



**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## **KAEVANDUSSEADME HOOLDUSPLATVORMI PROJEKTEERIMINE**

### **DESIGN OF SERVICE PLATFORM FOR MINING EQUIPMENT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Krister Veevo

Üliõpilaskood: 191827MATM

Juhendajad: Kaimo Sonk, mehaanika ja  
tööstustehnika instituudi  
vanemlektor  
Toivo Tähemaa, mehaanika ja  
tööstustehnika instituudi  
kaasprofessor

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“23” mai 2022

Autor: Krister Veevo

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“23” mai 2022

Juhendaja: Kaimo Sonk

/ allkiri /

Toivo Tähemaa

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” mai 2022 .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Krister Veevo,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Kaevandusseadme hooldusplatvormi projekteerimine, mille juhendaja on Kaimo Sonk ning kaasjuhendaja on Toivo Tähemaa,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

23.05.2022

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Mehaanika ja tööstustehnika

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Krister Veevo, 191827MATM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: MATM02/18 – Tootearendus ja tootmistehnika, peerialaks  
tootearendus (kood ja nimetus)

Juhendaja(d): Vanemlektor, Kaimo Sonk, 6203267; kaasprofessor, Toivo  
Tähemaa, 6203252 (amet, nimi, telefon)

**Lõputöö teema:**

Kaevandusseadme hooldusplatvormi projekteerimine

Design of service platform for mining equipment

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Uurida erinevaid võimalikke lahendusi ning neid võrrelda
2. Uue lahenduse projekteerimine
3. Kontseptuaalne lahendus

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Olemasolevate lahenduste analüüs ning nende võrdlus	25.04.2022
2.	Arendatava lahenduse valik	30.04.2022
3.	Hooldusplatvormi projekteerimine	16.05.2022
4.	Magistritöö vormistamine ja kaitmine	23.05.2022

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "23" mai 2022 a

**Üliõpilane:** Krister Veevo ..... "23" mai 2022 a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Kaimo Sonk ..... "23" mai 2022 a  
/allkiri/

**Kaasjuhendaja:** Toivo Tähemaa ..... "23" mai 2022 a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Eerme ..... "23" mai 2022 a  
/allkiri/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
Lühendite ja tähistete loetelu .....	8
1 SISSEJUHATUS.....	9
2 OLEMASOLEVAD LAHENDUSED .....	11
2.1 Probleemi lahenduse vajalikkus .....	11
2.2 Hardox kuluplaatide vahetuse protsess .....	11
2.3 Olemasolevate lahenduste eelised ja puudused .....	11
2.4 Projekteeritava lahenduse valik .....	14
3 PLATVORMI NÕUDED.....	15
3.1 Nõuete loetelu .....	15
3.2 Morfoloogiline skeem.....	16
3.3 Kontseptsioonide loomine .....	16
3.3.1 Platvormi kõrguse muutmine laest .....	16
3.3.2 Platvormi kõrguse muutmine maast.....	17
3.3.3 Pööratav platvorm.....	18
3.4 Lahenduste hinnang .....	19
3.4.1 Konstruktsiooni materjal .....	19
3.4.2 Hooldusplatvormi ajam .....	21
3.4.3 Konstruktsiooni pinnakate .....	22
3.4.4 Ohutus.....	23
4 PROJEKTEERIMINE.....	24
4.1 Platvorm.....	25
4.1.1 Konstruktsiooni materjal .....	26
4.1.2 Pinnakattest tulenevad nõuded konstruktsioonile .....	26
4.2 Platvormi kinnituskronstein .....	27
4.3 Mehaaniline lukustussüsteem .....	28
4.4 Värav .....	30
4.5 Sõrm platvormi ja kronsteini ühendamiseks .....	32
4.6 Piirded.....	32
4.7 Hooldusplatvormi vastavus esitatud nõuetele .....	34
5 INSENERTEHNILISED ARVUTUSED .....	37
5.1 Rajatingimused .....	37
5.1.1 Kinnituste asukohad .....	38
5.1.2 Kinnituste tüübid.....	38
5.1.3 Mõjuvad jõud.....	38

5.2 Silindri valik .....	39
5.3 Platvormi arvutus ja FEM analüüs .....	40
6 TOOTMISPROTSESS .....	44
7 OMAHINNA ARVUTAMINE.....	45
7.1 Hooldusplatvormi materjalide kulu .....	45
7.2 Tööaja kulu.....	46
7.3 Kuumtsinkimise, transpordi, freesimise ja kinnitusvahendite maksumus .....	46
7.4 Kogukulud .....	47
KOKKUVÕTE .....	48
SUMMARY.....	49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	51
GRAAFILINE OSA.....	53
1. <i>Plate 9</i> (Kinnituskronsteini ülemine plaat, formaat A3) .....	53
2. <i>Lock plate 1</i> (Lukusti kinnitusplaat, formaat A3) .....	53
3. <i>Gate</i> (Värav, formaat A3) .....	53
4. <i>Gate fixer</i> (Värava takisti, formaat A3) .....	53

## **EESSÕNA**

Käesolev magistritöö keskendub kaevandustes kasutatavate rauamaagi jagaja hooldusplatvormi projekteerimisele. Autor uurib olemasolevaid lahendusi, võrdleb neid ning lähtudes alginfost, otsustab missugune lahendus oleks kõige sobivam olemasoleva probleemi lahendamiseks

Autor soovib tänada ülikoolipoolseid mehaanika ja tööstustehnika instituudi juhendajaid Kaimo Sonki ning Toivo Tähemaad, kes suutsid hoida autori fookust õiges kohas ning abistasid terve töö vältel. Samuti soovib autor tänada Sandra Valgmat, kes terve lõputöö vältel on autorit innustanud ja toetanud.

Võtmesõnad: magistritöö, kaevandus, hooldus, platvorm, hooldusplatvorm, projekteerimine, LEM arvutused.

## Lühendite ja tähiste loetelu

LEM – lõplike elementide meetod (ingl k *Finite Element Method*, FEM)

Zn – tsink

kZn - kuumtsink



# 1 SISSEJUHATUS

Rauamaagi kaevandustes kasutatakse maagi transpordi protsessis rauamaagi jagajaid. Kuna kaevandamine käib erinevatel tasanditel ning maagi viivad maa alt välja konveierid ning majanduslikku aspekti arvestades pole neid ratsionaalne igale poole paigaldada, siis näeb rauamaagi transpordi protsess välja selline:

- 1) Kaevandatud rauamaak veetakse šahtidesse;
- 2) šahtist kukub rauamaak maagi jagajasse;
- 3) jagaja alla sõidab kallurauto ning jagaja laseb rauamaagi autole;
- 4) kallurauto viib maagi peašahti, mida kaudu liigub maak konveierile, mis transpordib maagi maapinnale.

Olemasolevate jagajate taga ja külgede peal on kuumtsingitud platvormid, kuid jagaja ees, kus toimub maagi laadimine kallurile, seal seda pole. Kuna jagaja sees on Hardox 500 kuluplaadid, mis rauamaagi kukkumisel plaadile teeb suuremad tükid väiksemateks, siis neid plaate ja nende polte on vaja vahetada. Varasemalt pole see olnud suur murekoht, kuna kaevandaja informatsiooni kohaselt jäetakse jagajad maa alla kui liigutakse uude kohta ning varasemalt olid need üsna tihedalt ehk enamasti ei tekkinud vajadust kuluplaate vahetada. Kuna maailma on liikunud järjest enam roheline mõtteviisi suunas, siis pidades silmas seda aspekti ning lisaks veel majanduslikku optimeerimist, siis otsustati, et jagajaid enam nii palju ei tehta ning uued paigaldatakse suuremate vahedega. Sellest lähtuvalt on vaja uutele jagajatele ka hooldusplatvorme. Lisaks sellele soovib kaevandaja kogu tehnika, mis töötab diiselmootoriga, vahetada välja elektrimootoriga tehnika vastu, kuna tehti kuluarvestus ning leiti, et odavam oleks lasta rohkem elektrimootoriga varustatud tehnikal maaki vedada. Peamise hinnavõidu tõi odavam elektrienergia ning sellest tulenevalt ka väiksem keskkonna jalajälg. Lisaks diiselmootorid eritavad palju heitgaase ning selle tarvis on vaja rajada rohkem ventilatsioonišahte, mis on maa all kallis.

Käesolevas töös keskendub töö autor sobiva lahenduse leidmisele, mis teeks kuluplaatide ja ka lihtsalt nende poltide vahetamise kergemaks. Kuna kaevandamata on äärmiselt suur maa-ala, kus leidub rauamaaki, siis see tähendab, et rauamaagi jagajaid toodetakse veel palju ning neile kõigile on vaja hoolduseks mingit seadet, millega pääseks hooldatavatele detailidele ligi.

Peatükis 2 tuuakse välja erinevad olemasolevad lahendused, millega oleks võimalik hooldustöid teostada. Tuuakse välja nende eelised ja puudused ning tehakse otsus, millist lahendust hakatakse projekteerima.

Kolmas peatükk käsitleb projekteerimist ehk tuuakse välja nõuete loetelu, kus liigitatakse nõuded kas fikseeritud nõudeks või soovituslikuks nõudeks. Morfoloogilises skeemis tuuakse välja osafunktsioon ning selle võimalikud lahendused. Samuti tuuakse välja näiteks erinevad konstruktsiooni materjalid, võimalikud pinnakatted ning ohutust tagavad võimalused. Selle peatüki lõpus saadakse projekteerimiseks vajalik sisend.

Neljandas peatükis lahatakse projekteerimise etappe. Kirjeldatakse milliseid aspekte silmas pidades jõuti valikuni. Lisaks tuuakse välja milliseid nüansse tuleb silmas pidada pinnakatte valikul.

Viiendas peatükis on välja toodud insenertehnilised arvutused- sobiva jõuallika valik ning hooldusplatvormi tugevusarvutused. Lõplike elementide meetodit (LEM) kasutades leitakse platvormil tekkivad pinged ning läbipaine.

Kuues peatükk kirjeldab tootmise protsesse ehk mis nüansse on vaja silmas pidada ning millises järjekorras midagi teha tuleb.

Seitsmendas peatükis on välja toodud toote omahinna arvutused. Sinna hulka kuuluvad näiteks materjalide sisseost, tootmine, pinnaviimistlemine ning mitmed teised kuluartiklid. Peatüki lõpuks saadakse teada kui palju maksab ühe hooldusplatvormi tootmine.

## **2 OLEMASOLEVAD LAHENDUSED**

Käesolevas peatükis toob töö autor välja erinevaid olemasolevaid lahendusi, mida saaks samaks otstarbeks kasutada, ning analüüsib neid.

### **2.1 Probleemi lahenduse vajalikkus**

Varasemalt kui rauamaagi hind oli odavam, siis paigaldati kaevandustesse rauamaagi jagajaid üsna tihedalt ning kui ühel tasapinnal sai kaevandatud, siis oli juba eelnevalt tellitud järgmisele tasandile uued jagajad. Kuna rauamaak kukub jagaja sisse, siis on seal sees kasutatud Hardox plaate, mis ühtlasi ka purustasid rauamaaki. Teatud aja möödudes need plaadid aga kuluvad ära ning neid on vahetada või siis on vaja vahetada neid plaate kinni hoidvaid polte. Kuna jagajad olid aga varem võrdlemisi tihedalt, siis ei tekkinud vajadust neid plaate vahetada. Nüüd kui rauamaagi kaevandamine on kallim, siis paigaldatakse neid jagajaid harvemalt ning tekkis ka vajadus plaatide ja poltide vahetamiseks. Selle murekoha ohutuks lahendamiseks on vaja välja mõelda lahendus, mis aitaks seda hõlpsalt ja turvaliselt teha.



### **2.2 Hardox kuluplaatide vahetuse protsess**


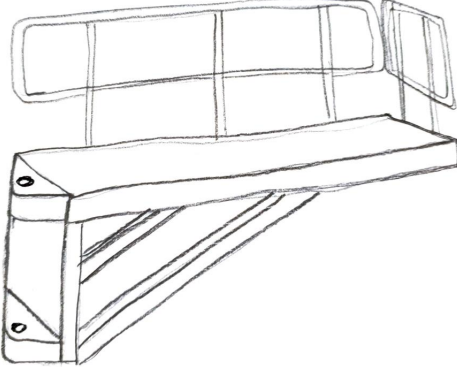

Jagaja sees kasutatakse Hardox plaate, kuna Hardox liigitub kuluplaatide alla. Kuluplaat on valmistatud materjalist, mis kulub tavalisest konstruktsiooniterasest aeglasemalt. Kuna kõige suuremad plaadid on gabariitmõõtudega 1230 x 1230 mm ning paksuseks on 60 mm, siis kaaluvad nad palju ning nende paigaldamiseks on vaja tõstukit ehk peab olema tõstuki ligipääs. Inimesed lähevad plaatide paigaldamiseks koos tööriistadega jagaja sisse. Plaadid kinnitatakse 10.9 tugevusega poltidega. Kuna tulevikus paigaldatakse jagajaid vähem ehk suuremate vahemaadega, siis on oluline, et plaate oleks mugav ja turvaline vahetada. Oluline on ka asjaolu, et jagajas olles ei ole töötajatel turvapiiret ning kuna kukumine on üsna kõrge, siis on see töötajatele ohtlik.

### **2.3 Olemasolevate lahenduste eelised ja puudused**

Erinevate olemasolevate lahenduste eelised ja puudused on välja toodud Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Olemasolevad lahendused

Toode	Eelised	Puudused
<p>Mobiilne alumiiniumtelling 8771/07, Hymer [2]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lahtivõetav</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruumi nappuse puhul on vaja alati lahti võtta ja kasutamiseks uuesti kokku panna;</li> <li>- tellingul olles ei saa tellingut vajadusel liigutada ühest kohast teise;</li> <li>-</li> </ul>
<p>Akukäartõstuk JLG 1930ES[1]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ei tekita müra;</li> <li>- ei tekita heitgaase;</li> <li>- saab liikuda ühest kohast teise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ei saa mugavalt jagaja platvormile minna, kus asub maagi jagaja elektrikilp;</li> <li>- peab leidma koha, kus käartõstukit hoida.</li> </ul>
<p>Korvtõstuk DINO 120TN [3]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ei tekita müra;</li> <li>- ei tekita heitgaase;</li> <li>- saab liikuda ühest kohast teise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peab auto järel vedama, et kaevandusse saada;</li> <li>- hoiustamiseks vajab palju ruumi.</li> </ul>

		
<p>Hooldusplatvorm olemasoleva platvormi küljes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visuaalselt terviklik lahendus;</li> <li>- ohutu;</li> <li>- saab kinnitada seina külge ehk ei ole vaja hoiustamise ruumi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Platvormi liigutamise lihtsus.</li> </ul>
<p>Redel [4]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kõige odavam;</li> <li>- kõige kergem;</li> <li>- vajab hoiustamiseks minimaalselt ruumi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ebaturvaline;</li> <li>- ebamugav koos tööriistadega üles ronida.</li> </ul>

Tabelit uurides selgub, et lihtsa konstruktsiooniga hooldusplatvorm omab teiste lahenduste ees selgeid eeliseid (ohutus, ruumisääst ja mugavus). Järgnevas peatükis tehakse nende vahel valik, mida hakatakse projekteerima.

