskirstyti judėjimo metu.

### UAB „Axis Tech“ kuro sandėlio platformos.

„Axis Tech“ kuro sandėlio platformų (žr. 1.11 pav.) techniniai duomenys:

- Hidraulinio cilindro eiga - 500 mm;
- Ilgis – 13750 mm;
- Plotis – 1350 mm;
- Aukštis – 370 mm.



1.11 pav. UAB „Axis Tech“ kuro sandėlio platformos

„Axis Tech“ naudojamos platformos yra skirtos laikyti ir transportuoti biokurą į katilinės tolimesnes transportavimo sistemas. Prie išilginių sijų yra privirinami peiliai, ši dalis vadinasi žertuvu. Dviejų hidraulinių cilindrų pagalba šie žertuvai yra traukiami ir stumiami išilgai viso sandėlio ir tokiu būdu yra užtikrinamas kryptingas biokuro padavimas ir judėjimas. Šio analogo privalumai – paprasta tačiau patikima konstrukcija, neaukštas triukšmo lygis, galima užkrauti iki 10 m aukščio kuro sluoksniu, nedidelės eksploataavimo bei gamybos išlaidos, sušalę kuro gabalai neturi įtakos konstrukcijos veikimui bei patogus priėjimas prie hidraulinių cilindrų ir kitų besidėvinčių dalių. Trūkumai – sunku ištuštinti sandėlį, kuris gali netolygiai pasiskirstyti judėjimo metu ir sunaudoti didelį kiekį elektros energijos dėl pastovaus veikimo principo.

Apžvelgus analogus matome, kad sistema yra labai panaši, veikimo principo esmė irgi ta pati. Pirmasis analogas yra šiek tiek kitoks tuo, kad pripildymas yra mažesnis nei kitų likusių analogų ir jame yra sraigtai, t.y. kuro smulkintuvai, kurie rūpinasi kuro kokybišku tolimesniu transportavimu, tačiau kiti analogai turi kitas priemones, kurios galimai padeda kuro transportavimui, tai gali būti vibrosietai, tinkleliai, vibrogrotos – įranga, kuri neleidžia patekti dideliems ir nekokybiškiems ar sušalusio kuro gabalams į sistemą. Toliau bus nagrinėjamos „Axis Tech“ įmonės kuro sandėlio platformos.

## 1.4. Biokuras

Biokuras – tai kuras gaunamas iš biomasės ir atliekų (žr. 1.12 pav.). Tai vienas iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Biokuras gali būti gaminamas iš augalų (sodų, žiedynų ar parkų atliekos) arba žemės ūkio (augalininkystės, gyvulininkystės), komunalinių (tokių kaip cukraus gamyba, grūdų, žuvies, mėsos ir kt.), buitinių (nuotekos, maisto ir kt.) ar pramoninių (popieriaus, kartono ir kt.) atliekų. Miško ūkio pramonės mediena yra pagrindinė biokuro dalis, iš kurios gaminami medienos pjuvenų briketai, biologiškai birūs elementai, kurios gali būti skaidomos anaerobiniu ar aerobiniu būdais [14].

Kadangi judančios grindys skirtos transportuoti kurą, t.y. medienos, medienos apdirbimo atliekas arba jų mišinį, svarbu apsibrėžti kokį biokurą norime transportuoti. Nuo kuro priklauso daugelis aspektų – susidaro trintis, atsiranda susidėvėjimas, skiriasi hidraulinių cilindų suregulavimas, greičiai, našumas, ilgaamžiškumas ir kt.



1.12 pav. Biokuras [2]

Lietuvoje yra pagaminama daug kokybiško biokuro. Kokybiškas biokuras lemia įrangos tarnavimo laiką, sutaupomi kaštai įrangos eksploatacijos metu, nes kuo kokybiškesnis kuras – tuo mažesnis peleningumas. Taip pat sukuriama didesnis efektyvumas ir žinoma, taupesnis naudojimas, o tai užtikrina retesnę sandėlio pildymą [15].

Biokurą sudaro degioji ir nedegioji dalys. Nedegioji biokuro dalis yra sudaryta iš drėgmės ir pelenai. Pelenai - biokuro degimo metu susidariusios nedegios neorganinės (medžiagos) druskos iš biokure esančių neorganinių elementų (kalcio, kalio ir magnio). Pelenai ir degiosios medžiagos kartu (be drėgmės) sudaro sausąją kuro masę.

Anglis, deguonis ir vandenilis sudaro apie 99% visos biokuro sausosios masės. Biokure esantis azoto kiekis svyruoja nuo 0,2 % iki 0,5 %, sieros kiekis gali siekti 0,05% visos sausosios biokuro masės. Siera gali sukelti koroziją, tačiau kadangi jos sąlyginai yra labai mažai, deginant biokurą neigiamas poveikis nepasireiškia arba yra neįjaučiamas.

Biokuro drėgmė – pagrindinis parametras, kuris gali nusakyti biokuro degimo ypatybes. Biokuras, kurio drėgnumo lygis yra:

- <50%, dega labai gerai;
- >50%, sunku pasiekti gerą sudegimo kokybę ir stabilų degimą;
- >60%, kuras vos dega.

Pagrindinės kuro charakteristikos pateikiamos 1.1 lentelėje.

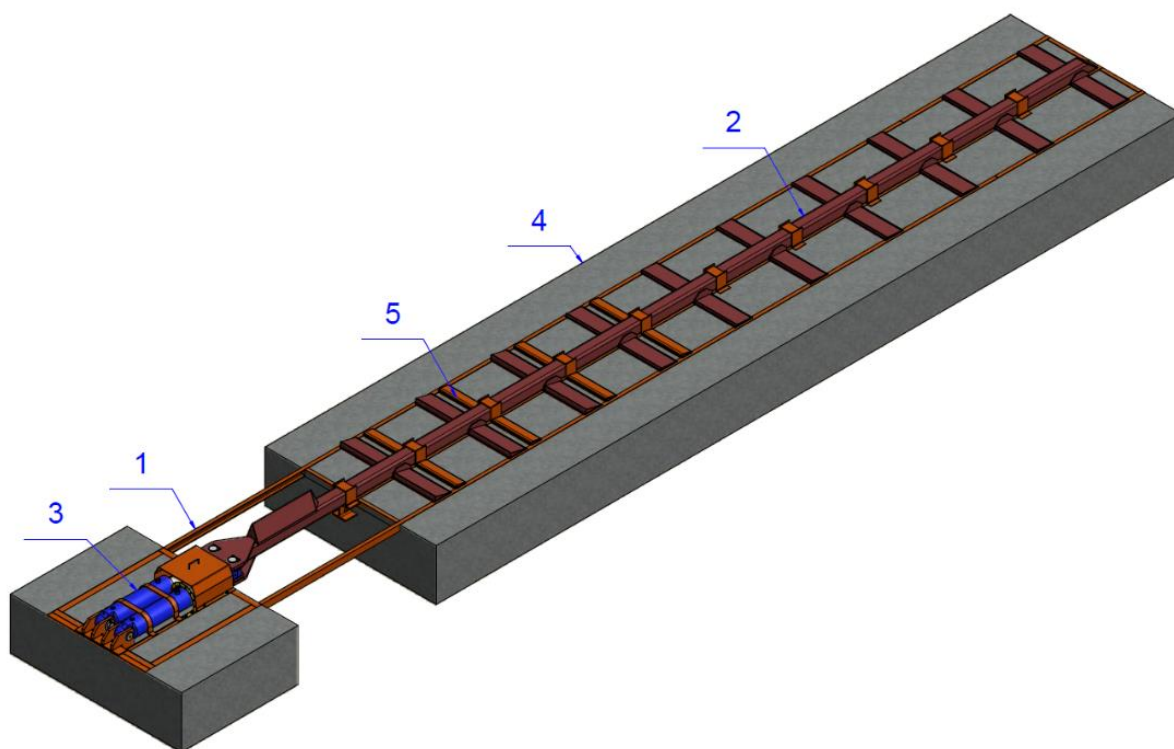
**1.1 lentelė.** Pagrindinės kuro charakteristikos

Biokuro drėgmė (%)	Anglis (%)	Vandenilis (%)	Siera (%)	Deguonis (%)	Azotas (%)	Pelenai (%)	Chloras (%)
40	29.23	3.62	0.02	25.14	0.18	1.80	0.01
55	21.92	2.72	0.01	18.85	0.13	1.35	0.01
60	19.49	2.42	0.01	16.76	0.12	1.20	0.01

Matome biokuro drėgmės ir pelenų santykį, kadangi kuras atvežamas iš lauko į sandėlį jo drėgnumas dažniausiai skiriasi. Kuo drėgnesnis kuras, tuo mažesnis peleningumas. Tačiau net ir 40 % drėgnumą turintis kuras, užtikrinantis gerą degimą, turi tik 1,8 % pelenų. Taip pat, matome, kad sieros kiekis siekia vos 0,02 % ir ji nesukels sparčios įrangos korozijos. Todėl darome išvadą, kad tai kokybiškas kuras, kuris klientui užtikrins kuro transportavimo įrangos ilgaamžiškumo palaikymą, efektyvumą ir taupymą.

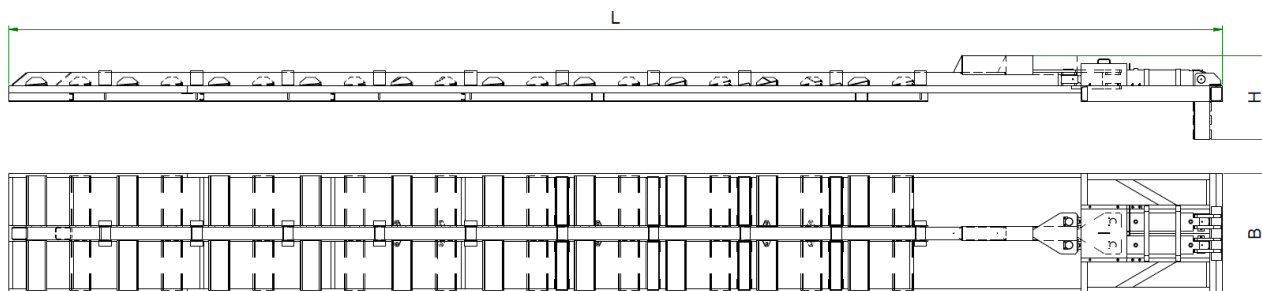
### 1.5. Nagrinėjamų biokuro katilinių judančių grindų analizė

Pagrindinės kuro sandėlio platformų dalys – pagrindinis rėmas (1), žertuvas (2), hidrauliniai cilindrai ir jų laikančioji konstrukcija (3), betonas (4), stacionarūs priešpeiliai (5) (žr. 1.13 pav.).



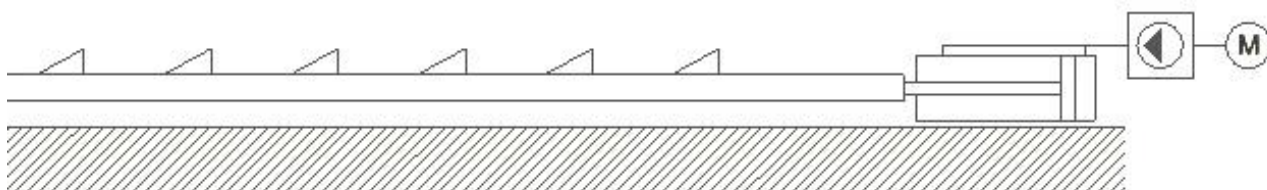
**1.13 pav.** Pagrindinės kuro sandėlio platformos dalys

Pagrindiniai matmenys aprašantys konstrukciją,  $L$  – ilgis (13750 mm),  $B$  – žertuvo plotis (1350 mm),  $H$  – žertuvo aukštis nuo įbetonuojamos dalies apačios (950 mm) (žr. 1.14 pav.).



**1.14 pav.** Pagrindiniai kuro sandėlio platformos matmenys

Biokuro katilinių judančių grindų veikimo principas. Hidrauliniai cilindrai (3) sugeneruoja žertuvo (2) linijinį judesį. Žertuvas (2) tempia transportuojamas medžiagas į priekį link kitos įrangos (transporterio bei kuro sluoksnio lygintuvo) ir cilindrų (3), o žertuvui (2) judant atgal sandėlio grindyse įbetonuoti priešpeiliai (5) esantys ant pagrindinio rėmo (1) kuro daleles atskiria ir sulaiko. Taip žertuvas (2) gali laisvai judėti pirmyn ir atgal, o transportuojama medžiaga dozuoja į kitas transportuojančias sistemas. Platformos kinematinė schema pateikta 1.15 paveiksle.

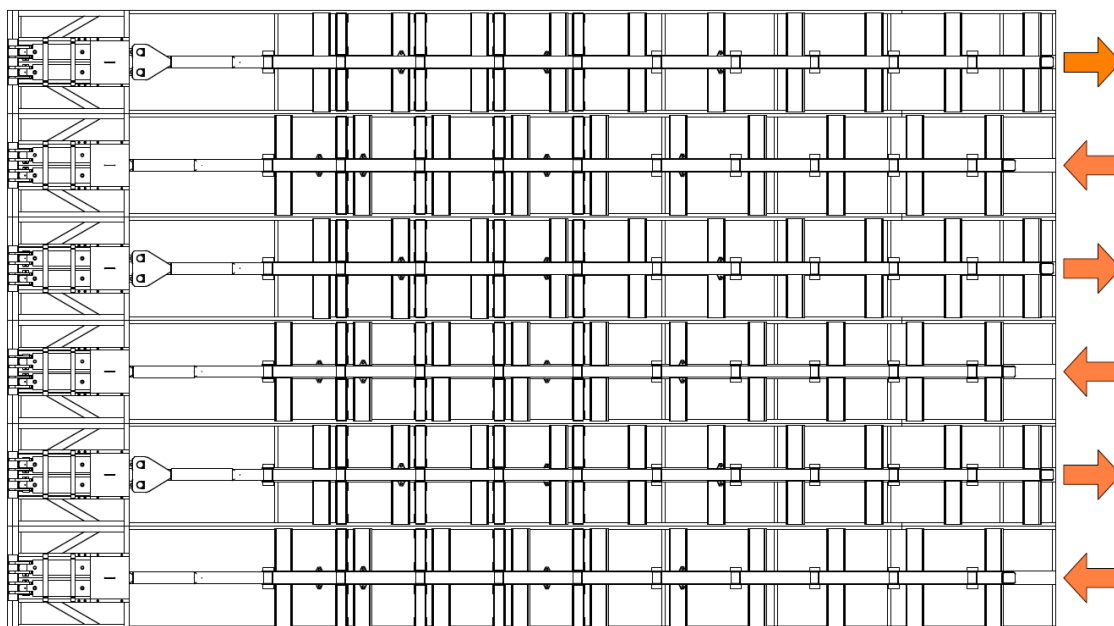


**1.15 pav.** Kuro sandėlio platformos kinematinė schema

Platformos būna įvairių ilgių ir pločių. Tai daro įtaką ir sandėlio dydžiui. Sandėlio dydis, konstrukcija ir matmenys taip pat priklauso ir nuo kuro tipo, katilo dydžio, degalų tiekimo sąlygų ir katilo veikimo laiko.

Nuo platformų kiekio ir dydžio priklauso ir sandėlio dydis bei jo pripildymas kuru. Kuro platformos gali būti grupuojamos po dvi, tris, keturias, penkias ir šešias dalis. Pagal šias grupuotes yra paskirstomas ir platformų žertuvų priešpriešinis judėjimas. Pavyzdžiui, jeigu turime šešių platformų bloką sandėlyje, vadinasi trys iš jų judės pirmyn, o kitos trys tuo pačiu laiko momentu judės atgal (žr. 1.16 pav.).

