



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

# RUUMISÄÄSTLIK KUIVATUSRIIUL PUITMATERJALI VÄRVIMISLIINILE

SPACE-SAVING DRYING SHELF FOR WOOD MATERIAL PAINTING LINE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ingmar Aru

Üliõpilaskood: 176985MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, dotsent

Tallinn 2019

## 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.

“.....” ..... 2019

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 2019

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitmisele lubatud

“.....” .....2019

Kaitsemiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## Mehaanika ja tööstustehnika instituut

### LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Ingmar Aru, 176985MATM  
**Õppekava, peeriala:** MATM02/15 - Tootearendus ja tootmistehnika  
**Juhendaja(d):** dotsent, Toivo Tähemaa, 620 3252  
**Konsultant:**

#### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Ruumisäästlik kuivatusriiul puitmaterjali värvimisliinile  
(inglise keeles) Space-saving Drying Shelf For Wood Material Painting Line

#### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua reaalne toimiv kontseptsioon, mida ettevõtte oleks valmis kasutama ja sellest kasu saama.
2. Võimaldada tänu projekteeritavale puitmaterjali riiulile kasutada tehaseruumi efektiivsemalt ning säästa seeläbi kasulikku tehase tootmispinda.
3. Luua ettevõttele projekteeritava riiuli näol turvaline, töökindel ning aega säästev lahendus.

#### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema valik ning projekteerimiseks vajalike algandmete kogumine	1. märts
2.	Erinevate võimalike lahenduste otsimine ning nende kriitiline analüüs	1. aprill
3.	CAD mudeli baasil LEM analüüs ja selle põhjal edasine mudeli täiustus	10. mai

**Töö keel:** Eesti keel      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 27. mai 2019. a

**Üliõpilane:** Ingmar Aru      .....      27. mai 2019. a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Toivo Tähemaa      .....      "....." .....201....a  
/allkiri/

**Konsultant:** .....      .....      "....." .....201....a  
/allkiri/

<b>EESSÖNA .....</b>	<b>6</b>
<b>Lühendite ja tähiste loetelu .....</b>	<b>7</b>
<b>SISSEJUHATUS .....</b>	<b>8</b>
<b>1. TÄPSEM AJAKAVA.....</b>	<b>9</b>
<b>2. PROBLEEMI KIRJELDUS.....</b>	<b>11</b>
2.1 Olemasolev olukord .....	13
2.2 Esialgne lahendus.....	18
<b>3. PROBLEEMILAHENDUS .....</b>	<b>20</b>
3.1 Lahenduste leidmine.....	20
3.1.1 Morfoloogiline maatriks.....	20
3.2 Nõuded lahendusele .....	21
3.3 Võimalike lahenduste kirjeldus .....	23
3.3.1 Kontseptsioon 1.....	23
3.3.2 Kontseptsioon 2.....	24
3.3.3 Kontseptsioon 3.....	25
3.3.4 Kontseptsioon 4.....	26
3.3.5 Kontseptsioon 5.....	27
3.3.6 Kontseptsioon 6.....	29
3.3.7 Kontseptsioon 7.....	30
3.3.8 Kontseptsioon 8.....	32
3.3.9 Kontseptsioon 9.....	33
3.3.10 Kontseptsioon 10 .....	34
3.3.11 Kontseptsioon 11 .....	36
3.3.12 Kontseptsioon 12 .....	37
3.4 Võimalike lahenduste analüüs .....	39
3.4.1 Hindamismaatriks.....	39
3.4.2 Tulemuste võrdlus.....	40
3.4.3 Lõplik kontseptsioon .....	41
3.5 Lahenduse edasiarendus.....	42
<b>4. KONSTRUKTSIOON .....</b>	<b>44</b>
4.1 Raam.....	44
4.1.1 LEM 1.....	44
4.1.2 LEM 2.....	45
4.1.3 LEM 3.....	46
4.1.4 LEM 4.....	47
4.2 Vinnastus-mehhanism.....	52
4.2.1 Elektrivints.....	52
4.2.2 Kinnitus kärule.....	53
4.3 Ohutus.....	55
4.3.1 Kärü stabiliseerimine .....	55
4.4 Viimane täiustus.....	57
4.5 Koostamine, materjalid, hind .....	60
<b>5. KOKKUVÕTE .....</b>	<b>62</b>
<b>6. SUMMARY.....</b>	<b>63</b>

<b>7. KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU.....</b>	<b>64</b>
<b>8. LISAD.....</b>	<b>66</b>
Lisa 1 Põhikoostu 3D mudel.....	67
Lisa 2 Detailijoonis 1 Kinniti .....	68
Lisa 3 Detailijoonis Raami tald .....	69
Lisa 4 Detailijoonis Stabilisaator.....	70
Lisa 5 Detailijoonis Diagonaal 1.....	71
Lisa 6 Detailijoonis Diagonaal 2.....	72
Lisa 7 Detailijoonis Tugevdus 1 .....	73
Lisa 8 Detailijoonis Tugevdus 2 .....	74
Lisa 9 Detailijoonis Tugevdus 3 .....	75
Lisa 10 Detailijoonis Tala horisontaalne.....	76
Lisa 11 Detailijoonis Tala vintsil .....	77
Lisa 12 Detailijoonis Käru stabilisaator 1 .....	78
Lisa 13 Detailijoonis Käru stabilisaator 2 .....	79
Lisa 14 Koostujoonis Puitmaterjali riul.....	80
Lisa 15 Poster .....	81

## EESSÕNA

Käesolevas magistritöös lahendatava probleemi tõi esile ettevõtte TimberElement OÜ tegevjuht Arle Junolainen. Peamised lõputöö algandmed koguti TimberElement OÜ ja Treecolor OÜ tootmispinnal Irus ning vormistati jooksvalt Taltech raamatukogus.

Algandmete kogumise ning konsultatsioonidega abistasid ettevõtete TimberElement OÜ tootmisjuht Aaro Kess ning Treecolor OÜ müügijuht Jan-Eric Kreitsman.

Projekti vältel lahendatakse puitelementmaju tootvas tehases asuva värviliini kasutusest tingitud ruumipuudus tänu kuivatusriiuli valmistamise ning selle edasise optimeerimise.

Kuivatusriiul, värviliin, ruumisäästlik, teraskonstruktsioon, magistritöö

## Lühendite ja tähiste loetelu

jm – jooksevmeeter

m – meeter

kg – kilogramm

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

UYV<sub>k</sub> – välisvoodrilaua profiili tähistus (kuusk, peensaetud)

CAD mudel – ruumiline mudel tootest, mida on arvuti toel võimalik kujundada (ingl k Computer Aided Design)

## SISSEJUHATUS

Projekti raames lahendatav probleem ilmnis 2019. aasta algushetkedel. Ettevõtte TimberElement OÜ tootmisruumid hakkasid kitsaks jääma ning seeläbi tootmiskiirused langesid. Probleem väljendus vähese puitmaterjali ladustamisruumi ning ebaefektiivsete olemasolevate statsionaarsete laoriulite näol. Teema sai valituks, sest kujutasin ette erinevaid võimalusi, kuidas tootmisetapil kasutatavaid riuleid ja üldist puitmaterjali lao osa optimeerida saaks.

Võtsin põhjaliku ja töövõimelise magistritöö valmimise tagamiseks mitu suuremat eesmärki. Peamiselt lootsin luua reaalse toimiva kontseptsiooni, mida ettevõtte oleks nõus päriselt kasutama ning toote eest ka tasuma. Projekteeritava toote, mis iseenesest peaks olema turvaline, töökindel ja tööliste aega säästev, väljundi eesmärgiks seadsin ettevõtte tehaseruumi võimalikult efektiivselt kasutada ning vabastada seeläbi kasulikku tehase tootmispinda ummistuste eest.

Magistritöö vältel lahendan hulga erinevaid suuremaid ülesandeid. Esimeseks peamiseks kohustuseks on algandmete kogumine, mis toimub põhiliselt tehases küsitledes ettevõtte töötajaid, kuid ka internetis turu-uuringu moel puitmaterjali ladustamise erinevaid levinud variante uurides. Baasiks seatud algandmete põhjal töötan välja erinevaid võimalikke lahendusi ning viin läbi nende kriitilise analüüsi, kus lahkan nende tugevamaid ja nõrgemaid külgi andes igale kontseptsioonile lõpliku hinnangu. Viimase suurema ülesandena viin läbi ruumilise mudeli koostamise CAD tarkvaraga ning viin selle põhjal läbi LEM analüüse ja edasisi mudeli täiustusi, millest peaks sündima lõplik valmis mudel. Sellest viimasest töötavast variandist koostan detailijoonised ja koostujoonised ning vajadusel muid graafilisi lisasid.

Lõputöö teema puudutab mehaanika, masinaehituse ning tööstustehnika valdkondi.

Projekti koostamisele aitavad kaasa erinevad tarkvarad:

1. Solidworks 2016, mis on peamine keskkond ruumilise mudeli arendamisel ja analüüsimisel
2. Siemens NX 12, mis on kasutusel kontrollivateks LEM analüüsideks
3. Autodesk Autocad 2019, mida kasutan eskiiside ja esialgsete visandite koostamisel
4. Microsoft Office Word, mis on kasutusel projekti seletuskirja koostamisel
5. Microsoft Office Excel, mille abil on koostatud erinevad andmete tabelid
6. Google Chrome, mis on abiks algandmete ja muu info otsingutel



# 1. TÄPSEM AJAKAVA

Käesolev magistritöö on koostatud 2019. aastal alates jaanuari algusest kuni mai kuu lõpuni. Selle aja vältel seadsin endale hulga eesmärgesid, et lõputöö kirjutamine, selle koostamine ning järgimine oleks edukam ja lihtsam. Tabelis 1.1 on näha, kuidas projekt etappidesse jagunes. Lisaks on välja toodud Gantti graafik, mis näitab, millisele etapile jooksvalt aega kulus ja tähelepanu pöörati.

Tabel 1.1 Ajakava tabel

Tegevus	Ajavahemik	Gantti graafik								
1. Teema valik, turu-uuring	15. jaanuar - 22. veebruar	[Gantt chart bars for 15. jaanuar - 22. veebruar]								
2. Mehaanilised sõlmed	20. veebruar - 1. märts	[Gantt chart bars for 20. veebruar - 1. märts]								
3. Esialgused lahendused	1. märts - 1. aprill	[Gantt chart bars for 1. märts - 1. aprill]								
4. 3D/CAD mudeli koostamine	1. aprill - 10. mai	[Gantt chart bars for 1. aprill - 10. mai]								
5. LEM, arvutused	20. aprill - 10. mai	[Gantt chart bars for 20. aprill - 10. mai]								
6. CAD mudeli täiustus	5. mai - 10. mai	[Gantt chart bars for 5. mai - 10. mai]								
7. Detailjooniste koostamine	15. mai - 25. mai	[Gantt chart bars for 15. mai - 25. mai]								
8. Seletuskirja vormistamine	15. veebr - 25. mai	[Gantt chart bars for 15. veebr - 25. mai]								
9. Illustratsioonid, ettekanne	15. mai - 31. mai	[Gantt chart bars for 15. mai - 31. mai]								
		Jaauuar	Veebruar	Veebruar	Märts	Märts	Aprill	Aprill	Mai	Mai

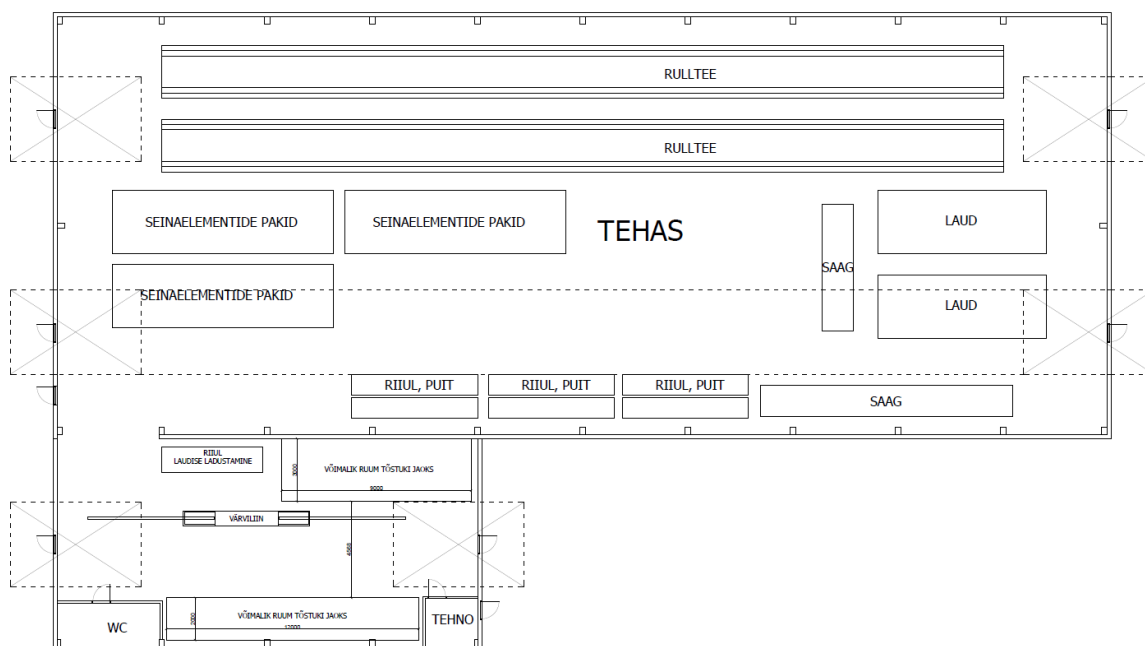
Tegevuste täpsem kirjeldus:

1. Teema valiku ja turu-uuringu käigus käisin läbi hulga insenerivaldkonnale pühendunud foorumeid, uurisin tehnikale pühendunud ülikooli kodulehekülgi ning otsisin ideid erinevatest sotsiaalmeediakanalitest. Esialgul valisin lõputöö teemaks projekteerida metallraamiga ning bensiinimootoriga bagi, kuid sellel puudus igasugune innovaatus ja lõplik eesmärk. Juhuslikult oli töökoha ettevõtte tehases tekkinud probleem ruumipuudusega, mille võtsin aluseks magistritöö teema valikul.
2. Mehaaniliste lahenduste otsimise käigus käisin läbi hulga varasemalt läbitud õppeainete materjale ning panin kirja süsteemid või kontseptsioonid, mis võiksid aidata probleemi lahendada või lahendusele kaasa aidata.
3. Esialgsete lahenduste otsimisel võtsin arvesse etteantud ja kogutud nõudeid ning märkusi lahenduse võimalike aspektide kohta. Seejärel hakkasin eskiise ja visandeid joonistama.
4. Võimaliku parima lahenduse väljalimisel hakkasin CAD mudelit koostama, et leida võimalikke probleeme ja ebasobivusi.
5. CAD mudeli põhjal läbisin detailide ja koostu tugevusanalüüsid.
6. Tugevusanalüüside ja eelnevalt avastatud ebakõlade ja probleemide põhjal viisin läbi veel viimase 3D mudeli täiustuse.
7. Jällegi CAD mudeli põhjal valmistasin lahenduse detaili- ja koostujoonised.

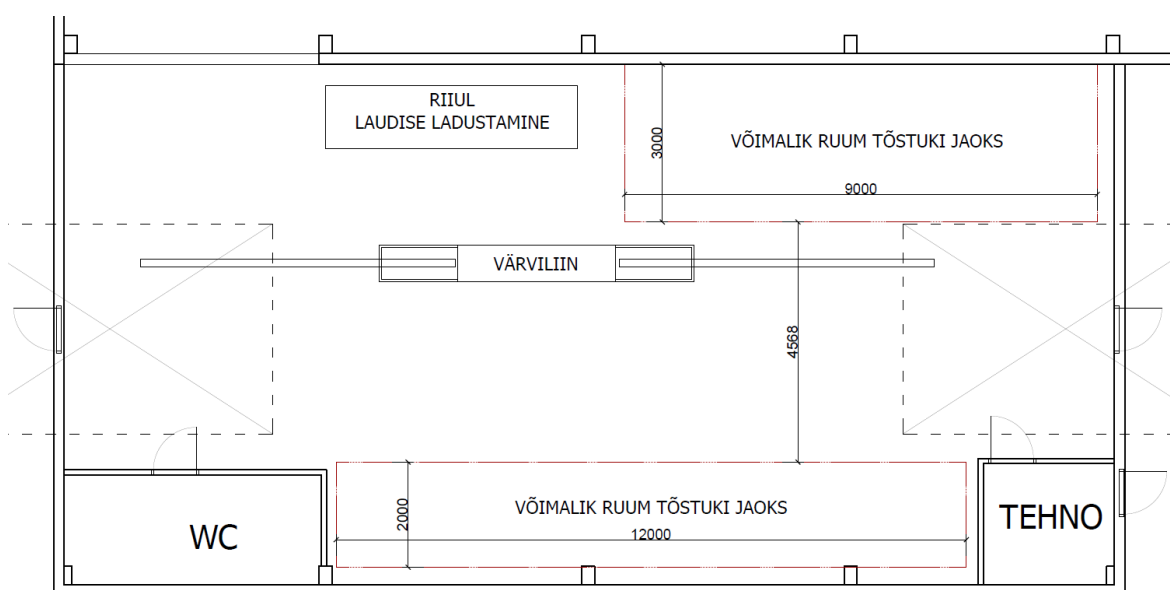
8. Seletuskirja vormistamine algas kohe kõiksugu algandmete, nõudmiste ning leitud informatsiooni kirjapanemisega ja lõppes kogu projekti aruande kirjutamisega.
9. Viimaseks etapiks jäi plakati ning ettekande koostamine magistritöö kaitsmiseks.

## 2. PROBLEEMI KIRJELDUS

Elementmaju tootev ettevõtte TimberElement OÜ kolis septembris 2018. aastal uude ja suuremasse tehasesse. Lisaks on neil tütarettevõtte Treecolor OÜ, kes tegeleb fassaadilaudise ja muu puitmaterjali värvimisega. Viimane kolis samasse tehasesse 2019. aasta alguses, millega kaasnes ruumiprobleem. Värvitud puitmaterjal võtab spetsiaalsete laudisekärude peal kuivades ära suure osa kasulikust tehasepinnast.



Joonis 2.1 Elementmajade tehase + värviosakonna põhjaplaan (kokku 1200 m<sup>2</sup> pinda)



Joonis 2.2 Tehase värvimisosa põhjaplaan (200 m<sup>2</sup> pinda)

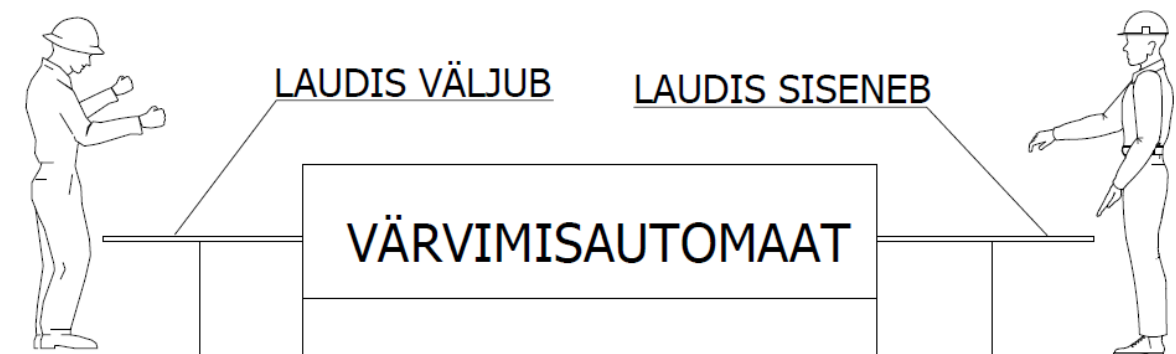


Joonis 2.3 Värvitud laudad kärudel ummistavad tootmisruumi kasulikku pinda

Treecolor OÜ kasutab puitmaterjali värvimiseks värvimisautomaati Ceetec A250, mis moodustab värviini koos kahe töölisega. Üks tööline sisestab värvimata puidu ühest otsast masinasse ning teine tõstab masinast väljudes materjali kuivatuskärule. Korraga võidakse värvida sellisel moel mitu kärutäit puitmaterjali.



Joonis 2.4 Värvimisautomaat Ceetec A250 [1]



Joonis 2.5 Värvimisautomaadi tööpõhimõtte eskiis koos kahe töölisega

## 2.1 Olemasolev olukord

Tehasenurgas, kus värviliin asetseb on hetkel ruumi üldiselt kehvasti kasutatud. Ruumi külgedele on plaan püsti panna riiulid, kuhu puitmaterjali saaks ladustada. Ühe riiuli asemel saaks kasutada projekti käigus arendatavat lahendust.



Joonis 2.6 Üks planeeritavatest puitmaterjali tõstuki asukohtadest





Joonis 2.7 WÜRTH WDM 3-12 mõõtetulemus lae kõrgus tehase maapinnast

Fassaadilaudise tšostuki raami maksimaalse võimaliku lubatud kõrguse sain mõõtes tehases lae kõrgust laserkaugusemõõtjaga WÜRTH WDM 3-12-ga. Mõõtes oli ruumi temperatuur 18 °C ning lae kõrgust arvestasin madalaimast laelambist põrandani.