## **2.4 Projekteeritava lahenduse valik**

Analüüsi tulemusena otsustati hakata projekteerima hooldusplatvormi, mis on ühendatud olemasoleva platvormiga. Selles sai määravaks asjaolu, et erinevate konstruktsioonide välimus peab olema ühtne, kuna kliendi soov on, et hooldusplatvorm sobiks üldpildi koos olemasolevate objektidega.

### 3 PLATVORMI NÕUDED

Käesolevas peatükis tuuakse välja lahendatava ülesande nõuded, koostatakse morfoloogiline skeem ning hinnatakse selles skeemis välja toodud lahendusi. Analüüsitud lahenduste põhjal tehakse otsus, millist platvormi on vaja projekteerida.

#### 3.1 Nõuete loetelu

Allolevas tabelis on välja toodud parameetrid, mida lahenduse valikul tuleb silmas pidada.

Tabel 3.1 Nõuete loetelu

<b>Nõuete loetelu</b>		
<b>Nõue</b>	<b>Fikseeritud nõue</b>	<b>Soovituslik nõue</b>
<b>1. Funktsioon</b>		
- Pööratav	x	
- Kannab korraga 2 inimest koos tööriistadega		x
<b>2. Tehnilised nõuded</b>		
- Pikkus: 4000...4500 mm	x	
- Laius: 1000 mm	x	
- Kandevõime: 500 kg	x	
- Hädastopp lüliti	x	
<b>3. Keskkond</b>		
- Maa all	x	
- Niisked tingimused	x	
<b>4. Käsitlemine</b>		
- Vähene hooldus		x

Tabel 3.1 ilmestab selgelt, et platvormile on seatud fikseeritud nõudmised. Näiteks peab olema platvorm pööratav, et see saaks liikuda 0-asendisse, et seeläbi liikuvale sõidukile mitte ette jääda. Samuti peab see kandma korraga 2 inimest koos tööriistadega. Kuna kuluplaadid kaaluvad kuni 800 kg, siis paigaldatakse need plaadid kraanaga. Sellisel juhul ei arvestada kuluplaadi mass kandevõime hulka. Tehniliste nõuete kohapealt on välja toodud platvormi gabariitmõõdud koos kandevõimega. Keskkond on maa all ning

seetõttu on õhuniiskus kõrge. Lisaks eelnevale on oluline, et platvorm vajaks vähest hooldust.

## 3.2 Morfoloogiline skeem

Selleks, et valida välja süsteemi koostamiseks sobiv lahendus, tuleb leida funktsioonistruktuuris välja toodud funktsioonidele sobivad funktsioonikandjad. Selleks võetakse ette iga sõlm ning hakatakse genereerima ideid, mis antud olukorras võiks selle funktsiooni täita. Selline analüüs viiakse läbi iga sõlme jaoks ning annab kokkuvõttes väga laia valiku lõpliku süsteemi koostamiseks.

Tabel 3.2 Morfoloogiline skeem

Nr	Osafunktsioon	Lahendused			
1	Konstruktiooni materjal	Konstruktiooni-terras	Alumiinium		
2	Ajam	Elektromehaaniline	Elektrohüdrauliline silinder	Käsiagam	
3	Konstruktiooni pinnakate	Kuumtsink	Vedelvärv	Pulbervärv	
4	Ohutus	Hädastopp nupp	Helisignaali	Infrapuna sensor	Optiline sensor

Tabel 3.2 näitab millised lahendused rahuldavad osafunktsioone. Järgnevas peatükis tuuakse välja erinevate lahenduste hinnangud.

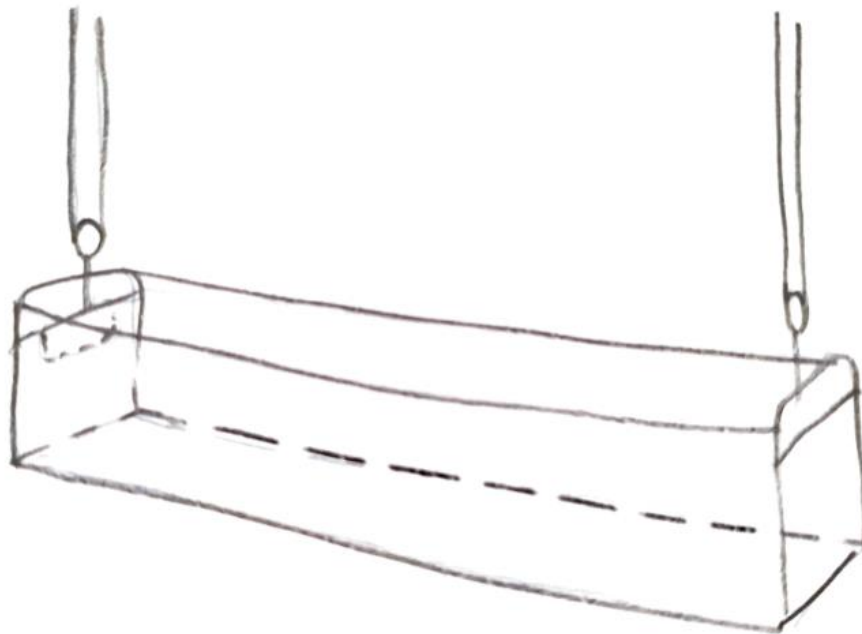
## 3.3 Kontseptsioonide loomine

Käesolevas peatükis luuakse erinevad kontseptsioonid, ehk alapeatükis 2.4 väljavalitud lahenduse täpsustamine. Täpsemalt tehakse eskiisid kolmest erinevast platvormi liigutamise meetodist.

### 3.3.1 Platvormi kõrguse muutmine laest

Üheks võimalikuks lahenduseks on platvormi liigutamine laest. Sellist lahendust kasutatakse näiteks kõrghoonete akende pesemisel. Kõrguse muutmine toimub trosside abil, mida reguleerivad elektrimootorid.





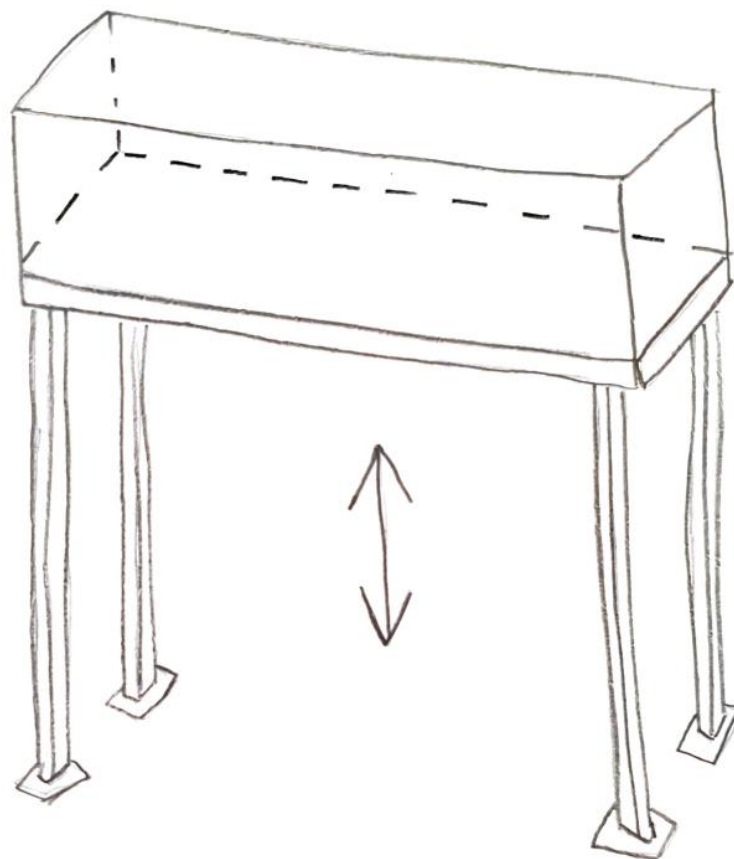
Joonis 3.1 Platvormi liigutamine laest- kõrghoonete akende pesu korvi meetod

Sellise lahenduse eelisteks on kerge mass, kuna sellise lahenduse ajam on kerge ning ei vajata lisadetailide valmistamist. Ka paigaldamisel on sellel eelised aluspinna ehk lae võimaliku ebatasasuse näol, kuna trosside pikkustega saab reguleerida platvormi horisontaalsesse asendisse ning juhtpult juhib mootoreid, mis trosse liigutavad, samaaegselt.

Sellise lahenduse puuduseks on kindlasti ebastabiilsus ehk platvormil pole tugipunkti, mille abil end stabiilsena hoida. Kui platvormil toimetavad korraga 2 inimest ning nad liiguvad seal, siis need inimesed annavad platvormile kineetilise energia, mis paneb platvormi kiikuma. See võib tekitada aga ohtlikke olukordi. Näiteks inimesel võib tekkida hirmutunne ning ta võib seetõttu alateadlikult käituda ebaratsionaalselt ning kukkuda platvormil. Samuti võib platvorm kiikudes minna vastu maagi jagajat ning inimesel võivad hooletuse tõttu jääda käed jagaja ning platvormi vahele.

### **3.3.2 Platvormi kõrguse muutmise maast**

Teiseks võimalikuks platvormi liigutamiseks on silindrite abil platvormi liigutamine maast. Sellisel juhul on vaja platvormile 4 jalga, mille külge kinnitatakse silindrid, mis hakkavad platvormi vertikaalselt liigutama. Sellist lahendust kasutatakse näiteks autotöökodades autode tõstmiseks ning on olemas ka sama lahendusega parkimisseadmed. Sellist lahendust illustreerib Joonis 3.2.



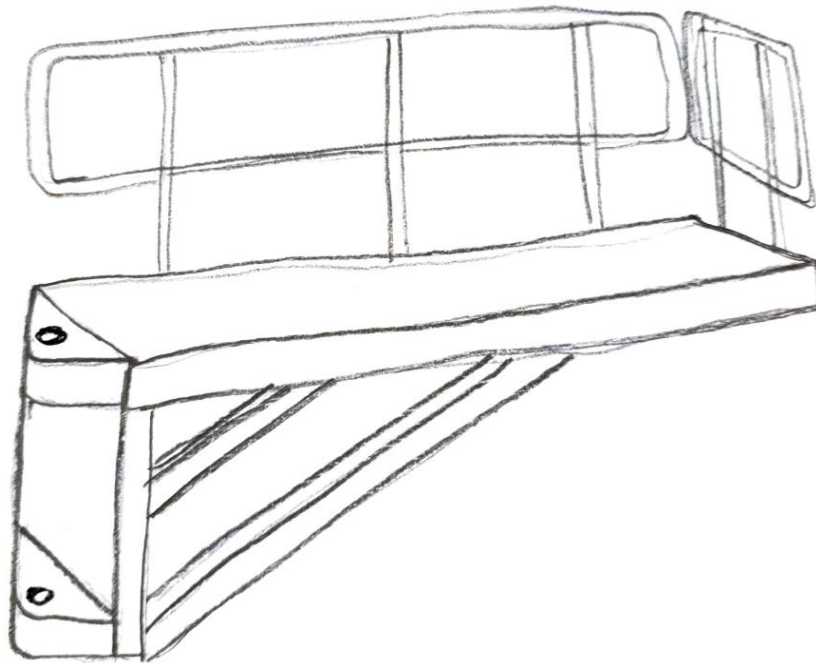
Joonis 3.2 Platvormi kõrguse muutmine maast

Väljatoodud lahendus on võrreldes punktis 3.3.1 esitatud lahendusega parem, kuna platvormil puudub võimalik kaootiline liikumine erinevates suundades. Küll aga tuleb silmas pidada, et mõlemale poole platvormi otsa on vaja projekteerida siinid, mis suunavad platvormi sirgjooneliselt liikuma.

Sellise lahenduse puuduseks on asjaolu, et platvormi vertikaalseks liikumiseks tuleb kasutada nelja silindrit, mis ei ole aga kuluefektiivne. Lisaks platvormile tuleb projekteerida 4 jalga, mille peal platvorm liikuma hakkab ning materjali kulu on suurem kui punktis 3.3.1 välja toodud lahendusel.

### 3.3.3 Pööratav platvorm

Kolmandaks võimalikuks kontseptsiooniks on pööratav platvorm. Pööratava platvormi puhul tuleb arvesse võtta, et kuna ainuke võimalik lahendus on, et platvorm pöörab ümber platvormi otsas asuva telje, siis tuleb projekteerida ka kronstein, mille külge platvorm kinnitub. Kronsteinile hakkab mõjuma moment, mida tuleb tugevusarvutusel arvesse võtta. Kirjeldatud lahendust illustreerib Joonis 3.3.



Joonis 3.3 Pööratav platvorm

Esialgusel hinnangul tundub kaaluvat pööratava platvormi lahendus massi poolest kergem kui jalgadel liigutatav platvorm ning raskem kui trossidega liigutatav platvorm. Sellise platvormi pööramiseks saab kasutada erinevaid ajameid- näiteks hüdraulilist silindrit või elektrimootorit.

### **3.4 Lahenduste hinnang**

Peatükis 3.2 koostatud morfoloogilise tabeli põhjal koostatakse lahenduste hinnang. Hinnangul võetakse arvesse erinevaid aspekte, näiteks hind, kättesaadavus, kvaliteet, sobitumine keskkonda.

#### **3.4.1 Konstruktsiooni materjal**

Tabelis 3.2 on välja toodud võimalikest konstruktsiooni materjalidest teras ning alumiinium. Seda seepärast, et tegemist on kandva konstruktsiooniga.