Naudojant tokią kuro transportavimo sistemą kuro sandėlis skirstomas į du tipus – vienas, išorinis sandėlis, kuriame patalpinamas kuras, kurio užtenka maždaug savaitei aprūpinti katilinę ir jis yra tiesiog išbetonuotas, be jokios įrangos, tik kuro palaikymui. Kitas – mažas automatizuotas sandėlis su įmontuotomis platformomis, kurio pripildymo užtenka 24 h - 48 h darbo valandoms. Sandėliai dažniausiai pripildomi naudojant traktorius su frontaliu krautuvu arba mini krautuvus su teleskopinio tipo krautuvu. Ant kuro sandėlio platformų užvažiuoti keltuvui yra griežtai draudžiama todėl yra svarbu pagal judančių grindų įrangą ir sandėlio aukštį, suteikti tinkamą prieigą krautuvui bei užtikrinti patogų sandėlio pripildymą.



1.16 pav. Sandėlio platformų iš šešių žertuvų bloko judėjimo pavyzdinė schema

Siekiant palengvinti sandėlio pripildymą, durys nėra naudojamos, yra padaroma tik stoginė, apsauganti kurą nuo papildomos drėgmės. Tačiau konstruojant tokio tipo gaminį reikia atsižvelgti, kad pati konstrukcija nuolatos gauna ne tik apkrovos nuo kuro, bet ir drėgmės, todėl platformos privalo būti padengtos tam tikros klasės gruntu ir dažų sluoksniu, tam, kad būtų apsaugotos nuo korozijos ir spartesnio suirimo.

## 1.6. Nagrinėjamų biokuro katilinės judančių grindų eksploatacija ir techninė priežiūra

Įrenginio priežiūra ir eksploatacija yra itin svarbi tiek konstruktoriui, kuris turi nurodyti reikalavimus, tiek klientui, todėl, kad pagal tai galima numatyti gaminio ilgaamžiškumą, susidėvėjimą ir įsivertinti papildomus kaštus. Kiekvienas klientas nori, kad gaminys būtų kuo labiau techniškai tvarkingas, saugus ir patogus transportuoti, montuoti ir valdyti. Todėl itin svarbu domėtis ne tik pačiu gaminiu bet ir jo priežiūra, dalių pakeičiamumu bei dalių susidėvėjimu.

Taigi, įrenginio **eksploatavimo** metu reikalinga laikytis visų nurodymų pateiktų įrenginio eksploataavimo instrukcijoje, laikytis darbuotojų saugumo ir sveikatos nurodymais. Įrenginį prižiūrėti, aptarnauti, techniškai montuoti, keisti, atlikti bandymus ar remonto darbus gali tik kvalifikuoti specialistai, išmanantys įrenginio veikimą, komplektaciją ir kitus eksploatacijos instrukcijoje nurodytus techninius parametrus. Įrenginys privalo būti eksploatuojamas pagal projektinę dokumentaciją ir laikantis nurodymų.

Taigi, šis įrenginys griežtai turi būti įžemintas, prijungtas laikantis vietinių taisyklių, normų bei kitų galiojančių ir šią veiklą reglamentuojančių normatyvinių aktų bei teisinių dokumentų.

Yra draudžiama:

- įrengimui dirbant nuiminėti apsaugas, atidarinėti dangčius, atlikti remonto darbus;
- įrengimui dirbant atlikti jo valymą;



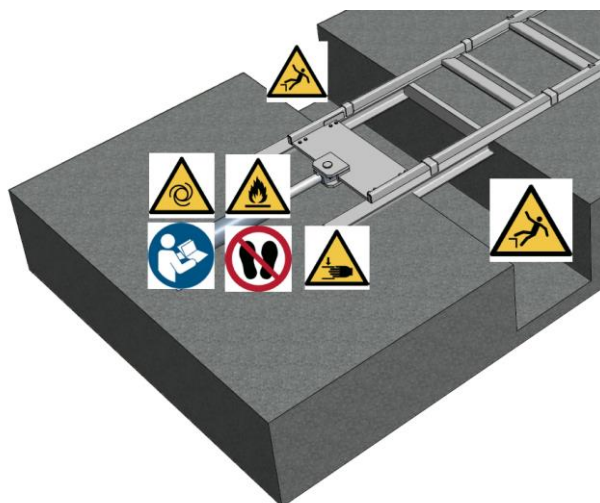
- dirbant įrengimui išiminti iš jo išpraustas atliekas, kitus daiktus, bandyti atlaisvinti užsikirtusias dalis;
- draudžiama laiptoti, vaikščioti ant dangčių;
- įrenginį naudoti ne pagal paskirtį;
- techniškai netvarkingą įrenginį eksploatuoti;
- diegti įrenginio pakeitimus ar tobulinti įrenginį nesuderinus su užsakovu ir gamintoju;
- važiuoti su krautuvu ant įrenginio
- naudoti šalia įrenginio atvirą ugnį (darbus su ugnimi privaloma atlikti tik įrenginį išjungus ir įsitikinus, kad įrenginys yra atjungtas nuo elektros tiekimo, bei 5 metrų spindulio atstumu (aplink esant degioms medžiagoms ar degioms konstrukcijoms) tik pašalinus degius elementus, dulkes arba patikimai izoliavus įrenginį metaliniais skydais ar sudrėkinus vandeniu).

Taip pat sandėlio platformos turi savus rizikos faktorius ir pavojus eksploatuojant, kuriuos projektuojant ir vertinant gaminio saugumą ir baigtumą yra privalu žinoti. Jie pateikiami 1.2 lentelėje.

**1.2 lentelė.** Galimi rizikos faktoriai ir pavojai eksploatuojant

Nr.	Tipas	Priežastis	Galimos pasekmės	Prevencinių priemonių aprašymas
1	Mechaniniai pavojai	- Judančios dalys.	- Numetimas, įsivėlimas ar užkibimas; - Trintis ar įbrėžimas; - Smūgis.	- Sumontuoti ir lengvai pasiekiami avariniai platformų jungikliai; - Izoliuotos ir ženklais pažymėtos kuro sandėlio pavojingos vietos.
2	Elektriniai pavojai	- Perkrova; - Pažeistas kabelis; - Trumpas jungimas; - Vandens patekimas ant elementų su įtampa.	- Nudegimas; - Mirtinas elektros šokas; - Elektros smūgis; - Ugnis.	- Izoliuotos ir saugios elektrinės dalys, be išorinio kontaktavimo; - Įžemintos elektrai laidžios dalys; - Įtampos izoliavimas arba atjungimas; - Naudoti dielektrines apsaugines priemones.
3	Terminiai pavojai	- Ugnis.	- Nudegimas	- Nuvalyti dulkes ir degias medžiagas nuo elementų su įtampa.
4	Triukšmas	- Judančios dalys.	- Klausos organų pažeidimas	- Ženklausiai pažymėti garso lygi darbovietėje; - Naudojamos priemonės triukšmui izoliuoti (ausinės ir kt.).

Siekiant išvengti pavojų privaloma nurodyti darbų saugos ženklus ir jų vietas (žr. 1.17 pav.), kurie įspėtų apie tinkamą gaminio eksploatavimą ir išvengtumėme nelaimingų atsitikimų. Tik laikantis visų reikalavimų galėsime adekvačiai vertinti gaminio parametrus, kurie yra nepriklausomi nuo žmogaus įtakos.



1.17 pav. Darbų saugos ženklai

Taip pat labai svarbu, kad gaminys gali būti gabenamas visų rūšių transporto priemonėmis, laikantis krovinių gabenimo reikalavimų, galiojančių toms transporto priemonėms. O kėlimas būtų atliekamas lynais arba kėlimo diržais.

Taip pat svarbi yra ir įrenginio **techninė priežiūra**. Įrenginio techninė priežiūra gali būti dalijama į periodinę apžiūrą ir generalinę apžiūrą.

Periodinė apžiūra skirta patikrinti ir užtikrinti normalų prietaiso veikimą, norint išvengti galimų didesnio masto gedimų. Ji atliekama kartą per savaitę.

Generalinė apžiūra – detali įrenginio apžiūra atliekama po ilgesnių laiko intervalų, per kurią taip pat patikrinama korozija ir vidinių detalių nusidėvėjimas. Priklausomai nuo apžiūros rezultatų, padaromas sprendimas, ar detalės, kurios nustatytos kaip pažeistos ar netinkamos tolesniam eksploatavimui bus remontuojamos ar keičiamos naujomis.

Įrenginio techninės priežiūros grafikas pateikiamas 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Techninės priežiūros grafikas

Aprašymas	Dažnumas											
	1 d.	Savaitė		Mėnesis				Metai				
	1	1	2	1	2	3	6	1	2	3	5	10
Vizuali hidraulinių cilindrų inspekcija: patikrinti ar nėra alyvos nutekėjimo, patikrinti tvirtinimo taškus. Vizuali hidraulinių cilindrų ir žertuvų darbo apžiūra.			X									
Generalinė apžiūra – detali įrenginio apžiūra. Patikrinamos ir pakeičiamos visos susidėvėjusios mechaninės, hidraulinės ir elektrinės dalys.								X				

Tik laikantis visų eksploataavimo bei techninės priežiūros reikalavimų, galima priimti, kad gaminio lūžimas ar kitoks defektas, kuris atsitiko ne dėl žmoniškųjų klaidų ir nepriežiūros, yra problema, kurią reikia spręsti. Tokias problemas identifikuoja gaminį įsigijęs klientas, jeigu problema atsirado nurodytu garantijos laikotarpiu.

Biokuro sandėlio platformų garantijos laikotarpis priklauso nuo objektui skirtos garantijos laikotarpio, kuris gali tęstis net dvidešimt metų. Šiuo laikotarpiu gamintojas garantuoja techninę apžiūrą bei gaminio trūkumų ir defektų pašalinimą, kuris kilo dėl gamintojo kaltės. Kadangi laikotarpis yra ilgas yra svarbu identifikuoti besidėvinčias bei keičiamas dalis.

### 1.7. Judančių sandėlio platformų besidėvinčios ir keičiamos dalys

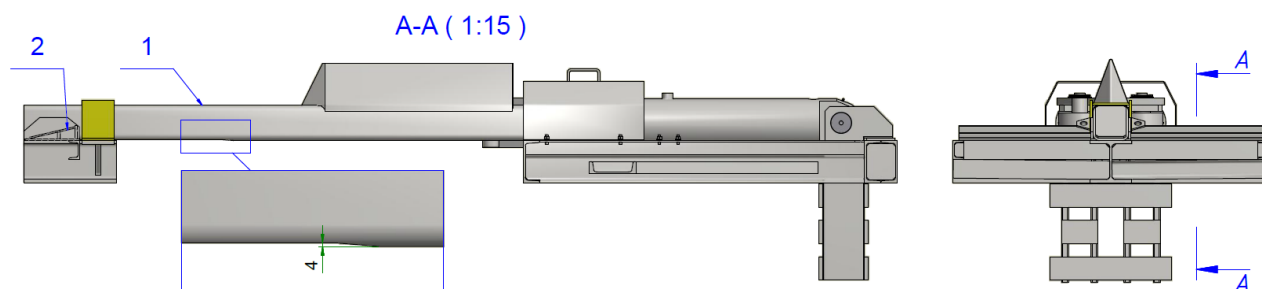
Dažniausiai pasitaikanti problema – kaiščio ir hidraulinio cilindro susidėvimas ir keitimas. Taigi, nagrinėjamos besidėvinčios dalys.

**Besidėvinčios dalys** – dalys, kurios susidėvi dėl mechaninio poveikio ir todėl reikia atlikti jų techninę priežiūrą, t. y. jas reikia apžiūrėti generalinės apžiūros metu, jei jų nusidėvimas kritinis, tos detalės keičiamos. Tikrinant taip pat reikia įvertinti, ar iki kito patikrinimo nusidėvimas neviršys kritinės ribos. Nustačius, kad taip įvyks, tas detales taip pat reikia pakeisti. Tikrinantis darbuotojas įvertina, koks nusidėvimas numatomas iki kito patikrinimo. Nusidėvimas, kuris priklauso nuo įvairių veiksnių (kuro rūšies, priemaišų) skirtinguose įrenginiuose yra skirtingas ir vertinant nusidėvimą į tai reikia atsižvelgti.

**Žertuvas.** Žertuvo sparnų nudilimas priklauso tiek nuo transportuojamos medžiagos frakcijos, tiek nuo apkrovos. Žertuvo sparnai dyla ir viršuje ties žertuvo sparno viršutine plokšte (1.18 pav.) (kontakto zonoje su transportuojama medžiaga) ir apačioje ties žertuvo vamzdžio apačia (1.19 pav.) (kontakto zonoje su grindimis). Jeigu sparnai nudyla daugiau negu 40 procentų gali atsirasti tikimybė, jog jie užlinks, užstrigs.



1.18 pav. Žertuvo sparno bloko susidėvimimo schema, 1 – žertuvo sparno rėmas, 2 – žertuvo sparno viršutinė plokštelė, 3 – žertuvo sparno apatinė plokštelė



1.19 pav. Žertuvo vamzdžio apačios susidėvimimo schema, 1 – žertuvo vamzdis, 2 – žertuvo sparno blokas

**Apkaba.** Apkabos yra smarkiai apkrautos, jos visą laiką dirba įtemptos. Reikia patikrinti ar apkabos neturi įtrūkimų ir ar jos nėra nudilusios daugiau negu leistina. Esant neleistiniems nudilimams, deformacijoms arba įtrūkimams apkabą reikia pakeisti arba ją restauruoti.

**Priešsparnis.** Priešsparnių viršus dėvėsi nuo trinties su transportuojama medžiaga. Tačiau apatinė plokštė veikia kaip apkaba. Ją reikia tikrinti analogiškai kaip apkabą.

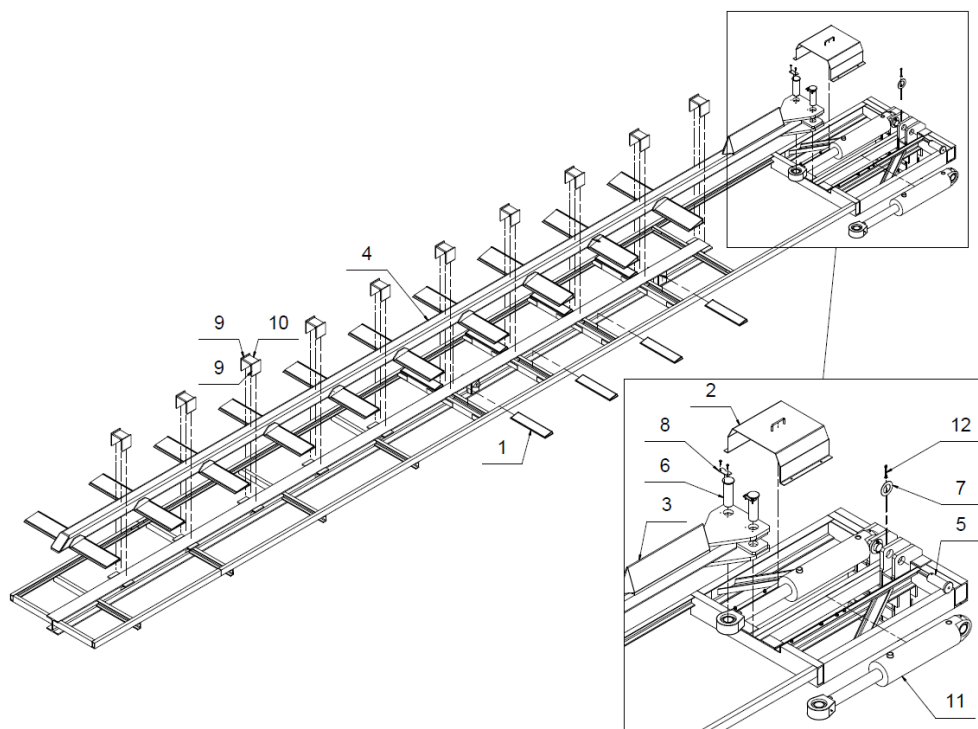
Besidėvinčių dalių kritinio nusidėvėjimo rodikliai pateikiami 1.4 lentelėje.