Mõõteriista omadused [2]:

1. Maksimaalne mõõtekaugus on 80 m
2. Mõõtevigaga  $\pm 1$  mm
3. Töötemperatuur - 10 kuni + 50 °C
4. Niiskuskaitse IP65

Tehase lagi ning laelambid on kalde all ning konstruktsiooni asukoht pole 100% kinnitatud, võtsin igaks juhuks kõrguse näidud mõlemalt poolt tehase nurka. Maksimum kõrgus 7,293 m ning

miinimum 6,961 m. Tähendab, et suurimaks lubatud raami konstruktsiooni kõrguseks võib arvestada umbes 6,5 m.



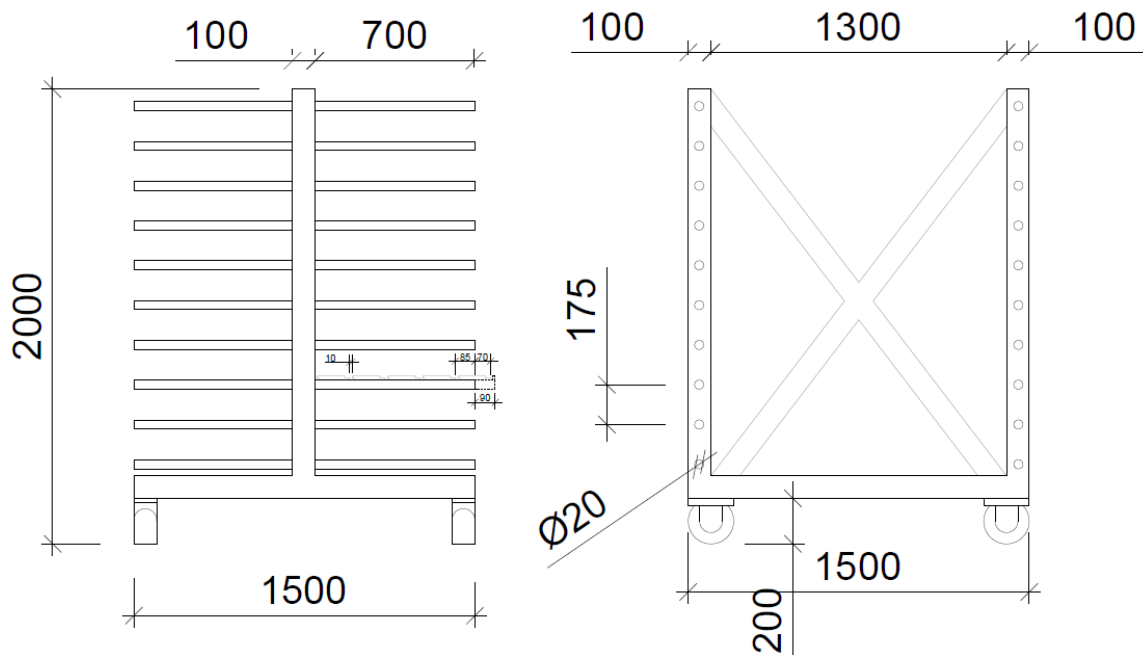
Joonis 2.8 Käsitsi valmistatud odav puidust laudise käru



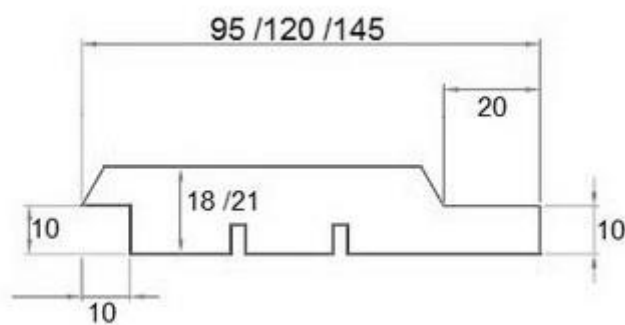
Joonis 2.9 Laudise käru lihtne 3D mudel loodud tarkvaraga SolidWorks 2016 [3]

Arvutan välja, kui palju ühele laudisekärule maksimaalselt fassaadilaudist jooksvates meetrites peale mahub paigutada. Vastus annab parema ettekujutuse käru mahutavusest, kandevõimest ning sellest, kas käru enda kuju muutmise oleks asjakohane või vajalik. Treecolor OÜ tegutsemise käigus on selgunud, et värvitud fassaadilaua kaal on keskmiselt 1,0 kg ühe jooksva meetri kohta. Kaal oleneb ka mingil määral kasutatavast puidust ning värvikihtidest.





Joonis 2.10 Laudise käru joonis põhimõõtetega



Joonis 2.11 Puumerkki kodulehelt UYVK laudise profiili mõõdud [4]

Käru käpa/toru pikkus 700mm, seega:

Laudis profiiliga 21x195 mm

$700 : 195 = 3,6 \approx 3$  tükki ühele torule. Käarul on 20 käppa/toru, seega:

$20 \times 3 = 60$  lauda ühel käarul. Laudise maksimaalne mõõt on 6 meetrit, seega  $60 \times 6 = 360$  jm.

Laudis profiiliga 21x145 mm

$700 : 145 = 4,82 \approx 4$  tükki ühele torule. Käarul on 20 käppa/toru, seega:

$20 \times 4 = 80$  lauda ühel käarul. Laudise maksimaalne mõõt on 6 meetrit, seega  $80 \times 6 = 480$  jm.

Laudis profiiliga 21x120 mm

$700 : 120 = 5,83 \approx 5$  tükki ühele torule. Käarul on 20 käppa/toru, seega:

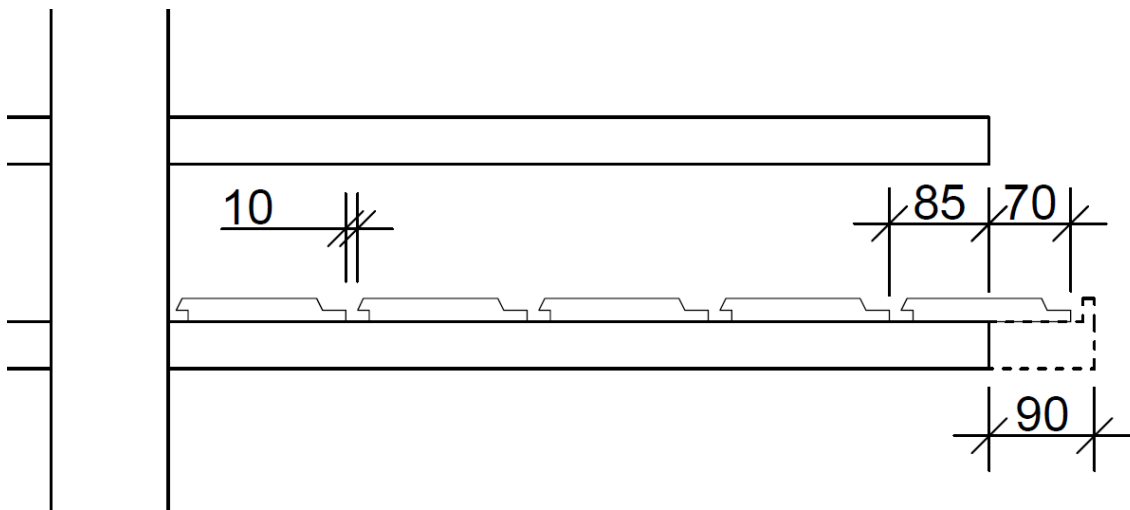
$20 \times 5 = 100$  lauda ühel käarul. Laudise maksimaalne mõõt on 6 meetrit, seega  $100 \times 6 = 600$  jm.

Laudis profiiliga 21x95 mm

$700 : 95 = 7,37 \approx 7$  tükki ühele torule. Kärul on 20 käppa/toru, seega:

$20 \times 7 = 140$  lauda ühel kärul. Laudise maksimaalne mõõt on 6 meetrit, seega  $140 \times 6 = 840$  jm.

Saab järeldada, et optimaalne oleks kärü torusid pikendada nii, et puit laiusega 145 ning 120 mahuksid üksteise kõrvale kuivama nii, et toru pikkus oleks maksimaalselt kasutatud. Hetkel on näha, et 120 ning 145 mm laiusega puitprofiilidel jääb napilt torudel ruumi puudu (mahub 4,82 ja 5,83 tükki üksteise kõrvale nagu arvutustest selgus), et saada üks laud torule juurde lisada. Soovituslik ettevõttega läbi rääkida ja jõuda selgusele, kas torude pikendamine on võimalik või majanduslikult otstarbekas.

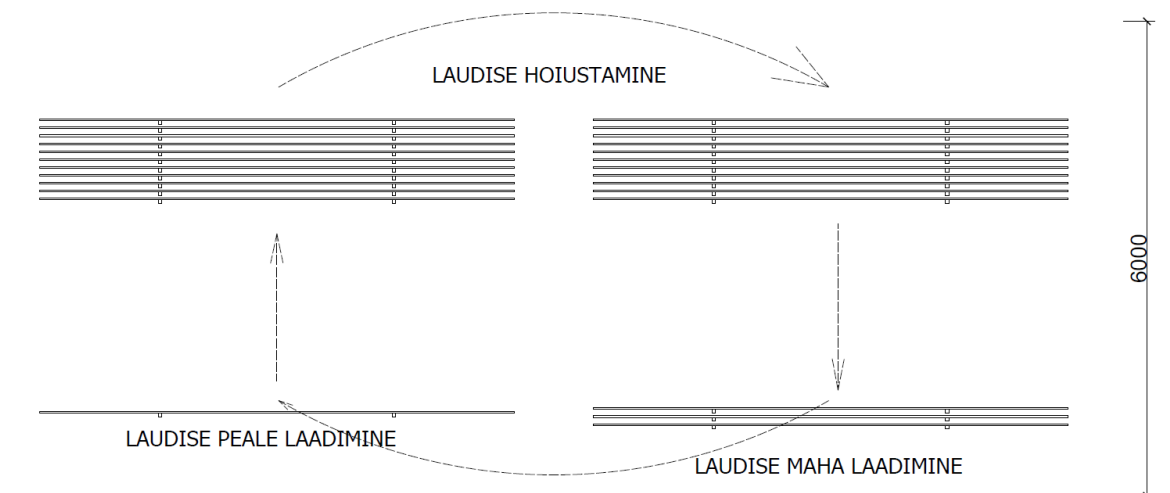


Joonis 2.12 Laudis 21x145 mm paigutatud riuli kápale 150 mm sammuga

Mõistlik meeles pidada, et värvitud laudise kuivamisel peab olema puitude vahel ruumivaru  $\approx 1$  cm, et värvitud lauad omavahel kokku ei kuivaks. Laudisekärude tõstetavaks modifitseerimisel on oluline lisada ka käppade/torude otsa takisti, mis ei lase laudisel üle ääre maha libiseda ja õnnetusi tekkida. Seega viie 145 mm laiusega profiili kápale mahutamiseks tuleb pikendada toru vähemalt 90 mm võrra, mis on üle poole laudise enda laiusest. Kokku tõstaks see kärü laiust pea 20 cm, ohverdades ruumi ning kärü võimaliku stabiilsuse ühe laua eest. Efektiivsem ja odavam oleks toru lühendada, et ruumi säästa ning kärü kaalu vähendada.

## 2.2 Esialgne lahendus

Lahendus võiks välja näha midagi sellist, kus puitmaterjali saab tõsta mugavalt ja turvaliselt kõrgele lae alla riulile ning see vajadusel samamoodi kiiresti kätte saada.



Joonis 2.13 Üldine lahenduse tööpõhimõtte skeem



Joonis 2.14 Kärul kuivava laudise painde suurus võrreldes maapinnaga

Lahenduse konstruktsiooni gabariitide paika panemisel tuleks arvestada sellega, et tööline ei pruugi fassaadilaudist 100% täpselt kärü keskele paigutada. Värviliinilt tuleb laudis kiire hooga ja tööline toetab laudise silma järgi kärule kuivama. Mõistlik on jätta varu kummalegi poole kärü vähemalt 250 kuni 500 mm.

### 3. PROBLEEMILAHENDUS

Käesolevas peatükis võtan eesmärgiks leida ning kinnitada võimalikult palju erinevaid võimalikke lahendusi tehases valitsevale ruumiprobleemile ja neist välja sorteerida põhjaliku analüüsi käigus parim esialgne lahendus, millele edaspidi keskendumata ning täiustusi leidma hakkan.

#### 3.1 Lahenduste leidmine

##### 3.1.1 Morfoloogiline maatriks

Tabel 3.1 Morfoloogiline maatriks lahenduselementidega

Tunnus (osafunktsioon)	Lahendus- elemendid					
1. Töökäigu juhtimine	1.1 Gravitatsioon	1.2 Tõstevints	1.3 Hammas-ülekanne	1.4 Tiguülekanne	1.5 Rihmülekanne	1.6 Kettülekanne
2. Laudise liikumine	2.1 Sirgelt üles ja alla	2.2 Ringiratast (ovaalselt)	2.3 Ladustab eraldi tulpadesse	2.4 Peidab kappi/riiulisse	2.5 Alati liikuv	2.6 Siksakiliselt
3. Lifti mehaaniliste sõlmede rakendumine	3.1 Hüdro-dünaamilised liugelaagrid	3.2 Hüdro-staatilised liugelaagrid	3.3 Liuge-laagriüksid	3.4 Veerelaagrid	3.5 Veerejuhikud	3.6 Liugjuhikud
4. Lifti lukustus	4.1 Silindrid sisenevad avadesse	4.2 Hüdro-silindrid suletud asendis	4.3 Konksud sisenevad avadesse	4.4 Kruvide/poltidega	4.5 Seiskunud hammasrattad	4.6 Elektro-magnetiga
5. Jõu võimendumine	5.1 Jõu õlg	5.2 Hüdraulika	5.3 Pneumaatika	5.4 Gravitatsioon	5.5 Magnetid	5.6 Vedru
6. Jõu rakendumine	6.1 Hammasrattad	6.2 Hüdro-silindrid	6.3 Pneumo-silindrid	6.4 Elektrimootor	6.5 Sisepõlemis-mootor	6.6 Gravitatsioon
7. Inimeste eemaldamine liikumis-trajektoorilt	7.1 Valgusfoor	7.2 Helisignaal	7.3 Tõkkepuu	7.4 Valvurid ajavad ära	7.5 Staatilee permanentne tõke	7.6 Tõke maaseest

Abistava morfoloogilise maatriksiga toon välja projekteeritava seadme tähtsamate funktsioonide erinevaid lahendusvõimalusi, mida lahenduse otsimise käigus saan kasutada.

## 3.2 Nõuded lahendusele

Ettevõtte ise kui ka tõstuki/riiuli planeeritav asukoht seavad ette teatud nõudmisi projekteeritavale tootele. Osa nõudeid peavad olema rangelt järgitavad, kuid osad jäävad soovituslikku kategooriasse (tulpadesse jaotatud allpool tabelis 3.2)

Nõuded:

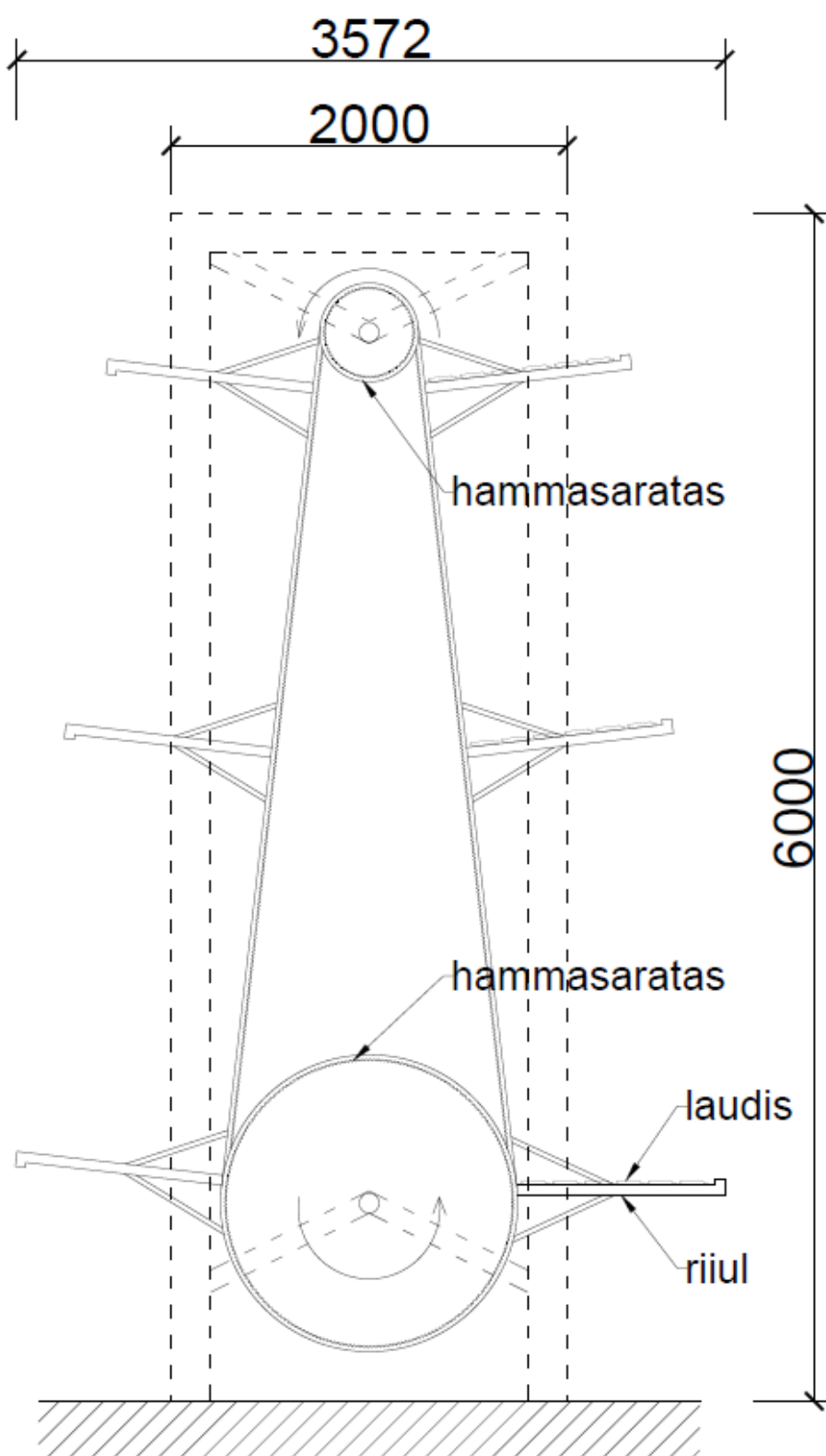
- Vaja tõsta kuni 800 - 1000 kg korraga. Üldiselt kehtib mitteametlik reegel 1 jm laudist = 1 kg.
- Töölisel peab olema mugav tööd teha ning lihtne puidukäruade manööverdatavus (nupp/lüliti/kang vms).
- Tõstuk ei tohi värvi rikkuda laudisel (vähe väliseid kontakte laudisega).
- Hoida puitmaterjal stabiilsena ning vältida laudade libisemis- ja kukkumisohtu.
- Peab olema võimalik materjali otsad pärast värviliinilt väljumist pintsliga üle värvida.
- Peab olema tagatud ümbritsevate inimeste turvalisus.
- Ümbritseva keskkonna puhtus (vältida värvipritsmete suurenenud lendumist).
- Laudadel peab olema piisav ruumivaru tagatud (laudade mõõdud varieeruvad 3 kuni 6 m).
- Kogu konstruktsiooni suurus umbes 3x10x6 m (laius, pikkus, kõrgus).
- Kasutada mehhanismi, kus värvipritsmes ei sega ega peata mehhanismi tööd.
- Käruade ja konstruktsiooni enda stabiilsus peab olema tagatud (fassaadilauad niigi painduvad ja vetruvad).
- Värvitilgad ei tohi inimestele pähe kukkuda, kui laudis kõrgel kuivab.
- Lisamärkus - kruntimiseks ei pea laudu restile laduma.

Tabel 3.2 Nõuete loetelu

PROJEKT: Puitmaterjali lift või riiul		
Spetsifikatsioon	Nõue	Soov
1. Funktsioon		
1.1 Puitmaterjali ladustamine	x	
1.2 Ruumi efektiivne kasutus	x	
2. Tehnilise protsessi tingimused		
2.1 Mõõt A (laius) = 3 m	x	
2.2 Mõõt B (pikkus) = 7 m	x	
2.3 Mõõt C (kõrgus) = 6 m	x	
2.4 Kande võime 1 standardkäru = 500 kg	x	
2.5 Puitmaterjali mõõt 3 kuni 6 m	x	
3. Käsitlemine		
3.1 Eluiga 10 aastat		x
3.2 Vaikne		x
3.3 Lihtne remont	x	
3.4 Vältida üleliigselt keerulisi detaile		x
4. Ergonoomika		
4.1 Ohutus õnnetuste vastu	x	
4.2 Mugav ja lihtne kasutus	x	
4.3 Puitmaterjali korrashoid	x	
4.4 Värvilise tilkumise/pritsmete vältimine		x
4.5 Laudise otsade käsitsi värvimine		x
5. Kuju		
5.1 Puitmaterjali mittekahjustav	x	
6. Tähtaeg		
6.1 Juuni kuu 2019		x
7. Töökiirus		
7.1 Laudise ladustamise etapp ≤ 1 min		x
8. Töötingimused		
8.1 Kuiv	x	
8.2 10 kuni 25 °C	x	
8.3 Tolmune keskkond	x	
9. Kulud		
9.1 Hind alla 15 000 €		x

### 3.3 Võimalike lahenduste kirjeldus

#### 3.3.1 Kontseptsioon 1



Joonis 3.1 Kontseptsioon 1 eskiis – lõige küljelt

Töö põhimõte: Kahel aeglaselt pöörleval hammasrattal jookseb hammaslatt/kett, mille külge on kinnitatud alumiiniumist/terasest laudiseriulid. Riiulitele paigaldatakse laudis ning seejärel liigutatakse alumist hammasratast mehaaniliselt, manuaalselt või elektriliselt ja laudis saadetakse kõrgele lae alla.