Alumiinium- alumiinium on kõige levinum metall, moodustades üle 8% maa tuuma massist. Ta on üks kõige kergem metall, peaaegu 3 korda kergem kui teras. Seejuures on alumiinium väga heade mehaaniliste omadustega ning piisavalt korrosioonikindel. Kõige enam kasutatakse alumiiniumit vee puhastamiseks, toiduainetööstuses, meditsiini sektoris [5]. Alumiiniumi kasutamiseks oleks peamine eelis konstruktsiooni terase ees tema väiksem kaal ja korrosioonikindlus. Kuna aga kasutuskohaks on maa-alune

kaevandus, siis toote mass pole määrav. Puudusteks saab välja tuua hinna ning kättesaadavuse. Viimase paari aasta võrdluses on näha suurt alumiiniumi hinnatõusu. Seda illustreerib Joonis 3.4.



Joonis 3.4 Alumiiniumi hind viimastel aastatel [6]

Tulenevalt Venemaa ja Ukraina sõjast, on hetkel üle maailma tarneraskused. Näiteks alumiiniumist nelikanttorule 50x50x2 lubati tarneks 3 kuud.

Teise valikuna oli Tabel 3.2 välja toodud konstruktsiooniteras. Konstruktsiooniterase nimes olev number on voolepiiri väärtus. Voolepiir näitab MPa-des maksimaalset koormust, mida metall suudab taluda enne plastselt deformeerumist. Koormus üle antud väärtuse deformeerib metalli jäädavalt. S235 puhul on voolepiir 235 MPa. Koormus, mis jääb alla selle, tekitab elastse deformatsiooni. Seega võtab metall algse kuju, kui mõjuv jõud eemaldada [7].

Tõmbetugevus näitab maksimaalset koormust, mida metall suudab taluda enne katkemist. Jätkates S235 näitega, jääb see suurus 360...510 MPa vahele. Kuigi see on voolepiirist oluliselt kõrgem, siis tuleks materjali valimisel lähtuda just voolepiirist, mis sobiks mõjuvate jõududega [7].

Terase eelisteks võrdluses alumiiniumiga on soodsam hind ning profiilide kättesaadavus on parem. Samuti on odavam ka terase töötlemine ning järeltöötlemine. Sarnaselt

alumiiniumile on ka terase hind viimase paari aastaga teinud märkimisväärse tõusu. Hinna tõusu illustreerib Joonis 3.5.

US Midwest HRC Steel Index 5-year price chart



Joonis 3.5 Terase hinnatõus viimase viie aastaga [8]

Üheks selliseks hinnatõusu põhjuseks on koroonaviirus Covid-19, mis jättis mitmed terase tootmise tehased seisma ning kui koroonaviirus näitas taandumise märke, siis tehased hakkasid uuesti tööle. Kahjuks, aga tehaste uuesti tööle panemine võtab aega ning sellest tekkis ka inertsina tarneraskused. Näiteks Skandinaavias olevad kaevandused suures osas ei töötanud enne koroonaviirust, kuna rauamaaki oli odavam osta näiteks Venemaalt. Praeguseks on terase hind sedavõrd palju tõusnud, et Skandinaavias pannakse kaevandusi järjest enam tööle, kuid mõju terase hinnale avaldab see alles hiljem.

### 3.4.2 Hooldusplatvormi ajam

Erinevateks jõuülekannete võimalusteks toodi välja morfoloogilise skeemi Tabel 3.2 elektromehaaniline ajam ja elektrohüdrauliline silinder.

Üheks võimalikuks jõuallikaks oli Tabel 3.2 välja toodud elektromehaaniline ajam. Elektrimootori positiivseteks külgedeks on kindlasti sujuvus ehk ühtlasel kiirusel liikumine. Ka positsioneerimistäpsus on elektrimootorite puhul kõrge. Puuduste poole pealt võib välja tuua hinna- nende hind võib olla tihtipeale kõrge.

Teiseks võimalikuks ajamis toodi välja hüdrauliline silinder. Hüdrauliline silinder on lineaarne aktuaator, mis töötab hüdrostaatilisel energial. Lineaarne aktuaator on

mehaaniline seade, mis on leiutatud liigutamaks jõudu lineaarselt kas siis lükkamiseks või tõmbamiseks. Hüdraulilise energia edasikandmiseks kasutatakse hüdraulilist õli [9]. Hüdrauliliste silindritega saab tekitada suuri jõude isegi väikese mahuga. Tekkiva jõu ja kiiruse reguleerimiseks kasutatakse hüdraulilist ajamist. Puuduste poole pealt võib välja tuua kõrge hoolduse vajaduse. Perioodiliselt tuleb vahetada õli ning õlifiltreid. Lisaks on hüdrauliline õli temperatuuri kartlik ehk kui temperatuur on madal, siis on õli paks ning seda on vaja soojendada.

### **3.4.3 Konstruksiooni pinnakate**

Kuna projekteeritav lahendus läheb kasutusse maa-alustesse kaevandustesse, kus on niiske ning kliendi poolt esitatud vastavad keskkonnaklassi nõuded, siis on oluline, et lahendus vastaks nõudmistele.

Alumiiniumi puhul ei ole otseselt nõutud eraldi pinnakate, kuna alumiinium ise on juba kõrge korrosioonikindlusega. Terasel puhul on aga lood teised, kuna haljas teras hakkab kiirelt roostetama. Tabelis 3.2 on võimalike lahendustena välja toodud kuumtsinkimine, vedelvärvimine ning pulbervärvimine.

Kuumtsinkimine on protsess, mille käigus saavad erinevad detailid endale tsingikihi. Detailid pannakse vanni, kus on vedel tsink (Zn) sees. Kuna Zn sulamistemperatuur on 420 °C, siis kuumtsinkimise protsess võib olla väga ohtlik kui pole täidetud vastavaid nõudeid. Tsingikihi paksus jääb C3H keskkonnaklassi puhul enamasti 70 – 100 µm vahele. Sellest hoolimata on kuumtsinkimine tõhusaim viis korrosiooni kaitseks [10]. Võrdluseks, et vedelvärvimisel Tikkurila värviskeemiga TP20 on vaja C3H keskkonnaklassi saavutamiseks 180 µm vedelvärvi. Tsingi üheks heaks omaduseks peetakse võimet ise paraneda ehk väiksemad kriimud paranevad ise aja jooksul. Küll aga suuremate kahjustatud kohtade puhul see ei toimi. Kahjustatud kohti saab küll parandada kas spetsiaalse tsingi spreiga või siis tsingi pastaga, kuid see ei taga soovitud keskkonnaklassi. Kuumtsingitud detaile saab peale tsinkimist nii pulbervärvida kui ka vedelvärvida.

Vedelvärvimise puhul kasutatakse pindade katmiseks vedelal kujul värvi. Värv pihustatakse värvipüstolit kasutades pindadele. Erinevalt kuumtsingitud detailidest, saab vedelvärvitud detaile hõlpsalt parandada. Vedelvärvimine on enamasti odavam kui kuumtsinkimine, kuna kuumtsinkimise hinda arvestatakse kilo pealt, vedelvärvimise hinda aga ruutmeetrite pealt. Seepärast on näiteks poste, talasid ja muid raskemaid detaile odavam värvida, aga kergemaid detaile, näiteks piirdeid, on odavam

kuumtsinkida. Seda näiteks ka seepärast, et vedelvärvimisel kasutatakse püstolitel düüse, mis suunavad värvi voo kindla nurga all. Nii-öelda „õhuliste“ koostude värvimisel on värvikulu suurem. Vedelvärvimise puhul peab olema värvitava detaili pind terase puhul puhas. Selle jaoks on erinevaid lahendusi, kõige levinumad on haaveldamine ning liivapritsimine.

Pulbervärvimine on kolmas võimalus, mis Tabel 3.2 välja toodi. Pulbervärvimise puhul kantakse pulbri kujul on värv maandatud detailile spetsiaalse värvipüstoliga, mis annab pulbrile laengu. Seejärel viiakse detailid ahju, kus neid kuumutatakse temperatuurini kuni 200 °C. Selle tulemusena pulber sulab ning tekib tugevam kiht, mis kaitseb metalli [11]. Pulbervärv jääb küll peale värvimist ilus, kuid pulbervärvi parandades jääb värviparandusi tehes paranduskoht näha. Pulbervärvimise puudseks saab ka lugeda selle, et pulbervärvimise kohta ei väljastata raport, mida aga kuumtsinkimise ja vedelvärvimise puhul tehakse.

Lähtuvalt erinevatest pinnatöötluste võimalustest, otsustati käesoleva töö jaoks valida kuumtsinkimine, kuna peale seda töötlust on teras kõige korrosioonikindlam ning nagu ka välja toodi, siis tsink suudab väiksemad praod aja jooksul ise parandada. Mõjuvaks valiku põhjuseks on ka asjaolu, et teised platvormid, mis asuvad samas kohas, on samuti kuumtsingitud.

#### **3.4.4 Ohutus**

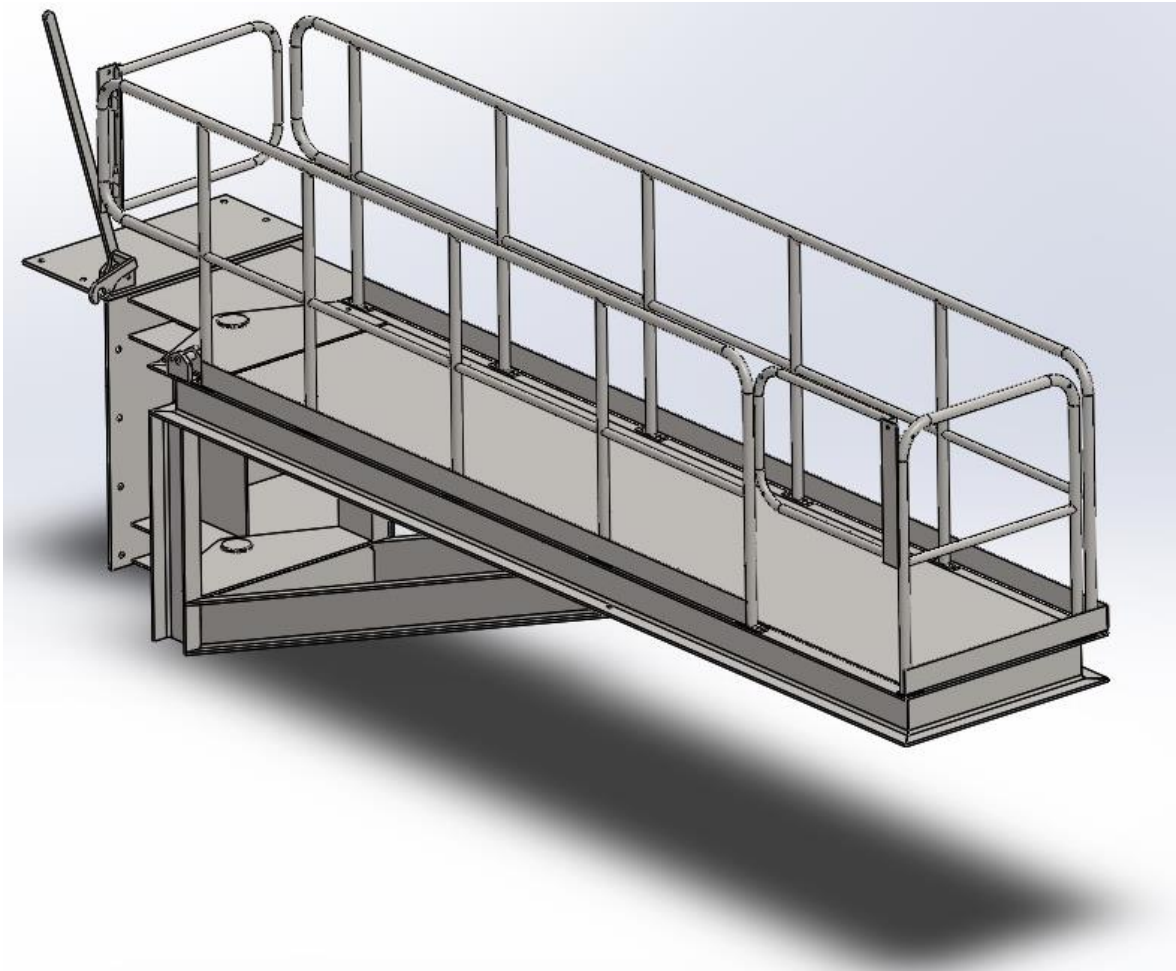
Ohutuse kohapealt toodi Tabel 3.2 välja 4 erinevat võimalikku ohutust tagavat võimalust.

Esimeseks võimaluseks on hädastopp nupp. Hädastopp nupp on vajalik, et ohu tekkimisel saaks kiirelt vajutada nuppu, mis lükkab välja nii jagaja toite kui ka hooldusplatvormi toite. Selline nupp peab olema kergelt ligipääsetavas kohas ehk võimalikult ligidal töö kohale.

Hädasignaali on vajalik selleks, et anda märku kui on tekkinud ohuolukord või siis ohu ennetamiseks enne platvormi liikumist. Infrapuna või optilisi sensoreid on vaja, et tuvastada kaugust mingist objektist ning kui objekt on sensorile lähemal kui lubatud, siis käivitub avariipidur.

## 4 PROJEKTEERIMINE

Käesolevas peatükis luuakse eelmises peatükis välja toodud nõuetele tuginedes platvormi 3D mudel. Järgnevates alapeatükkides tuuakse välja erinevad koostud, põhjendused miks need projekteeriti just selliselt. Kogu platvormi 3D mudelit iseloomustab Joonis 4.1.