**1.4 lentelė.** Besidėvinčių dalių leistini nusidėvėjimo rodikliai

Pavadinimas	Originalus medžiagos storis	Kritinis medžiagos storis
Žertuvo sparno viršutinė plokštelė	6 mm	3.5 mm
Žertuvo vamzdžio sienelė	10 mm	6 mm
Priešsparnis	6 mm	3.5 mm
Apkaba	10 mm	6 mm

**Keičiamos dalys** – arba kitaip, tai tokios dalys, kurios yra būtinos prietaiso veikimui užtikrinti, tačiau neišvengiamai lūžta ar susidėvi. Kai kurių dalių lūžimas ir defektai garantinio laikotarpio metu yra priimtini ir lengvai pakeičiami, tokių kaip kaištis, apkaba ir yra laikoma, kad gaminyt atitinka nurodytą ilgaamžiškumą. Tačiau, kartais nutinka rimtesnių gedimų ir lūžių, kurie nėra lengvai pakeičiami. Neretai tenka gaminti ir transportuoti naujas dalis, jos nėra laikomos kaip atsarginės ir yra traktuojama, kad gaminyt neatitinka nurodyto ilgaamžiškumo, todėl kaštus padengia gamintojas.

Pakeičiamos biokuro judančių sandėlio grindų dalys (žr. 1.20 pav.) yra nurodytos 1.5 lentelėje.



**1.20 pav.** Judančių sandėlio grindų atsarginės keičiamos dalys

### 1.5 lentelė. Judančių sandėlio grindų atsarginės keičiamos dalys

Nr.	Pavadinimas	Pakeičiamumas
1	Stacionarus priešsparnis	Sunkiai pakeičiami
2	Hidrocilindro apsauga	Lengvai pakeičiama
3	Kuro paskirstytuvas	Lengvai pakeičiamas
4	Žertuvo blokas	Sunkiai pakeičiamas
5	Kaištis 1	Lengvai pakeičiamas
6	Kaištis 2	Lengvai pakeičiamas
7	Poveržlė	Lengvai pakeičiama
8	Fiksacinė smeigė	Lengvai pakeičiama
9	Apkabos dalis 1	Lengvai pakeičiama
10	Apkabos dalis 2	Lengvai pakeičiama
11	Hidrocilindras	Lengvai pakeičiamas
12	Skiriamasis kaištis	Lengvai pakeičiamas

Išnagrinėjus susidėvinčias ir keičiamas dalis matoma, kad biokuro sandėlio judančios grindys turi lengvai pakeičiamų ir susidėvinčių dalių, taip pat turi ir sunkiau pakeičiamų ir susidėvinčių dalių, todėl toliau yra svarbu identifikuoti realias problemas, kurios kyla gaminio eksploatavimo metu.

### 1.8. Judančių biokuro sandėlio grindų problemos

Jau žinoma, kad eksploatavimo metu dažniausiai pasitaikančios nežymios problemos yra lengvai ir greitai sutvarkomos, o susidėvėjusios ar defektų turinčios detalės greitai ir lengvai pakeičiamos. Taip pat yra aišku, kad problemos atsiranda ir dėl žmogiškųjų faktorių, tokių kaip netinkama priežiūra, per reta apžiūra, laiku neatlikti matavimai bei naudojamas netinkamas veikimo algoritmas. Toliau bus identifikuojamos realios problemos, kurios ištinca tiek montavimo, tiek tolimesnės eksploatacijos metu ir dėl kokių priežasčių gali jos atsirasti.

Viena iš dažniausiai pasitaikančių problemų – gamybos klaidos. Kartais parenkamas netinkamas suvirinimo būdas, tinkamai neatliktas šlifavimas, nepakankamas grunto ar dažų sluoksnis. Kartais montavimo metu atsiradusios neatitiktys gali likti nepastebėtos, tokios kaip neužtikrintas nurodytas suvirinimo siūlės gylis. Dėl šių niuansų atsiranda įvairūs įtempiai, kurie viršija reikiamas ribas ir kitos nepageidaujamos deformacijos. Būtent judančių platformų atveju, traukimo bei stūmimo metu netinkamas suvirinimas gali nulemti gaminio ilgaamžiškumo sumažėjimą (žr. 1.21 pav.).

Kita dažniausiai pasitaikanti problema – konstravimo klaidos. Neretai dėl žmogiškųjų klaidų gali įsivelti klaidos brėžiniuose ir tuomet yra neteisingai nustatomi gaminio gamybos procesai, dėl kurių atsiranda defektų. Pavyzdžiui, netinkamos paviršių lygumo ar kitos nurodytos tolerancijos, gali iškreipti gaminio geometriją, tuomet surinkimo metu atsiranda neatitiktys arba gaminio veikimo metu įvyksta lūžimas dėl atsiradusių skersinių nepageidaujamų jėgų netinkamomis kryptimis. Dėl šių priežasčių yra rekomenduojama gaminį nuolatos tikrinti, tiek gamyboje, tiek objekte. Konstruktorius gali siūlyti patobulinimus gaminiui, atlikti tyrimus, skaičiavimus arba ištaisyti savo klaidas ir užtikrinti, kad klaidos nepasikartotų gamyboje. Dažniausiai siūlomi medžiagos ar konstrukcijos pakeitimai, kurie yra pagrįsti atliktais skaičiavimais. Šiais laikais skaičiavimai dažniausiai atliekami pasitelkiant kompiuterinę įrangą, todėl, kad analitiniais skaičiavimais kartais

neįmanoma suskaičiuoti sudėtingesnės geometrijos ar kompleksinių uždavinių. Vienas plačiausiai naudojamų skaičiavimų metodų yra baigtinių elementų metodas.



**1.21 pav.** Žertuvo sparno lūžimas dėl netinkamo suvirinimo

Yra nutikę ir taip, kad patys cilindrai parenkami neteisingai, tuomet esant per silpnai hidraulikai pati konstrukcija yra per sunki ir hidraulika neveikia tinkamai. Šiai problemai spręsti paprasčiausias ir greičiausias būdas yra pakeisti hidraulinę sistemą. Tuomet platformos ima veikti tinkamai ir konstrukcija laikoma tvaria. Iškilus tokiai problemai, konstrukcijos pakeitimai nebuvo svarstomi.

Retais atvejais yra pasitaikę, kad tiesiog nulūžo žertuvo „ausis“, kuri susijungia su cilindrais (žr. 1.22 pav.). Tačiau tiksli priežastis nenustatyta, tiesiog svarstoma, kad tai galėjo turėti įtakos anksčiau paminėtos gamybos klaidos ar specifiniai gaminio defektai. Atlikus kompiuterinę analizę, rezultatai parodė, kad jokių stiprumo korekcijų konstrukcijai nereikia, todėl atliktas remontas, pakeistos dalys į naujas ir toliau veikė tinkamai be jokių lūžių ar įtrūkimų.



**1.22 pav.** Žertuvo „ausies“ lūžimas

Taip pat yra pastebėta, kad pavasariį, dėl susidariusio temperatūrų pokyčių, biokuro sandėlio judančios grindys prišąla, nes kuras, kuris papuola po jomis susipresuoja ir neatitirpsta. Kartais taip nutinka, kad atitirpęs kuras lieka palindęs po žertuvų sparnais (žr. 1.23 pav.). Ši problema sprendžiama sumontuojant nuo katilo atvestą vamzdžių sistemą su šiltu oru, kurie atiduoda šilumą kuro sandėlio platformų betoninei daliai. Susiformavęs ledo sluoksnis atitirpo ir nebetrukdo platformų judėjimui.



**1.23 pav.** Sušalusio kuro dalelės po platformų žertuvų sparnais

Žinoma, viena iš problemų matomų objekte – geometrinių matmenų pokyčiai. Jie atsiranda dažniausiai dėl suvirinimo deformacijų, taigi įvyksta reakcija, kurios metu metalas yra veikiamas aukšta temperatūra ir plečiasi, o tuomet vėsta ir traukiasi. Atsiranda paklaidos. Praktikoje išskiriama pagrindinė nesutaptis, žertuvo ir cilindro „ausų“ skylių poslinkiai. Tuomet yra negalima įstatyti jungiamųjų kaiščių į skyles. Ši problema sprendžiama panaudojant korekciją liepsna arba kitaip atkaitinimą (žr. 1.24 pav.). Tai išsprendžia ir dar vieną problemą, taip yra sumažinami arba pašalinami skersiniai, nepageidaujami žertuvo judėjimai, todėl šį metodą siūloma taikyti montuojant platformas visuose objektuose, kuriuose yra dvicilindrės žertuvo sistemos.



**1.24 pav.** Atkaitintas žertuvo vamzdis

Eksploatacijos metu yra pastebėta atveju, kai žertuvo sparnai atkyla nuo betoninės dalies. Per tam tikrą laiko tarpą atsiradę tokie pokyčiai gali nebeužtikrinti tinkamo gaminio veikimo ir paskirties, nes tuomet kuras yra netinkamai stumiamas pirmyn ir palindęs po žertuvo atkilusiais sparnais gali presuotis bei trikdyti gaminio veiklą. Ši problema gali atsirasti dėl įvairiausių priežasčių, nustatyta, kad ją gali sukelti netinkamas kuro užpylimas ant platformų. Eksploatacijos instrukcijoje yra minima, kad negalima važiuoti su krautuvu ant platformų, tačiau jeigu instrukcijos nurodymų yra nepaisoma, žertuvo sparnai gali užsilenkti aukštyn. Dar viena priežastis – pasitaikęs nekokybiškas

bei sušalęs biokuras arba susidaręs plonas ledo sluoksnis. Taip pat – mechaniniai pažeidimai, tokie kaip žertuvo rėmo ar žertuvo „ausies“ trūkiai. Ši problema sprendžiama įvertinant sparnų užsiritimą. Jeigu užsiritimas kritinis, matomas ir neužtikrina tinkamo gaminio veikimo, tuomet sparnai yra keičiami naujais ir atliekamas judančio sandėlio grindų konstrukcijos remontas. Tačiau yra buvę atvejų, kurie neidentifikuoti kaip kritiniai ir nors problema buvo stebima kiekvienos apžiūros metu, nuo žertuvo sparnai tiesiog nulūžo ir prireikė atlikti remontą (žr. 1.25 pav.).



**1.25 pav.** Žertuvas su nulaužtais sparnais dėl jų deformacijos

Taigi, šiuo atveju turima konstrukcija su dviem cilindrais reikalauja didelio gamybos tikslumo, svarbiausia, tinkamo suvirinimo ir užtikrinto cilindrų surūšiavimo. Jeigu yra nesilaikoma šios sąlygos, tuomet yra pastebima, kad judančių žertuvų galuose gali susiformuoti ciklinės deformacijos, kurios lemia žertuvo geometrijos pokyčius, t.y. žertuvas lenkiamas į šonus ir jis lūžta. Šiuo atveju reikalingas tyrimas ir analizė, kurios metu būtų suformuluota užduotis pakeitimams.

O kartais nutinka taip, kad žertuvo konstrukcija lūžta sutartu garantinio laikotarpio metu neatlaikius reikiamo ilgaamžiškumo, nors gamyba pagamino gaminį teisingai, brėžiniai yra be klaidų, montavimo metu ir eksploatacijos bei apžiūros metu nepastebėti jokie defektai ar sąlygų nesilaikymas. Tuomet, reikia tirti biokuro sandėlių judančių grindų konstrukciją ir išsiaiškinti kokį ilgaamžiškumą gali laikyti numatytos konstrukcijos platformos.



## 2. Biokuro judančių sandėlio grindų tyrimas

### 2.1. Problematika

Atlikus biokuro judančių sandėlio grindų analizę identifikuotos pagrindinės problemos, įvykę realūs lūžimai bei defektai. Iš šių pateiktų defektų bus nagrinėjama viena pasirinktina ir aktuali problema – suvirinimo siūlės trūkis tarp žertuvo vamzdžio ir žertuvo sparno (žr. 2.1 pav.).



2.1 pav. Matomas suvirinimo siūlės trūkis

Ši problema pasirinkta todėl, kad ją galima tirti naudojant baigtinių elementų metodą remiantis trūkių atsiradimo metodikomis, kadangi realių eksperimentinių tyrimų vykdyti nėra galimybių, o analitiniais skaičiavimais tiksliai apskaičiuoti šios vietos nuovargį bei ilgaamžiškumą beveik neįmanoma. Taip pat ši problema yra aktuali, nes ją reikia išspręsti realiu laiku ir pateikti remonto arba tobulinimo galimybes. Dėl iškilusios problemos nėra aišku ar žertuvo sparnai nenulūš iki kitos apžiūros, o dėl to gali būti stabdomas katilinės veikimas neplanuotu laiku ir kainuoti papildomus kaštus.

Toliau nagrinėjant problemą, svarbu apsibrėžti, kad pirminės apžiūros metu trūkis beveik nematomas, o antros apžiūros metu plyšys padidėjo ir tapo matomas, vadinasi trūkio augimas priklauso nuo konstrukcijos nuovargio. Šie trūkiai yra pavojingi todėl, kad siūlės šaknies įtrūkis tampa matomas tada, kai jis prasiskverbia per visą siūlės ilgį. Po tam tikro laiko, kuris skaičiavimo metu bus identifikuotas, žertuvo sparnas nutrūks nuo laikančiojo vamzdžio.

Taip pat svarbu paminėti, kad pirmą kartą plyšio užuomazgos buvo matomos, tačiau identifikuotos kaip nepavojingos po vienerių metų generalinės apžiūros metu. O nuotraukoje matomas plyšys identifikuotas tik per antrąją apžiūrą po dviejų veikimo metų.

Suvirinimo siūlės storis pasirinktas pagal plokštelės storį prie kurios privirintas sparnas. Plokštelės storis – 6 mm, taigi ir kampinės siūlės storis yra toks pats. Nagrinėjant problemą yra pasirenkama prasčiausia trisdešimt antra suvirinimo klasė, todėl, kad negalime identifikuoti tikslios suvirinimo klasės.

Taigi, šio **tyrimo tikslas** – ištirti trūkusios biokuro sandėlio grindų žertuvo sparno siūlės stiprumą ir ilgaamžiškumą.

Kad tyrimas būtų sklandus nusistatomi tyrimo **uždaviniai**:

- Atlikti tyrimo problematikos apžvalgą;
- Aprašyti galimus ir pasirinktus tyrimo metodus;
- Atlikti stipruminius skaičiavimus baigtinių elementų metodu;
- Atlikti ilgaamžiškumo skaičiavimus baigtinių elementų metodu;

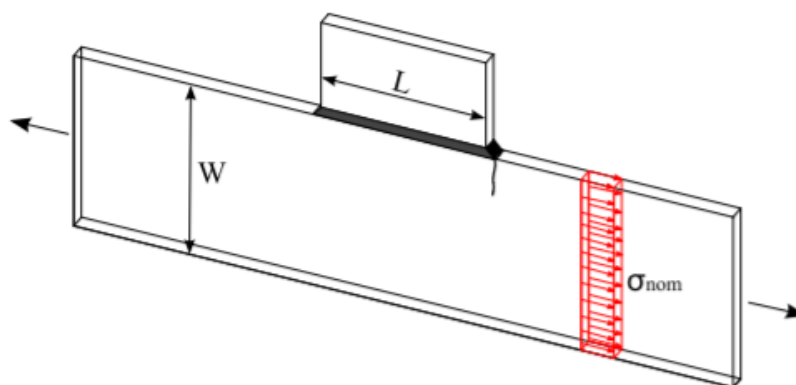
## 2.2. Tyrimo metodai

Ilgaamžiškumas – tai tvermė, kai per numatytą laikotarpį veikiant tam tikrų apkrovų spektrui, dėl nuovargio įvyksta irties procesas. Kitaip ilgaamžiškumą galima vadinti patvarumu. Patvarumą nusako keturi pagrindiniai aspektai – įtempiai ir jų intervalai, konstrukcijos sudėtis ir geometrija, naudotų medžiagų charakteristikos bei kiti aplinkos veiksniai.