Plussid:

- Tasakaalus süsteem ei vaja pöörlemiseks palju energiat.
- Ülevalt alla sõitvad riiulid hoiavad süsteemi tasakaalus.

Miinused:

- Vajab eraldi süsteemi, mis laudise masina tippu jõudes ta maha korjab. Vastasel juhul kukub kogu puitmaterjal riiuli tagasi sõitmisel alla tagasi.
- Gabariitmõõtmed üle 3,5 meetri. Laudiseriulid võtavad pöörlemise käigus hulgaliselt ruumi. Laudiseriulid sõidavad tagasi tülles põrandasse sisse.
- Kontseptsioon vajab tõsiseid täiustusi, et toode realselt kasutatav oleks.

### **3.3.2 Kontseptsioon 2**

Töö põhimõte: Sarnaselt eelnevale ideele on tegu kahe pöörleva rattaga, mis juhivad omakorda ketti/rihma. Rihm omakorda juhivad laudise reste, mis liiguvad mööda rihma ette antud teed ülesse lae alla ning vajadusel alla tagasi.

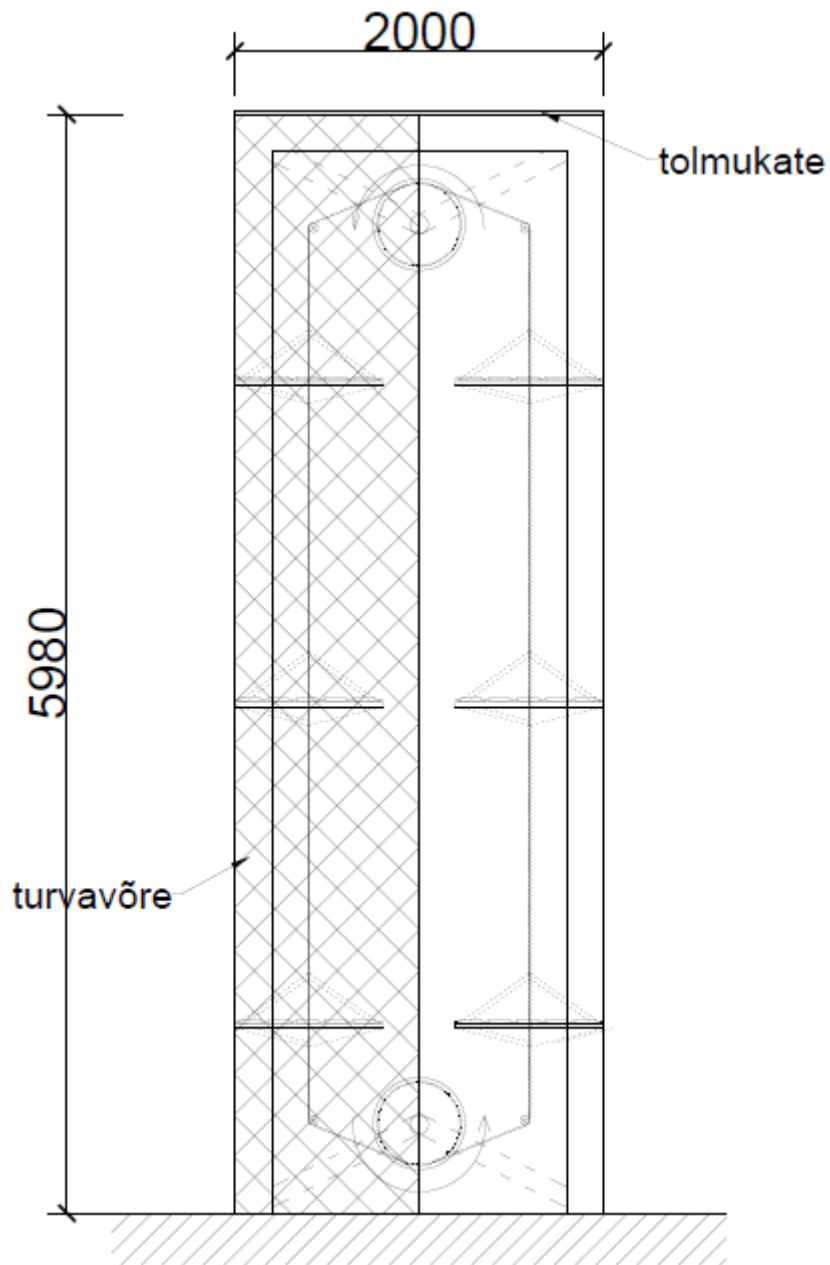
Plussid:

- Süsteem on väga hästi tasakaalus.
- Lahendus võtab vähe ruumi – sobib nõutud parameetritega.
- Liikuvad osad ei ulatu raami parameetritest välja. Süsteemi ümber saab paigaldada probleemideta turvavõre ja tippu tolmuks.

Miinused:

- Laudise restid ei ole 100% stabiilsed – võivad kõikuda.
- Laudise reste saab süsteemi lisada piiratud koguses – ümber pöörleva ratta liikudes võivad restid omavahel kokku põrgata. Seega tuleb restide vahele teatud ruum jätta. See toob kaasa olukorra, kus kogu süsteem ei pruugi piisavalt efektiivselt laudist ladustada.





Joonis 3.2 Kontseptsioon 2 eskiis – vaade küljelt

### 3.3.3 Kontseptsioon 3

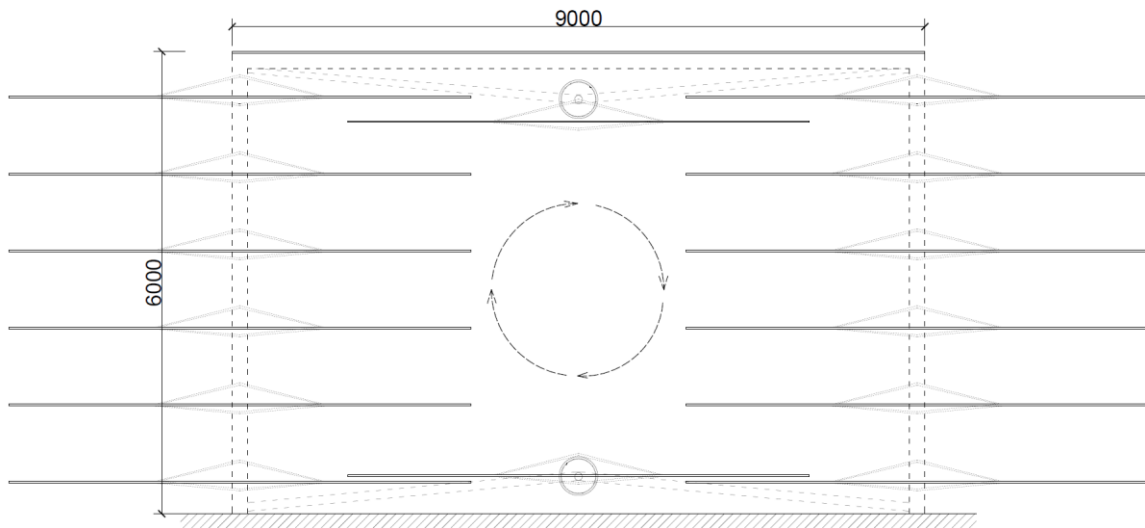
Tööpõhimõte: Laudiserestid pöörlevad sarnaselt eelnevatele lahendustele tänu pöörlevatele ratastele, mis juhivad kaablit/trossi/ketti. Antud kaabel veab laudise reste päripäeva ringi.

Plussid:

- Töötajal on mugav laudist peale laadida – otse pea kohal ei ole midagi rippumas või segamas.

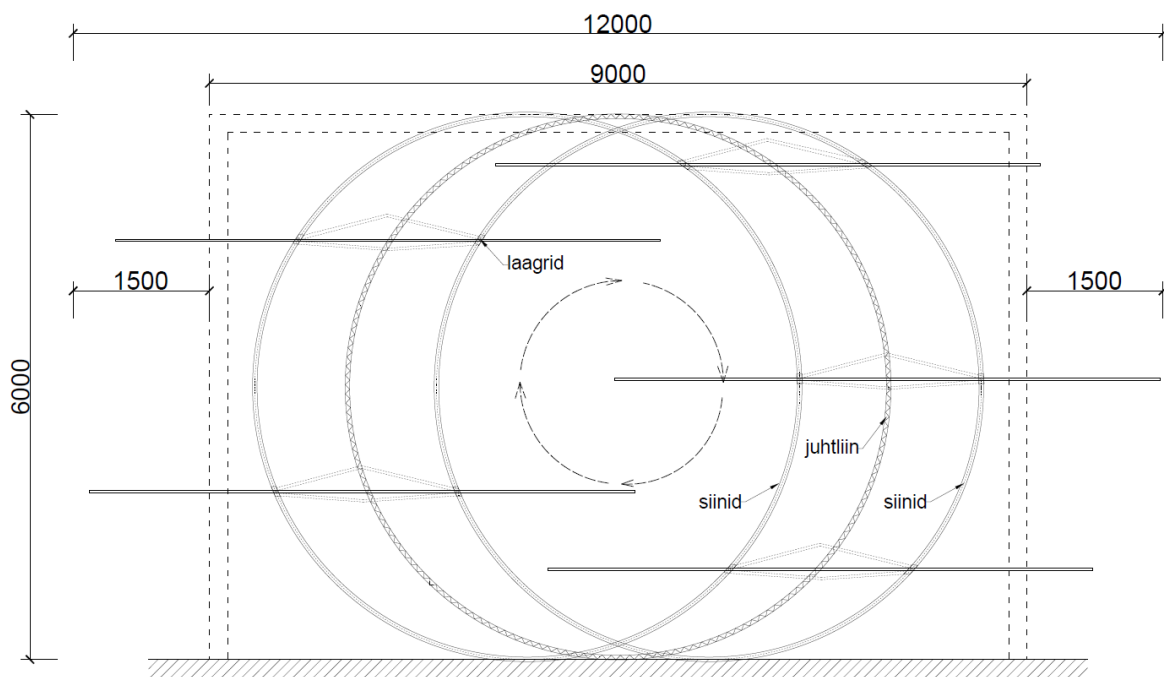
Miinused:

- Laudise maksimaalne mõõt võib olla 6 meetrit, seega sel juhul mahub süsteemi ringlema vaid mõni üksik laudise rest. Vastasel juhul toimub laudiserestide omavaheline takerdumine, mis toob kaasa hulgaliselt kahju ning õnnetust.
- Isegi kui mõne üksiku laudise restiga süsteem tööle saada, siis lähivad etteantud parameetrid süsteemil lõhki. Raam on 9 meetrit lai ning laudis ulatub kummastki otsast 3 meetrit üle. Kogumõõt 15 meetrit, mis on üle kahe korra üle lubatud mõõdu.



Joonis 3.3 Kontseptsioon 3 eskiis – lõige eest

### 3.3.4 Kontseptsioon 4



Joonis 3.4 Kontseptsioon 4 eskiis – vaade eest

Tööpõhimõte: Laudisereste juhatakse mööda siine ringiratast pöörlema. Laagrid laudise restide küljes on reguleeruvad ise automaatselt sõidusuunda.

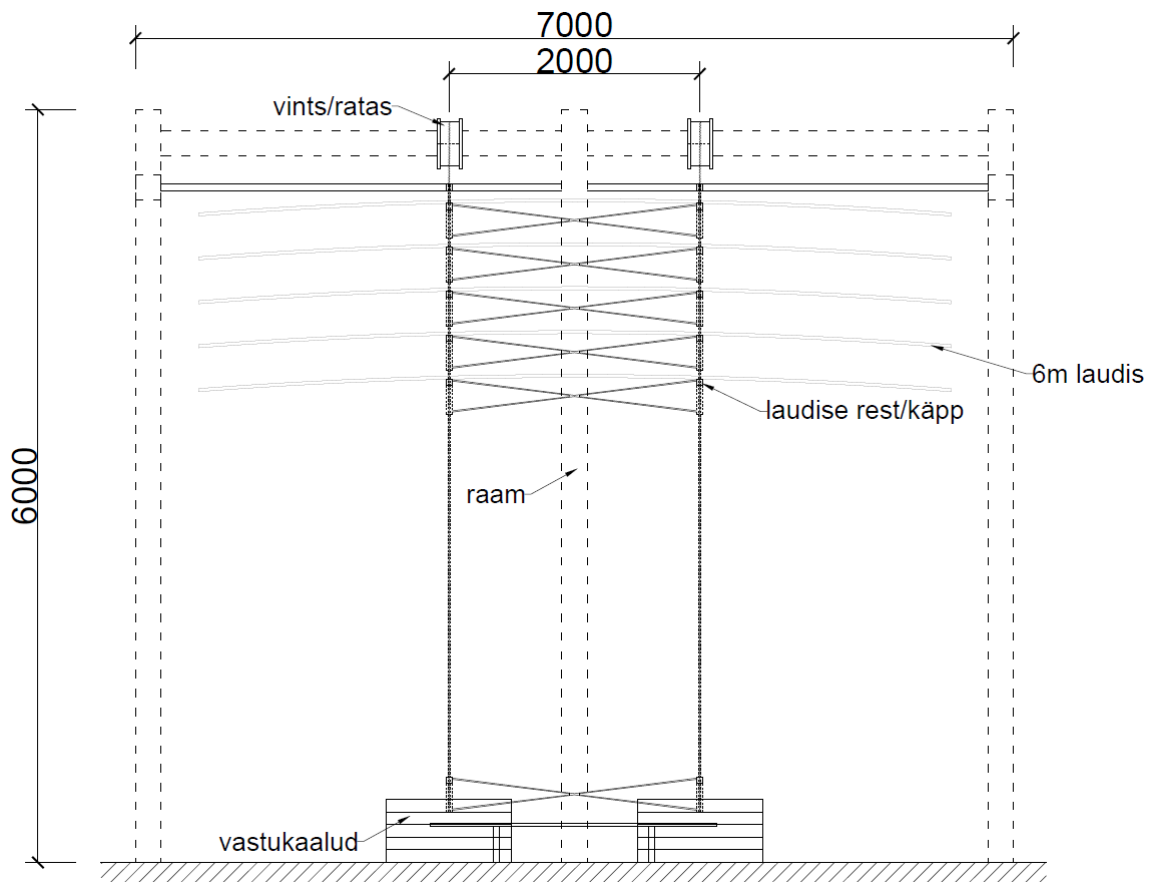
Plussid:

- Tõenäoliselt väga sujuv restide liikumine – puuduvad äkilised kurvid.
- Tasakaalukas ja stabiilne restide liikumine – massiivne raam ja mitme toe abil liikumine.
- Töötajal on sarnaselt eelnevale lahendusele mugav laudist restile peale laadida – pole midagi otse pea kohal rippumas ja hirmu tekitamas.

Miinused:

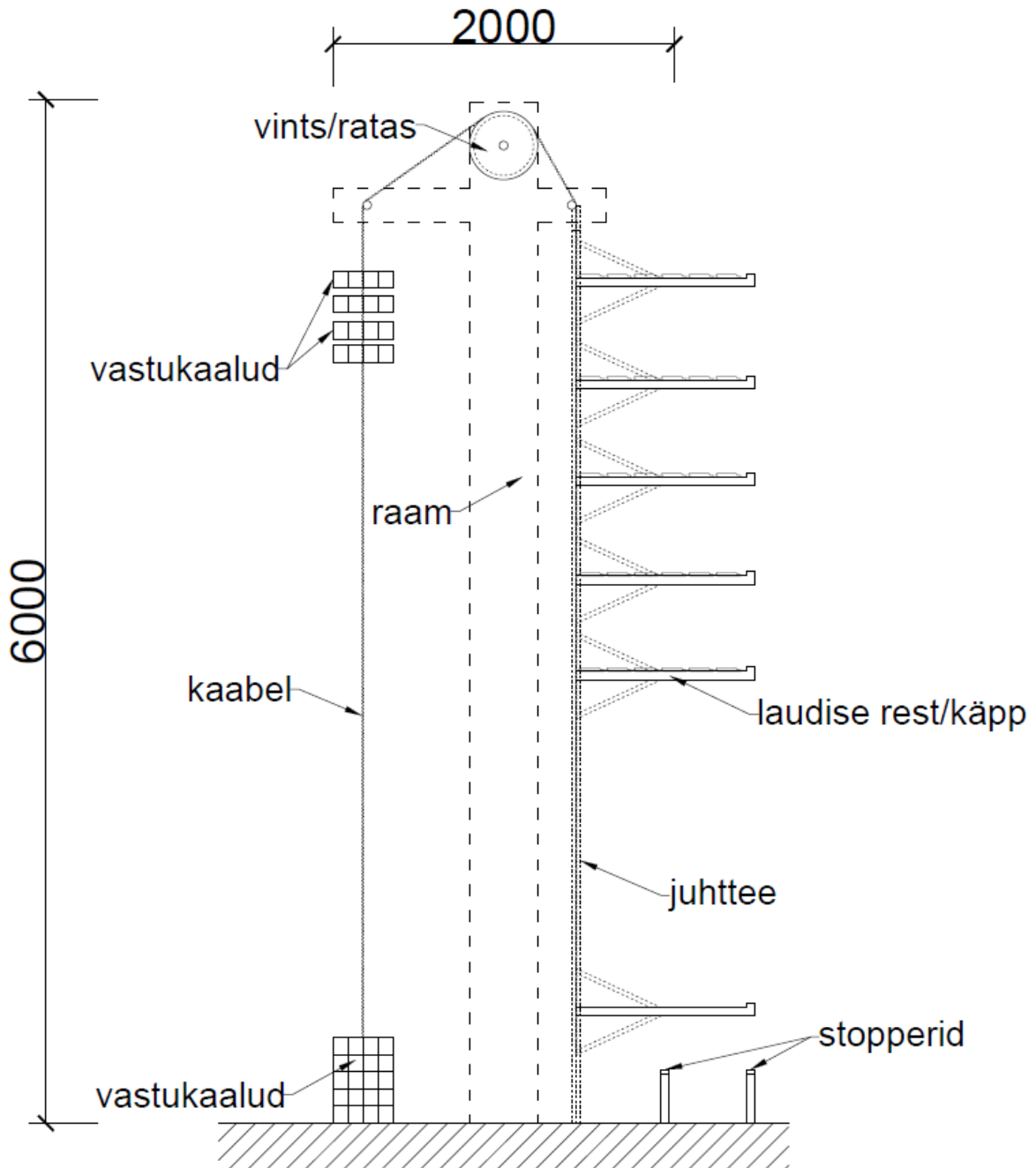
- Sarnaselt eelnevale lahendusele on ka siin nõutud gabariitmõõtmed ületatud.
- Ohutult mahub süsteemi liikuma vaid 4 kuni 5 resti. Vastasel juhul toimub tahtmatuid kokkupõrkeid.
- Suure massiga süsteem – pöörde seiskamise ja käimasaamisega võib raskusi tekkida. Kuluvad pidurid või liigne energiakulu käivitamiseks.

### 3.3.5 Kontseptsioon 5



Joonis 3.5 Kontseptsioon 5 eskiis – vaade eest

Tööpõhimõte: Lahendus põhineb lifti tööpõhimõttel. Laudise tõstmine toimub elektrivintsi abil, mis veab trossi külge kinnitatud laudise reste. Kaabli teise otsa on lisatud vastukaalud, mis laudise tõstmist lihtsustavad, kiirendavad ning kogu süsteemi tasakaalustavad.