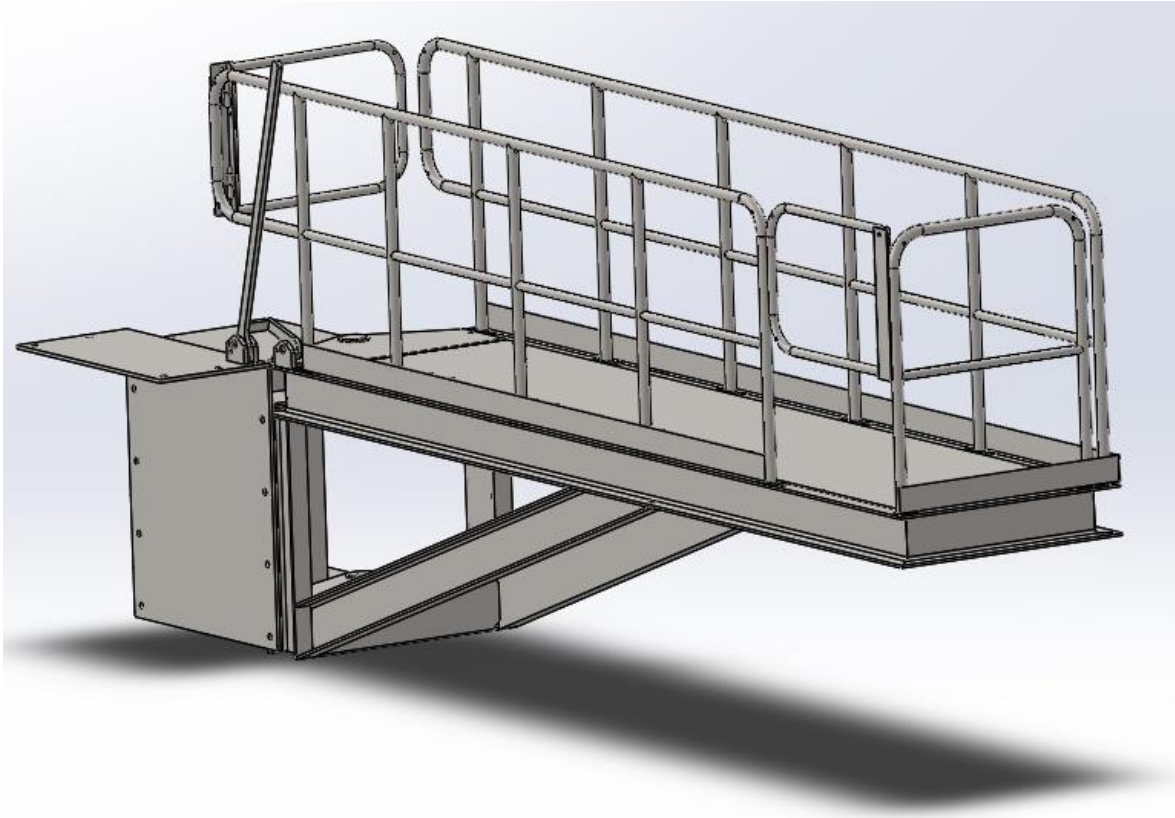


Joonis 4.1 Hooldusplatvorm seadmest eemale nihutatud asendis.

Hooldatavale maagi jagajale pääsemiseks tuleb esmalt veenduda, et lukusti on avatud asendis. Seejärel tuleb minna hooldusplatvormile ning juhtmevaba puldiga liigutada platvorm tööasendisse. Oluline on, et oleks olemas ka mittejuhtmevaba hädastopp juhuks kui juhtmevaba ühendus katkeb. Selle jaoks lisatakse hooldusplatvormile 220 V toide pistiku näol. Pistikut saab kasutada näiteks akumutrikeeraja akude laadimiseks. Samast toitest saab ka hädastopp nupp oma toite ehk kokku on toite välja lülitamiseks kaks hädastopp nuppu- puldil juhtmevaba ja hooldusplatvormil mittejuhtmevaba.



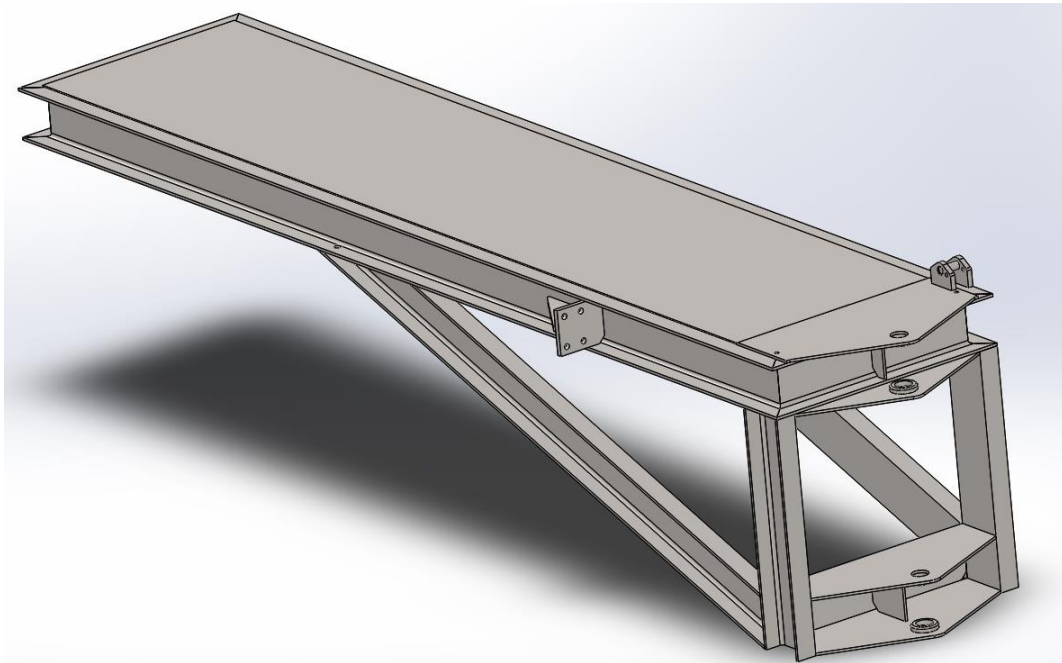
Tuleb tähele panna, et kui platvorm liigub tööasendisse, siis ei tohi selle platvormi peal kedagi viibida. See on lisaohutus, et kui peaks midagi valesti minema, siis inimesed on ohutus kohas. Kui platvorm on tööasendis, siis tuleb mehaaniline lukusti lukustada ning seejärel minna maagi jagajale. Hooldusplatvormi tööasendis iseloomustab Joonis 4.2.



Joonis 4.2 Hooldusplatvorm tööasendis

## 4.1 Platvorm

Platvormi projekteerimisel peeti silmas, et vastavalt kliendi soovile oleks see sarnane olemasoleva platvormiga ning pinnakate oleks kuumtsink.



Joonis 4.3 Platvorm

#### **4.1.1 Konstruksiooni materjal**

Konstruksiooni põhimaterjaliks on kasutatud UPE 200 S355JR. Seda profiili sai kasutatud kahel asjaolul. Esiteks on töö autor varasemalt platvorme projekteerides kasutanud UPE 200 profiili ning teiseks on ka objektile olemasolev platvorm toodetud UPE 200-st. Karpraud UPE 200 on näidanud ennast igati heast küljest ning uute materjalidega katsetamist palus tellija vältida. Alumiiniumi kasutamine antud kohas ei oleks otstarbekas, kuna alumiiniumi hind on vastavalt punktis 3.3.1 väljatoodud allikatele üle kahe korra kallim kui konstruksiooni teras. Samuti on keerulisem leida kvaliteetset tööjõudu, kes oleksid võimelised keevitama alumiiniumit.

Platvormi konstruksiooni peal kasutatakse rihvelplaati, kuna see oli kliendi soov. Seda seepärast, et ka olemasoleval platvormil on kasutatud rihvelplaati ning seeläbi säilib üldine ilme. Variant oleks kasutada resti, kuid rihvli eelis on, et kui töötajal kukub polt või mutter maha, siis ei kuku need läbi platvormi. Resti puhul kukuks kinnitusvahend maha ning see võib teisele töötajale pähe kukkuda, millel võivad olla rasked tagajärjed. Rihvelplaat on küll kallim kui tavaline lehtteras, kuid rihvelplaat on libisemiskindel

#### **4.1.2 Pinnakattest tulenevad nõuded konstruksioonile**

Tulenevalt pinnakatte valikust, milleks on kuumtsink, arvestati, et konstruksioonile tuleb teha tehnoloogilised avad lähtuvalt kuumtsinkimise protsessist. Nimelt ei tohi

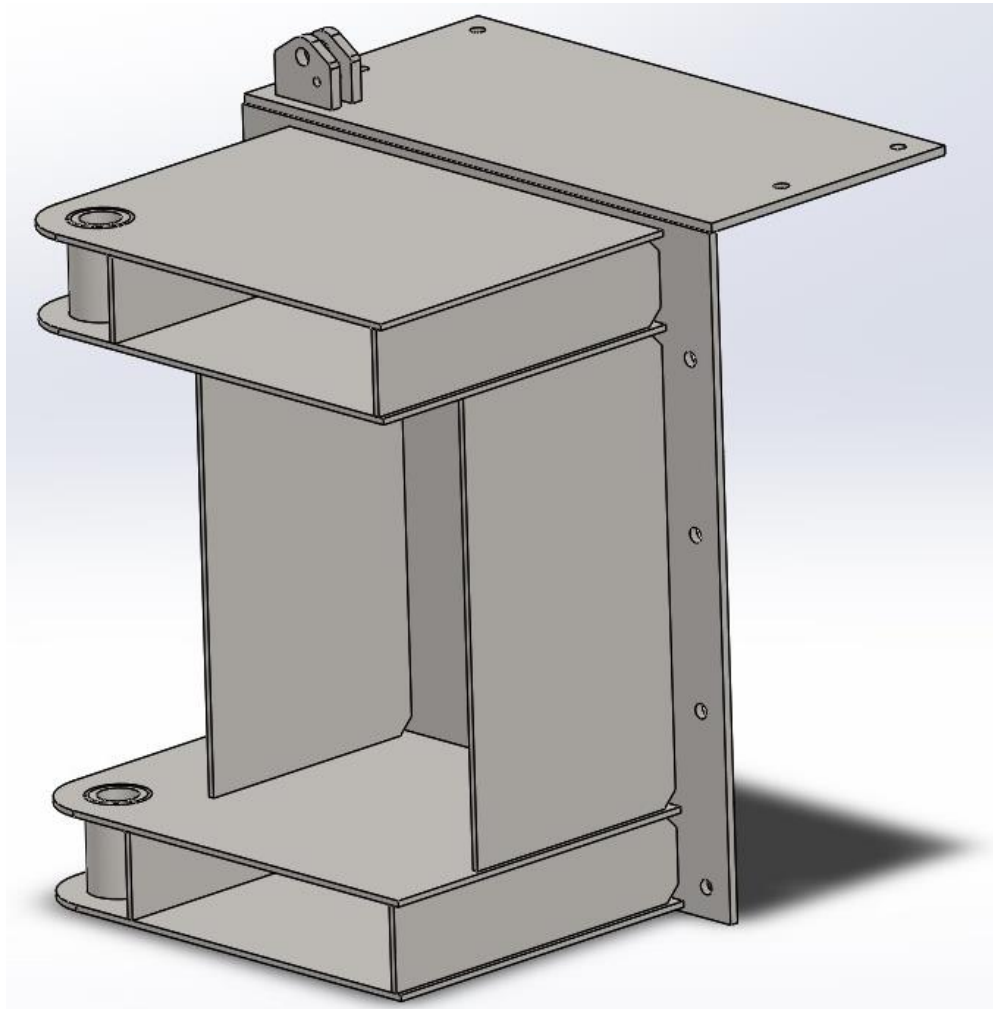
tekkida kinniseid nurkasid, kuna sinna tekivad õhupesad ning need kohad jäävad kuumtsinkimata. Töö autor vältis platvormi projekteerimisel nelikanttorude ning ümartorude kasutamist, kuna kui tootmises kogemata unustatakse tsingiava tegemata, siis see võib vannis plahvatada ning see võib olla eluohtlik. Samuti peavad olema avad võimalikud suured, et platvorm vanni upuks. Joonis 4.4 on välja toodud avade suuruste nõuded tsinkimisel.

○	□	▭	1 ava	2 ava	4 ava
15	15x15	20x10	8 mm		
20	20x20	30x15	10 mm		
30	30x30	40x20	12 mm	10 mm	
40	40x40	50x30	14 mm	12 mm	
50	50x50	60x40	16 mm	12 mm	10 mm
60	60x60	80x40	20 mm	12 mm	10 mm
80	80x80	100x60	20 mm	16 mm	12 mm
100	100x100	120x80	25 mm	20 mm	12 mm
120	120x120	160x80	30 mm	25 mm	20 mm
150	150x150	200x120	40 mm	25 mm	20 mm
200	200x200	260x140	50 mm	30 mm	25 mm

Joonis 4.4 Nõutud avade suurused kuumtsinkimisel [12]

## 4.2 Platvormi kinnituskronstein

Platvormi kinnituskronstein projekteeritakse arvestades asjaolu, et objektile on valatud raudbetoonist alus, kuhu külge saab kronsteini kinnitada. Olemasolevalt platvormilt astutakse samal tasapinnal olevale kronsteinile, mille pealt astutakse edasi platvormile.