Norint išnagrinėti atsiradusios suvirinimo siūlės plyšį, naudojama „Fatigue Analysis of Welded Components“ [16] bei „Fatigue life assessment of welded bridge details using structural hot spot stress method“ [17] metodinė medžiaga.

Tiriant suvirintus elementus pagal šią konkrečią išsikeltą problemą, naudojant baigtinių elementų principą, galima naudoti tris pagrindinius metodus – nominalių įtempių metodą (angl. – *nominal stress method approach*), struktūrinių „karštų“ taškų įtempių metodą (angl. – *structural hot spot stress approach*) bei efektyvių įpjovos įtempių metodą (angl. – *effective notch stress approach*).

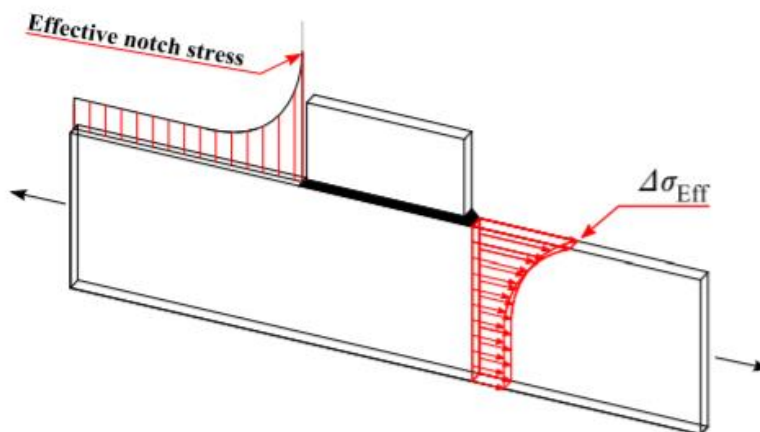
**Nominalių įtempių metodas** – tai yra tradiciškas ir dažniausiai naudojamas metodas norint suskaičiuoti komponentų ilgaamžiškumą. Šis metodas pagrįstas vidutiniu įtėmiu skerspjuvio plote, atsižvelgiant į bendrą medžiagos tiesinio elastingumo elgesį (žr. 2.2 pav.) [17].



2.2 pav. Nominalių įtempių metodo tyrimo įtempių tyrimo srities apibrėžimas [18]

Tačiau šį metodą yra sunku taikyti tam tikrų konstrukcijų tyrimui, nes sunku nusakyti kuris taškas yra svarbiausias ir kurie įtempiai yra tie tikrieji ir reikalingi analizės išvadoms padaryti. Be to, tiriant konstrukciją šiuo metodu neatsižvelgiama į įtempių koncentratorius, kurių galime nepaisyti, arba atvirksčiai, kurie yra svarbiausi. Nominalaus įtempių tyrimas yra skirtas paprastoms konstrukcijoms tirti, o turint sudėtingesnio tipo konstrukciją įtempiai gali turėti dideles paklaidas arba netikslumą. Taip pat šio metodo mes negalime naudoti, nes jis reikalauja daug skirtingų bandymų ir reikia turėti ištestuotas suvirinimo siūles eksperimentiškai bei turėti savo S-N kreivės aprašymą (S-N kreivė – ciklinių įtempių santykio su suirimo ciklų skaičiumi santykis logaritminiame grafike).

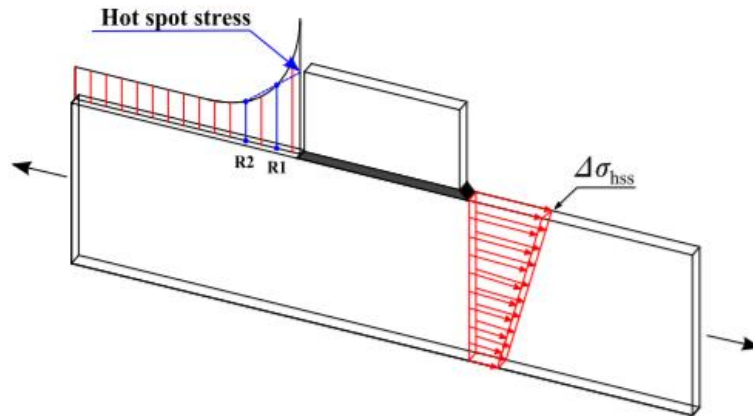
**Efektyvių įpjovos įtempių metodas** paremtas tuo, kad įpjovos arba kitaip plyšiai ar įtrūkliai atsiranda dėl geometrinių nelygumų ir tarpų tokių kaip atsiradusios mikro skylutės ar kitų suvirinimo defektų. Šie defektai yra įprasti ir jų neįmanoma išvengti. Suvirintų jungčių nuovargio stiprumas labai priklauso nuo šių įpjovų savybių, suteikiančių didesnes įtempimo koncentracijas. Šis metodas pagrįstas apskaičiuotu didžiausiu elastiniu įtampiu kritiniuose taškuose. Šie taškai pagal metodą yra išsidėstę tam tikru spinduliu plote aplink suvirinimo siūlę (žr. 2.3 pav.) [17].



2.3 pav. Efektyvių įpjovos įtempių metodo įtempių tyrimo srities apibrėžimas [18]

Šis metodas taip pat nebus naudojamas tyrimo metu, nes jis reikalauja labai tikslios gaminio sumodeliuotos geometrijos (suapvalinimai ~0,5 mm tikslumu). Tokiems gaminiams kaip biokuro sandėlio grindų konstrukcija tai yra ganėtinai sunku padaryti, nes gaminyje sąlyginai yra didelis ir modeliuojant gaminį skaičiavimams baigtinių elementų metodu maži suapvalinimai prailgina tyrimo laiką, nes baigtinių elementų tinklelis gali būti per stambus tyrimui. Šis metodas itin tinkamas mažų gabaritų bei smulkių detalių tyrimui.

**Struktūrinių „karštų“ taškų įtempių metodas** sukurtas tam, kad būtų galima įvertinti konstrukcijų nuovargį tais atvejais, kai sunku įvertinti nominalius įtempimus dėl geometrijos arba apkrovos sudėtingumo. Šis metodas naudojamas projektuojant slėginius indus ir suvirintus vamzdinius sujungimus. Vėliau metodas pritaikytas suvirintoms jungtims skaičiuoti. Pagrindinis „karšto“ taško įtempimo metodo pranašumas yra tas, kad atliekant ilgaamžiškumo skaičiavimus atsižvelgiama į sujungimo elementų sukiamą įtampos didinimo poveikį, išskyrus pačios siūlės poveikį [17]. Šis metodas yra tinkamas atlikti tyrimą išsikeltai problemai, todėl, kad metodas remiasi įtempių tyrimu tam tikruose pagal metodiką nustatytuose taškuose (žr. 2.4 pav.).



**2.4 pav.** Struktūrinių „karštų“ taškų įtempių metodo įtempių tyrimo srities apibrėžimas [18]

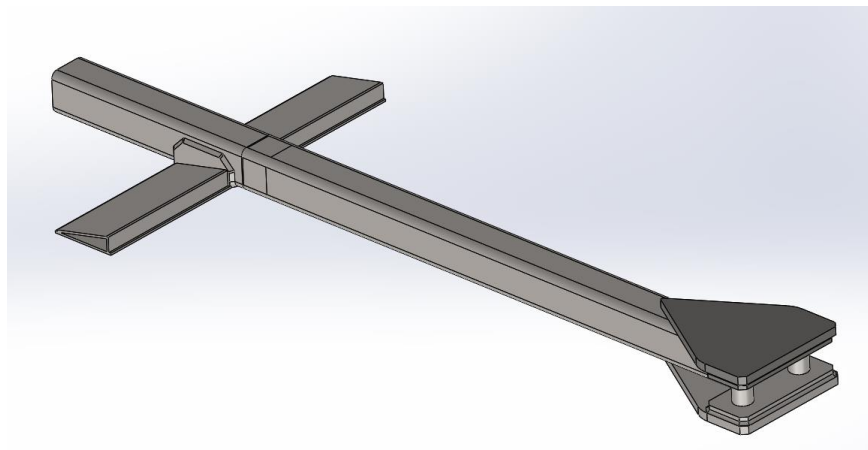
Šis metodas leidžia apibrėžti du konkrečius taškus, neišsunkina baigtinių elemento tinklelio bei nereikalauja tokio didelio tikslumo geometrijoje kaip efektyvių įpjovos įtempių metodas. Be to, skaičiavimams atlikti naudojamos S-N kreivės, kurios yra nurodytos slėginių indų standarte (angl. – *unfired pressure vessels EN 13445-3* [19]).

### 2.3. Stipruminiai skaičiavimai

Suprojektuotas 3D modelis ir skaičiavimai yra atliekami naudojant „SOLIDWORKS“ programinę įrangą bei jos „Simulation“ skaičiavimų įskiepi.

#### 2.3.1. Tyrimo modelio pasiruošimas

Norint atlikti skaičiavimus, pirmiausiai reikia apibrėžti reikiamas skaičiavimui ribas modelyje. Pagal realią situaciją, trūkis yra įvykęs arčiausiai cilindro esančio žertuvo sparno siūlėje (žr. 2.5 pav.).



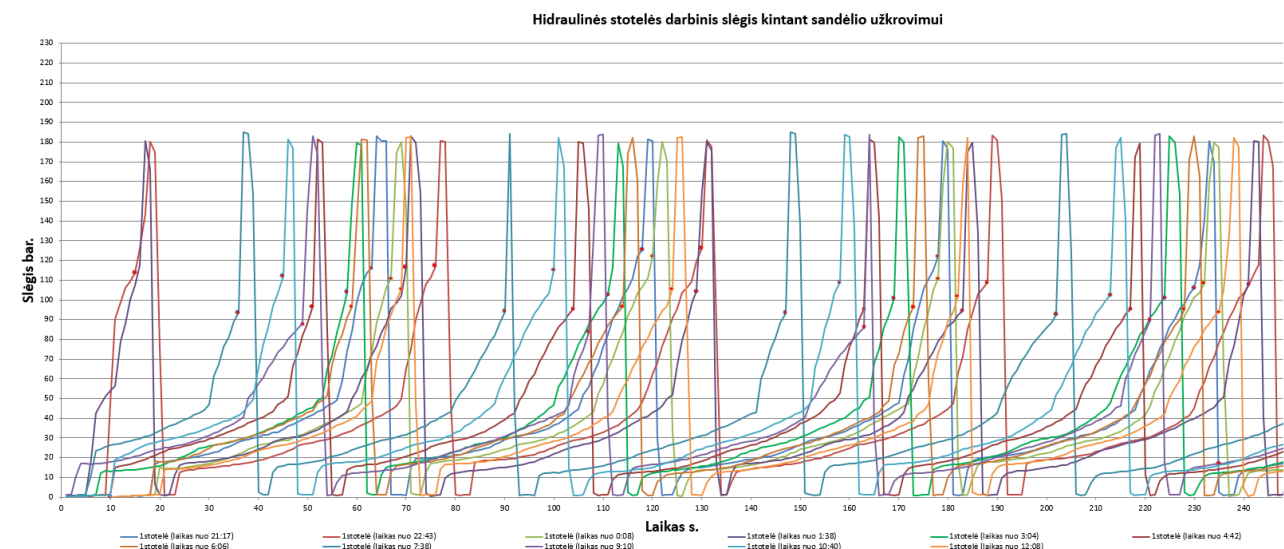
**2.5 pav.** 3D sandėlio grindų žertuvo dalies modelis skaičiavimams

3D modelyje yra suprojektuotas žertuvo kvadratinis vamzdis prie jo priekio yra palikta žertuvams sujungti reikalinga ausis su dviem kaiščiais, kurie bus reikalingi apkrovoms. Taip pat yra pirmasis žertuvo sparnas, kuris turi 6 mm plokštelę pabaigoje, kuri susivirina su žertuvo vamzdziumi. Toje vietoje yra uždėta 6 mm suvirinimo kampinė siūlė. Modelis yra iš karto padalintas linijomis

naudojant specialias funkcijas (angl. – *split line function*), kurios yra reikalingos atskirti plotams. Taip yra atskiriami plotai reikalingai įtvirtinimams ir apkabos imitacijai.

### 2.3.2. Tyrimo duomenys

Atliekant stipruminius skaičiavimus yra reikalinga turėti realius judančių sandėlio grindų duomenis, kurie nusako, kokia jėga žertuvas yra stumiamas ar traukiamas. Todėl, buvo prašoma, kad būtų paimtos sandėlio judančių grindų žertuvų judėjimo kreivės ir duomenys, kurie leistų identifikuoti reikiamas vertes. Duomenys paimti iš „SCADA“ programinės įrangos (žr. 2.6). „SCADA“ sistemos gali įvertinti skysčių bei dujų mases, slėgius, registruoti temperatūras, padėtis ir t.t.



2.6 pav. Hidraulinės stotelės darbinis slėgis kintant sandėlio užkrovimui

Pateiktame paveiksle yra matomas gautų „SCADA“ duomenų grafikas, kuris nusako laiko ir slėgio priklausomybę. Iš viso gauta 26 569 tūkst. verčių. Tyrimui duomenys nuimti skirtingais laikais vienuolika kartų, 240 sekundžių laikotarpiais. Vadinasi matuota vienuolika kartų po keturias minutes nenutraukiamai. Slėgiai suregistruoti kuro sandėlyje, kai pripildymas pirmu matavimu buvo 100%, vadinasi sandėlis pradžioje pripildytas maksimaliai.

Kadangi mums reikalinga žinoti vertes, kurios yra didesnės ir gali daryti didesnę žalą, pasirinkta stotelė, kuri registruoja duomenis kai žertuvas traukia kurą link duobės. Kuro traukimas pareikalauja didesnės jėgos ir pasipriešinimo todėl dėl žertuvo sparno ploto ir slėgiai, ir jėgos yra didesnės.

Taip pat svarbu paminėti, kad pateiktame grafike yra išskirtos vidutinės slėgių vertės ir pažymėtos raudonais taškais. Iš šių raudonų taškų susiregistruojamos vertės, kurios yra aukščiausios. Kadangi grafike matome, kad vertės kyla netolygiai ir kiekviena kylanti kreivė turi tašką, po kurio vertė staigiai išauga ir leidžiasi žemyn, identifikuojama, kad cilindras toje vietoje pasiekia savo galutinę padėtį, o slėgis vis dar kyla, o pasiekęs maksimalų slėgį koks yra nustatytas hidraulinėje stotelėje greitai leidžiasi iki nulinės vertės. Taigi tie matomi taškai, kai cilindras pasiekia galutinę poziciją ir nebejudą ir yra reikiamos maksimalios vertės, kurios nurodo tikruosius cilindro darbinis slėgius. Per keturias minutes, tokių traukimų vidutiniškai atliekama keturi. Taigi iš keturių pažymėtų verčių ir bus vedamas vidutinis slėgis tam tikram laikotarpiui. Išsamesni duomenys pateikti 2.1 lentelėje.