Joonis 3.6 Kontseptsioon 5 eskis – lõige küljelt

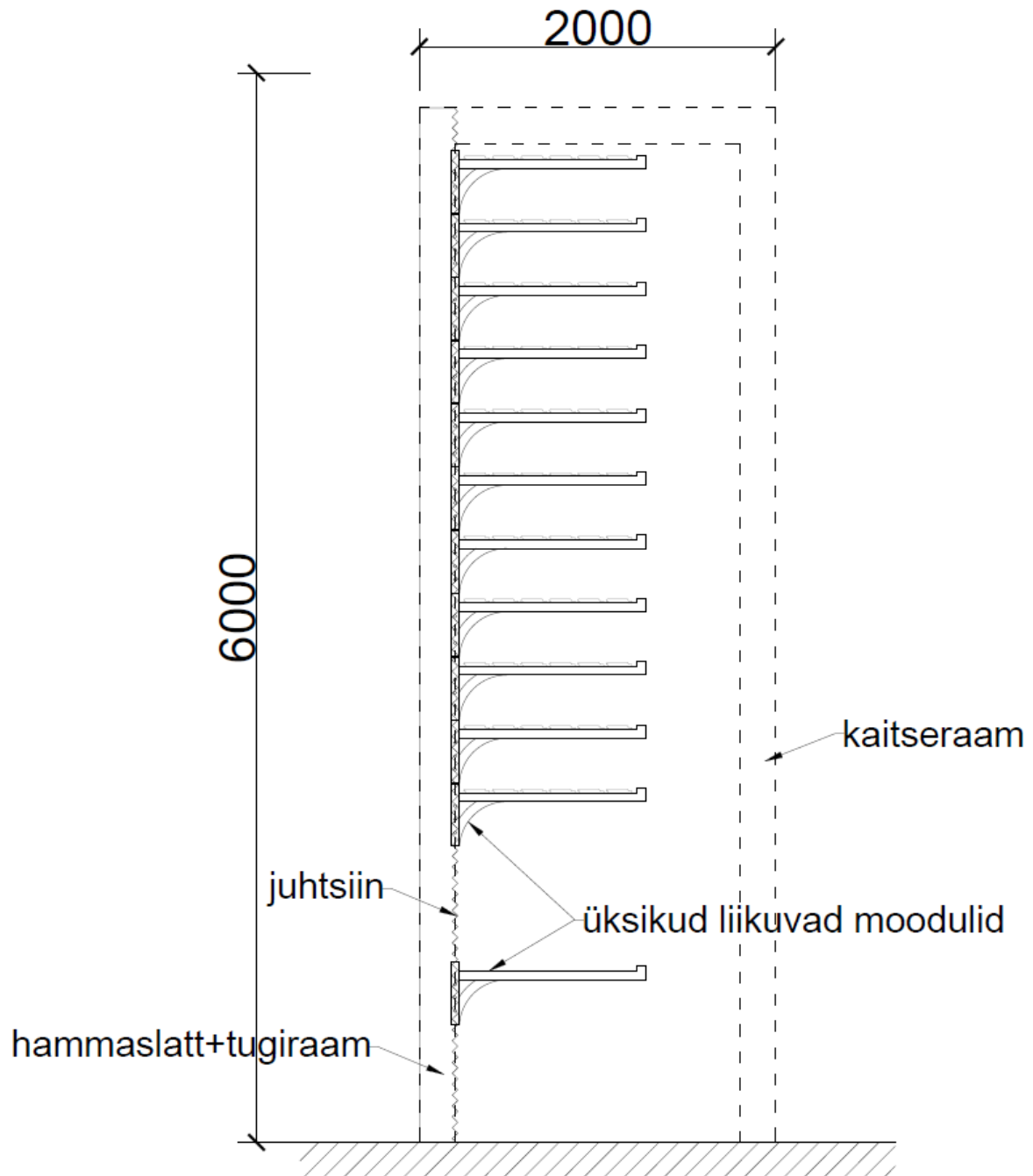
Plussid:

- Konstruktsiooni mõõtmed on etteantud parameetrites.

Miinused:

- Vastukaalud võtavad lahenduse ruumilisest mahust suure osa. Ei ole kõige efektiivsem ruumilahendus.
- Esimesena üles saadetud laudise resti saab viimasena kätte.

### 3.3.6 Kontseptsioon 6



Joonis 3.7 Kontseptsioon 6 eskiis – lõige küljelt

Tööpõhimõte: Üksikud eraldiseisvad laudise riulite moodulid liiguvad teineteisest sõltumatult. Iga moodul liigutab end sisseehitatud mootoriga mööda kett- või hammasülekannet.

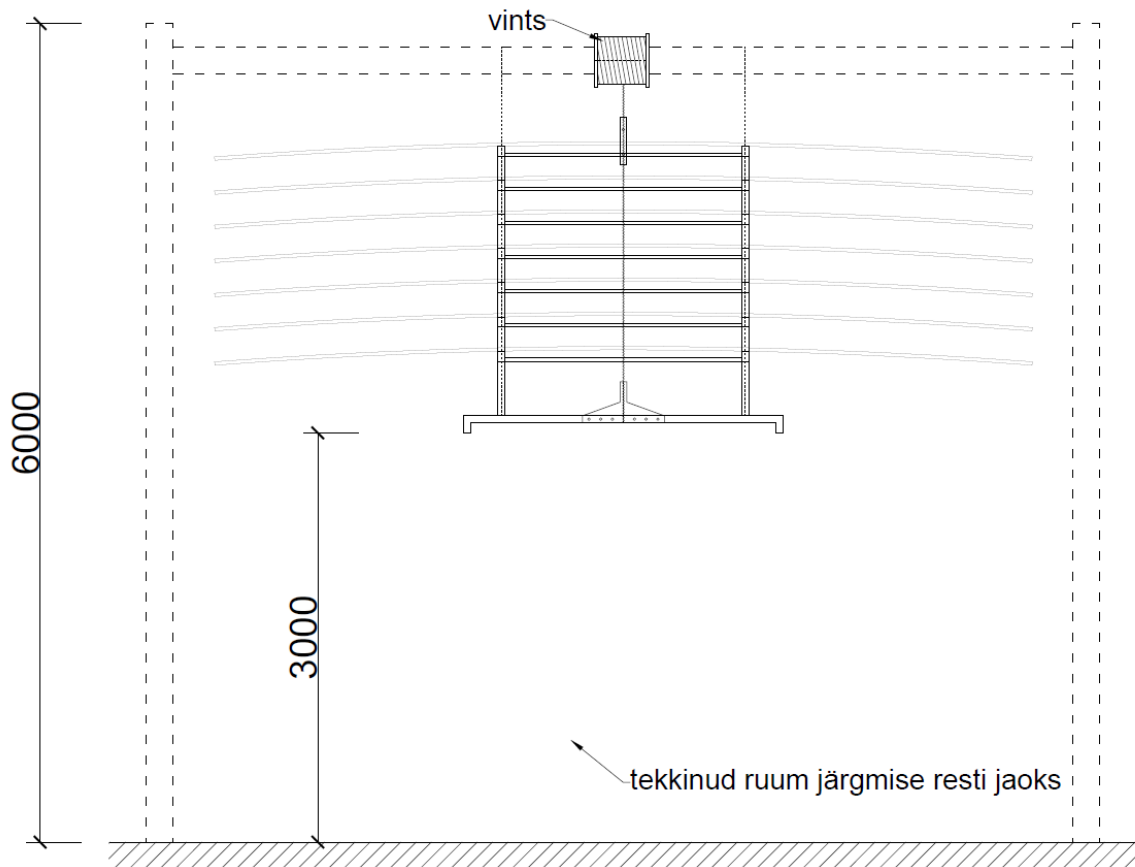
Plussid:

- Iseiseivaid laudise riuleid saab üksteise alla paigutada suurel hulgal.
- Pole lahtiseid pöörlevaid osasid nagu vintse ja rattaid, mis võivad ohtlikuks saada.
- Süsteem võtab väga vähe ruumi.

Miinused:

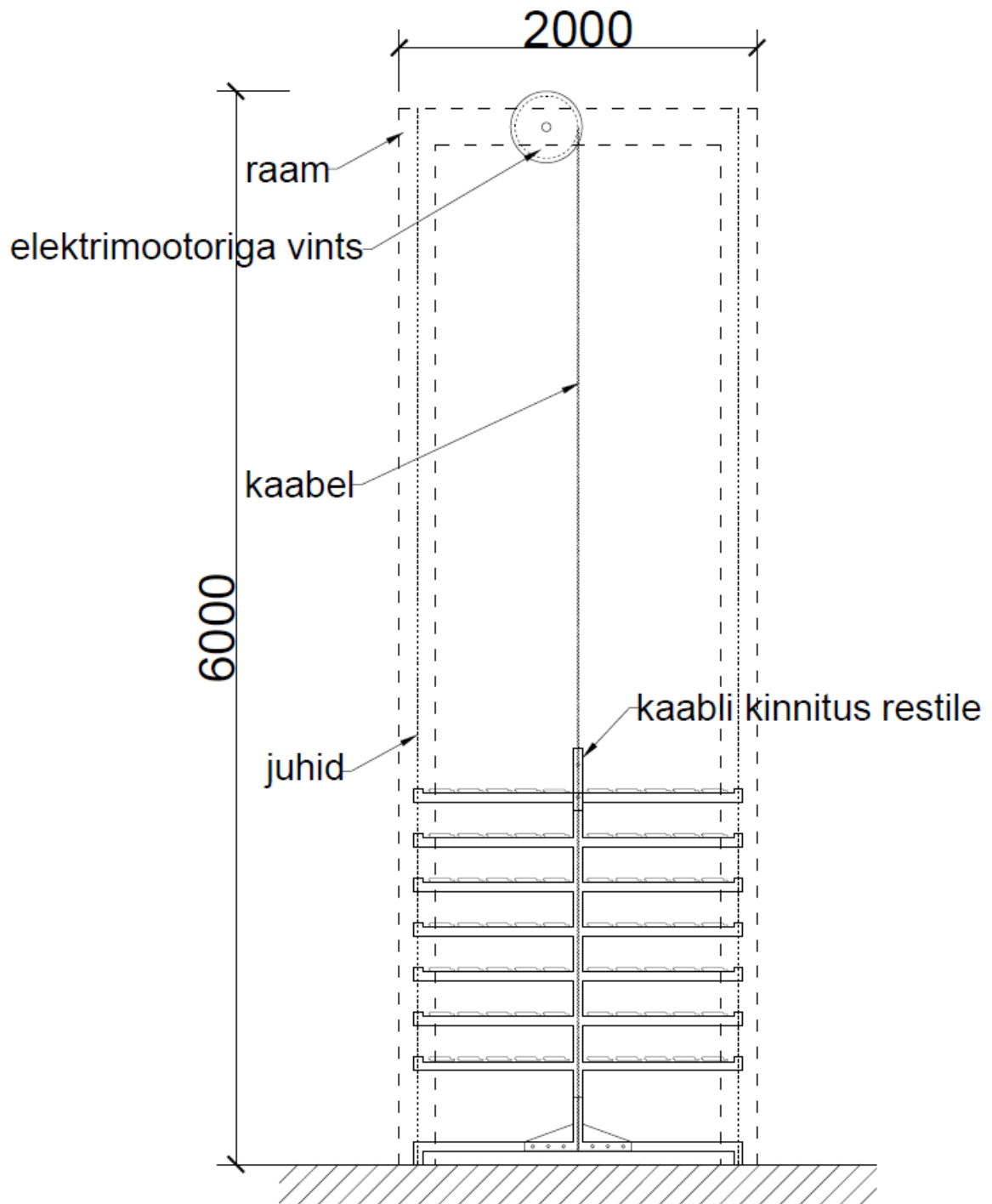
- Esimesena üles saadetud laudise resti saab viimasena kätte.
- Igale riiulile sisse ehitada mootor ja juhtseade on kallis.
- Ühe keskmise mooduli rikke korral muutub kogu süsteem kasutamatuks (juhul kui mooduleid eemaldada ja lisada ei saa)

### 3.3.7 Kontseptsioon 7



Joonis 3.8 Kontseptsioon 7 eskis – vaade eest

Tööpõhimõte: Lihtne elektrimootoril toimiv vints, mis kinnitub standardse laudise käru külge. Käru tõstetakse vintsi abil kaabliga lae alla. Tekkinud ruumi saab kasutada järgmise laudise käru täitmiseks.



Joonis 3.9 Kontseptsioon 7 eskiis – lõige küljelt

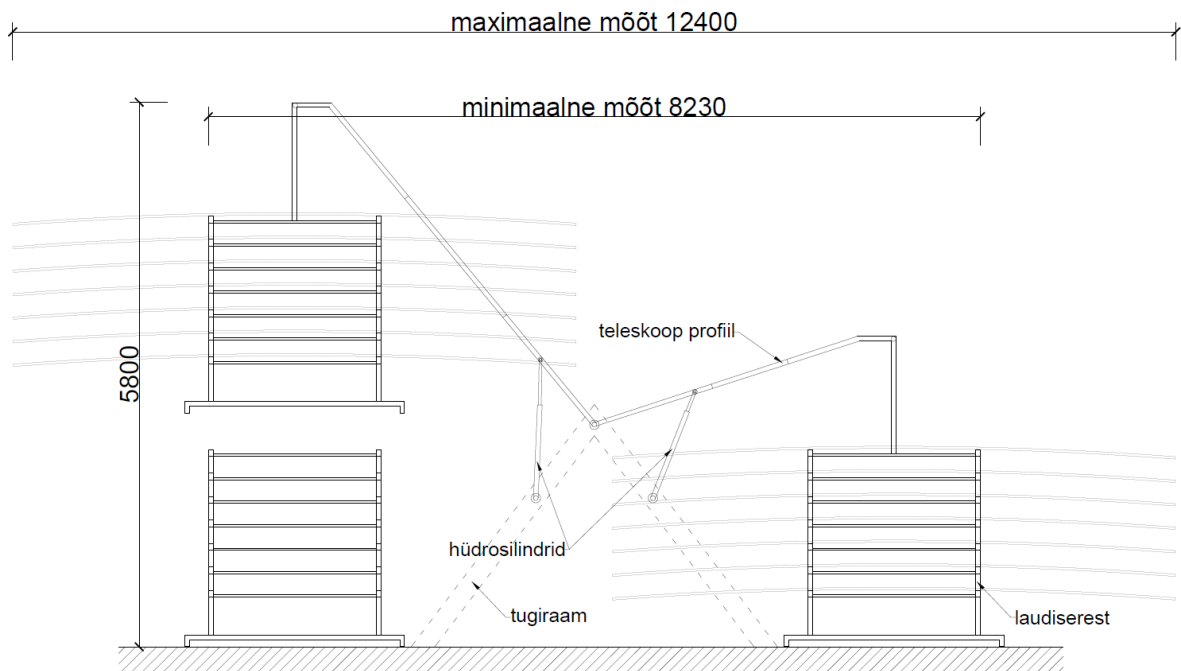
Plussid:

- Lahendus võtab vähe ruumi – sobib nõutud parameetritega.
- Liikuvad osad ei ulatu raami parameetritest välja. Süsteemi ümber saab paigaldada probleemideta turvavõre ja tippu tolmukatte.
- Lihtne raami konstruktsioon, mis ei vaja spetsiaalseid kinnitusi ega detaile.
- Töölisel lihtne kasutada – tõmmata kärü üles või lasta alla.

Miinused:

- Kärü võib kõrgel kaabli otsas kõikumata hakata.
- Standardsele kärule tuleb paigaldada modifikatsioone, et seda oleks turvaline purunemata lae alla tõmmata. Või ehitada täiesti uus kärü, mida ainsana süsteemis kasutada võib.
- Töölisel pea kohal rippuv raske ning värvist tilkuv kärü häirib töö tegemist.

### 3.3.8 Kontseptsioon 8



Joonis 3.10 Kontseptsioon 8 eskiis – vaade eest

Tööpõhimõte: Kraanana töötav teleskoopsilinder tõstab standard laudisekärü õhku rippuma.

Plussid:

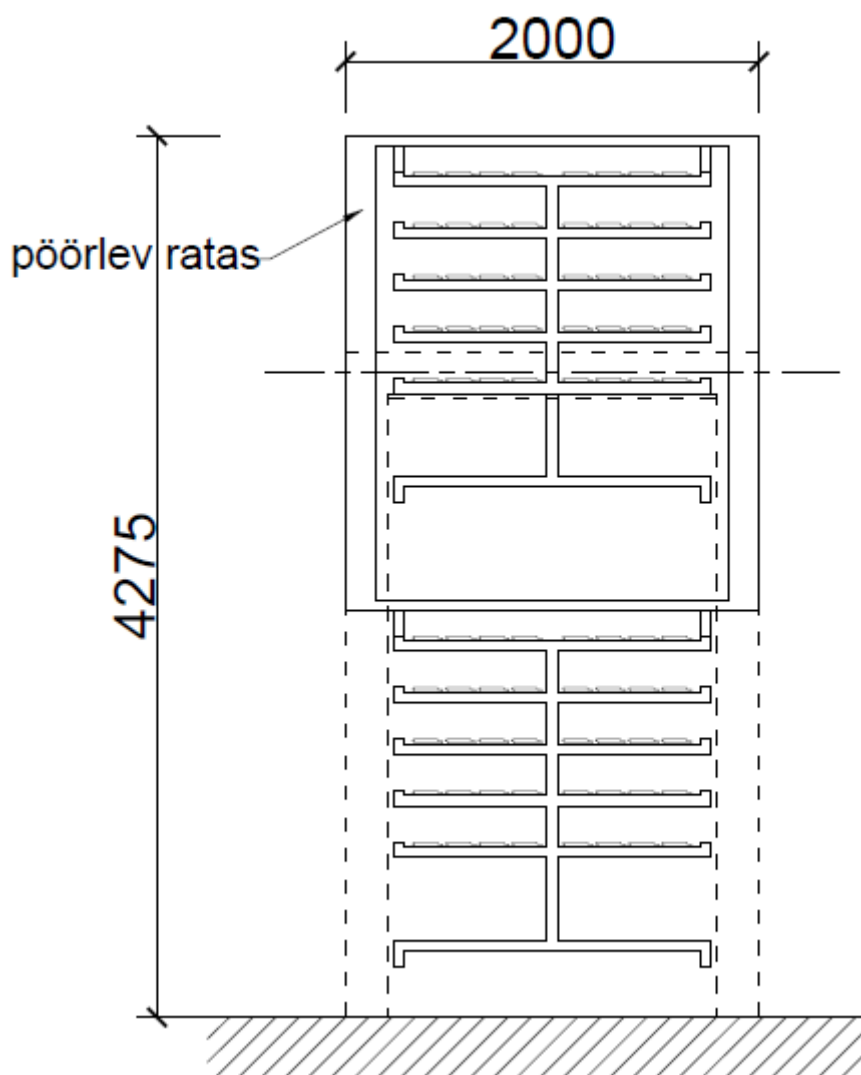
- Töölisel lihtne kasutada – tõmmata kärü üles või lasta alla.

Miinused:

- Silindrid vajavad lisahooldust.
- Mõõtmed lubatust suuremad (kuigi süsteem vaid ühe silindertõstukiga mahuks etteantud mõõtmetesse)
- Töölisel pea kohal rippuv raske ning värvist tilkuv kärü häirib töö tegemist.
- Teleskoopsilindrite lahendus tõenäoliselt kallis ning koostamine keeruline.



### 3.3.9 Kontseptsioon 9



Joonis 3.11 Kontseptsioon 9 eskiis – lõige küljelt

Tööpõhimõte: Tegemist nelja pöörleva rattaga, kuhu on kinnitatud kaabel/tross, millele omakorda kinnitatud konksud. Konksude külge saab kinnitada laudise kärud. Kärud ripuvad kaabli otsas kui pesu pesunööril ning tõstetakse ovaalselt päripäeva liikudes lae alla. Kärud liiguvad rataste vahelt läbi.

Plussid:

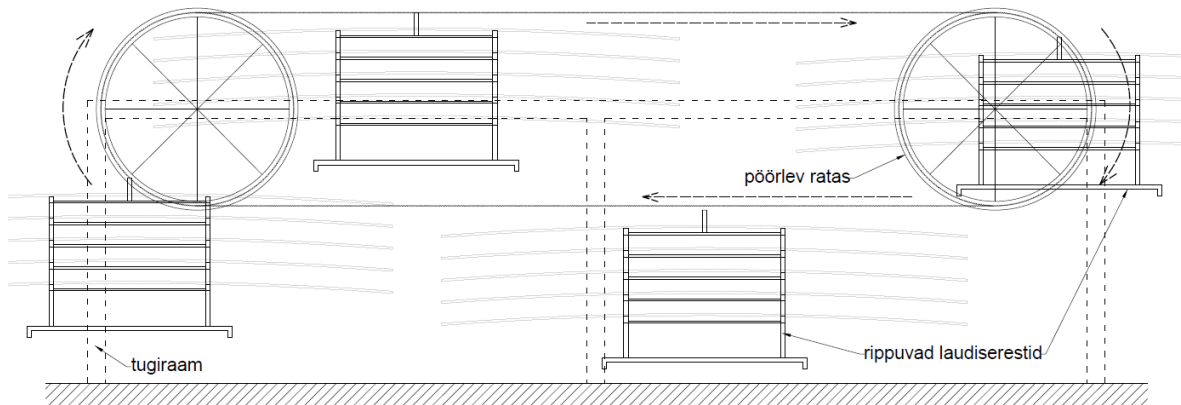
- Saab korraga kuivama tõsta suurel hulgal laudist/puitmaterjali.
- Konstruktsiooni kõrgusemõõt on madal – alla 4,5 meetri.

Miinused:

- Ringleb korraga potentsiaalselt suurel hulgal laudist. Seega kärude ringlema saamine võtab palju energiat.
- Mõõdud massiivsed ning ületavad etteantud parameetreid.