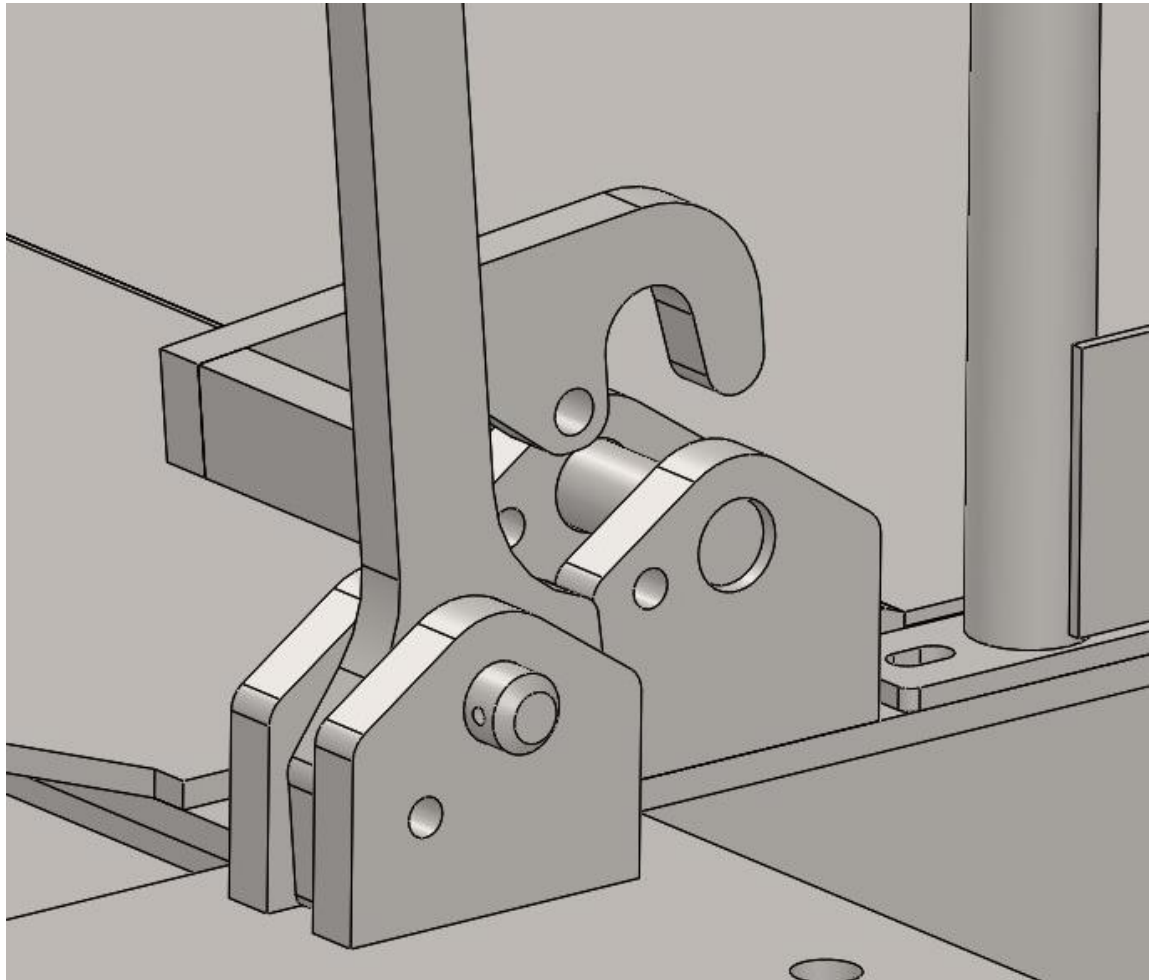


Joonis 4.5 Platvormi kinnituskronstein

Platvormile saab astuda sõltumata sellest, millises asendis platvorm parasjagu on.

### **4.3 Mehaaniline lukustussüsteem**

Lukustussüsteemi projekteerimisel on lähtunud kasutusmugavusest ning töökindlusest. Lukusti asub kronsteini küljes ning platvormi küljes on lukustatav detail.

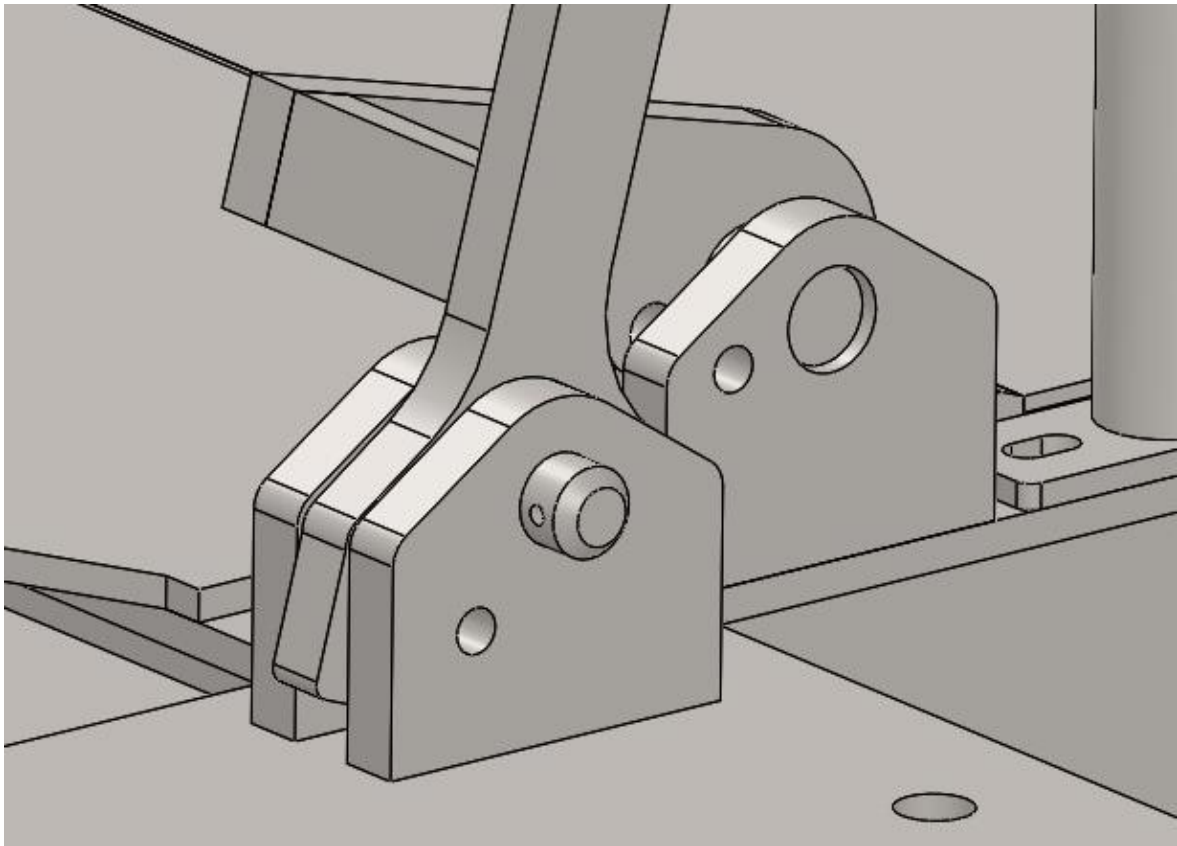


Joonis 4.6 Lukusti avatud asendis

Kui lukusti on avatud asendis, siis fikseeritakse see läbi väikse kronsteini DIN 931 M12 x 100 kuumtsingitud poldi ja mutriga. Tava näeb ette, et tuleb kasutada ka mõlemal pool kinnitatavat detaili ka seibe, kuid kuna lukustussüsteemil pole see oluline, siis töö autor ei pidanud seda vajalikuks.

Enne hooldusplatvormile astumist kui lukusti on avatud asendis, tuleb töötajal eemaldada lukustilt fikseeriv polt. Lukusti on projekteeritud selliselt, et lukusti ei vaju ise kinni, vaid raskus kese on kronsteini pool ning lukusti alumine pind toetab vastu kronsteini. Seda ilmestab Joonis 4.6.

Kui lukustussüsteem on lukustatud asendis, siis fikseeritakse lukusti platvormi küljes oleva kronsteiniga, kuna kronsteini külge fikseerimine jääb ebamugavalt kaugemale ning kasutaja peaks fikseerimiseks küünitama, mis võib kohati olla ohtlik. Kui lukusti on lukustatud asendis, siis ka sellisel juhul fikseeritakse lukusti DIN 931 M12 x 100 kuumtsingitud poldi ja mutriga. Lukustussüsteemi lukustatud asendit illustreerib Joonis 4.7.

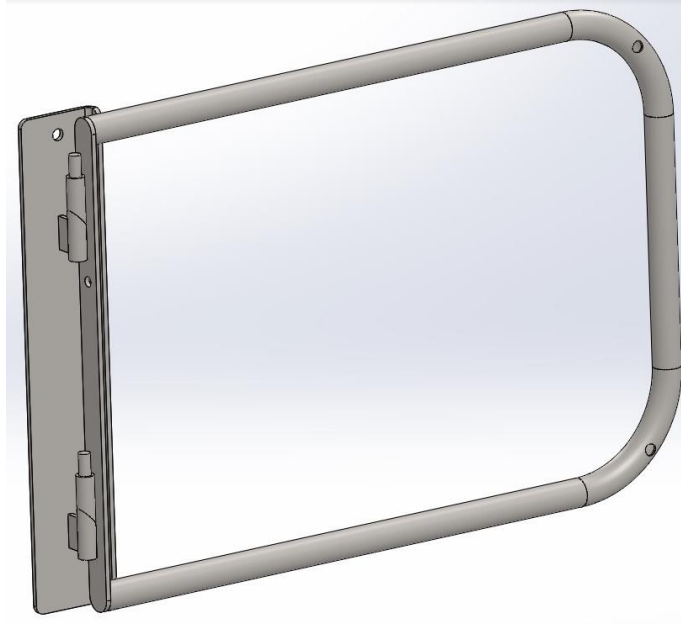


Joonis 4.7 Lukusti lukustatud asendis

Kõik lukusti detailid on tehtud 20 mm terasplaadist, et need peaksid vastu võimalikele tekkivatele pingetele.

#### **4.4 Värav**

Platvormil on mõlemas otsas värav, et takistada platvormilt maha kukkumist. Värav on projekteeritud isesulguvana ehk värava lahti tegemisel värav tõuseb mööda värava hinge ning kui avatud asendist värav lahti lasta, siis vajub ta oma raskusega kinni tagasi.



Joonis 4.8 Isesulguva värava lahendus

Joonis 4.8 näitab ära ka tsingiavade asukohad. Väravahingede poolt on avad tehtud toru alla, et need ei oleks nähtaval kohal. Kuna tõenäoliselt ei kasutata hooldusplatvormi väga tihti, siis sooviti lihtsat ning odavat lahendust. Väravat takistab väljapoole liikumast painutatud plaat, mille külge on hing keevitatud. Et vältida värava hingedelt maha tulemist, kinnitatakse läbi painutatud plaadil oleva ava polt, mille keerme osa jääb täpselt hinge kohale.

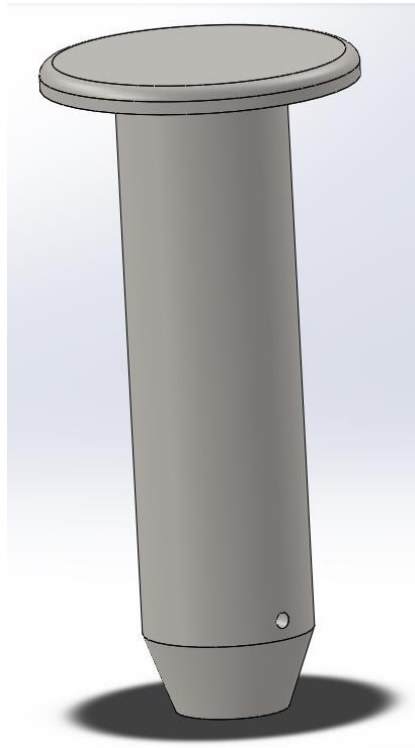
Alternatiivina saab kasutada väravat/väravaid, mis liigub hingede peal ning ei ole isesulguvad.



Joonis 4.8 Väravad

## 4.5 Sõrm platvormi ja kronsteini ühendamiseks

Platvorm ja kronstein on projekteeritud selliselt, et need oleksid omavahel ühendatud sõrmega. Sõrme materjaliks on valitud konstruktsiooniteras S355JR, kuna sellise terase margiga ümarteras on turul enamlevinud. Sõrme projekteerimisel lähtuti soovist, et see oleks lihtsa ülesehitusega ning tootmine ei oleks kallis. Platvormi ja kronsteini ühendamiseks projekteeritud sõrme 3D mudelit iseloomustab Joonis 4.9.



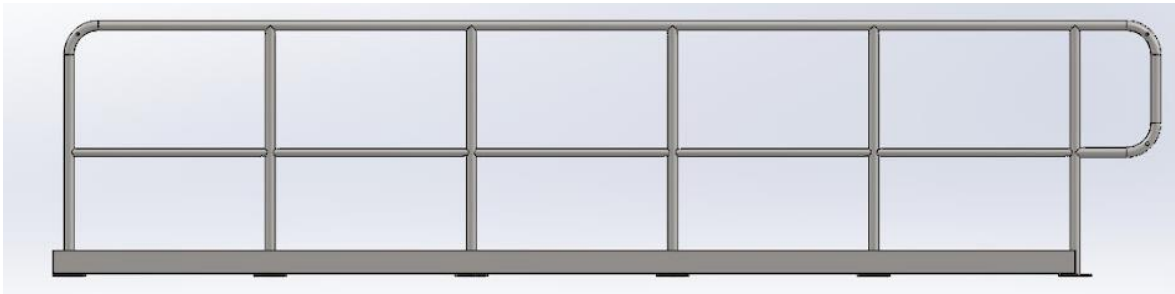
Joonis 4.9 Platvormi ja kronsteini ühendamiseks projekteeritud sõrm

Alguses oli töö autoril mõttes sõrme pea külge teha plaat, kus on ava sees ning hooldusplatvormile teha keermestatud ava, et see fikseerida poldiga, kuid kuna sõrmele ei mõju teljesihiline koormuseid, siis otsustati, et see fikseeritakse splindiga.