**2.1 lentelė.** Hidraulinės stotelės duomenys

Data ir nusistatyti matavimo laiko intervalai	Laikas, h	1 stotelės slėgiai, bar				1 stotelės vidutinis slėgis, bar	Sandėlio pripildymas, %
2020-11-10 nuo 20:50 val. iki 21:30 val.	21:17	116.1059	125.3490	121.9424	117.7996	120.2992	100
2020-11-10 nuo 22:30 val. iki 23:00 val.	22:43	113.6492	117.0557	126.1921	108.7396	116.4091	97
2020-11-11 nuo 00:00 val. iki 00:30 val.	00:08	110.7347	121.9425	110.7347	108.4687	112.9701	94
2020-11-11 nuo 01:30 val. iki 02:00 val.	01:57	116.1936	104.3259	94.4152	107.8965	105.7078	88
2020-11-11 nuo 03:00 val. iki 03:30 val.	03:04	106.1074	106.5805	104.7837	101.0147	104.6216	87
2020-11-11 nuo 4:30 val. iki 5:00 val.	04:42	96.5820	94.0375	95.4604	95.1705	95.3126	79
2020-11-11 nuo 6:00 val. iki 6:30 val.	06:06	96.4866	96.6697	96.3035	95.1705	96.1576	80
2020-11-11 nuo 7:30 val. iki 8:00 val.	07:38	93.3776	93.9422	93.2822	92.4392	93.2603	78
2020-11-11 nuo 9:00 val. iki 9:30 val.	09:10	87.8233	83.5737	86.0227	89.5094	86.7323	72
2020-11-11 nuo 10:30 val. iki 11:00 val.	10:40	111.8562	115.0606	108.7396	102.3346	109.4978	91
2020-11-11 nuo 12:00 val. iki 12:30 val.	12:08	105.0000	105.5352	101.6747	93.8544	101.5161	84

Lentelėje matoma, kad yra suregistruotos didžiausios gautos slėgio vertės nurodyto laikotarpio metu ir iš šių verčių yra išvesti vidurkiai, kurie leis identifikuoti veikiančias žertuvą jėgas. Taip pat matome, kad slėgio vertės kinta nuo sandėlio pripildymo procento, kuris tyrimo metu buvo papildomas.

Svarbu paminėti, kad maksimali galima cilindro jėga yra 210 barų vienam žertuvui. Galime daryti išvadą, kad cilindrai veikia tinkamu darbiniu režimu ir nepasiekia savo maksimalios ribos. Tačiau reikia nepamiršti, kad prišalus ar kitaip užstrigusiam žertuvui gali prireikti ir maksimalios cilindro jėgos, todėl skaičiuodami turėsime įsivertinti ir kritinę vertę.

### **2.3.3. Tiriamojo modelio medžiaga, apkrovos ir įtvirtinimai**

Turint suprojektuotą 3D tyrimo modelį ir tyrimo duomenis, galima nusistatyti skaičiavimams reikiamas medžiagas, apkrovas ir įtvirtinimus.

Gaminys yra pagamintas iš konstrukcinio juodo plieno, kurio markė yra S355JR. Šio plieno markė yra šiek tiek stipresnė nei kitų biokatinės standartinių gaminių, kurių markė yra S235JR. S355JR markė pasižymi tuo, kad prie įprastos kambario temperatūros (~20 °C) atlaiko iki 355 MPa vertės įtempius, jeigu sienelė yra plonesnė nei 16 mm [20]. Kiti pasirinkti medžiagos duomenys yra pateikti 2.7 paveiksle.

## Mechanical Properties

Variant	Condition	Format	Dimension [mm]	Yield strength min [MPa]	Tensile strength [MPa]	Elongation A <sub>5</sub> [%]	Hardness	Impact (ISO-V) strength <sub>min</sub>
S355JR	+AR	Flat bar	< 16	355**	470-630	22	140-190 HB	20 °C 27 J (long)
		Flat bar	16 < 40	345**	470-630	22	140-190 HB	20 °C 27 J (long)
		Flat bar	40 < 63	335**	470-630	21	140-190 HB	20 °C 27 J (long)
		Flat bar	63 < 80	325**	470-630	20	140-190 HB	20 °C 27 J (long)
		Flat bar	80 < 100	315**	470-630	20	140-190 HB	20 °C 27 J (long)

*R<sub>p0.2</sub> \* R<sub>eh</sub>, \*\* R<sub>el</sub>*

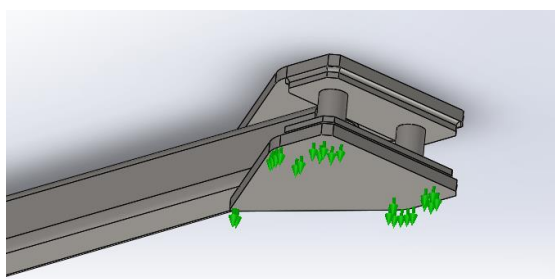
### Other properties (typical values)

Youngs module (GPa)	Poisson's ratio (-)	Shear module (GPa)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
210	0.3	80	7800
Average CTE 20-300°C (µm/m°K)	Specific heat capacity 50/100°C (J/kg°K)	Thermal conductivity Ambient temperature (W/m°K)	Electrical resistivity Ambient temperature (µΩm)
12	460 - 480	40 - 45	0.20 - 0.25

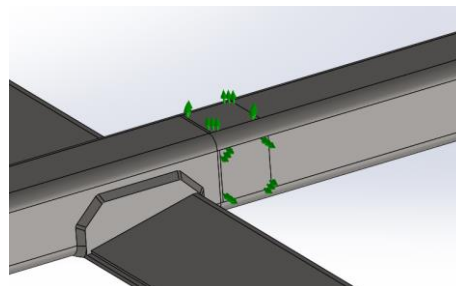
### 2.7 pav. Gaminio medžiagos S355JR plieno markės charakteristikos [1]

Pateikta medžiaga yra aprašyta „SOLIDWORKS“ programinės įrangos „Simulation“ įskiepio medžiagų bibliotekoje.

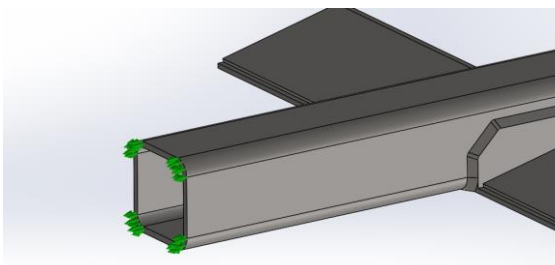
Toliau nusistatomi įtvirtinimai (žr. 2.8 pav.).



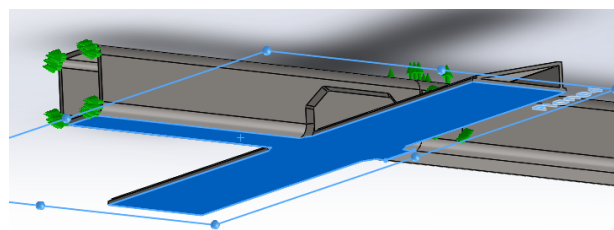
a



b



c



d

**2.8 pav.** Tiriomojo modelio įtvirtinimai, a - „Roller/Slider“ įtvirtinimas žertuvo „ausies“ apačioje, b - „Roller/Slider“ įtvirtinimas apkabos vietoje iš šono ir iš viršaus, c - „Roller/Slider“ įtvirtinimas žertuvo vamzdžio nupjautoje vietoje, d - „Virtual Wall“ įtvirtinimas žertuvo apačioje iki sandėlio duobės

„Roller/Slider“ įtvirtinimai nusako poslinkį ir jį suvaržo pažymėtų plokštumų atžvilgiu. Žertuvo judėjimas suvaržytas iš viršaus ir šonų apkabos vietoje (b variantas) bei iš galo vamzdžio skerspjuvio plote (c variantas), taip pat žertuvo „ausies“ apačioje (a variantas), tai vadinasi mūsų žertuvas galės judėti tik viena kryptimi. Tai suteikia žertuvui vieną papildomą laisvės laipsnį, kad jis galėtų minimaliai suktis (kaip gali būti ir realybėje), tačiau dėl savo svorio ir gabaritų skaičiavimo metu tokių minimalių poslinkių nebus galima pastebėti.

„Virtual Wall“ įtvirtinimas uždėtas su pasirinkta opcija „Rigid“, todėl, kad mūsų medžiaga per kurią žertuvas juda yra betonas ir tai yra kieta medžiaga. Šis įtvirtinimas gali leisti žertuvui kilti į viršų, tačiau užtikrina įtvirtintą judėjimą kietos medžiagos paviršiumi. Šis įtvirtinimas yra panašus į „Roller/Slider“ tačiau išsikeltoje sąlygoje labiau atitinka realią turimą situaciją. Šie įtvirtinimai leidžia daryti išvadą, kad turimas tiriamasis modelis yra statiškai stabilus.

Kuro trinties nevertiname todėl, kad pirmas žertuvo sparnas yra neapkraunamas kuru, virš jo yra kuro sluoksnio skirstytuvas, kuris žeria kurą į tolimesnes kuro transportavimo sistemas.

Toliau svarbu nusistatyti reikiamas apkrovas. Taigi, kadangi turime nustatę vidutines cilindų slėgių vertes, galime nusistatyti reikiamas skaičiavimų ribas. Norint pasidaryti skaičiavimų rezultatų grafiką, skaičiavimus atliksime prie skirtingų slėgių, kurie paverčiami į jėgos parametrus (žr. 2.2 lentelė).

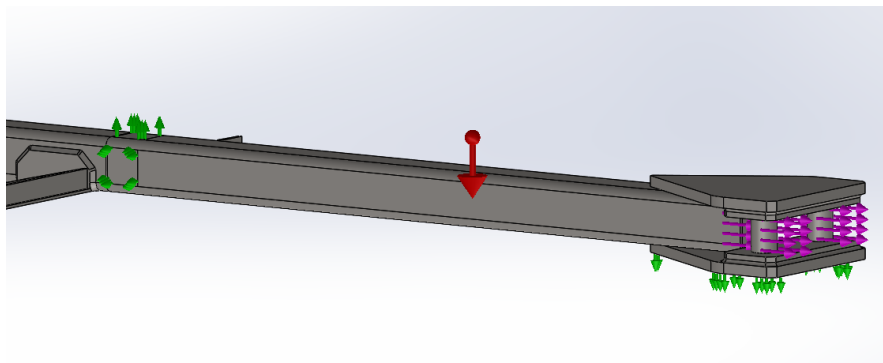
**2.2 lentelė.** Slėgių ir jėgų lentelė

Cilindrų slėgis, bar	Jėga, N
80	305780
90	344000
100	382220
110	420440
120	458665
130	496890
140	535110
150	573330
180	688000
210	802665

Šios vertės pasirinktos atsižvelgiant į gautas cilindų vidutines slėgių vertes, taip pat įvertinant ir galimą maksimalų cilindų slėgį. Slėgio konvertavimas į jėgos vienetus yra atliekamas naudojantis skaičiuokle [22], apsibrėžiant, kad skaičiuojamasis reikiamas gaminio plotas yra 38,222 m<sup>2</sup>.

Taigi, iš viršaus yra uždėdama gravitacijos jėga, o per žertuvo „ausies“ jungiamųjų kaiščių su cilindrais plotą uždėdama jėga cilindų traukimo kryptimi (žr. 2.9 pav.). Cilindro kaiščių apkrova bus keičiama kiekvieno skaičiavimo metu, o gravitacinė jėga visada liks tokia pati.





2.9 pav. Tiriamojo modelio apkrovos

Apsibrėžus tiriamojo modelio medžiagą, įtvirtinimus ir apkrovas toliau nagrinėjamas baigtinių elementų tinklelis.

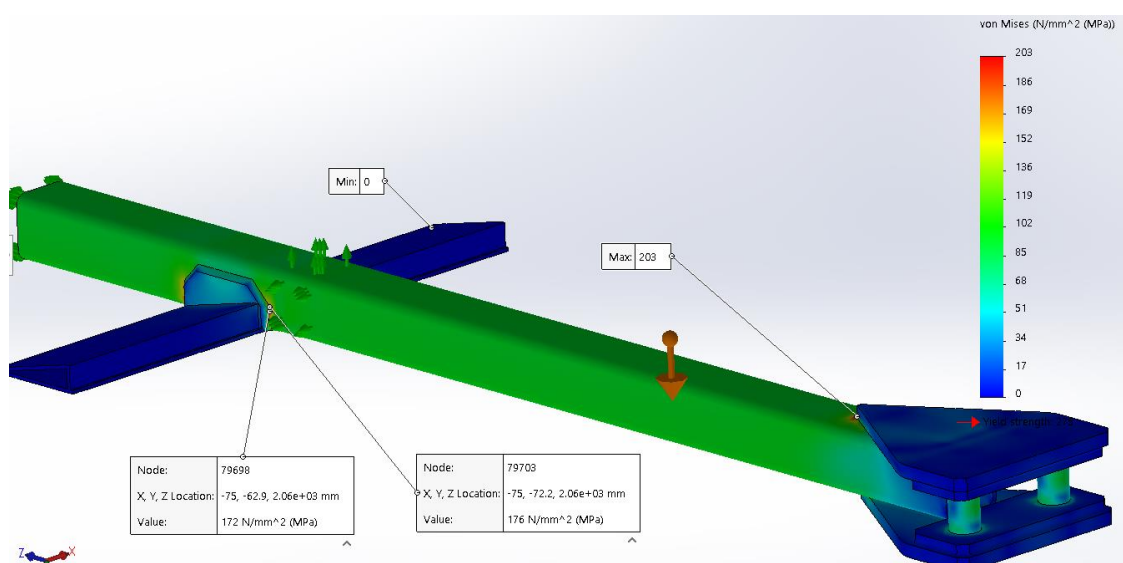
#### 2.3.4. Tiriamojo modelio baigtinių elementų tinklelis ir „karštų“ taškų nustatymas

Baigtinių elementų tinklelis yra vienas svarbiausių veiksnių nulemiančių rezultatų tikslumą ir patikimumą, todėl yra ypatingai svarbu nusistatyti koks baigtinių elementų tinklelis yra validus.

Taigi, pirmiausiai globalų baigtinių elementų tinklelio dydį nusistatome tokį, kad per sienelės storį matytumėm nors du elementus. Šiuo atveju pasirenkamas smulkus 20 mm elementų dydis, prie kurio per sienelės storį sugeneruojami du elementai.

Tuomet turime nusistatyti vietinį baigtinių elementų tinklelio dydį. Tam, kad tą padaryti, atliekami bandomieji skaičiavimai, kurie nusakys prie kokio tinklelio smulkumo rezultatai nebesikeičia, tuomet galima bus teigti, kad įvyko konvergacija ir tinklelio smulkinti daugiau nebereikia.

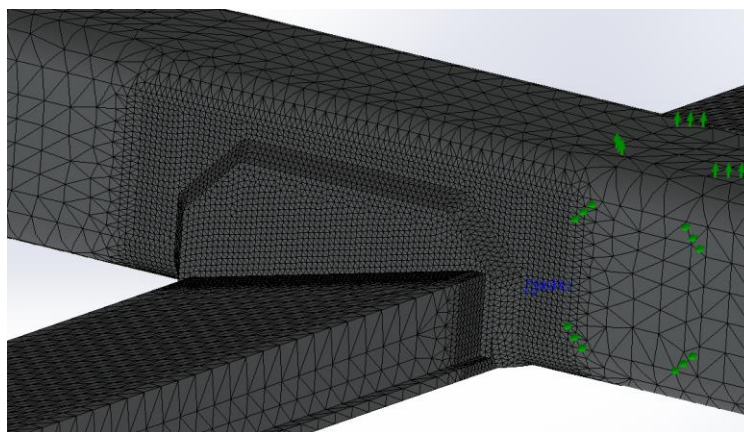
Pirmiausiai atliekami pirminiai stipruminiai skaičiavimai kai cilindrai žertuvą traukia 130 barų slėgio jėga (žr. 2.10 pav.). Ši jėga pasirinkta atsitiktinai, tam, kad pamatytumėme, kurioje vietoje aplink suvirinimo siūlę formuojasi didžiausi įtempiai.