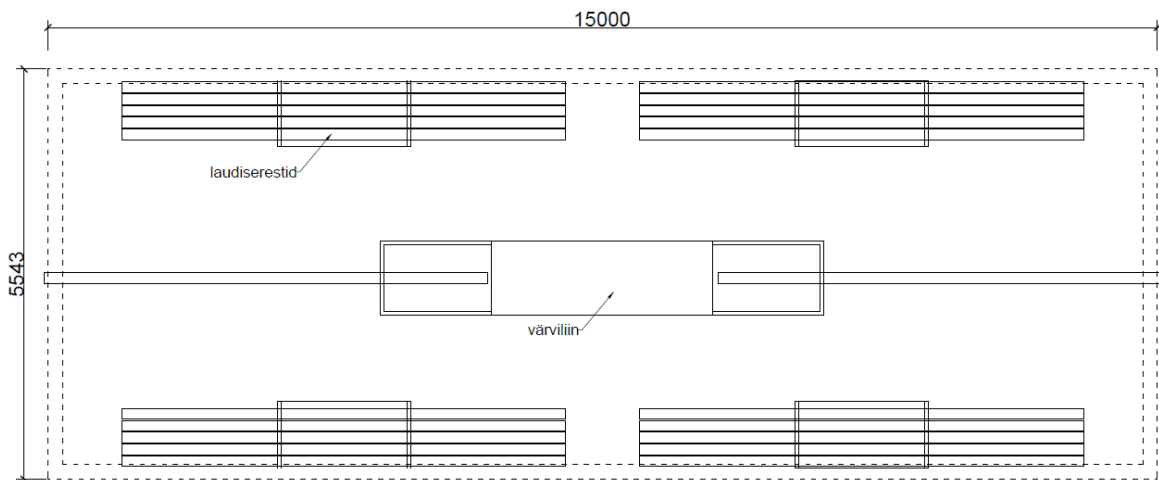
- Õhus kärude omavahelise kokkupõrke vältimiseks saab korraga ringlema panna vaid neli kärü.
- Kärud ei pruugi piisavalt stabiilsena rippuda – hakkavad kõikuma ning tekib kogu süsteemi ja raami ülekoormus.
- Laudised võivad ebastabiilsusest tingituna alla libiseda.

16604



Joonis 3.12 Kontseptsioon 9 eskiis – vaade eest

### 3.3.10 Kontseptsioon 10



Joonis 3.13 Kontseptsioon 10 eskiis – vaade pealt

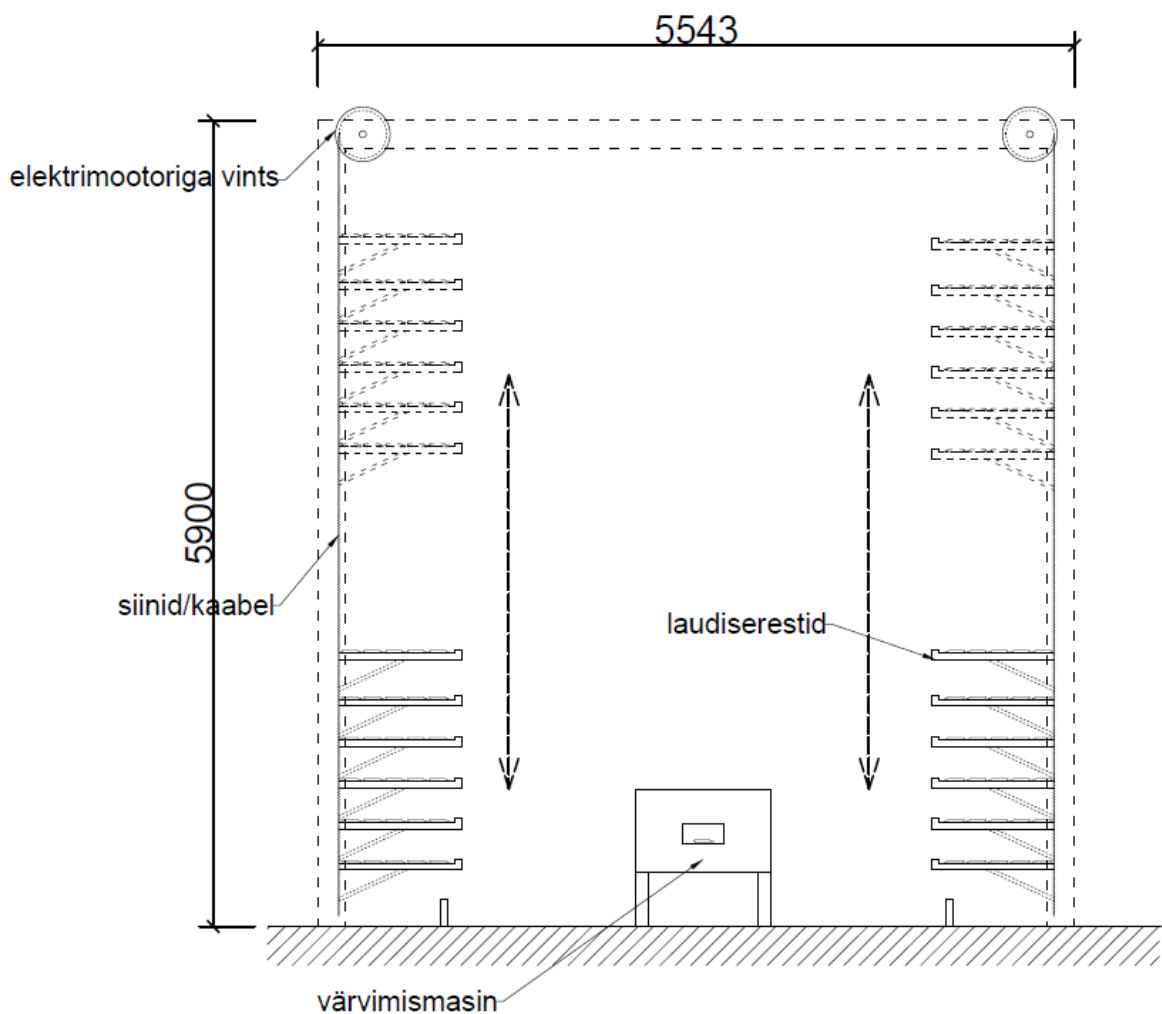
Tööpõhimõte: Tegu üldise suure süsteemiga, mis sobib tehasesse värviilini teenindamiseks. Värvimasina ümber on projekteeritud raamistik, kus saavad üles-alla sõita neli laudise restide kogumit. Restid sõidavad üles-alla mööda siine tänu elektrimootoriga vintsi veetavat tõstekaablit.

Plussid:

- Tehasenurka mahtuv suurel skaalal laudise töstesüsteem aitab rohkelt ruumi säästa. Nelja laudise resti üles tõstmisel mahub värviliini kõrvale ülesse tõstetud restide alla vähemalt neli standard käru.

Miinused:

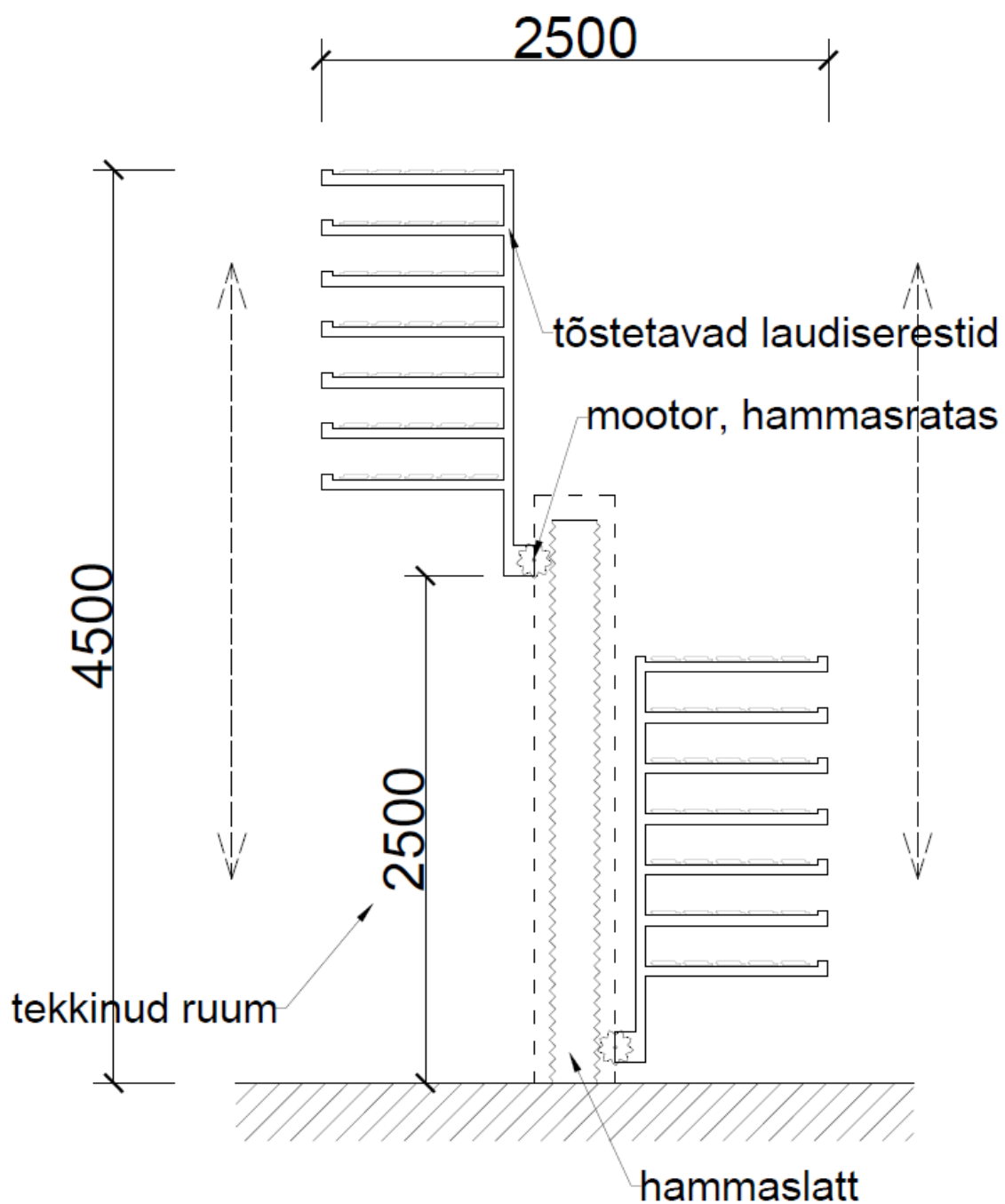
- Nõutud mõõtude parameetrid lõhki.
- Suurusest tingituna peaks ära kaotama tehases riulid, kuhu valmis värvitud laudist ladustatakse.
- Konstruktsioon ise on juba kallid. Eriti kui lisada spetsiaalsed laudiserestid ning nende ühendused raamile ja kaablitele.



Joonis 3.14 Kontseptsioon 10 eskis – lõige küljelt

### 3.3.11 Kontseptsioon 11

Tööpõhimõte: Kontseptsioon töötab kui kahveltõstuk. Laudiserestide täitumisel tõstetakse nad tänu hammasühendusele lae alla. Hammaslatt asub raamposti sees ning mootor koos hammasrattaga veab end laudiseresti küljes ülesse.



Joonis 3.15 Kontseptsioon 11 eskis – lõige küljelt

Plussid:

- Kompaktne lahendus.
- Teostab efektiivselt ruumikasutust – saab ladustada tugiraami kõrvale muid esemeid kuni laudiserestid ülesse tõstetud on.
- Töölisele lihtne – tõsta üles või lase alla.

Miinused:

- Laudiserestide süsteem tuleb eraldi spetsiaalselt välja töötada – ei saa kasutada standardseid reste.
- Olemasoleva tehase olukorras on antud lahendust raske teostada, sest reaalne ligipääs süsteemile oleks vaid ühelt poolt. Seega lahenduse efektiivsus kannatab.

### **3.3.12 Kontseptsioon 12**

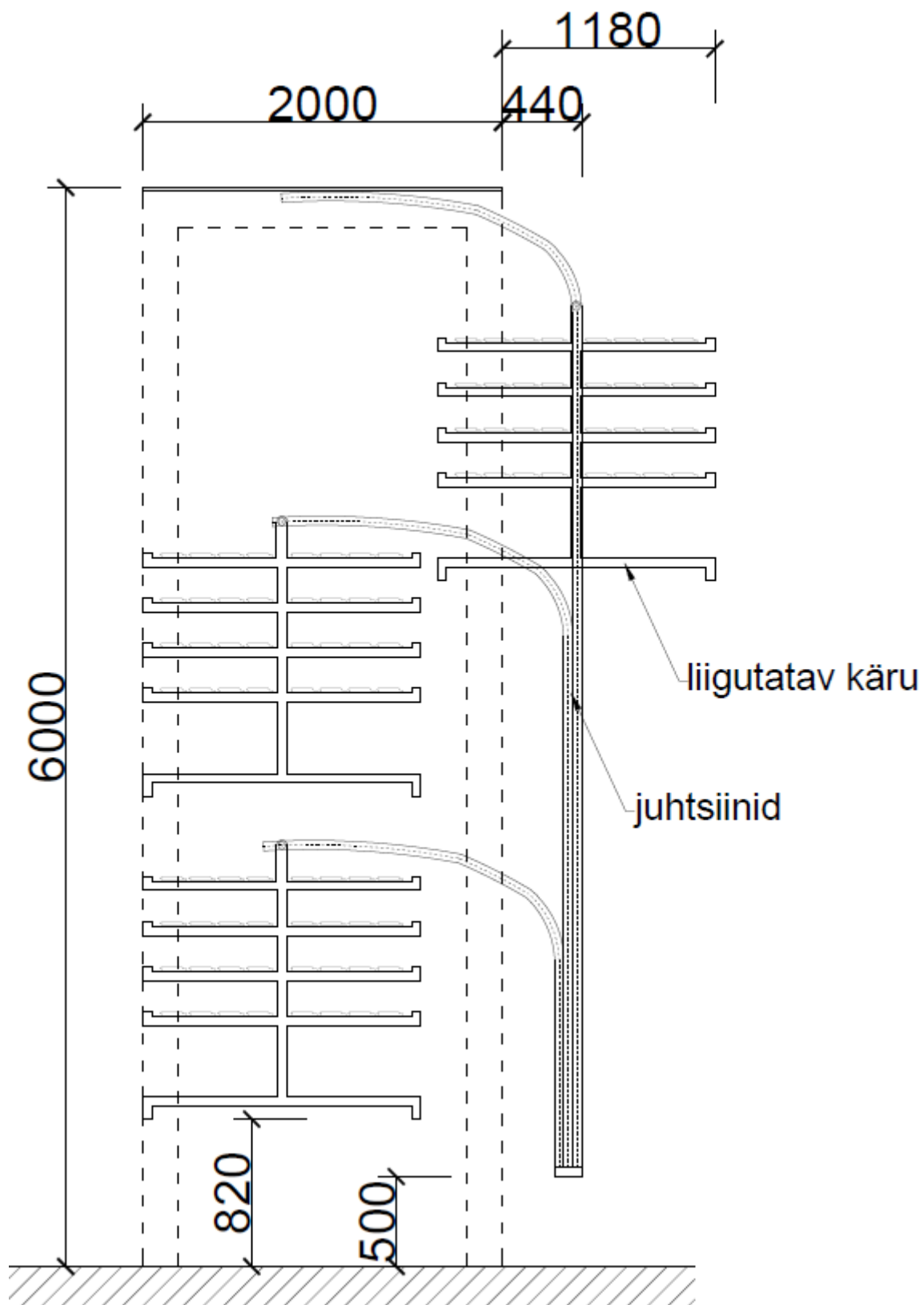
Tööpõhimõte: Laudiserestid tõstetakse maast mööda siine ülesse raamide vahele. Võimalikus edasiarendatud versioonis kaotada ära alumine käru – võib ka pörandal olla lihtsalt.

Plussid:

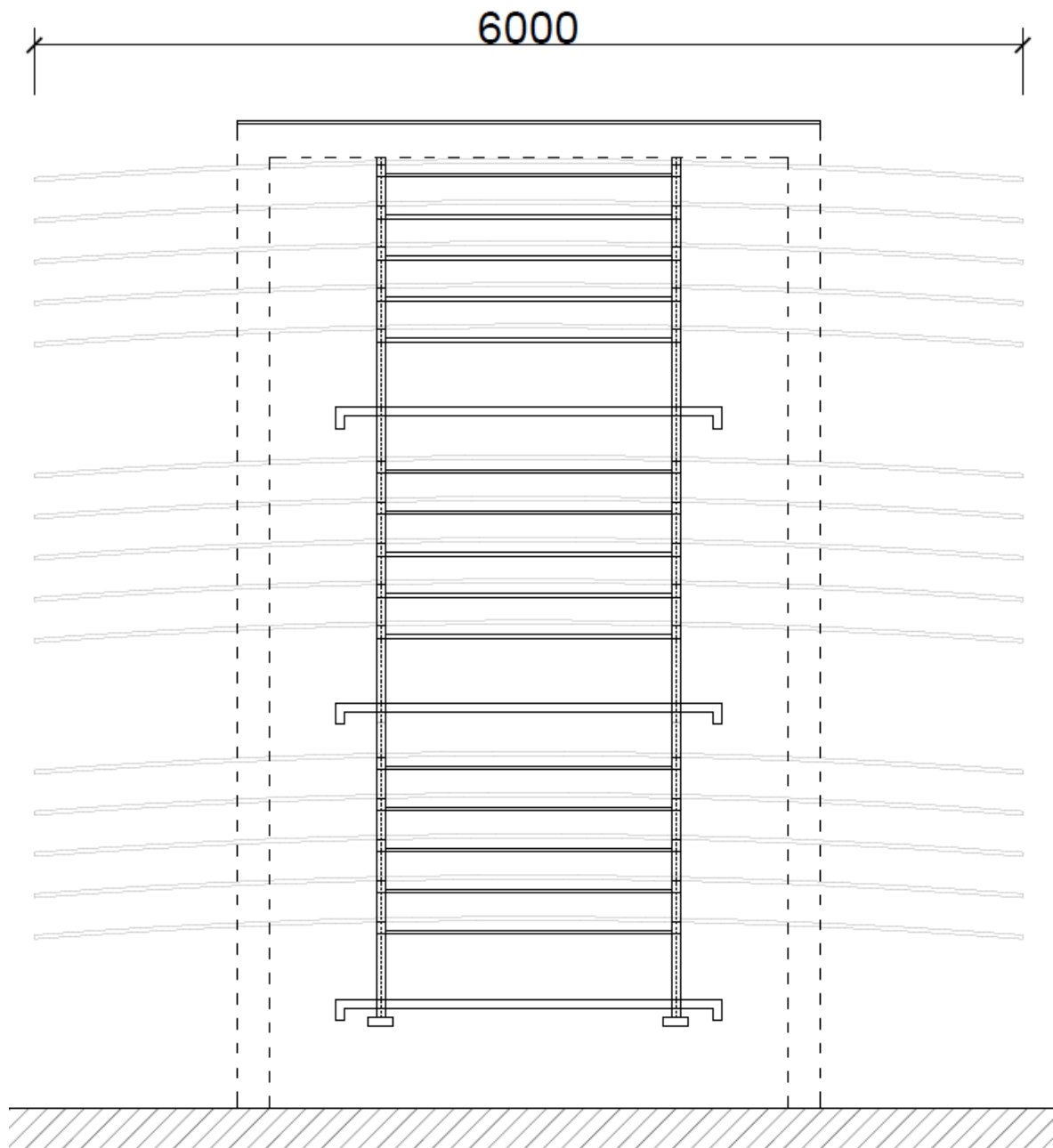
- Vajadusel saab ülemise laudise käru alla maapinnale tuua ilme teisi käreid liigutamata.
- Tugiraami parameetrid on nõutud piirides.
- Igal kärul enda rada, kus ta sõidab.

Miinused:

- Laudisekärud tuleb ümber ehitada, et nad tõstmisele vastu peaksid ning õnnetusi ei tekitaks.
- Käru liikudes on etteantud nõutud süsteemi mõõdud rikutud.
- Vajab keerulisi siine, mis käreid juhib.
- Kärud võivad valel käsitlemisel õhus liikudes kokku pörkuda.



Joonis 3.16 Kontseptsioon 12 eskiis – lõige küljelt



Joonis 3.16 Kontseptsioon 12 eskiis – lõige küljelt

## 3.4 Võimalike lahenduste analüüs

### 3.4.1 Hindamismatriks

Koostasin lahenduste analüüsiks 5-palli süsteemis hindamismatriksi, kus 1 on madalaim hinne ning 5 kõrgeim ning võrdlesin iga kontseptsiooni kuue kriteeriumi alusel (kriteeriumid tulenevad suuresti etteantud fikseeritud nõuetest):

1. Funktsionaalsus – kõrge hinde andis süsteemi insenerilik lahendus, mis on töökindel ning täidab nõutud tööülesandeid probleemideta ja võimalike vajalike lisarendusteta tulevikus.
2. Mõõtmed – suuresti eelistatud lahendused, mis jäid ette antud nõutud mõõtmetesse ning kasutasid seda ruumi kõige efektiivsemal viisil.
3. Lihtsus – kõrgema hinde andis konstruktsioon, mis ei vaja tihedat hooldust ja/või remonti. Samuti ei soosinud süsteeme, kus töötajal on võimalus üle komplitseeritud toote valel kasutamisel kogemata komponente rikkuda või lõhkuda.
4. Ohutus – eelistatud süsteemi stabiilne ringlus või liikumine, mis tagab vähese puidu paindumise ja õõtsumise. Lisapunkte andis võimalike kaitsevõrede paigaldamise võimalus.
5. Mugavus – mida mugavamal, lihtsamini ning kiiremini töötajal laudist või muud puitmaterjali riiulitele laduda on, seda kõrgem hinne tabelis.
6. Hind – esialgsel vaatlusel süsteemi eri komponentide arvust, materjalide hulgast ning spetsiaalsete eritellimustel koostavate detailidest tulenev hind.