## 4.6 Piirded

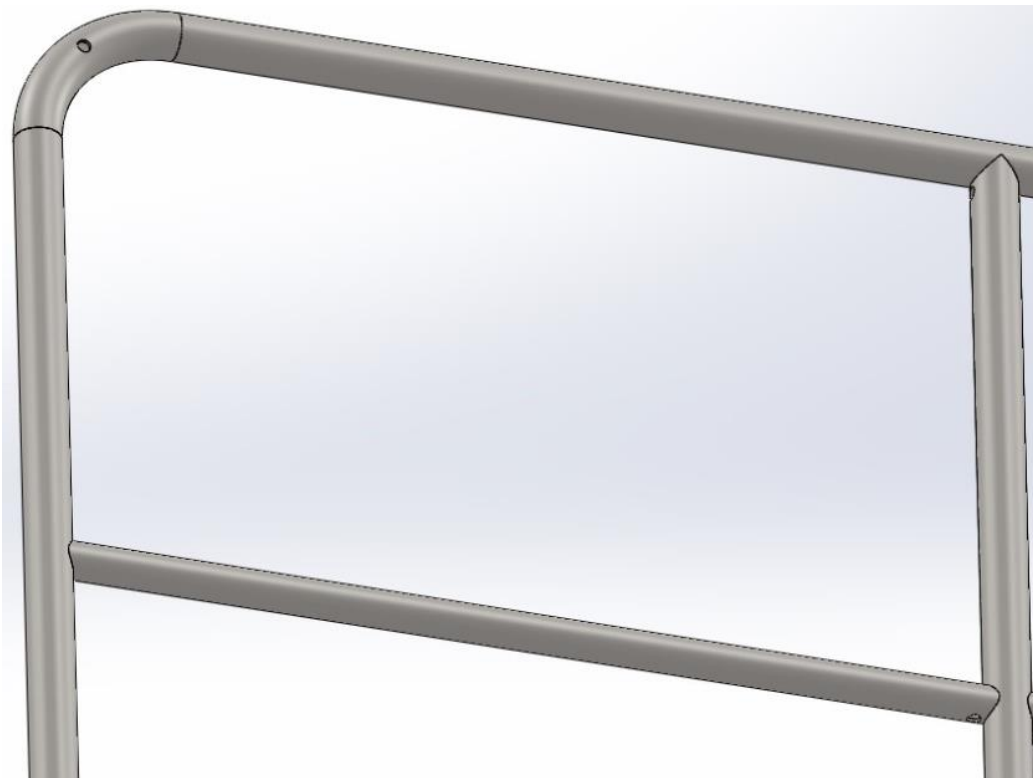
Platvormil tagavad ohutust piirded, mis on tehtud ümartorust 42,4 x 2,8, S235JR ning vahetorud on tehtud ümartorust 33,7 x 2,8, S235JR. Põhjuseks käsipuu toruks valiti just 3,2 mm seinaga toru, on see, et kuna käsipuud on painutatud, siis õhukese seinaga torud läheksid painutamise käigus „kortsu.“





Joonis 4.10 Piire koos varvaslauaga

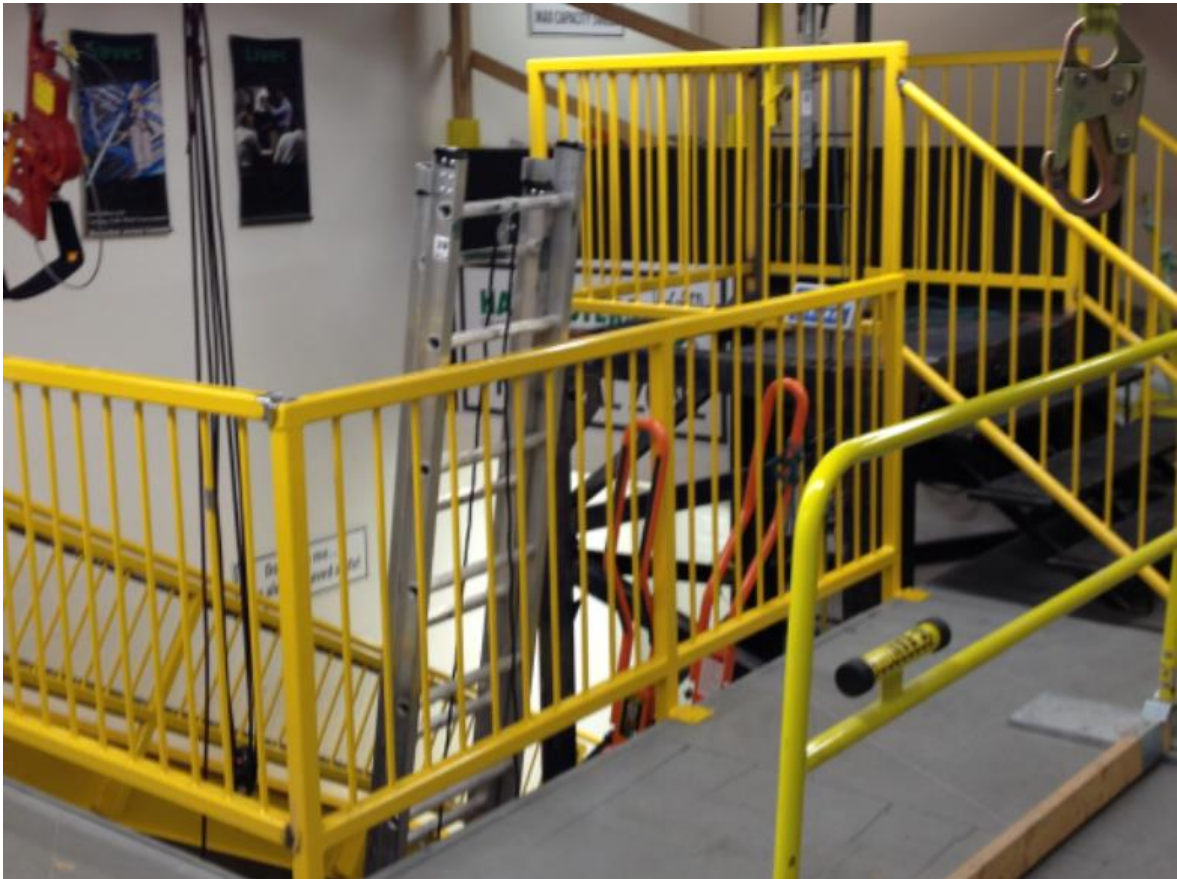
Piirde projekteerimisel pole arvestatud ehitusstandardit, vaid lähtuti kliendi soovidest ehk oluline oli, et oleks lihtsalt piire, mis takistaks platvormilt maha kukkumist. Ehitusstandardi kohaselt peaksid olema käsipuu ja postide vahel vertikaalsed näiteks ümartorud, mille omavaheline vahe tohib olla maksimaalselt 100 mm. Piirdele lisati ka varvaslaud, mis on tehtud 100 x 5 ribaterasest. Varvaslaud ei lase platvormilt maha astuda ning kui näiteks mingi tööriist peaks käest maha kukkuma, siis ei veere see üle platvormi serva, vaid jääb varvaslaua taha pidama. Piirete kinnitamiseks kasutatakse DIN 933 M12 x 40 polte. Piirete tsingiavad stii illustreerib Joonis 4.11.



Joonis 4.11 Piirete tsingiavad

Alternatiivina saab kasutada ka teistsuguse lahendusega piirdeid. Näiteks kortermajades kasutatakse piirdeid, kus on käsipuu, postid ning läbi postide torude lähevad peened trossid, mis läbivad poste. Rõdudel kasutatakse piirdeid, millel on

vertikaalsed ribad arvestusega, et lapse pea nende vahelt läbi ei mahuks. Sellist piiret ilmestab Joonis 4.12.

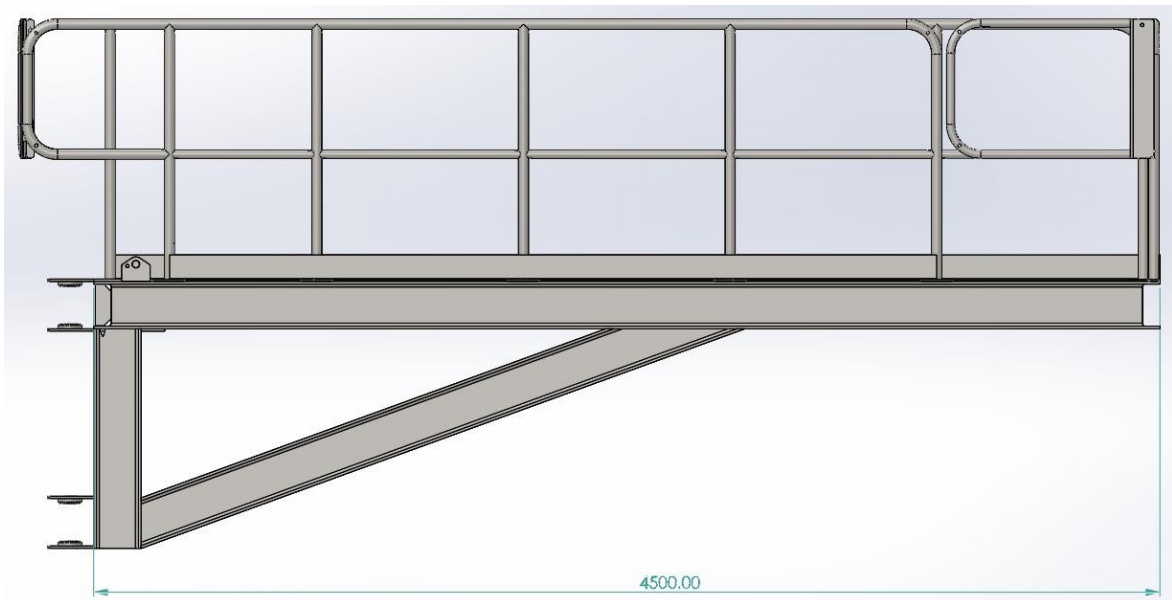


Joonis 4.12 Alternatiivne piirde lahendus [15]

Sellise piirde lahenduse miinuseks on suurem mass, mis tähendab, et tootmiseks vajalik profiil on kokkuvõttes kallim ning kuna kuumtsinkimine käib kilo pealt, siis on ka kuumtsinkimine kallim.

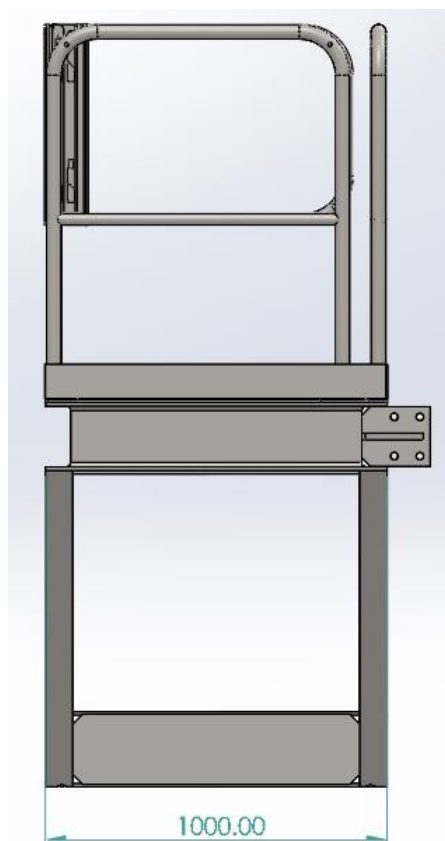
#### **4.7 Hooldusplatvormi vastavus esitatud nõuetele**

Alapeatükis 3.1 toodi välja platvormile esitatavad nõuded. Tehniliste nõuete poolepealt oli toodud välja näiteks, et platvormi pikkus peab olema 4000 – 4500 mm ning laius 1000 mm.



Joonis 4.13 Hooldusplatvormi pikkus

Hooldusplatvormi pikkus tuleneb maagi jagaja ülesehitusest. Maagi jagaja „lõual“ ehk jagaval osal on ees ava, mida kaudu pääseb „lõuale“. Mõõt 4500 mm on antud kronsteini kinnituskohast kuni „lõua“ ava tagumise punktini.



Joonis 4.14 Hooldusplatvormi laius

Kliendi nõue projekteerida hooldusplatvorm 1000 mm laiana tulenes asjaolust, et olemasolev platvorm on samuti 1000 mm lai. Nimelt soovitakse maa-alustes kaevandustes hoida kõik võimalikult kompaktsena, kuna iga m<sup>3</sup> pinnase eemaldamiseks kulub rohkem kas lõhkeainet või rohkem puurimistööd- seda olenevalt kasutatavast meetodist.

Mõlemad nõuded on täidetud ning seda tõestavad Joonis 4.13, kus on välja toodud platvormi pikkus ning Joonis 4.14, kus on välja toodud platvormi laius.

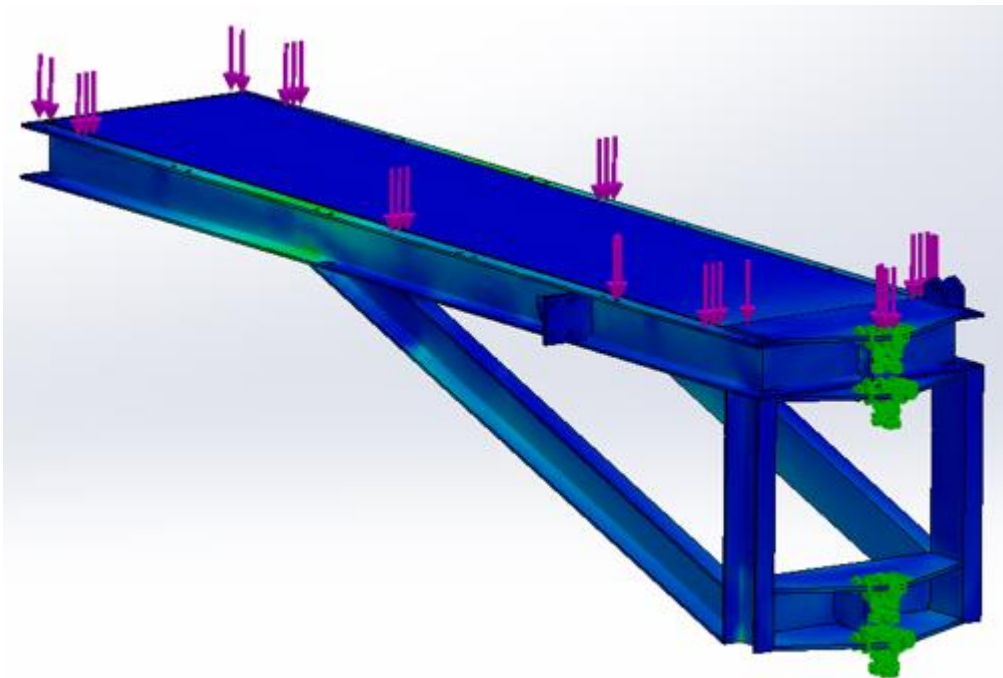
## 5 INSENERTEHNILISED ARVUTUSED

Käesolevas peatükis tuuakse välja inseneritehniliste arvutuste osa. LEM arvutuste koostamisel alustati rajatingimuste määramisest:

1. Kinnituste asukohad;
2. kinnituste tüübid;
3. mõjuvad jõud ja nende suunad.

### 5.1 Rajatingimused

Järgnevatel punktides tuuakse välja rajatingimused. LEM arvutuste tarbeks fikseeriti platvormi mudel ning pandi mõjuma jõud. Fikseeritud kohad on näidatud Joonis 5.1 rohelise värviga ning mõjuvad jõud koos suundadega lilla värviga. Platvormile pandi mõjuma terve konstruktsiooni ulatuses oma raskus ning kaugeimasse punkti rakendati 5000 N.