2.10 pav. Stipruminiai testiniai skaičiavimai didžiausių įtempių vietoms nustatyti

Kaip matoma, gauti maksimalūs įtempiai 203 MPa neviršija medžiagos maksimalių leistinų įtempių vertės 355 MPa, vadinasi variantas, kad medžiaga gali lūžti dėl netinkamos medžiagos parinkimo – atkrenta. Toliau nagrinėjant gautus rezultatus matoma, kad vieta, kurioje gauti maksimalūs įtempiai yra ties žertuvo „ausies“ smailiojo galo, tačiau šių įtempių šioje vietoje nenagrinėsime, nes ši įtempių koncentracija yra neaktuali tyrimui iškeltam uždaviniui ir taip pat šioje vietoje nėra imituojamos suvirinimo siūlės, kurios šį gautą rezultatą pakeistų.

Taigi, analizuojamas plotas, kuris yra aplink suvirinimo siūlę, kurioje atsirado matomas trūkis. Šioje vietoje yra keletą kartų pamatuojamos vertės kritinėse raudonose vietose, didžiausi gauti įtempiai - 172 MPa ir 176 MPa. Šios vertės nuo imituojamos suvirinimo siūlės atsirado ne toliau nei 15 mm atstumu. Taigi, kadangi, remiantis metodologine medžiaga [16] tinklę reikės smulkinti suvirinimo siūlės, žertuvo vamzdžio, bei žertuvo sparno vietose (žr. 2.11 pav.). Pasirenkama, kad aplink suvirinimo siūlę smulkinsime 30 mm atstumu esantį plotą, kuris apima ir gautas įtempių koncentracijų vietas. Šiuo atveju tirsime būtent tą pusę, kurioje ir atsiradęs trūkis, tačiau modelyje vietinis tinklėlis simetriškai taikomas abiejų pusių žertuvo sparnams dėl tikslesnių rezultatų gavimo.



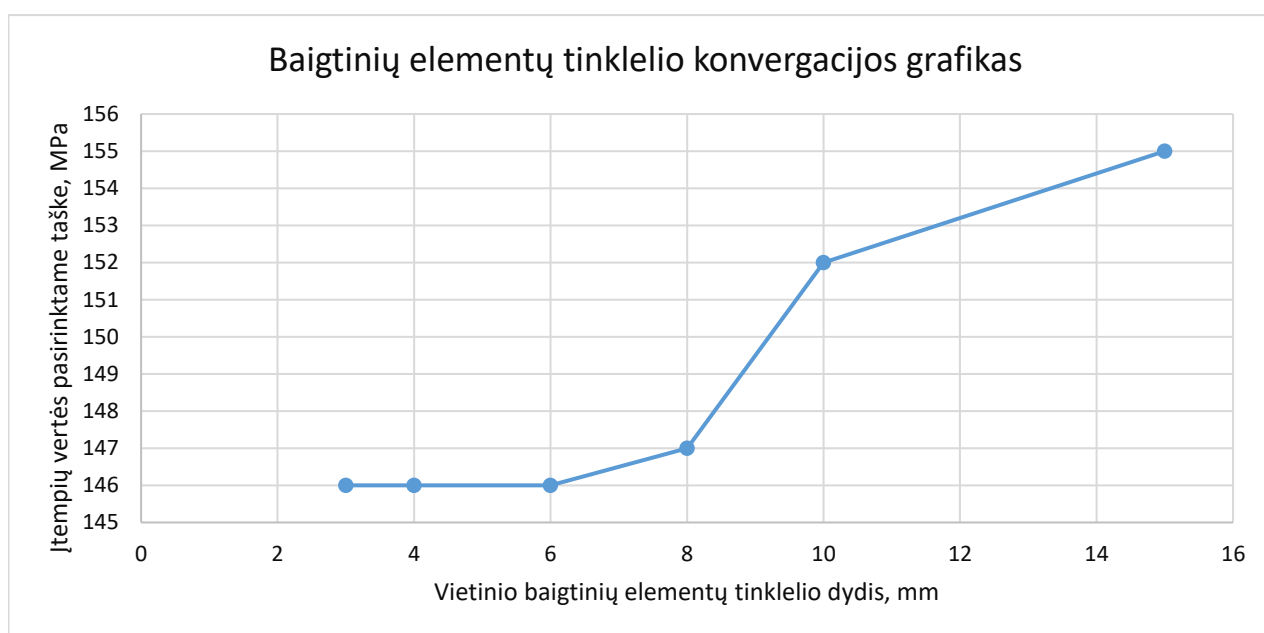
**2.11 pav.** Vietinio baigtinių elementų tinklėlio vieta

Pagal metodinę medžiagą galime įsivertinti, kad jeigu žertuvo vamzdžio storis yra 10 mm, tinklėlio dydis atitinka padauginus 0,4 koeficientą iš turimos sienelės storio vertės, taigi  $0,4 \times 10 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$  dydžio susmulkintų elementų turėtų užtekti. Tai leidžia nusistatyti kokias vietinio baigtinių elementų tinklėlio vertes reikia rinktis, kad matyti tinklėlio konvergaciją ir nereikėtų skaičiavimų kartoti daug kartų (2.3 lentelė). Skaičiavimai atliekami su 130 barų slėgio apkrova ir matuojami viename taške, kuris matomas 2.11 pav. (mėlyna spalva – „Point 1“). Šis taškas pasirinktas įtempimų koncentracijos vietoje atsitiktinai tik tinklėlio konvergacijos nustatymo tyrimui.

**2.3 lentelė.** Gautos įtempimų vertės su skirtingais elementų dydžiais

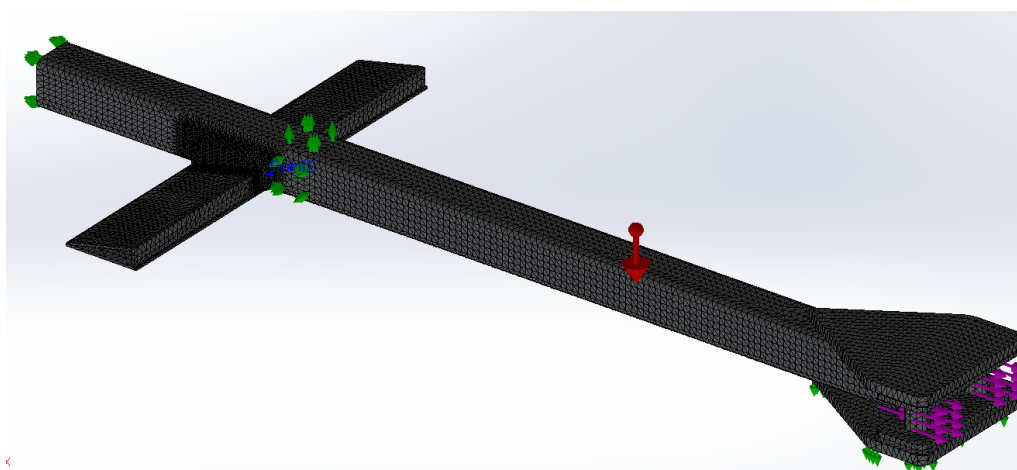
Vietinio baigtinių elementų tinklėlio dydis, mm	Įtempimų vertės pasirinktame taške, MPa
15	155
10	152
8	147
6	146
4	146
3	147

Toliau yra braižomas vietinio baigtinių elementų tinklelio konvergacijos grafikas (žr. 2.12 pav).



**2.12 pav.** Baigtinių elementų tinklelio konvergacijos grafikas

Taigi, iš pateikto grafiko ir rezultatų matoma, kad vietinio tinklelio konvergacija yra pasiekta ir nuo 6 mm dydžio tinklelio vertės pasirinktame taške nebekinta. Todėl galutinai apsirašomas baigtinių elementų tinklelis, kuriame globalus tinklelis yra 20 mm dydžio su 1 mm tolerancija, o lokalus tinklelis yra 4 mm dydžio (ši vertė pasirenkama ir todėl, kad ji atitinka ir su metodinės medžiagos [16] rekomenduojama verte, ir yra tinklelio konvergacijos ribose) su 1,5 taisyklingumo koeficientu, kuris nusako kiek mūsų tinklelio elementai gali būti netaisyklingi ir nukrypti nuo standartinio trikampio formos. Iš viso baigtinių elementų tinklelis turi 166961 mazgų ir 87203 elementų (žr. 2.13 pav.).



**2.13 pav.** Galutinis baigtinių elementų tinklelis

Nusistačius baigtinių elementų tinklelio parametrus, toliau nusistatomos „karštų“ taškų vietos. Šias vietas galima vadinti ir ekstrapoliacijos vietomis. Šie „karšti“ taškai reikalingi tam, kad būtų

nustatomos kuo tikslesnės didžiausių įtempių vietos, tada pagal šių taškų įtempių rezultatus galėsime ištirti ilgaamžiškumą. Šie taškai leis skaičiavimų rezultatus laikyti teisingais.

Pagal metodologinę medžiagą [16], „karšti“ taškai yra nutolę tam tikrais atstumais ir jiems nustatyti yra keturi būdai (žr. 2.14 pav.).

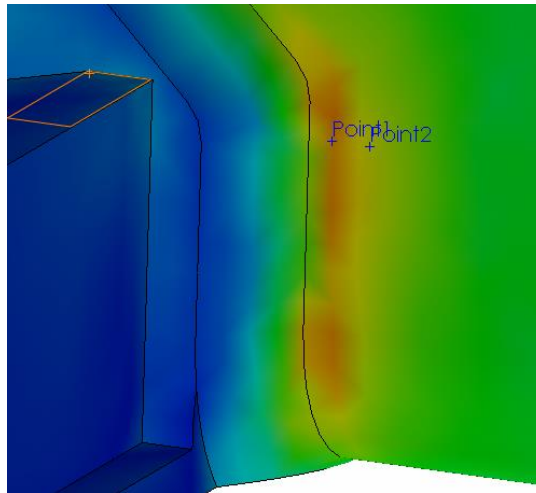
	Relatively fine mesh (as shown or finer)	Relatively coarse mesh (fixed element sizes)
Hot spot Type 'a'	<p>(i)</p>	<p>(ii)</p>
Hot spot Type 'b'	<p>(iii)</p>	<p>(iv)</p>

**2.14 pav.** „Karštų“ taškų nustatymo būdai

Pradžioje pagal metodologinius nurodymus, turima konstrukcija yra nesudėtinga ir lygaus paviršiaus, o tai leidžia turėti reikiamą smulkų tinklelį, todėl šioje situacijoje reikiama rinktis tarp (i) ir (iii) varianto. Šie variantai skiriasi tuo, kad (i), a tipo „karštas“ taško nustatymo būdas naudojamas kietiems storį turintiems elementams, o (iii), b tipo „karšto“ taško nustatymo būdas naudojamas kevalinio tipo elementams. Taigi, šiuo atveju, renkamsi a tipo „karštų“ taškų nustatymo būdas (i).

Yra žinoma, kad šie taškai yra ant žertuvo vamzdžio sienelės, kurios storis yra 10 mm. Taigi, pirmasis ekstrapoliacijos taškas yra nustatomas su 0,4 koeficiento sandauga su sienelės storio verte, vadinasi  $0,4 \times 10 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$ , o antrasis ekstrapoliacijos taškas yra nustatomas 1,0 koeficiento sandauga su sienelės storio verte, vadinasi  $1,0 \times 10 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$ . Taigi, ekstrapoliacijos taškai yra nutolę 4 mm ir 10 mm atstumu nuo suvirinimo siūlės.

Pasinaudojus programinės įrangos „SOLIDWORKS“ galimybėmis yra uždedami matavimo sensoriai. Aukštis, kuriame šie sensoriai sugeneruojami, nustatomas pagal testinių skaičiavimų metu gautų didžiausių įtempių vietą ir turimą realią trūkio vietą (žr. 2.15 pav.).



2.15 pav. Nustatytos „karštų“ taškų vietos

Nusistačius ir patikrinus baigtinių elementų tinklelio validumą, bei nusistačius ekstrapoliacijos vietas, kuriose bus matuojami įtempiai atliekami skaičiavimai.

### 2.3.5. Skaičiavimų rezultatai

Pagal metodinę medžiagą [16] a tipo „karštų“ taškų įtempių vertę galima suskaičiuoti analitiškai pagal formulę:

$$\sigma_{hs} = 1,67 \times \sigma_{0,4t} - 0,67 \times \sigma_{1,0t} \quad (1)$$

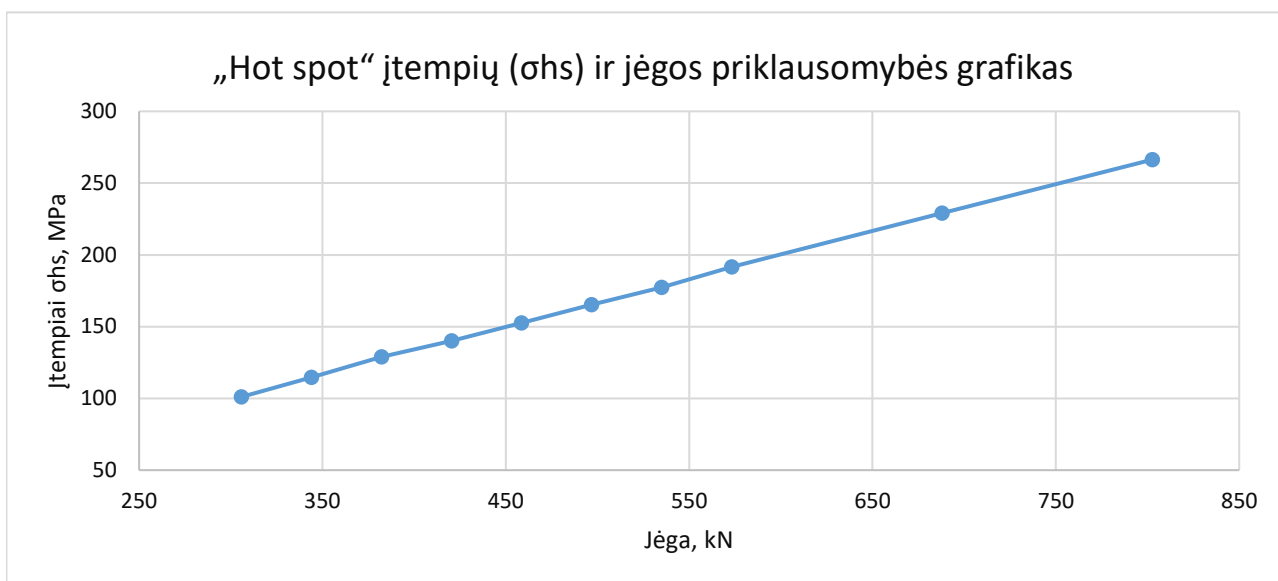
Čia  $\sigma_{hs}$  – „karštų“ taškų įtempių vertė,  $\sigma_{0,4t}$  – įtempių vertė gauta taške nutolusiame 4 mm nuo suvirinimo siūlės,  $\sigma_{1,0t}$  – įtempių vertė gauta taške nutolusiame 10 mm nuo suvirinimo siūlės. Ši formulė nusako galutinę reikiamą ekstrapoliacijos įtempių vertę.