Tabel 3.3 Hindamismatriksi tabel

Lahendused/kriteeriumid:	Funktsionaalsus	Mõõtmed	Lihtsus	Ohutus	Mugavus	Hind	Kokku:
Kontseptsioon 1	1	4	4	1	3	3	16
Kontseptsioon 2	4	5	4	3	3	3	22
Kontseptsioon 3	2	1	3	2	4	3	15
Kontseptsioon 4	4	2	4	4	4	4	22
Kontseptsioon 5	5	3	2	3	4	2	19
Kontseptsioon 6	4	5	4	4	4	1	22
Kontseptsioon 7	5	5	5	2	2	5	24
Kontseptsioon 8	4	2	3	2	3	1	15
Kontseptsioon 9	5	1	4	4	5	2	21
Kontseptsioon 10	5	1	3	4	5	1	19
Kontseptsioon 11	4	3	5	4	4	3	23
Kontseptsioon 12	5	3	3	5	5	3	24

### 3.4.2 Tulemuste võrdlus

Kontseptsioon 7: Hindamismatriksis kõrgeimad 24 punkti. Lahenduse eripära on ülim lihtsus ning hea mõõtmete kasutus. Lahendus võimaldab vaid maksimaalselt kaks käru üksteise peale paigaldada (üks õhus rippuv ning teine maa peal). Probleemiks võib saada käru stabiilsus kaabli otsas rippudes – stabilisaatorite lisamine kaotab lahenduse lihtsuse võlu.



Kontseptsioon 11: Hindamismaatriksis kõrged 23 punkti. Lahendus särab oma lihtsusega – kuid ei kasuta ruumi piisavalt efektiivselt. Lahendus võimaldab samuti vaid maksimaalselt kaks käru üksteise peale paigaldada. Lisaks pääseb ligi vaid konstruktsiooni ühele poolele tõstukist (teine pool on seina ääres).

Kontseptsioon 12: Hindamismaatriksis kõrgeimad 24 punkti. Lahenduse suur pluss on ülemise laudisepaki lihtne kättesaadavus (sõidab teistest pakkidest mööda). Antud karakteristikut pole ühelgi teisel lahendusel ning see kiirendab tehases oluliselt tootmist. Nõrk külg on projekti eeldatav hind – tuleb hulk erilisi detaile tellida juhtsiinide tarbeks. Lahendust korrigeerida nii, et mõõtmed jääksid nõutud vahemikku. Üks võimalik parendus oleks alumine käru jätta põrandale ning tõsta vaid kahte ülemist käru.

### 3.4.3 Lõplik kontseptsioon

Kontseptsioon 12 lubab kasutada olemasolevaid puidust valmistatud laudise kärusid lihtsate modifikatsioonide ning tugevdustega. Ettevõtte on investeerinud ning tehases kokku valmistanud vähemalt neli käru ning nende edasine kasutamine laudise tõstuki projekti raames on ettevõtte silmis oluline. Samuti on ettevõtte hakanud proovima sarnast lahendust esialgu kahveltõstukiga omal käel läbi viima, mis aitab tehases juba mingil määral ruumi kokku hoida. Minu poolne lõplik kontseptsioon aitaks veel enam ressursse kokku hoida, sest ei ole vaja laenata elementmajade tehase poole pealt kahveltõstukit. Kasutada saaks lihtsalt elektrivintsi.



Joonis 3.17 Laudis koos käruga statsionaarsel tehaseriulil

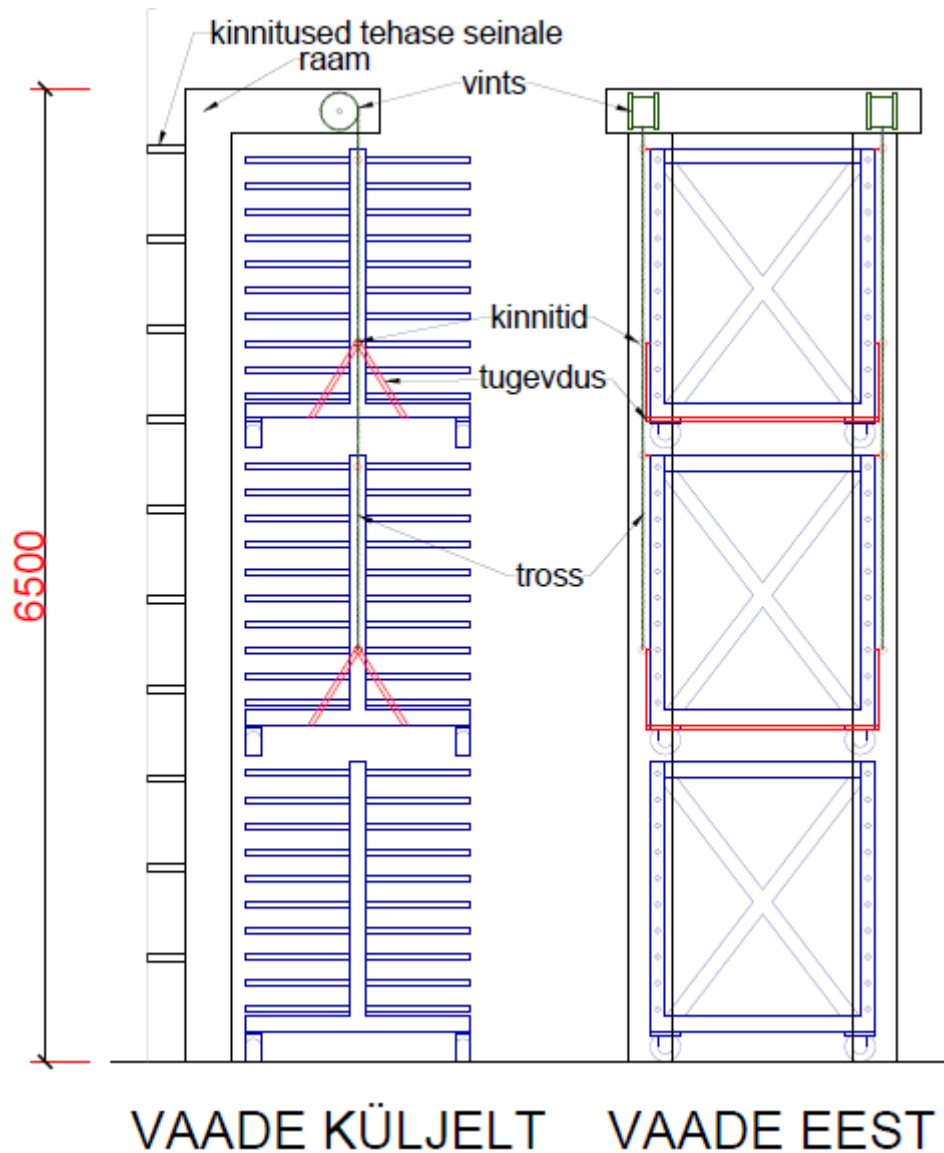


Joonis 3.18 Käru tõstmine kahveltõstukiga riiulile, mis nõuab täpset rihtimist ning hulga aega

### 3.5 Lahenduse edasiarendus

Joonisel 3.19 on näha, kuidas on lahendatud varasemad konstruktiivsed probleemid nii gabariitmõtmete kui ka üldise raami ja kärude stabiilsusega sidudes kogu idee lihtsa vints-tõstukiga (sarnaselt hindamismaatriksis võrdselt kõrge tulemuse saanud kontseptsioon nr. 7). Vints asendab eelnevas etapis planeeritud juhtiine, millega ilmnisid järjekordsed ruumipuuduse probleemid seoses raami gabariitide suurenemisega.

Idee töötamiseks tuleb olemasolevatele puitkärudele lisada tugevdused nii põhja kui ka külgedele, kuhu omakorda lisatakse kinnitid, kuhu on võimalik vintsilt ulatuv tross kinnitada. Tross kinnitatakse kärude külgedele alla ja üles, mis seob käru vertikaalselt trossi liikumissuunda ning tagab seeläbi laudise käru enda stabiilsuse. Vints tõstab vaid kahte käru, millede tõstmisel jääb ruum üle kolmanda käru jaoks põrandal konstruktsiooni ees.



Joonis 3.19 Kontseptsiooni nr 12 edasiarendus

Tabel 3.4 Edasiarendatud lahenduse hindamismatriksi tulemus

Lahendused/kriteeriumid:	Funktsionaalsus	Mõõtmed	Lihtsus	Ohutus	Mugavus	Hind	Kokku:
Kontseptsioon arendus 1	5	5	5	5	5	3	28

Arendatud lahendust võrreldes samade karakteristikutega nagu varasemaid lahendusi saan hindamismatriksi tulemuseks 28 punkti, mis on vaid 2 punkti maksimaalsest summast. Punkte kaotan hinna osas, sest planeeritav kahepoolne vints-tõstuk on tavalisest haruldasem ning seeläbi potentsiaalselt ka hulga kallim. Võimalik ka kasutada kahte erinevat eraldiseisvat elektrivinti, millel tuleb elektri juhtskeem ümber korraldada nii, et töötaksid korralikult sama kiiresti ühe ja sama juhtpuldi kaudu.

## 4. KONSTRUKTSIOON

Peatükis võtan ette tugevusanalüüsid (lõplike elementide meetod), hinna, ohutuse ning panem paika lõpliku lahenduse variandi.

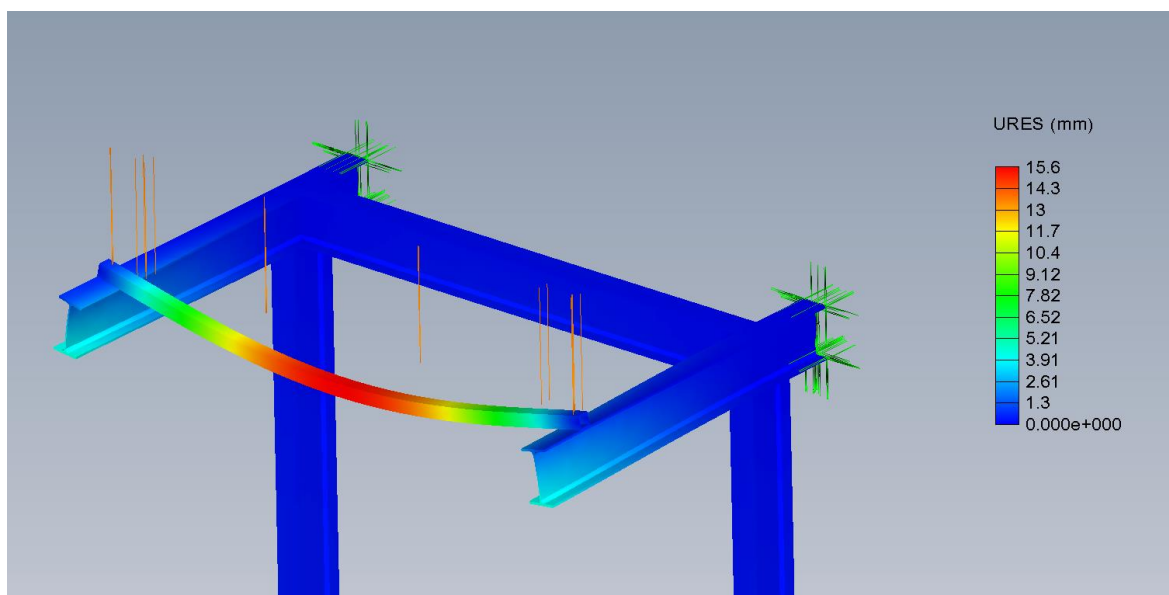
### 4.1 Raam

Plaan kasutada I-talasisid mõõtudega ~ 200x100 mm ehk tala IPE200.

Inspiratsiooniks võtsin tehases kasutatavaid riuleid, mis on sarnasest materjalist/profiilist (möödud) ning kannavad vähemalt 3000 kg puitmaterjali.

#### 4.1.1 LEM 1

Esimese raami tugevusanalüüs on lihtsustatud ja perfektne olukord, kus raami saab kõrgelt seinä külge kinnitada. Tulemus ei ole tegelik reaalsus, kuid annab hea ettekujutuse, mis 50x50 mm nelikant terastoruga koormuse all juhtub. Analüüsi lahendusest selgub, et deformatsioon nelikantprofiil torul 15,6 mm, mis jääb oodatud deformatsiooni piiridesse. Koormus on mudelil rakendatud 12000 N kogu toru ulatuses (vints kinnitub vaid nelikant toru külge). Voolepiir sai analüüsi käigus ületatud. Võib järeldada, et tulemus ei ole reaalne ega ka rahuldav. 50x50 mm torule on vaja lisada tugevdavad detailid. Lisaks võib järeldada, et vintsi poolt tõstetavate kärude mass ei ole raamile (I-taladele) mingi eriline koormus.

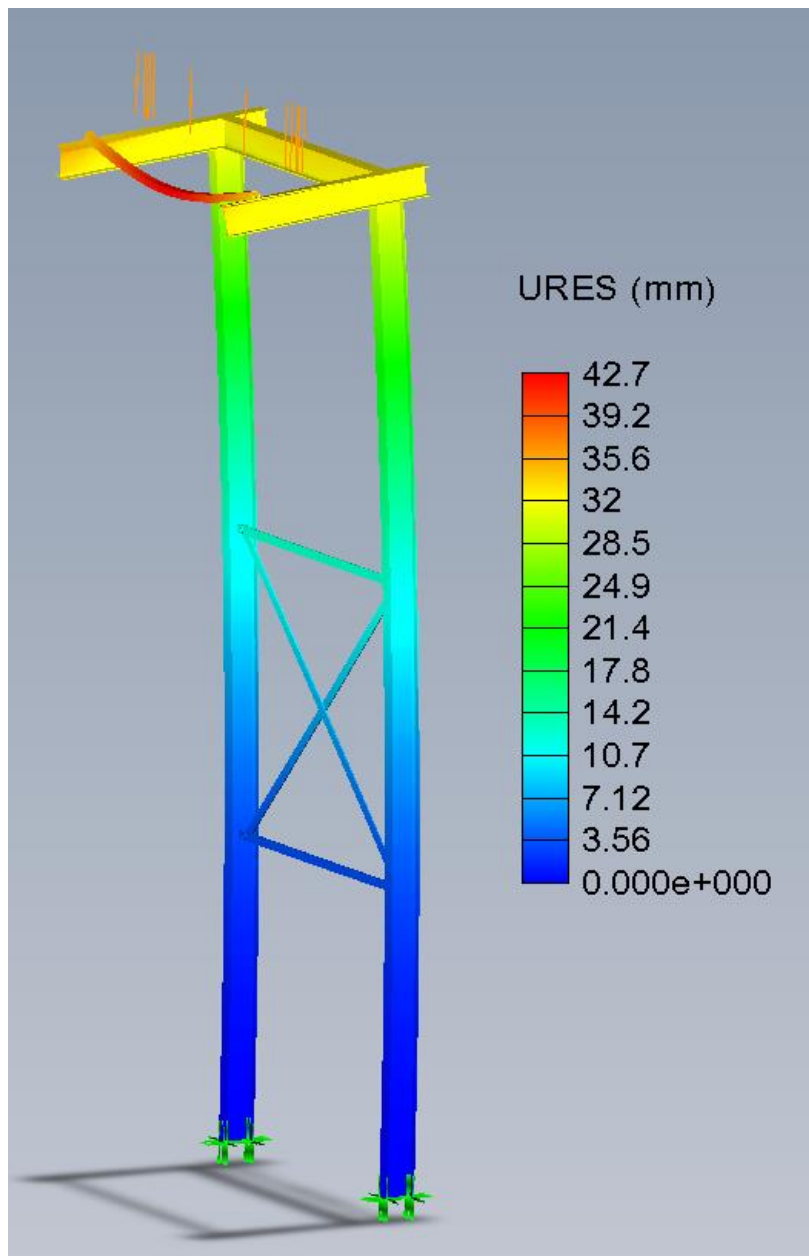


Joonis 4.1 LEM 1 läbipaide väärtus nelikant talal

#### 4.1.2 LEM 2

Teises tugevusanalüüsis on tegu reaalsema olukorraga, kus I-talad ei ole raami tipus seinaga külge kinnitatud. Kinnitus vaid raami jalge all. Lisatud diagonaalid raami postide vahele stabiilsuseks.

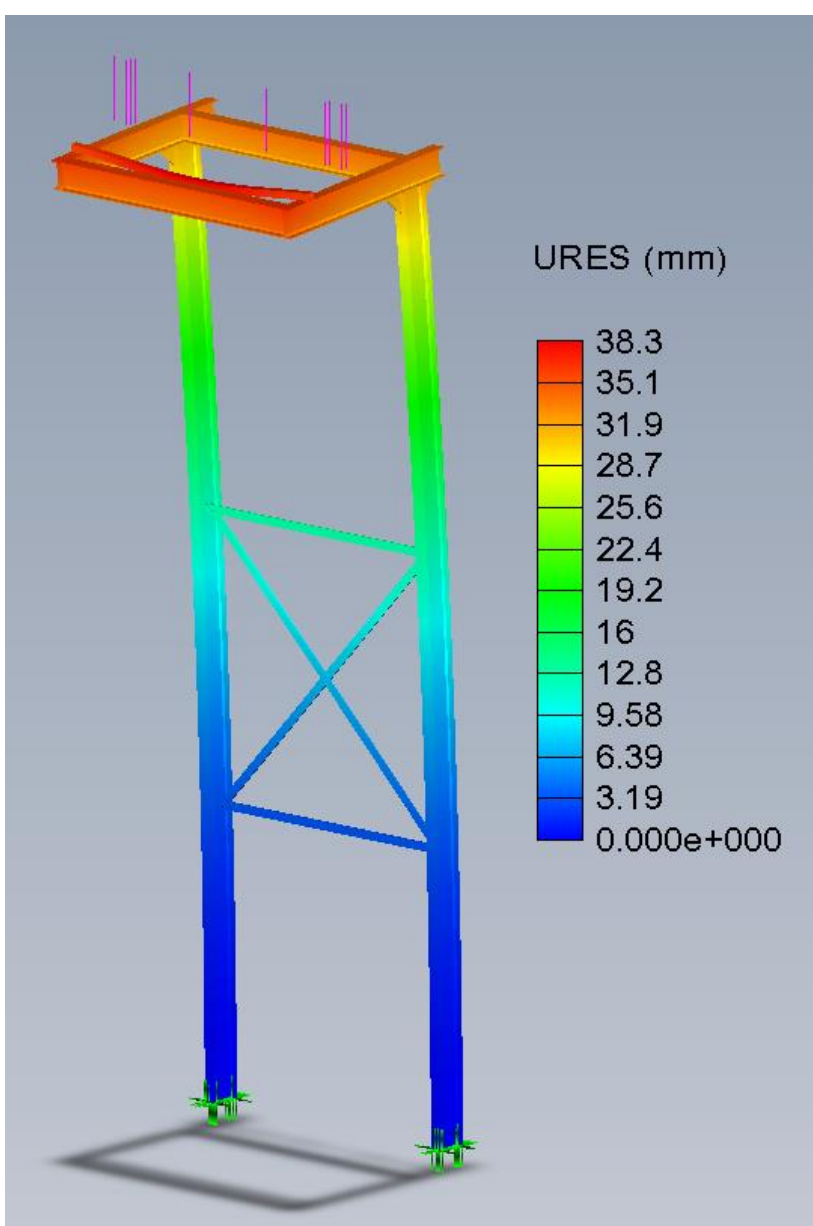
Analüüsist näib deformatsioon suurem eelnevate tulemustega võrreldes, kuid LEM 2 tulemuste deformatsiooni alla käib ka kogu I-tala raami paine. Saab järeldada, et raami konstruktsioon püsib stabiilsena ka ilma raami tipus oleva seinäühendusega.