Joonis 5.1 Fikseeritud kohad ning mõjuvad jõud koos mõjuvate suundadega

### 5.1.1 Kinnituste asukohad

Kronstein, mille külge kinnitub hooldusplatvorm, kinnitatakse raudbetooni. Kronsteinile on selle tarbeks tehtud 12 kinnitusava. Platvorm kinnitub kronsteini külge läbi kahe ava, kasutades selleks *Pin* tüüpi sõrmliidet.

### 5.1.2 Kinnituste tüübid

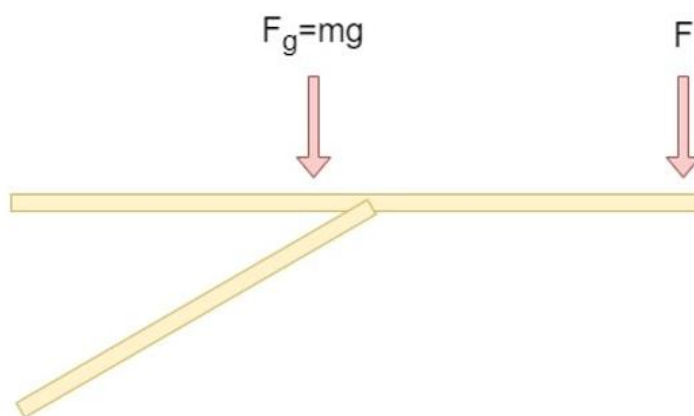
Kronstein kinnitub raudbetoonile kasutades M20 x 200 kuumtsingitud keermelatte, mutreid, seibe ja Hilti keemilist ankurmassi HIT-HY 200-A. Keermelati puhul on nõutud 8.8 tugevus. Hilti keemilist ankurmassi kasutatakse seepärast, et Hilti on üks enamlevinud kvaliteetsete tööriistade ja kinnitusvahendite tootjaid ning ühtlasi on Hiltil projekteerijate jaoks erinevate programmide jaoks mõeldud laiendid.

Platvorm kinnitatakse kronsteini külge kasutades *Pin* tüüpi sõrmliidet. Läbi platvormi ning kronsteini küljes olevaid pukse kinnitatakse sõrm ning y-telje sihiline liikumine piiratakse splindiga. Vabaks jääb sõrme pöörlemine ümber oma telje. Samasugust sõrmliidet kasutatakse ka lukusti ja kronsteini küljes oleva kronsteini ühendamiseks. Käesoleval juhul piirab splint x-telje sihilist liikumist ning sarnaselt eelmisele juhule, jääb ka sel juhul vabaks pöörlemine ümber sõrme telje.

Piirded kinnitatakse kasutades polt-liidet. Kasutusel on M12 poldid, 8.8 tugevusega, mille pingutusmoment on 88 Nm [13].

### 5.1.3 Mõjuvad jõud

Joonis 5.2 kajastab platvormile mõjuvaid jõudusid.



Joonis 5.2 Platvormile mõjuvad jõud

## 5.2 Silindri valik

Selleks, et platvorm koos inimestega pööraks seadmest eemal olevast asendist tööasendisse, on vaja mehhanismi, mis platvormi pööraks. Selleks sai varasemalt valitud elektrohüdrauliline silinder. Järgnevalt tehakse arvutused silindri valikuks, kus võetakse võrdluseks kolm erineva kolvi diameetriga silindrit- 60 mm, 70 mm ning 80 mm.

Silindri poolt avaldatav jõud on arvutatav järgneva valemiga:

$$F = p \cdot A \quad (5.1)$$

kus:

$F$  – silindri poolt avaldatav jõud, N,

$p$  – silindri tööõhk, Pa,

$A$  – silindri kolvi diameeter, m.

$p = 200 \text{ bar} = 20000000 \text{ Pa};$

$D_1 = 60 \text{ mm} = 0,07 \text{ m};$

$D_2 = 70 \text{ mm} = 0,07 \text{ m};$

$D_3 = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}.$

Silindri kolvi diameetri arvutus:

$$A_1 = \pi \cdot \frac{D_1^2}{4} = \pi \cdot \frac{0,06^2}{4} \approx 0,00283 \text{ m}^2 \quad (5.2)$$

$$A_2 = \pi \cdot \frac{D_2^2}{4} = \pi \cdot \frac{0,07^2}{4} \approx 0,00385 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \pi \cdot \frac{D_3^2}{4} = \pi \cdot \frac{0,08^2}{4} \approx 0,00503 \text{ m}^2$$

Silindri poolt avaldatav jõud:

$$F_1 = p \cdot A_1 = 20000000 \cdot 0,00283 = 56600 \text{ N} = 56,6 \text{ kN} \quad (5.3)$$

$$F_2 = p \cdot A_2 = 20000000 \cdot 0,00385 = 77000 \text{ N} = 77 \text{ kN}$$

$$F_3 = p \cdot A_3 = 20000000 \cdot 0,00503 = 100600 \text{ N} = 100,6 \text{ kN}$$

Arvutustest järeldub, et:

- 1) 60 mm kolviga silindri tööjõud on 56,6 kN ehk silinder liigutab platvormi 5,66 tonnise jõuga;
- 2) 70 mm kolviga silindri tööjõud on 77 kN ehk silinder liigutab platvormi 7,7 tonnise jõuga;
- 3) 80 mm kolviga silindri tööjõud on 100,6 kN ehk silinder liigutab platvormi 10,06 tonnise jõuga.

Kuna platvorm koos maksimum lubatud koormusega kaalub 1905,49 kg ning, et mitte silindrit tugevalt koormata, siis käesolevasse projekti sobib 60 mm kolvi läbimõõduga silinder.

### 5.3 Platvormi arvutus ja FEM analüüs

Järgnevalt arvutatakse platvormil tekkivad pinged.

Esmalt tuleb leida platvormile mõjuv moment võttes arvesse jaotatud koormust ehk platvormi enda massi. Selleks kasutatakse valemit:

$$M_1 = \frac{F_g \cdot L}{2} = \frac{m \cdot g \cdot L}{2} = \frac{953,67 \cdot 9,8 \cdot 4,5}{2} = 21028,42 \text{ Nm} \quad (5.4)$$

kus

$m$  – platvormi mass, kg,

$g$  – raskuskiirendus, N/kg,

$M_1$  – paindemoment platvormi oma raskusega, Nm,

$F_g$  – gravitatsioonijõud, N

$L$  – platvormi pikkus, m.

Järgnevalt leitakse tekkiv moment kui arvestatakse ainult platvormi kaugeimasse punkti rakendatud jõudu:

$$M_2 = \frac{F \cdot L}{2} = \frac{5000 \cdot 4,5}{2} = 11250 \text{ Nm} \quad (5.5)$$



kus

$F$  – platvormi kaugeimasse punkti rakendatud jõud, N,

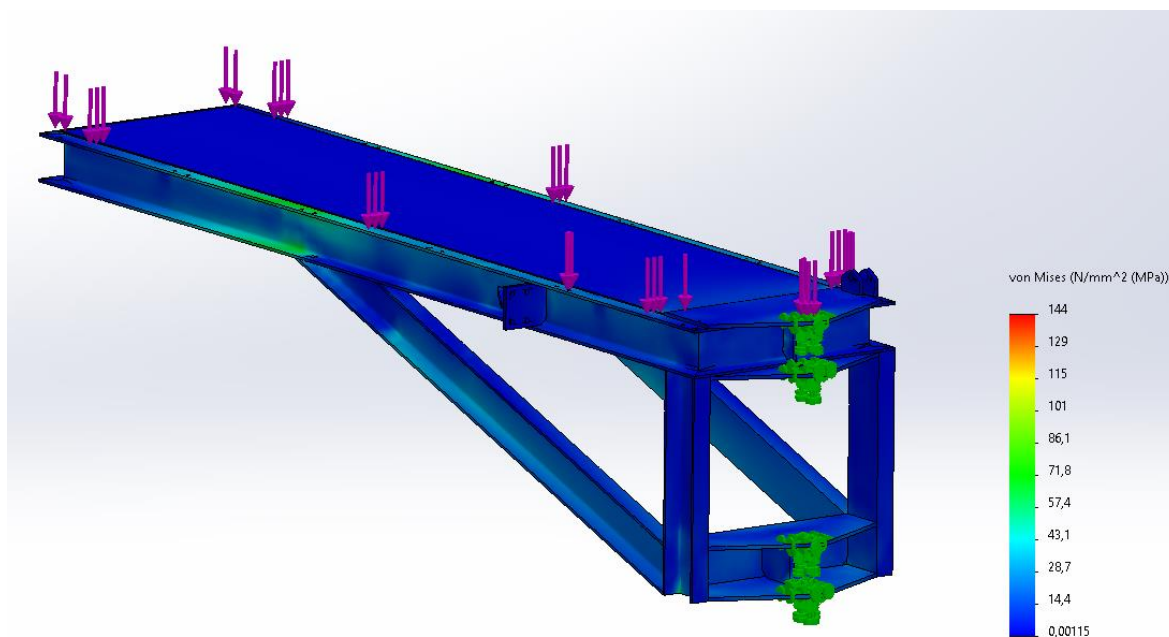
$M_2$  – paindemoment platvormile rakendatud jõuga raskusega, Nm.

Peale momentide leidmist leitakse suurim tekkiv pinge, mis mõjub platvormi ristlõikes.

Seda leitakse valemiga:

$$\sigma_{max} = \frac{M_1 + M_2}{W} = \frac{21028,42 + 11250}{191 \cdot 10^{-6}} = 169,00 \text{ MPa} \quad (5.6)$$

Platvormile tehti FEM analüüs kasutades SolidWorks programmi. Platvormi kaugeimale servale rakendati 5000 N suurust jõudu. Joonis 5.1 illustreerib platvormil tekkivaid maksimaalseid pingeid.



Joonis 5.3 Maksimaalne tekkiv pinge platvormil

Platvormil tekkiv maksimaalne pinge on 144 MPa. Järgnevalt tuuakse välja varuteguri arvutus, mida arvutatakse valemiga:

$$S = \frac{\delta_y}{\tau_{max}} = \frac{355}{144} \approx 2,5 \quad (5.7)$$

kus

$S$  – tugevusvarutegur;

$\delta_{max}$  – tegelik tugevus;

$\tau_{max}$  – nõutav tugevus.

Järgnevalt arvutatakse sõrmlite muljumist.

$$\sigma_{muljumine} = \frac{F_g + F}{A} = \frac{F_g + F}{d_{sõrm} \cdot t} = \frac{9354 + 5000}{0,064 \cdot 0,015} = \frac{14354}{9,6 \cdot 10^{-4}} = 14952083 \text{ Pa} = 14,95 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

kus:

$\sigma_{muljumine}$  – muljumise pinge, Pa,

$F_g$  – gravitatsioonijõud, N,

$F$  – platvormile rakendatud jõud, N,

$A$  – muljumise pindala, m<sup>2</sup>,

$d_{sõrm}$  – sõrme diameeter, m,

$t$  – plaadi paksus, m.

S355 terase puhul on maksimaalne lubatud pinge 355 MPa, millest järeldub, et muljumise pinge jääb lubatu piiresse.

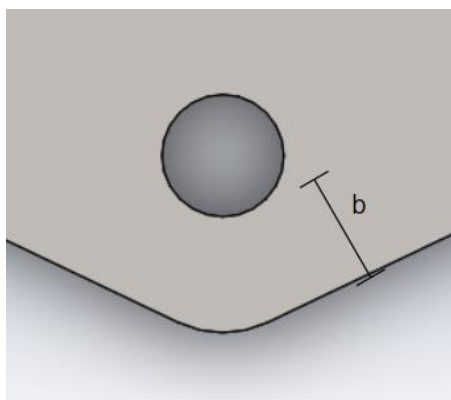
Katkemistugevuse kontroll teostatakse järgmise valemiga:

$$\tau = \frac{F_g + F}{2 \cdot A_1} = \frac{F_g + F}{2 \cdot b \cdot t} = \frac{14354}{2 \cdot 0,05779 \cdot 0,015} = \frac{14354}{1,73 \cdot 10^{-3}} = 8297109 \text{ Pa} = 8,30 \text{ MPa} \quad (5.9)$$

kus:

$\tau$  – löikepinge, Pa,

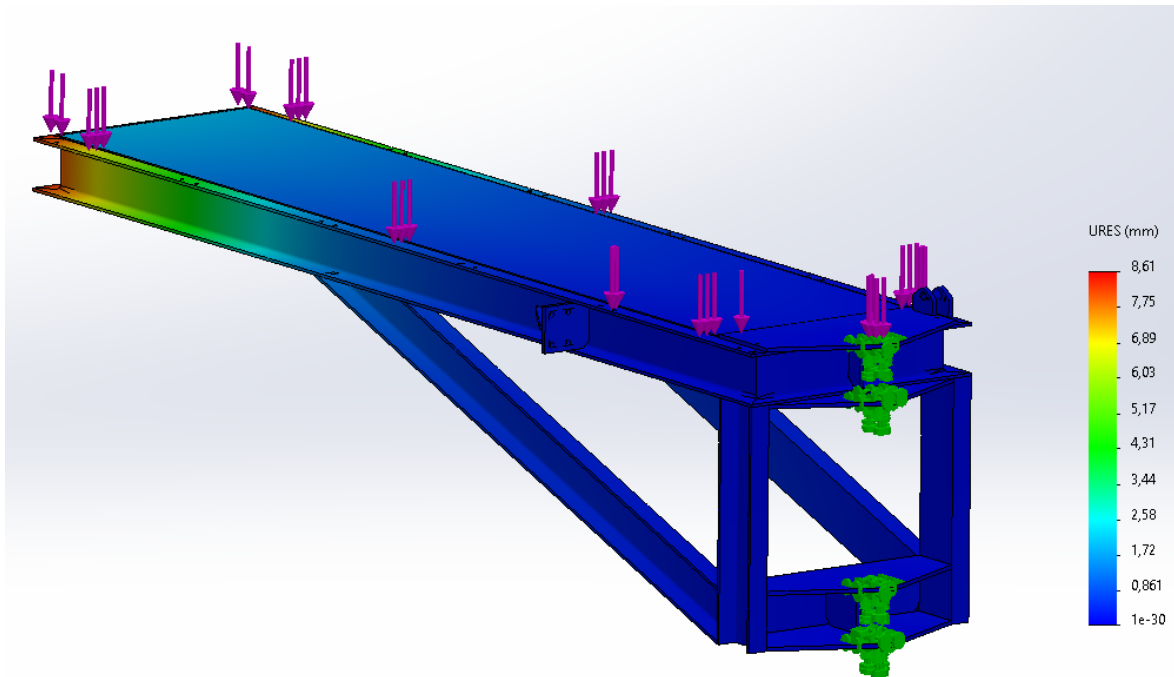
$b$  – ava ja plaadi vaheline kaugus, m.