Taigi, pagal turimas apkrovų vertes atliekami stipruminiai skaičiavimai baigtinių elementų metodu ir analitiniai skaičiavimai. Rezultatai pateikiami 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. Stipruminių skaičiavimų rezultatai

Cilindrų slėgis, bar	Jėga, N	Įtempiai 1 taške ( $\sigma_{0,4t}$ ), MPa	Įtempiai 2 taške ( $\sigma_{1,0t}$ ), MPa	„Hot spot“ įtempiai ( $\sigma_{hs}$ ), MPa
80	305780	97	91	101,02
90	344000	110	103	114,69
100	382220	123	114	129,03
110	420440	134	125	140,03
120	458665	146	136	152,70
130	496890	158	147	165,37
140	535110	170	159	177,37
150	573330	183	170	191,71
180	688000	219	204	229,05
210	802665	255	238	266,39

Atlikus skaičiavimus, braižomas gautų „karštų“ taškų (angl. – *Hot spot*) įtempių ir jėgos priklausomybės grafikas (žr. 2.16 pav.).



**2.16 pav.** Jėgų ir įtempių priklausomybės grafikas

Iš gautų duomenų matoma, kad jeigu kyla apkrovos vertės, proporcingai kyla ir įtempių vertės. Tiesinė priklausomybė atsiranda dėl Huko dėsnio. Pagal šį dėsnį kūno deformacija priklauso nuo ją sukeliančios jėgos [23], taigi, galima teigti, kad skaičiavimai yra atlikti teisingai ir vertės yra validžios. Taip pat atlikus skaičiavimus, matoma, kad įtempių koncentratorių vieta ties suvirinimo siūle egzistuoja ir jos ignoruoti negalima. Veikianti pastovi ir ciklinė apkrova sukelia nuovargį, todėl yra reikalinga tirti žertuvo sparno siūlės suvirinimo ilgaamžiškumą.

## 2.4. Ilgaamžiškumo skaičiavimai

Ilgaamžiškumo skaičiavimai yra atliekami naudojant „SOLIDWORKS“ programinę įrangą bei jos „Simulation“ skaičiavimų įskiepi.

### 2.4.1. S-N kreivės nustatymas

Tam, kad galėtumėme atlikti ilgaamžiškumo skaičiavimus, yra reikalinga turėti S-N kreivę (S-N kreivė – ciklinių įtempių santykio su suirimo ciklų skaičiumi santykis logaritminiame grafike). Ši kreivė apsibrėžiama, prasčiausios trisdešimt antros klasės, suvirinimo siūlei. S-N kreivės vertės skaičiuosime naudojantis slėginių indų standartu EN 13445-3 [19].

Yra žinoma, kad platformos per metus juda 95% - 100% laiko, o metuose yra 365 dienos, vadinasi jos juda 346,75 – 365 dienas, tačiau šio tyrimo metu bus vertinama didžiausia galima ciklų vertė prie šimtaprocentinio veikimo laiko. Žertuvo judėjimo greitis yra 0,76 m/min ir tai yra mūsų vieno ciklo trukmė. Iš šių duomenų suskaičiuojama, kad per parą yra atliekami 1095 ciklai ( $0,76 \text{ m/min} \times 60 \text{ min} \times 24 \text{ h} = 1094,4 \text{ ciklai/parą}$ ). Tuomet apskaičiuojama, kad žertuvai atlieka 399675 (~400000) ciklų per metus.

Slėginių indų standarte [19] yra pateikti duomenys 32 klasės suvirinimo siūlei apskaičiuoti (žr. 2.17 pav.).

Class	Constants of $\Delta\sigma_R - N$ curve*				Stress range at $N$ cycles, MPa	
	For $10^2 < N < 5 \times 10^6$		For $5 \times 10^6 < N < 10^8$		$N = 5 \times 10^6$	$N = 10^8$
	$m_1$	$C_1$	$m_2$	$C_2$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_{Cut}$
100	3,0	$2,00 \times 10^{12}$	5,0	$1,09 \times 10^{16}$	74	40
90	3,0	$1,46 \times 10^{12}$	5,0	$6,41 \times 10^{15}$	66	36
80	3,0	$1,02 \times 10^{12}$	5,0	$3,56 \times 10^{15}$	59	32
71	3,0	$7,16 \times 10^{11}$	5,0	$1,96 \times 10^{15}$	52	29
63	3,0	$5,00 \times 10^{11}$	5,0	$1,08 \times 10^{15}$	46	26
56	3,0	$3,51 \times 10^{11}$	5,0	$5,98 \times 10^{14}$	41	23
50	3,0	$2,50 \times 10^{11}$	5,0	$3,39 \times 10^{14}$	37	20
45	3,0	$1,82 \times 10^{11}$	5,0	$2,00 \times 10^{14}$	33	18
40	3,0	$1,28 \times 10^{11}$	5,0	$1,11 \times 10^{14}$	29,5	16
32	3,0	$6,55 \times 10^{10}$	5,0	$3,64 \times 10^{13}$	24	13

\* For  $E = 2,09 \times 10^5$  MPa

**2.17 pav.** Duomenys S-N kreivei suskaičiuoti pagal suvirinimo klases [19]

Kadangi yra žinoma kiek ciklų platformų žertuvas atlieka per metus, nusistatome prie kokių ciklų kiekio bus skaičiuojamos įtempių vertės (žr. 2.5 lent.). Nusistatę reikšmes ir sąlygas, pagal standarte nurodytus kriterijus, naudojames formule įtempiams skaičiuoti:

$$N = \frac{C_1}{\left(\frac{\Delta\sigma_{eq}}{f_w}\right)^{m_1}} \quad (2)$$

Čia  $N$  – ciklų skaičius,  $C_1$  ir  $m_1$  – konstantos nurodytos 2.17 pav.,  $f_w$  – bendras suvirintų komponentų koeficientas,  $\Delta\sigma_{eq}$  - yra ekvivalentinis įtempių diapazonas. Taigi,  $\frac{\Delta\sigma_{eq}}{f_w}$  yra reikalinga įtempių išraiška. Visi gauti skaičiavimų rezultatai yra pateikiami 2.5 lentelėje.

**2.5 lentelė.** S-N kreivės rodikliai

Ciklų skaičius	Įtempiai, MPa	Ciklų skaičius	Įtempiai, MPa
10	1871,03	100000	86,85
20	1485,04	200000	68,93
50	1094,18	500000	50,79
100	868,45	1000000	40,31
200	689,29	2000000	31,99
500	507,88	5000000	23,57
1000	403,10	10000000	18,71
2000	319,94	20000000	14,85
5000	235,73	50000000	10,94
10000	187,10	100000000	8,68
20000	148,50	200000000	6,89
50000	109,42	500000000	5,08

Turint S-N kreivę suvirinimo siūlei toliau nustatomos kitos skaičiavimams reikalingos sąlygos.

## 2.4.2. Ilgaamžiškumo skaičiavimų sąlygos

Pirmiausiai yra uždedamas taškas ant apskaičiuoto karšto „taško“ įtempimų vietos. Tokiu būdu bus imituojami įtempimai toje vietoje naudojant nuovargio kreives pagal įtempimų ir ciklų priklausomybę.

„SOLIDWORKS“ programoje yra pasirenkama „Fatigue“ ilgaamžiškumo skaičiavimų analizė kuri skirta pastovių amplitudžių įvykiams su apibrėžtais ciklais (angl. – „*Constant amplitude events with defined cycles*“).

Tuomet parametrų skiltyje nustatoma „Mean stress correction“ vidutinių įtempimų korekcija (žr. 2.18 pav.). Ši korekcija perskaičiuoja nuovargio kreivę ir pakoreguoja pagal nustatytas ir suregistruotas įtempimų vertes. Pasirenkamas „Gerber“ korekcijos tipas. Šis tipas yra parabolė, mažiau konservatyvus nei pavyzdžiui „Goodman“ tipas, ir jis apribos maksimalius vidutinius įtempimus kaip galutines stiprumo vertes. Taip pat „Gerber“ korekcijos tipas tinka šiai analizei dėl turimos kietos medžiagos, ant kurios ir yra uždėti „karšti“ taškai. Daugiau parametrų skiltyje niekas nekeičiama. [24]

Fatigue - Constant Amplitude

Options Notification Remark

Constant amplitude event interaction

Random interaction  
 No interaction

Computing alternating stress using

Stress intensity (P1-P3)  
 Equivalent stress (von Mises)  
 Max. absolute principal (P1)

Shell face

Top  
 Bottom

Mean stress correction

None  
 Goodman  
 Gerber  
 Soderberg

Fatigue strength reduction factor (Kf) 1

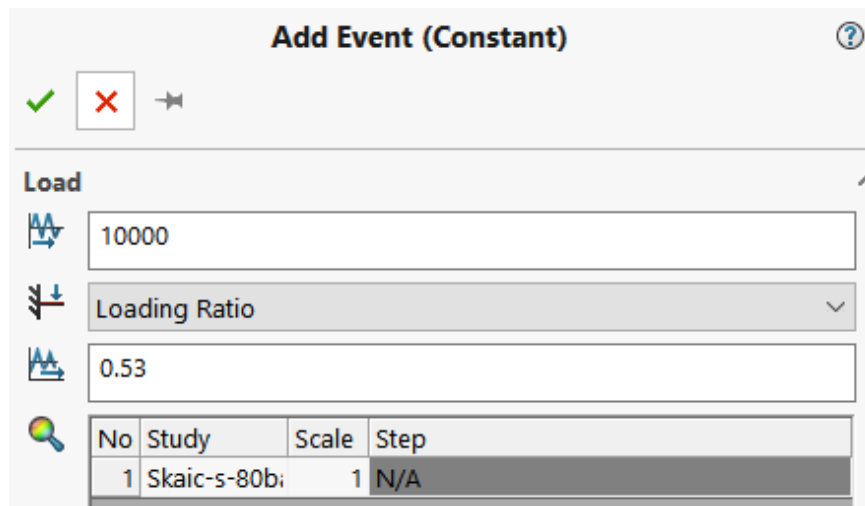
Infinite life 100000000000 cycles

Results folder C:\Users\sokel\OneDrive\Desktop\Mano\UNIVEF ...

2.18 pav. Ilgaamžiškumo skaičiavimų parametrų skiltis

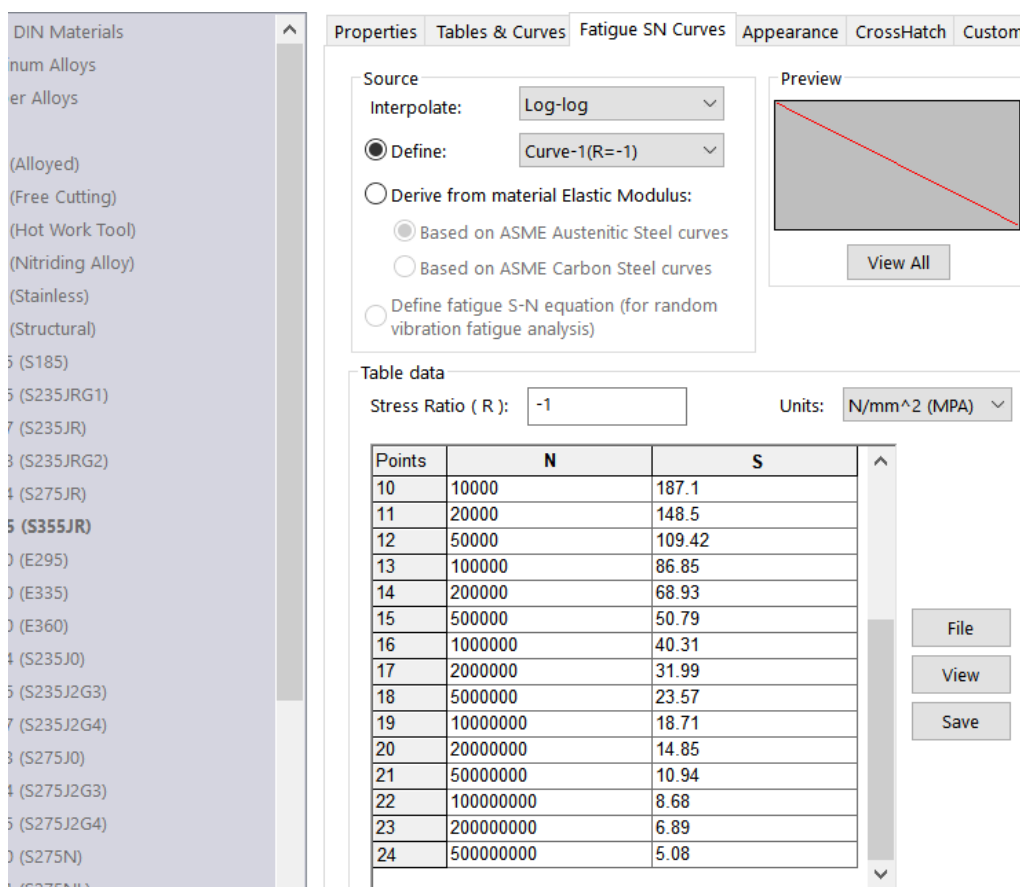
Toliau sukuriamas skaičiavimams atlikti reikalingas įvykis (žr. 2.19 pav.). Šioje skiltyje yra pasirenkamas „Loading Ratio“ parametras su 0,53 verte. Šis parametras pasirenkamas todėl, kad platformų žertuvų duomenys pagal kuriuos skaičiuojama yra tik vienos krypties – kuro traukimo link duobės. Koeficientas 0,53 yra pasirenkamas todėl, kad yra žinoma, jog 53% įtempimų veikia platformoms judant šia kryptimi.





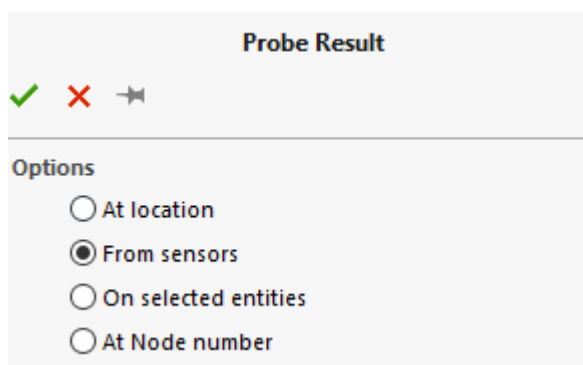
2.19 pav. Ilgaamžiškumo skaičiavimų įvykio sukūrimo skiltis

Toliau yra aprašoma S-N kreivė nustatymam įvykiui (žr. 2.20 pav.). Iš pradžių yra apsibrėžiama, kad skaičiavimai yra „Fully-reversed“, o tai reiškia, kad pasirenkame kreivę su įtempių santykiu  $R = -1$ . Medžiagos S-N kreivė nusako ciklo įtempio amplitudes (arba kintančią įtampą), palyginti su ciklų skaičiumi, reikalingu defektui sukelti esant tam tikram įtempių santykiui  $R$ . Įtempių santykis  $R$  identifikuojamas kaip minimalaus ciklinio įtempio ir maksimalaus ciklinio įtempio santykis. Jei apkrova visiškai atvirkštinė,  $R = -1$ . Pritaikius apkrovą ir nuėmus (neapvertus atgal),  $R = 0$  [25].



2.20 pav. Ilgaamžiškumo skaičiavimų S-N kreivės aprašymas

Skaičiavimų rezultatų registracijai yra naudojami duomenys iš pažymėtų „karštų“ taškų (žr. 2.21 pav.).



**2.21 pav.** Ilgaamžiškumo skaičiavimų rezultatų matavimo būdas

Nustaćius pagrindines ilgaamžiškumo skaičiavimų sąlygas yra atliekami skaičiavimai.

### 2.4.3. Ilgaamžiškumo skaičiavimų rezultatai

Atliktų skaičiavimų rezultatai pateikiami 2.6 lentelėje.