Joonis 4.2 LEM 2 läbipainde väärtus kogu koostul

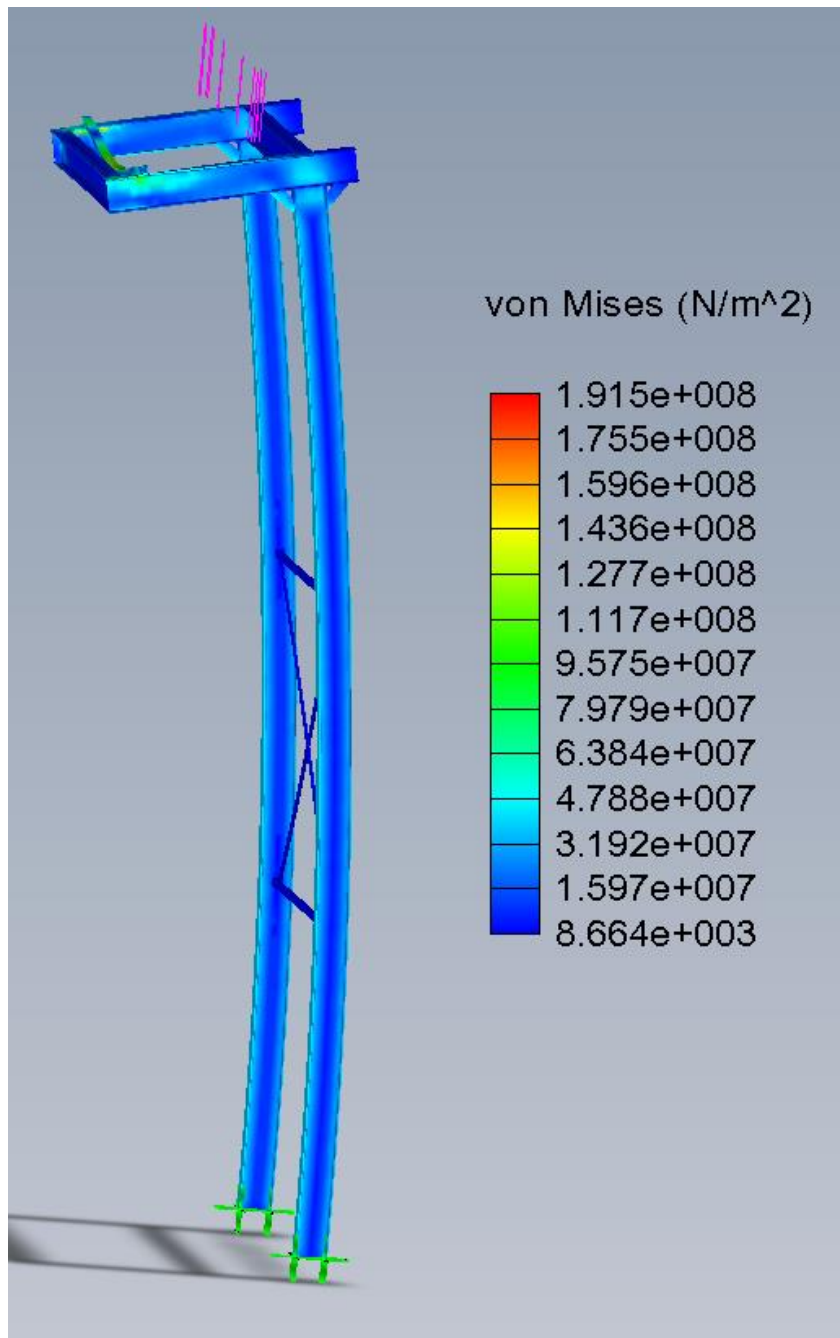
### 4.1.3 LEM 3

Kolmandaks tugevusarvutuseks lisasin lisatoe 50x50 mm nelikant toru kõrvale, mis aitab deformatsioone vähendada (kuid mitte piisavalt). Lisasin veel toed horisontaalsetele välja ulatuvatele I-taladele, mis aitab ühenduses kriitilisi pingeid vähendada. Nüüd deformeerub kogu ülemine raami osa eelnevalt vaid nelikant torule, mis tegelikult on hea. Tähendab, et raam hakkab ka koormusi vastu võtma, kogu raam paindub ühe objektina ning on üheselt sujuvalt koormatud. Lisaks jäävad koormused lubatud piiridesse. Terase voolavuspiir on analüüsis toodud ühikutes  $N/m^2$ , kuid kriitiliseks koormuseks võib lugeda olenevalt materjalist lugeda  $235 N/mm^2$  ( $235\ 000\ 000 N/m^2$ ) [5]. Mida madalama voolavuspiiri saan, seda teoreetiliselt odavam materjali saan raami konstrueerimisel kasutada.



Joonis 4.3 LEM 3 Läbipainde väärtus kogu koostul

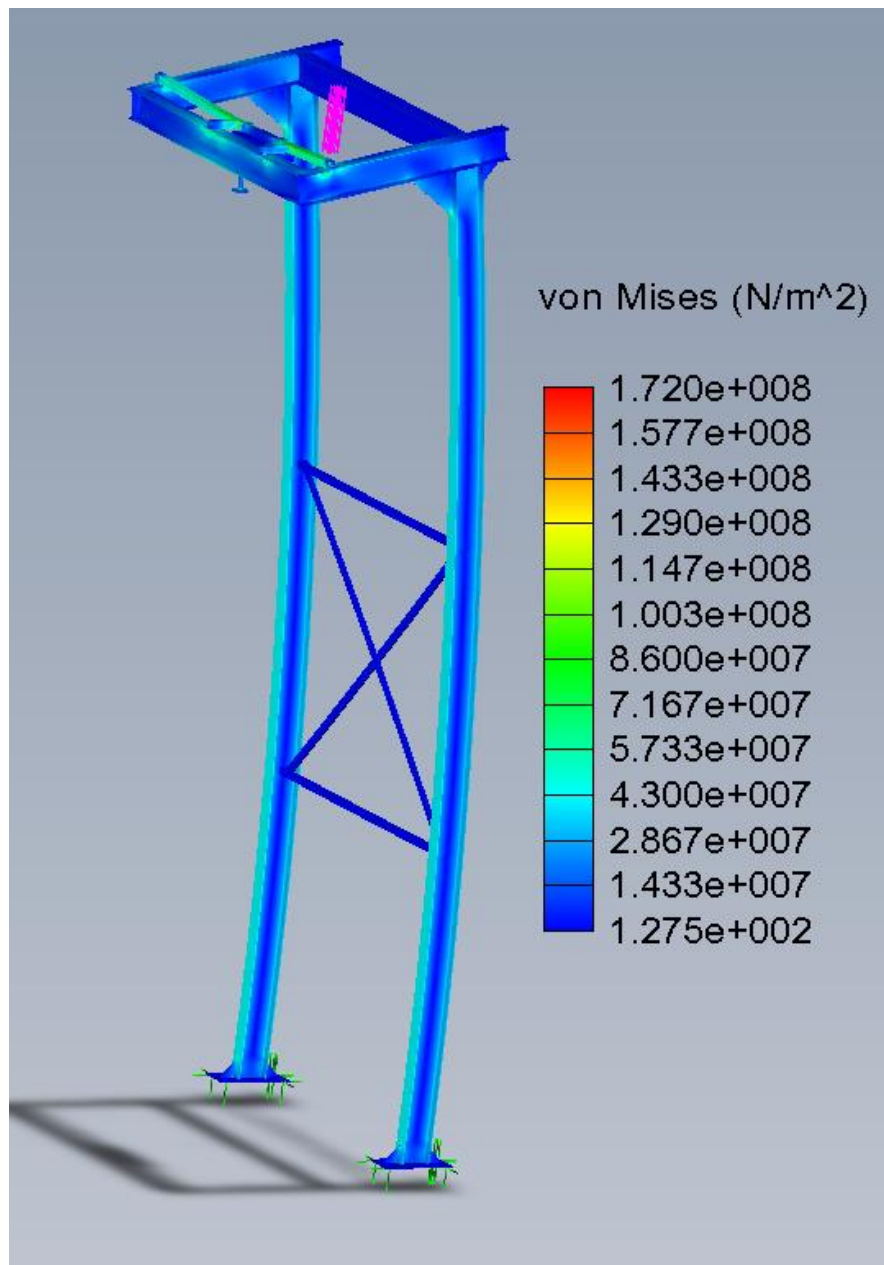




Joonis 4.4 LEM 3 koostu voolavuspiir ühikutes N/m<sup>2</sup> (lubatud alla 235x10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup>) [5]

#### 4.1.4 LEM 4

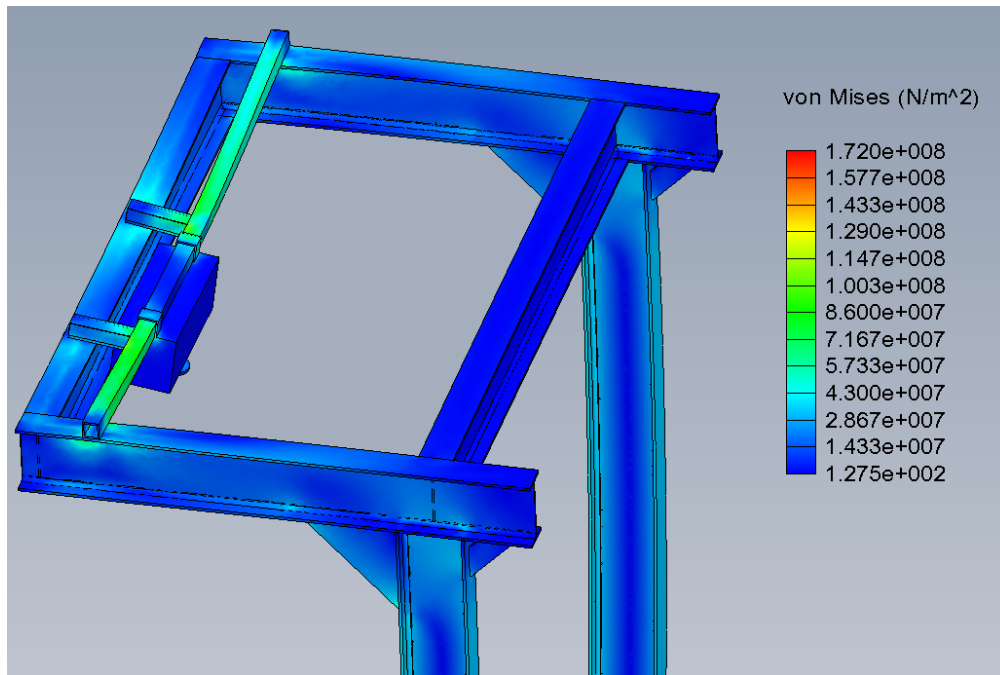
Neljanda analüüsi täiustuseks lisasin koostule juurde kasutatava vintsi mõõtu lihtsustatud mudeli ning muutsin koormuse (12000 N) asukohta 50x50 mm nelikant torult vintsile. Lisaks lisasin raami koormuste vähendamiseks jalgade põhja tallad betoonpõranda külge ja lisatugevdused 50x50 mm nelikant toru külge vintsi kohale.



Joonis 4.5 LEM 4 koostu volavuspiir ühikutes N/m<sup>2</sup> (lubatud alla  $235 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>) [5]

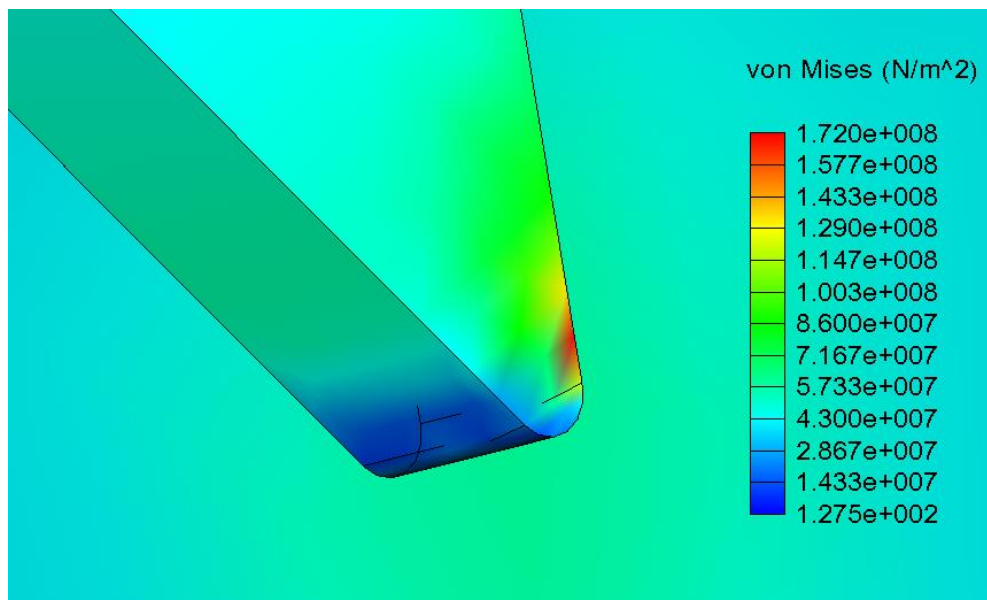
Tulemustest saab järeldada, et lisatugevdused aitavad. Sisekoormused langesid kogu koostu piires. 50x50 mm tala on koormatud alla poole lubatud volavuspiiri.



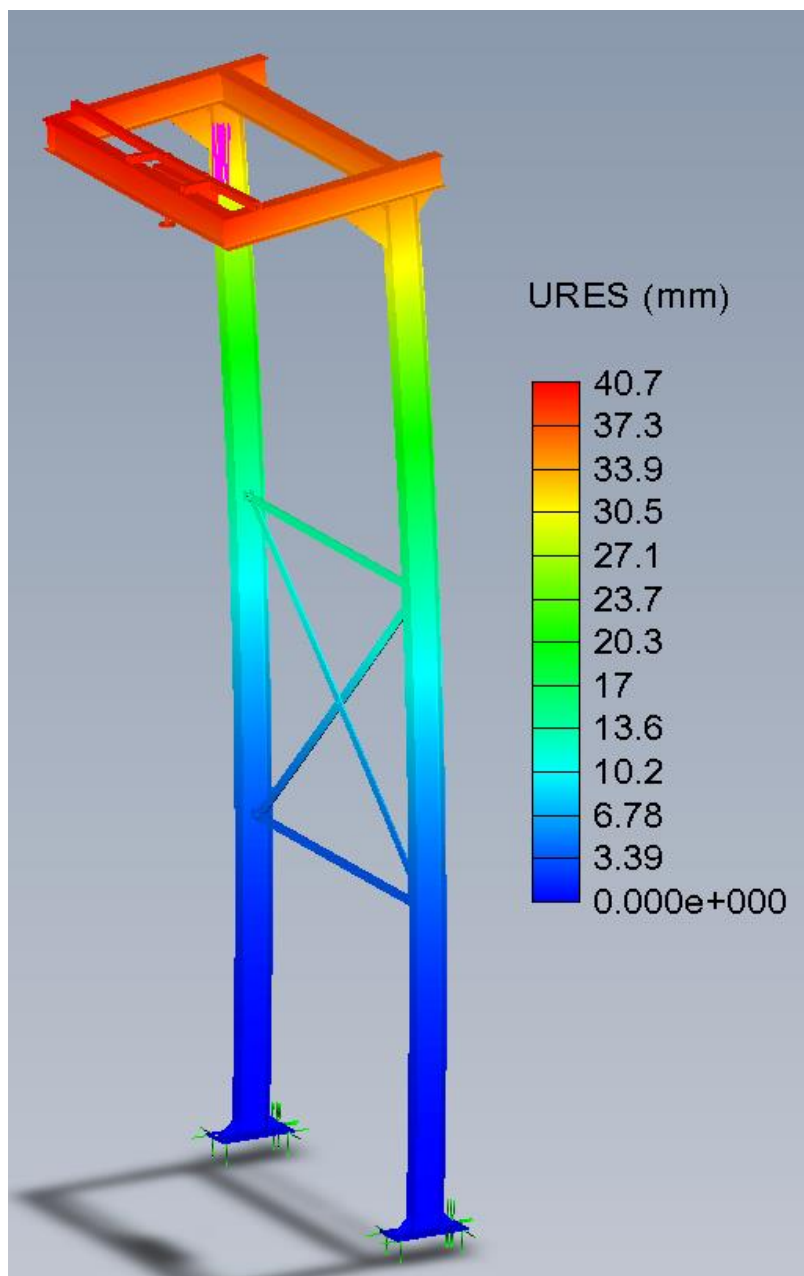


Joonis 4.6 LEM 4 nelikant toru voolavuspiir ühikutes N/m<sup>2</sup> (lubatud alla  $235 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>) [5]

Mudeli lähemal vaatlusel selgus, et koormused on kõrged tänu väikesemahuliste kriitiliste nurkpingetele osade detailide kontaktpindadel. Neid pingeid saab vähendada, kui vältida teravaid nurki ja raadiuseid.



Joonis 4.7 LEM 4 kriitilised nurkpinged detailide vahel

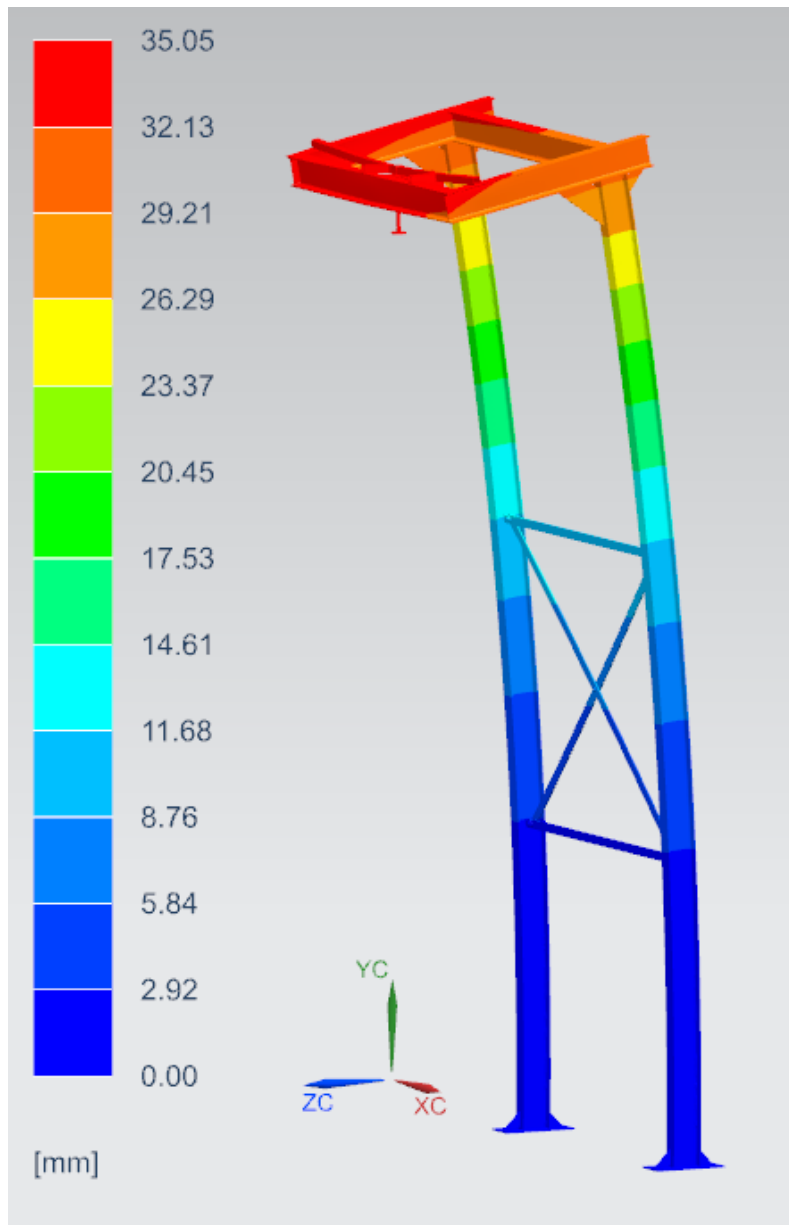


Joonis 4.8 CAD programmi Solidworks 2016 kogu koostu deformatsioon

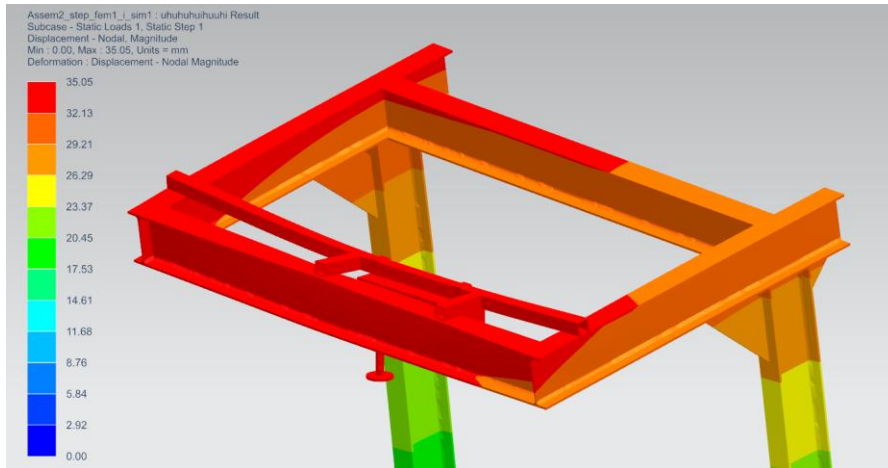
Kokku paindub kogu raam 35 kuni 40 mm oma algsest asupaigast välja poole. Tähendab, et kärude tõstmisel ja trossist kinnituste paigaldamisel tuleb sellega arvestada, et kolm kärü ikkagi üksteise alla ära mahuksid ning ruumiprobleeme ei ilmneks. Hetkel on varu iga kärü vahel projekteeritud 100 mm ja enamgi, kui kärudel rattad alt ära võtta (mis tegelikult on juba tehases tehtud, sest leiti parem lahendus kärude liigutamiseks).