Joonis 5.4 Platvormi kinnitusplaadi ava kaugus plaadi servast

S355 terase puhul on maksimaalne lubatud löikepinge 205 MPa, millest järeldub, et saadud tulemus jääb lubatu piiresse.

Järgnevalt on välja toodud platvormil tekkiv maksimaalne deformatsioon.



Joonis 5.5 Maksimaalne tekkiv deformatsioon platvormil

Joonis 5.5 näitab, et platvormil tekkiv maksimaalne paine on 8,61 mm. Kuna hooldusplatvormi hakatakse kasutama harva, siis läbipaine 8,61 mm on sobilik.

## 6 TOOTMISPROTSESS

Tootmise ettevalmistuse seisukohast on oluline, et plaadid tellitakse varem ära kui profiil, kuna reeglina on plaatide tarneaeg pikem kui profiilterasel. Kui plaatide puhul pole suur täpsus oluline, siis oleks ratsionaalne tellida plaadid plasmalõikusest, kuna Eestis on plasmalõikus laserlõikusest ja vesilõikusest odavam. Küll tuleb aga plaate tellides silmas pidada, et kuna platvorm ning kronstein lähevad pärast kuumtsinkimist freesimisse, siis freesi terase väiksemaks kulumiseks pole otstarbekas tellida avadega neid plaate, kust pärast sõrm läbi läheb. Nimelt plasma lõikus karestab ava servad ära ning pärast freesimises kuluvad freesi terad rohkem.

Tootmise puhul tuleb silmas pidada, et kuumtsinkimise avad oleks kõikidel detailidel tehtud. Kui kõik vajalikud on koostatud, siis lähevad need kuumtsinkimisse. Peale kuumtsinkimist lähevad need freesimisse, kus freesitakse kronsteini ning platvormi ühendavad avad üle, et sõrmlüüdes ei tekiks liiga suurt lõtku. Oluline on, et pärast freesimist tuleb freesitud pinnad vahaga konserveerida, et need ei hakkaks nii transpordi käigus kui ka pärast objektil roostetama.

## 7 OMAHINNA ARVUTAMINE

Omahinna arvutamise peatükis tuuakse välja kulude aruanne alustades profiilterase ja plaatide tellimisest, lõpetades pinnaviimistlusega. Omahinna arvutamise sisse ei arvestata projekteerimist, kuna töö autor soovib teada kui palju maksab ühe hooldusplatvormi tootmine. Sellest johtuvalt arvestatakse ka profiili kogus ühele hooldusplatvormile hoolimata asjaolust, et kui toota 2 või enam hooldusplatvormi korraga, siis see aitab optimeerida profiilterase kasutust. Samuti saaks transporti teostada korraga kahele hooldusplatvormile. Tootmise tunnihinde määramisel on arvestatud ettevõttega, kus töö autor ise töötab. Ülevaatlikkuse lihtsustamiseks tuuakse välja eraldi tootegrupid eraldi tabelites.

### 7.1 Hooldusplatvormi materjalide kulu

Kuna suuremad profiilterase tarnijad müüvad profiilterast 6- või 12-meetristena, siis arvutatakse massi sisse ka tekkiv jääk ehk näiteks kui on vaja profiilterast 2,5 m, siis arvestatakse hinna arvutuseks sisse ka jääk 3,5 m. Seda tehakse eesmärgiga leida omahind kui toota ainult üksik hooldusplatvorm. Hooldusplatvormi materjalikulu kajastab Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Hooldusplatvormi materjalide kulu

Materjal	Tellitav kogus (m)	Tellitav kogus (kg)	Hind (€/kg)	Hind kokku (€)
UPE 200	24	547,20	1,62	886,46
HEA 140	6	148,20	1,59	235,64
Ümartoru 42,4 x 2,8	30	81,90	1,71	140,05
Ümartoru 33,7 x 2,8	18	38,34	1,71	65,56
Ribateras 100 x 5	12	47,10	1,43	67,35
Ümartoru 21,3 x 3,2	6	7,24	1,52	11,00
Ümarteras D=14	6	7,50	1,32	9,90
Plasmadetailid	-	742,59	3,47	2576,79
Treidetailid	-	-	-	945,00
Kokku:				4937,75

## 7.2 Tööaja kulu

Tööaja kulu alla arvestatakse tehases tootmiseks kuluv aeg. Sinna hulka kuuluvad, saagimine, koostamine ning keevitamine. Tööaja arvestuse hulka arvestatakse ka saabuva profiilterase/plaatide mahalaadimine, mis arvestatakse saagimise töötundide hulka ning pärast kauba pakkimine ja laadimine rekkale, mille jaoks on märgitud eraldi tegevus. Tööaja kulu kajastab tabel 7.2.

Tabel 7.2 Tööaja kulu

Tegevus	Ajakulu (h)	Tunnihind (€)	Hind kokku (€)
Saagimine	7	47	329,00
Koostamine	48	47	2256,00
Keevitamine	42	47	1974,00
Pakkimine ja laadimine	4	47	188,00
Kokku:			4747,00

## 7.3 Kuumtsinkimise, transpordi, freesimise ja kinnitusvahendite maksumus

Käesolevas peatükis tuuakse välja kuumtsinkimise, transpordi, freesimise ja kinnitusvahendite maksumus. Arvutusse ei arvestata transpordi kliendile, kuna see varieerub sõltuvalt tarne aadressist. Kuumtsinkimise, transpordi, freesimise ja kinnitusvahendite maksumust kajastab Tabel 7.3

Tabel 7.3 Kuumtsinkimise, transpordi, freesimise ja kinnitusvahendite maksumus

Toode/teenus	Kogus	Hind	Hind kokku (€)
Kuumtsinkimine	1388,72	0,64 €/kg	888,78
Transport	5 h	28 €/h	140,00
Freesimine	-	-	2600,00
Polt DIN 931 M12 x 100, kZn	2 tk	37,20 €/100 tk	0,74
Polt DIN 933 M12 x 40, kZn	27 tk	32,80 €/100 tk	8,86
Seib DIN 125 M12, kZn	58 tk	17,60 €/100 tk	9,86
Mutter DIN 934 M12, kZn	29 tk	31,05 €/100 tk	9,00
Haraline splint DIN 94 6,3 x 100, A4	4 tk	164,12 €/100 tk	6,56
Keermelatt M20 x 1000	3 tk	20,90 €/tk	62,70

Keemia Hilti HIT-HY 200-A, 500 ml	7 tk	42 €/tk	294
Kokku:			4020,50

## 7.4 Kogukulud

Tabel 7.4 on välja toodud platvormile vajalikud kulud kokku.

Tabel 7.4 Kogukulud

Tootegrupp	Hind (€)
Materjalide kulu	7937,75
Tööaja kulu	4747,00
Kuumtsinkimine, transport, freesimine ja kinnitusvahendid	4020,50
Kokku:	16705,25

Tabel 7.4 näitab, et kui toota kooraga üks hooldusplatvorm, siis ühe komplekti omahinnaks tuleks 16705,25 €, mis teeb kilohinnaks 11,89 €/kg. Kui toota hooldusplatvorme korruga rohkem, siis tuleb ka omahind väiksem.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli projekteerida rauamaagi kaevandusse maagi jagajale hooldusplatvorm, mis võimaldaks jagajal olevaid kuluplaate vahetada. Töö käigus arendati sobilik hooldusplatvorm, mis täidab püstitatud nõudeid.

Teises peatükis kirjeldati probleemi lahenduse vajalikkust ning kirjeldati kuluplaatide protsessi. Uuriti olemasolevaid lahendusi, võrreldi neid omavahel ning leiti kõige sobilikum lahendus, mida edasi arendada.

Kolmandas peatükis pandi paika nõuded, mis arendatav platvorm peab omama. Koostati morfoloogiline skeem, kus leiti erinevatele funktsioonidele funktsioonikandjad. Valiti välja ka hooldusplatvormi ajam ning erinevate pinnakatete vahel valiti välja antud töö jaoks kõige sobilikum variant. Lisaks toodi välja ohutuse nõuded ning lahendused, kuidas neid nõudeid rahuldada.

Neljas peatükk käsitles projekteerimist. Toodi eraldi välja erinevate komponentide projekteerimise käekäik. Kirjeldati missuguseid nüansse silmas peeti. Kuna pinnakatteks valiti kuumtsink, siis näidati kus asuvad erinevatel koostudel tehnoloogilised avad.

Viiendas peatükis teostati insenertehnilised arvutused. Skeemil näidati mõjuvate jõudude suunad ning neid silmas pidades teostati SolidWorks programmis LEM analüüs. Saadud tulemusi kontrolliti käsitsi kirjalikult üle.

Kuuendas peatükis kirjeldati põgusalt tootmise protsessi, kus toodi välja mis järjekorras mida teha tuleb ning millist järeltöötlust platvorm peale kuumtsinkimist vajab.

Seitsmendas peatükis teostati toote omahinna arvutus, kus toodi tabelites eraldi välja materjalide, tööaja, kuumtsinkimise, transpordi, freesimise ja kinnitusvahendite kulu. Hooldusplatvormi omahinnaks saadi 16705,25 € ehk 11,89 €/kg. Saadud tulemus kajastas kulusid ühele hooldusplatvormile ehk kui teha mitu platvormi korraga, siis saab kulusid optimeerida. Esiteks materjali pealt ning teises tootmise pealt, kus tootmisosakond on juba teadlik kuidas platvormi optimaalsemalt toota.

Valitud detailidele ja koostudele koostati ka joonised, mis on välja toodud töö lisades.



## SUMMARY

The aim of this master's thesis was to design a service platform for an iron ore distributor in an iron ore mine which would allow changing the distributor's wear plates. During this process a service platform was developed that meets all the set requirements.

The second chapter described the need to solve the problem and described the process of changing wear plates. Existing solutions were investigated, compared and the most suitable solution was chosen to be developed.

The third chapter set requirements that the developed platform must have. A morphological scheme was prepared in which function carriers for different functions were found. The most suitable drive and surface treatment for the platform was also chosen. In addition, safety requirements and solutions to meet these requirements were outlined.

The fourth chapter was about the design process. The design of various components was highlighted. It was described which nuances needed to be taken into account. As hot-dip galvanization was picked for surface treatment the locations of the technological openings in different assemblies were shown.

In the fifth chapter, the engineering calculations were performed. The figures showing acting forces were prepared and based on those forces the FEM analyses were made. The obtained results were checked manually.

The sixth chapter briefly described the production process, outlining in which order the jobs need to be done and what kind of post-processing the platform needs after hot-dip galvanizing.

In the seventh chapter, the price of the service platform was calculated where the costs of the materials, production, hot-dip galvanizing, transport, milling and fasteners were presented separately in tables. Based on calculations the price for the service platform was 16705,25 € which converted into €/kg was 11,89 €/kg. The obtained result reflected the cost for one service platform. If several platforms are made at the same time, the costs could be optimized. Firstly from the materials and secondly from production where the production department is already aware of how to produce the platform more optimally.

Drawings were also made for the selected details and assemblies which are presented in the appendices of the work.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Akukäärtõstuk JLG 1930ES.  
<https://www.ramirent.ee/tooted/tostukid-14/akukaartostukid-209/akukaartostuk6mluhike-2204/>. [Kasutatud 16.04.2022]
2. Mobiilne alumiiniumtelling 8771/06, Hymer.  
<https://www.stokker.ee/mobiilne-alumiiniumtelling-8771-06-hymer-c-877106-hymer>. [Kasutatud 16.04.2022]
3. Korvtõstuk DINO 120TN.  
<https://www.ramirent.ee/tooted/tostukid-14/jarelveetavad-korvtostukid-212/korvtostukjarelveetav10mkitsas-3277/>. [Kasutatud 16.04.2022]
4. Redel Hailo S80.  
<https://www.motonet.ee/et/toode/7500922/Hailo-S80-pikendatav-redel-2-x-18-astet>. [Kasutatud 18.04.2022]
5. Alumiiniumi definitsioon.  
[https://www.aluminiumleader.com/about\\_aluminium/what\\_is\\_aluminum/](https://www.aluminiumleader.com/about_aluminium/what_is_aluminum/). [Kasutatud 19.04.2022]
6. Alumiiniumi hind viimastel aastatel.  
<https://tradingeconomics.com/commodity/aluminum>. [Kasutatud 19.04.2022]
7. Konstruktsiooniterase mehaanilised omadused.  
<https://capital.com/steel-price-forecast>. [Kasutatud 20.04.2022]
8. Teras hinnanõus viimasel viiel aastal.  
<https://capital.com/steel-price-forecast>. [Kasutatud 20.04.2022]
9. Hüdrauliline silinder.  
<https://www.mobilehydraulictips.com/hydraulic-cylinder/>. [Kasutatud 20.04.2022]
10. Kuumtsinkimise tehnoloogia.  
<https://zincpot.ee/teenused/kuumtsinkimine/>. [Kasutatud 20.04.2022]

11. Pulbervärvimise tehnoloogia.  
<http://xn--vrvitd-bua2ma.ee/>. [Kasutatud 20.04.2022]
12. Kuumtsinkimise tehnilised nõuded avadele.  
<https://zincpot.ee/tehnilised-nouded/>. [Kasutatud 28.04.2022]
13. M12 poltide ja mutrite pingutusmoment.  
<https://www.trfastenings.com/products/knowledgebase/steel-fasteners/pre-load-and-tightening-torques-fine-metric-threads/>. [Kasutatud 08.05.2022]
14. Alternatiivne värava lahenduse platvormile.  
<https://www.amezz.com/blog/category/mezzanine-gates/>. [Kasutatud 11.05.2022]
15. Alternatiivne piire platvormile.  
<https://burrardmechanical.com/products/handrail-guardrail/industrial-handrail-and-guardrail/>. [Kasutatud 11.05.2022]

## **GRAAFILINE OSA**

- 1. *Plate 9* (Kinnituskronsteini ülemine plaat, formaat A3)**
- 2. *Lock plate 1* (Lukusti kinnitusplaat, formaat A3)**
- 3. *Gate* (Värav, formaat A3)**
- 4. *Gate fixer* (Värava takisti, formaat A3)**