**2.6 lentelė.** Ilgaamžiškumo skaičiavimo rezultatai

Cilindrų slėgis, bar	Ciklų skaičius 1 taške, vnt.	Ciklų skaičius 2 taške, vnt.
80	3789639	4889468
90	2616209	3379555
100	1817005	2370158
110	1366122	1774409
120	1022208	1332536
130	778322	1018935
140	601222	790818
150	469952	621443
180	236368	318760
210	124789	172701

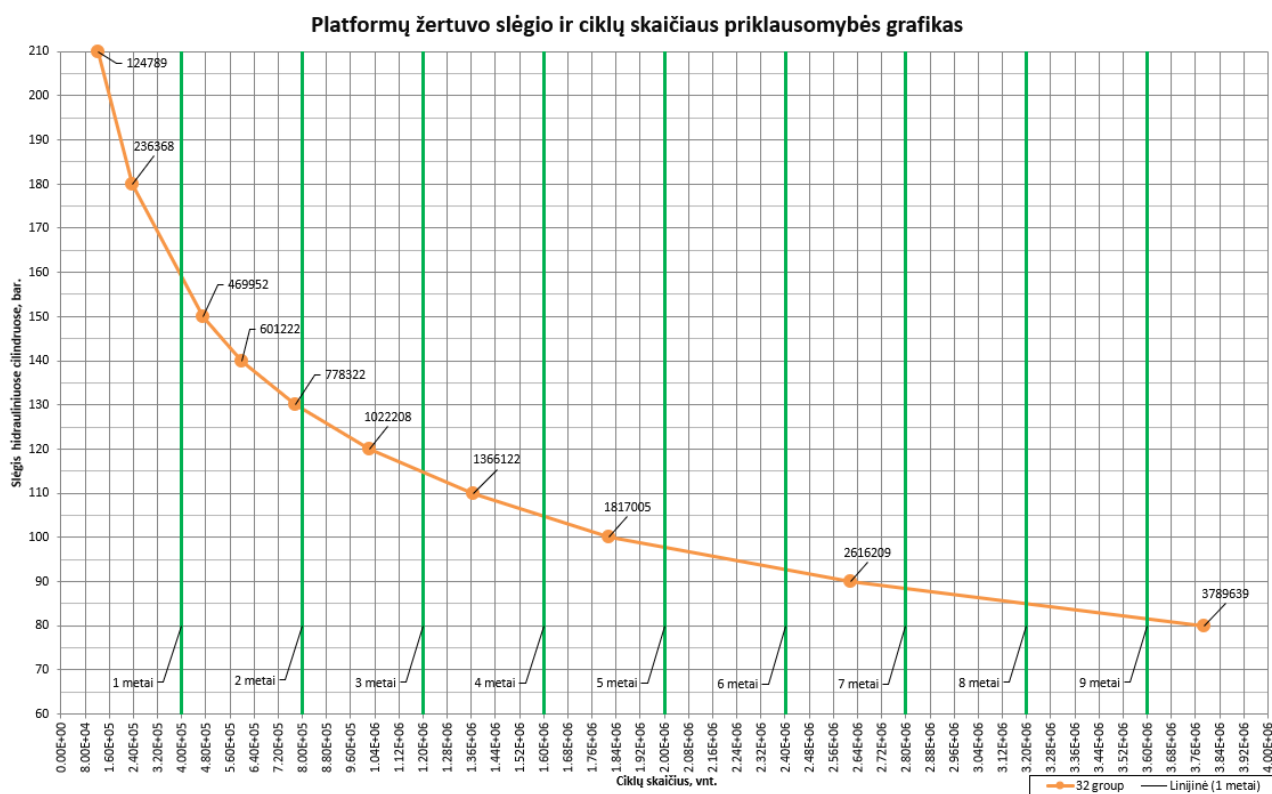
Iš lentelės matoma, kad ciklų skaičius pirmame taške, kuris yra arčiau suvirinimo siūlės yra prastesni, t.y. gaunamas mažesnis ciklų skaičius, kuris nusako, kada siūlė neatlaikys. Todėl ilgaamžiškumo grafikui sudaryti yra naudojamos pirmojo taško ciklų vertės.

Tam, kad būtų sugeneruojamas grafikas yra nustatoma kiek ciklų platformų žertuvas sugeneruoja kiekvienais metais (žr. 2.7 lent.). Šios vertės leis grafike nubrėžti metines ciklų vertes, taip pat gautus rezultatus palyginus su šiomis metinėmis vertėmis, galima nustatyti kiek metų suvirinimo siūlė atlaikys turimas apkrovas.

2.7 lentelė. Platformų žertuvo ciklų skaičius pagal metus

Metai	Ciklų skaičius, vnt.	Metai	Ciklų skaičius, vnt.
1	400000	9	3600000
2	800000	10	4000000
3	1200000	11	4400000
4	1600000	12	4800000
5	2000000	13	5200000
6	2400000	14	5600000
7	2800000	15	6000000
8	3200000	16	6400000

Iš gautų rezultatų ir metinių atliekamų ciklų braižomas grafikas (žr. 2.22 pav.).



2.22 pav. Ilgaamžiškumo skaičiavimų rezultatai

Iš gauto grafiko matoma, kad platformų žertuvo sparno suvirinimo siūlė veikiant maksimaliam slėgiui 210 barams atlaikytų tik 124789 ciklus, vadinasi apie 3,8 mėnesio, o veikiant vidutiniam 120 barų slėgiui apie 2,5 metų. Kadangi cilindras kaip matoma iš 2.3.2.1 grafiko veikia nuolatos kintant cilindro slėgiui ir gali pasiekti 180 barų, tai hipotetiškai gali sutrumpinti ilgaamžiškumą iki vienerių metų. Todėl daroma prielaida, kad suvirinimo siūlės trūkis galėjo atsirasti dėl nuovargio. Taip pat, kadangi yra žinoma, kad suvirinimo siūlės trūkis vizualiai pastebėtas po dviejų metų, galime teigti, kad kitos apžiūros žertuvo sparnas gali nesulaukti ir nulūžti.

Norint išvengti nuovargio ir prailginti veikimo laiką, galimos kelios opcijos. Pirmoji – galima stiprinti siūlės suvirinimo klasę ir tai nurodyti gamybiniuose brėžiniuose. Antroji – galima suvirinimo siūlę ne tik stiprinti, bet ir storinti, pritaikant storesnę žertuvo sparno plokštelę. Trečioji – keisti biokuro sandėlio judančių grindų konstrukciją į kitokio tipo. Pavyzdžiui, galima padaryti platformas kopėtines, sujungti į bendrą rėmą, dėl kurio jos taps pačios save laikančios, tuomet nebereikės naudoti tokio tipo žertuvo sparnų, o naujo tipo žertuvo sparnai bus sutvirtinti vamzdžio konstrukciniais elementais iš abiejų pusių ir turės dvigubą ilgaamžiškumą nei dabar esantys. Taip pat, tokiu atveju, galima panaudoti vieną cilindą, vietoje dviejų ir sutaupyti papildomų kaštų.

## Išvados

1. Atlikus literatūros analizę, daroma išvada, kad yra įvairių kuro perdavimo sistemų, tokių kaip transporteriai, greiferinis kranas, hidraulinis rotorius, judančios grindys, kurios atlieka tą pačią funkciją, tačiau turi skirtingas konstrukcijas, medžiagas, greičius ir kitas technines savybes, nuo kurių priklauso perdavimo sistemų pritaikomumas ir ilgaamžiškumas.
2. Apžvelgus biokuro katilinių sandėlio judančių grindų konstrukcijos analogus, identifikuoti pagrindiniai šios sistemos privalumai – galimos papildomos transportavimo ir smulkinimo funkcijos viename įrenginyje, tinkama dideliame kuro kiekiui užkrauti, paprasta konstrukcija, neaukštas triukšmo lygis, bei pagrindiniai trūkumai – galimas sunkus priėjimas prie hidraulinių cilindų, kuras gali netolygiai pasiskirstyti judėjimo metu, sunku ištuštinti sandėlį. Tam, kad šie trūkumai būtų kompensuoti, naudojami papildomi įrenginiai – kuro kreipiančiosios konstrukcinės detalės, kuro skirstytuvai, vibrogrotos ir pan.
3. Susipažinus su nagrinėjamų biokuro sandėlių judančių grindų konstrukcija, identifikuoti pagrindiniai rodikliai reikalingi tyrimui atlikti, tokie kaip – veikimo principas, gabaritai (13750 mm × 1350 mm × 950 mm), hidraulinio cilindro eiga (500 mm), cilindų greitis (0,76 m/min) bei darbinis maksimalus slėgis (210 barų). Taip pat susipažinta su įrenginio eksploatacija, techninės priežiūros grafiku, besidėvinčiomis ir keičiamomis dalimis, tam, kad tyrimo metu būtų galima įsivertinti gautus ilgaamžiškumo rezultatus ir gaminio tobulinimo galimybes.
4. Išanalizuota, kad pagrindinės biokuro sandėlio grindų problemos yra – po šaltojo sezono prišalę platformų žertuvai, dėl suvirinimo deformacijų atsiradę geometriniai matmenų pokyčiai, žertuvo ir hidraulinių cilindų nesutaptis, netinkama priežiūra, žertuvo sparno lūžimas ar kiti defektai. Taip pat identifikuota, kad problemos gali atsirasti ir dėl gamybos, konstravimo arba montavimo metu padarytų klaidų.
5. Išanalizavus suvirinimo siūlės trūkio tyrimui galimas naudoti metodologijas, nustatyta, kad taikomas nominalių įtempių metodas gali būti netikslus, nes vertinamos atsitiktinės įtempių vietos aplink suvirinimo siūlę, o efektyvių įpjovos įtempių metodas tinkamas tik mažų gabaritų konstrukcijai, kuri turi ~0,5 mm tikslumo suapvalinimus. Pasirinktas „karštų“ taškų metodas tinkamas, nes remiasi įtempių tyrimu pagal metodologiją nustatytuose taškuose – įtempių koncentracijos vietoje aplink suvirinimo siūlę.
6. Tiriant žertuvo sparno suvirinimo siūlės trūkį, stipruminiai skaičiavimai parodė, kad pagrindiniai žertuvo įtempių koncentratoriai (176 MPa) yra ties atsiradusiu žertuvo sparno siūlės trūkiu, tačiau neviršija leistinų juodo plieno S355JR markės maksimalių įtempių ribos (355 MPa). Ištirtas lokalus baigtinių elementų tinklelis, kuris pasiekė konvergaciją ties metodinėje medžiagoje nurodytos rekomenduojamos elementų dydžio vertės (elemento dydis – 4 mm). Atlikus stipruminius skaičiavimus su skirtingais cilindų slėgiais ir nubraižius „karštų“ taškų įtempių ir slėgių priklausomybės grafiką, matoma tiesinė priklausomybė.
7. Tiriant žertuvo sparno suvirinimo siūlės trūkį, atliekami ilgaamžiškumo skaičiavimai, rodantys, kad vertinant siūlę prasčiausia 32 suvirinimo klase, įtempių koncentratorių vietose, bei veikiant maksimaliam (210 barų) slėgiui žertuvo sparno suvirinimo siūlė gali atlaikyti 124789 ciklus, t. y. apie 3,8 mėnesio, o prie nustatyto vidutinio cilindro slėgio (120 barų) – 1022208 ciklus, t. y. 2,5 metų. Kadangi, siūlės trūkio užuomazgos matomos po vienerių metų apžiūros, o kaip vizualiai matomas ir kritinis trūkis po dviejų metų, galima daryti išvadą, kad skaičiavimai teisingi ir ilgaamžiškumas atitinka realybę. Kad būtų prailgintas žertuvo sparno ilgaamžiškumas galima stiprinti suvirinimo siūlės klasę, siūlę storinti, pritaikant ir konstrukcinius žertuvo sparno pakeitimus arba keisti biokuro katilinės judančių grindų konstrukciją ir tipą (pvz.: kopėtinės).

## Literatūra

1. Energetikos statistika 2017m. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.03.20.] Prieiga internete: <https://osp.stat.gov.lt/informaciniai-pranesimai?articleId=5744093>
2. Grandikliniai transporteriai [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.03.] Prieiga internete: <https://specagra.lt/lt/grudu-iranga/grandikliniai-transporteriai>
3. Juostiniai transporteriai [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.03.] Prieiga internete: <https://www.agrosistemas.lt/grudu-sandeliavimo-ir-transportavimo-technika/grudu-transportavimo-iranga/juostiniai-transporteriai/>
4. Juostiniai transporteriai [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.05.] Prieiga internete: <https://gotas.lt/kelimo-mechanizmu-nuoma/juostinio-transporterio-nuoma/lt>
5. Biokuro žinynas [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.12.] Prieiga internete: <https://www.ena.lt/uploads/PDF-AEI/Leidiniai-LT/4-Biokuro-zinynas.pdf>
6. Grandikliniai transporteriai [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.12.] Prieiga internete: <https://pandmeta.com/en/produktai/konvejeriai/>
7. Sraigtiniai transporteriai [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.13.] Prieiga internete: <https://www.elega.lt/lt/sraigtiniai-transporteriai>
8. Greiferiniai kranai [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.14.] Prieiga internete: <https://www.bci.lt/kelimo-sprendimai/greiferiniai-kranai/>
9. Greiferinis kranas [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.14.] Prieiga internete: <https://www.bci.lt/projektas/dvieju-tiltiniu-greiferiniu-kranu-modernizacija/>
10. Judančių grindų sistemos [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.14.] Prieiga internete: <http://www.ipcentras.lt/Judanciu-grindu-sistemas-932.html?productpage=0&productid=685>
11. Analogas „New heat group“ [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.16.] Prieiga internete: <http://www.newheat.lt/services/kuro-sandelio-iranga/>
12. Analogas „Kalvis“ [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.17.] Prieiga internete: <https://www.kalvis.lt/produktas/hkpi/>
13. Analogas „Enerstena“ [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.18.] Prieiga internete: [https://www.enerstena.lt/lt/kuro-sand%](https://www.enerstena.lt/lt/kuro-sand%<C4%97liavimo-ir-tiekimo-sistemas)
14. Biokuras [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.19.] Prieiga internete: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Biokuras>
15. Kokybiškas biokuras [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.19] Prieiga internete: <https://pusbroliai.eu/lietuvoje-gaminamas-kokybiskas-biokuras/>
16. E. Niemi, W. Fricke, S. J. Maddox. Fatigue Analysis of Welded Components. Designer's guide to the structural hot-spot stress approach. The International Institute of Welding. 2006, IIW-1430-00.
17. FARSHID Zamiri Akhlaghi. Fatigue life assessment of welded bridge details using structural hot spot stress method. Chalmers. 2019. Master's Thesis 2009:104.
18. MUSTAFA, Aygul. Fatigue Analysis of Welded Structures Using the Finite Element Method. Chalmers. 2012, Lic. No: 2012:4. ISSN 1652-9146.
19. Unfired pressure vessels Part 3: Design BS EN 13445-3. British Standards Institution (BSI). 2014.
20. S355JR plieno charakteristikos [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.27.] Prieiga internete: <http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/147/>

21. OVAKO S2355JR data sheet charakteristikos [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.28.] Prieiga internete: <https://steelnavigator.ovako.com>
22. Slėgio ir jėgos skaičiuoklė [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.29.] Prieiga internete: <https://www.sensorone.com/pressure-and-area-to-force-calculator/>
23. Huko dėsnis [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.04.30.] Prieiga internete: <https://www.britannica.com/science/Hookes-law>
24. Vidutinių įtempių korekcija [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.05.03.] Prieiga internete: [https://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/cworks/c\\_Mean\\_Stress\\_Correction.htm](https://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/cworks/c_Mean_Stress_Correction.htm)
25. S-N kreivės [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021.05.03.] Prieiga internete: [http://help.solidworks.com/2018/english/solidworks/cworks/c\\_sn\\_curve.htm](http://help.solidworks.com/2018/english/solidworks/cworks/c_sn_curve.htm)