Pärast kontakteeruvate detailide nurkade faasimist võib eeldada, et probleeme raami tugevusega ei ilmne juhul kui raami üle ei koormata. Raami tähtsaimal 50x50 mm nelikant torule langeb

koormus maksimaalselt 150 N/mm<sup>2</sup> (lubatud 235 N/mm<sup>2</sup>). Juhul kui hakkab ilmne ma raami töö käigus probleeme ning silmnähtavaid purunemise ja deformatsiooni märke tuleb detail ilmtingimata välja vahetada ning kasutada detaili valmistamiseks tugevamat materjali (näiteks S275 või S355 praeguse S235 asemel). [5]



Joonis 4.9 CAD programmi Siemens NX 12 kogu koostu deformatsioon



Joonis 4.10 CAD programmi Siemens NX 12 nelikant toru deformatsioon

## 4.2 Vinnastus-mehhanism

### 4.2.1 Elektrivints

Plaan on kasutada vintsi FORAVER Electric Hoist Lift, mida on ostutootena võimalik tellida. Toode on valmistatud Hiinas. [6]

Tabel 4.1 Vintsi andmed [6]

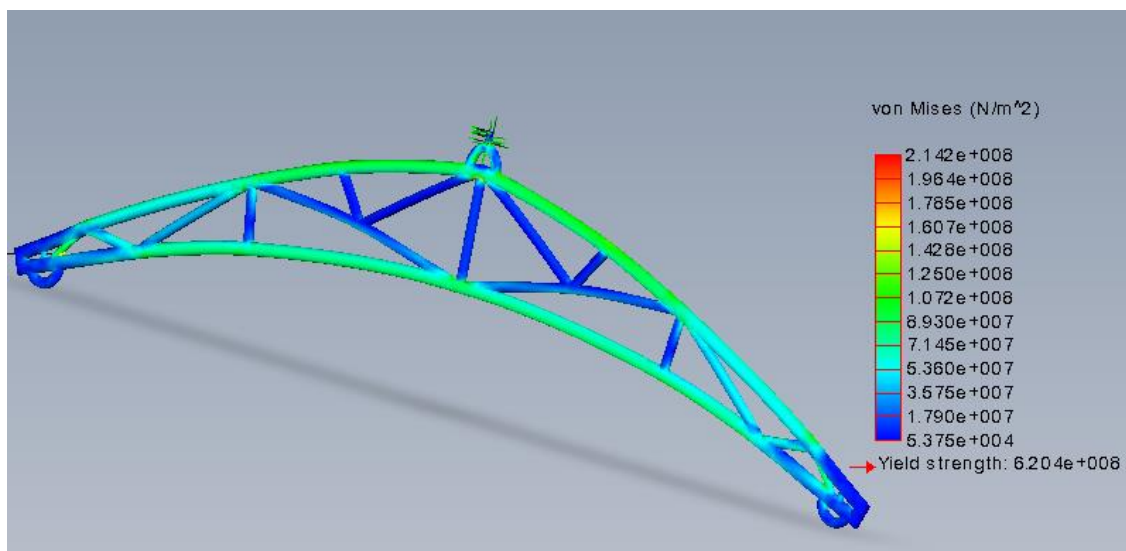
Kandevõime	1000 kg
Tõstekiirus	4 m/min
Hind	174 €

Vints sai valitud, sest kandevõime on lubatud 1000 kg, mis on kõrgeim, mis turul sellise hinnaga saadaval, vints tuleb kaasa mugava elektrilise puldiga ning on hämmastavalt odav (174 €, mis on odavam kui osa kasutatavaid raami terasdetalle). Vintsi kandevõime võiks olla suurem, et jääks tõstmisel varu (näiteks 1200 kg). Maksimaalselt koormatud kaks kärü kaaluvadki täpselt 1000 kg, seega oleks hea kui vintsi üle ei koormata. Õnneks värvitakse tehases laudist, mis sellise suure kaalu kätte annab väga harva (Siberi lehis on kaalu poolest kõige raskem fassaadilaudis, mida tehases värvitakse). [6]



Joonis 4.11 Vints FORAVER Electric Hoist [6]

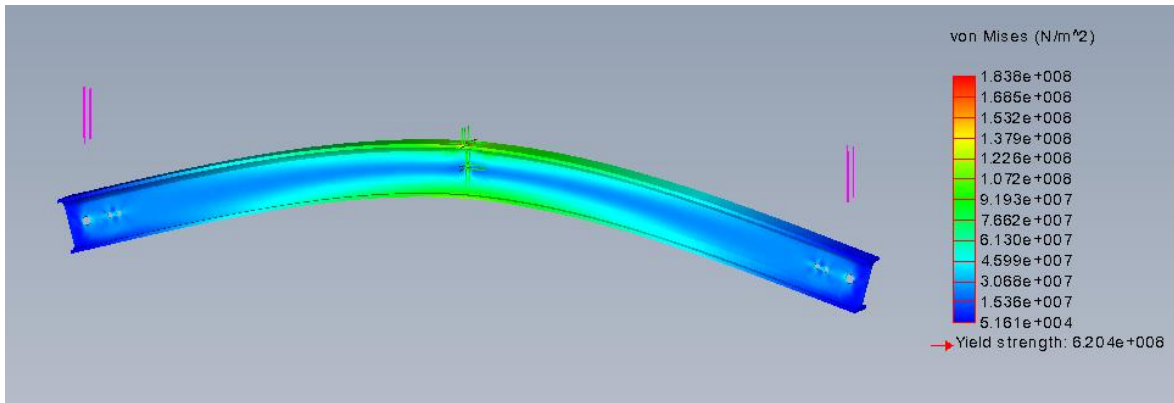
#### 4.2.2 Kinnitus kärule



Joonis 4.12 Kinnitus vintsilt kärule LEM katusefermide stiilis, volavuspiir ületatud

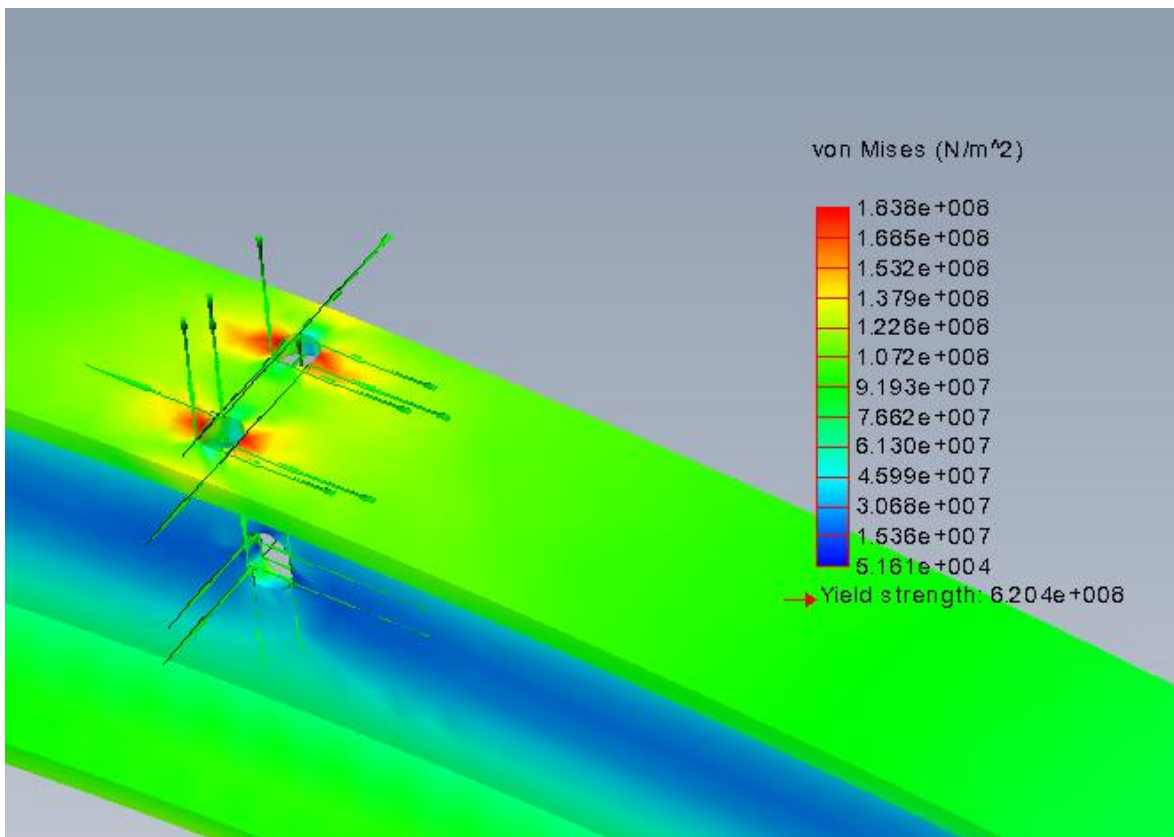
Lisaks tuli projekteerida ühendus vintsilt kärudele. Esialgu võtsin eesmärgiks disainida katusefermi põhimõttel ümartorust „riidepuu“ laadne kinnitus, kuid see osutus keeruliseks. Tugevusarvutuse tulemusel oli raamistik liigselt üle koormatud ning ma ei suutnud seda raami piisavalt optimeerida,

et tugevus tagatud saaks. Isegi kui lahenduse tööle oleks saanud, siis raamistiku valmistamine oleks liigselt kallis.

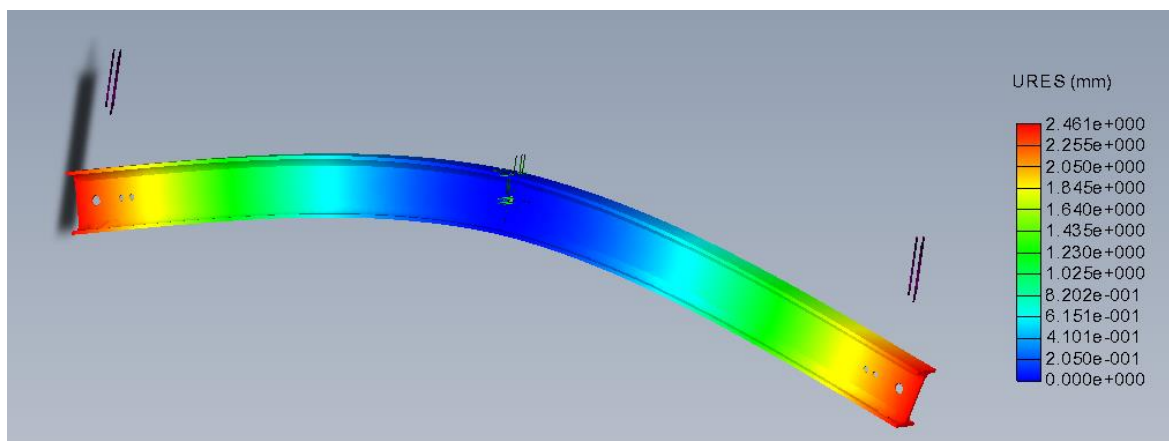


Joonis 4.13 Kinnitus vintsilt kärule LEM I-tala stiilis, voolavuspiir ületatud

Järgnevalt tuli idee kasutada I-tala, mis on kordades odavam, lihtsam ning tõenäoliselt võtab koormused probleemideta vastu. Tugevusarvutustelt on värvi põhjal näha, et tala ise on koormusest vaba, kuid pingeid tõstavad tala keskel paiknevad avad, kuhu tross kinnitub. Need pinged ei ole usutavad, sest analüüsis on üles seatud avadesse fikseeritud tugi. Tegelikult kinnitub avadesse tross, mis deformeerub tala asemel. Avade pingeid arvestamata on talal pinged maksimaalselt 120 N/mm<sup>2</sup> piires, mis jääb lubatud piiridesse ning tagab ohutu tööste.



Joonis 4.14 Kinnitus vintsilt kärule LEM I-tala stiilis, kriitilised pinged



Joonis 4.15 I-tala deformatsioonid (maksimaalne 2,4 mm)

### 4.3 Ohutus

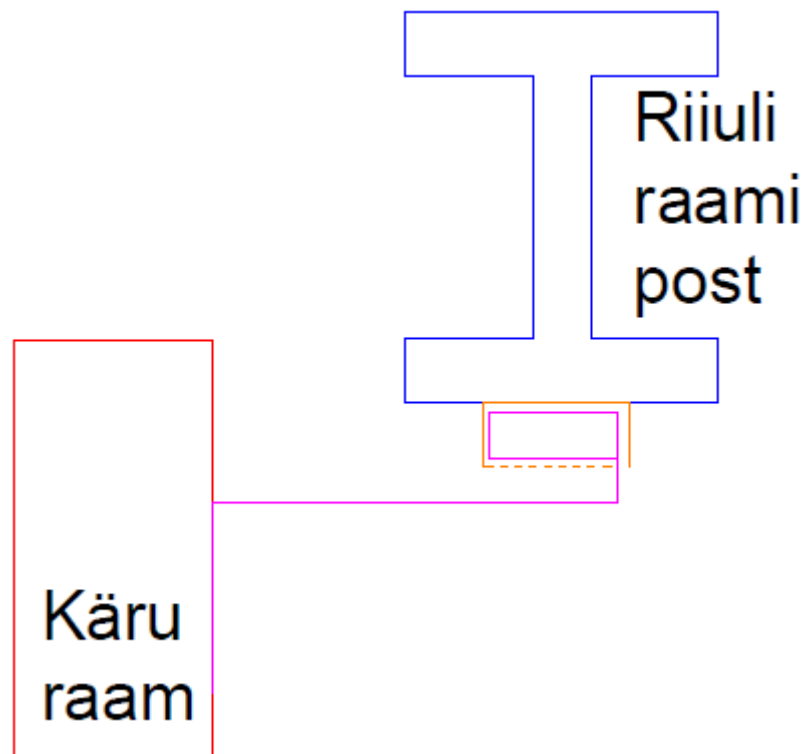
Käesoleva projekti käigus planeeritava seadmega kaasneb hulk ohtusid. Peamiselt esineb oht puitmaterjali kukumisega kärult või koos käruga kõrgelt tekitades võimalikku inimvigastusi või muud materiaalselt kahju. Puitmaterjali tõstemehhanism ja sellega kaasnevad lisad on projekteeritud vastavalt, et vältida õnnetusi nii inimeste, masina kui ka puitmaterjaliga. Terasdetailide voolepiiril on umbes kahekordne varutegur ning vajadusel saab seda tõsta kasutades tugevamat terase marki. Lisaks on vintsil küljes pidur, mis ei lase elektri katkemisel või mootori peatumisel kärudel pörandale kukuda.

Teisi ohutust suurendavaid abinõusid on raske rakendada. Käsitlen projekti kui ruumisäästliku riulit, kuid potentsiaalsed ohutusabinõud piiravad lahenduse toimimist. Näiteks piire või aedik ümber konstruktsiooni raskendab suuresti kärudega ligipääsetavust ning nende kinnitamist vintsi külge. Samuti ei pea õnneks kahveltõstuki piiret konstruktsiooni ümber paigaldama, sest raami jalad on sein ääres ning sinna tõstukiga niikuinii ei pääse. Ohutus on ka tagatud rippuvate kärude stabiilsusega. Töölised ja töökeskkonda ei saa samuti pritsmete ega tilkuva värvi eest päästa tõhusamalt kui kasutada lihtsalt varianti, kus laudisel lastakse kuivada paar minutit maa peal ning alles siis lae alla tõsta.

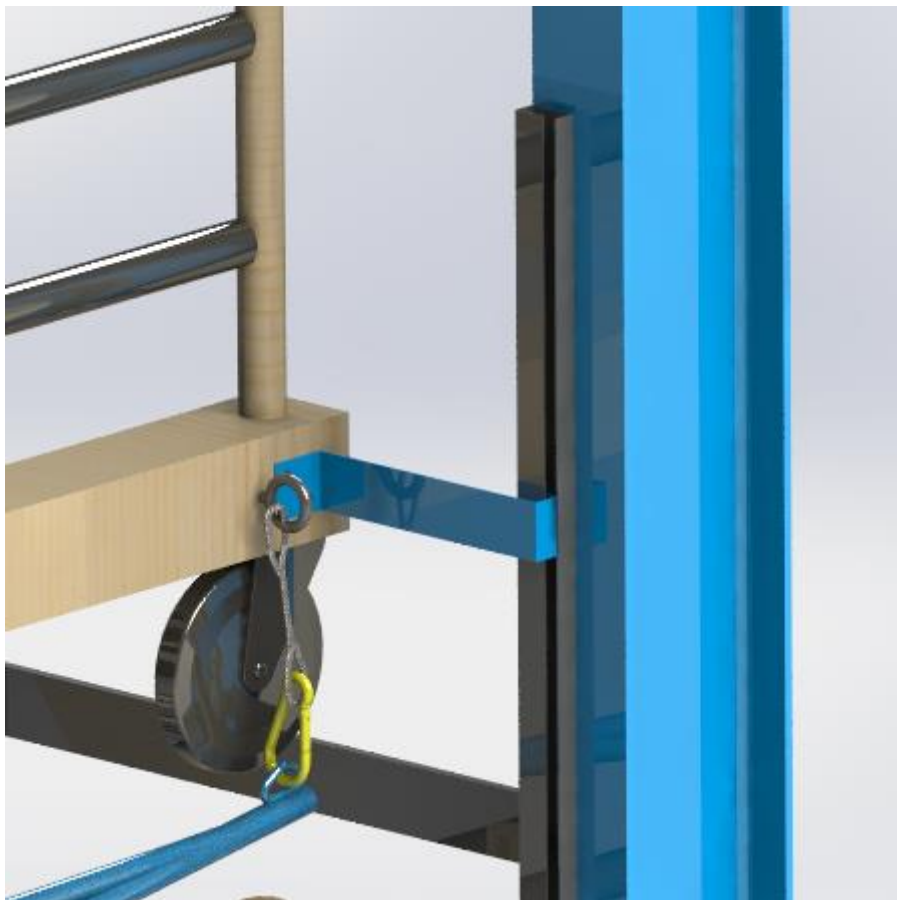
#### 4.3.1 Kärude stabiliseerimine

Seoses vintsi kasutusega hakkab kärude suure tõenäosusega trossi otsas igas võimalikus suunas kõikumise ja kiikumise. Stabiilsuse ja ohutuse tagamiseks tuleb kasutada eraldi ühendusi põhiraami ning kärude vahel.





Joonis 4.16 Eskiis stabilisaatori tööpõhimõttest



Joonis 4.17 Tugidetail (käpp) stabilisaatorisse kinnitatud [7]





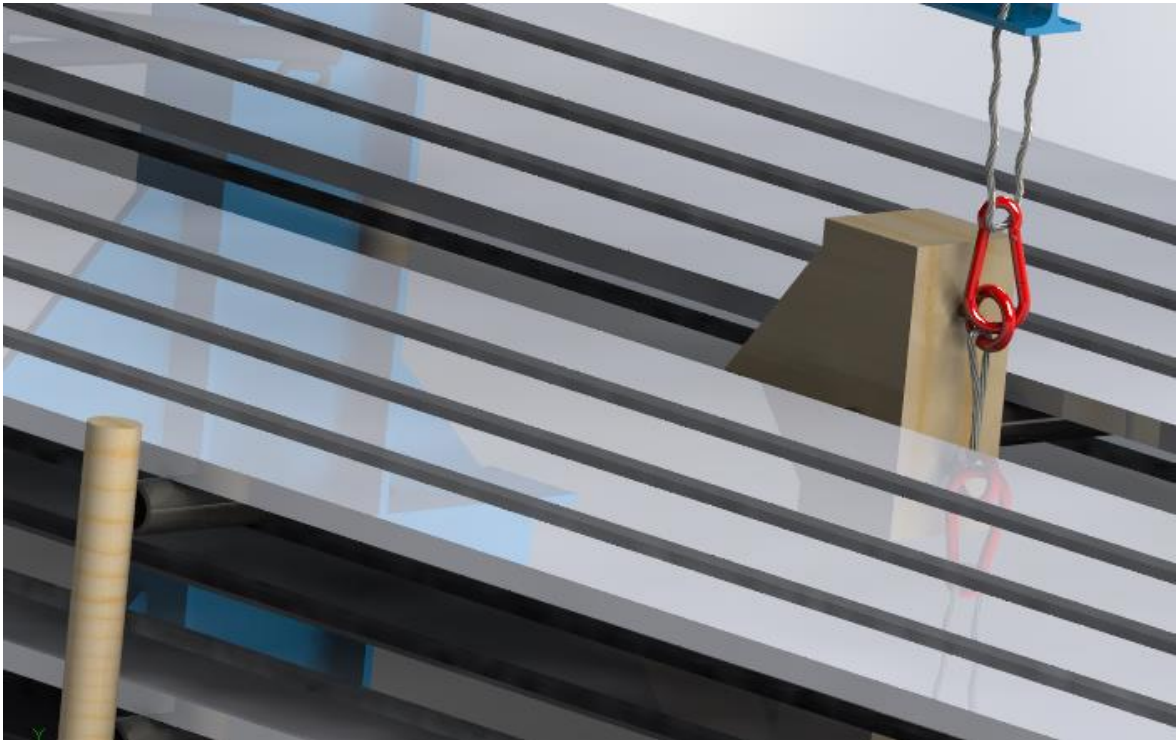
Joonis 4.18 Stabilisaatori nelikant profiil alt laienev

Projekteerisin käru jala külge eraldi välja ulatuva käpa, mis kärude vintsi külge kinnitamisel peab põhiraami küljes olevasse avasse sisenema. Sisestamise lihtsustamiseks on põhiraami külge kinnitatud juhtprofiil altpoolt laiem ning avaram, et tööline ei peaks üleliia vaeva nägema ja aega raiskama stabilisaatori ühendamiseks. Juhtprofiil on planeeritud valmistada osaliselt nelikant profiilist, kuhu sisse lõigatakse ava piki profiili ning laiem altpoolt avanev karp tuleb eraldi valmistada ja kokku keevitada.

#### 4.4 Viimane täiustus

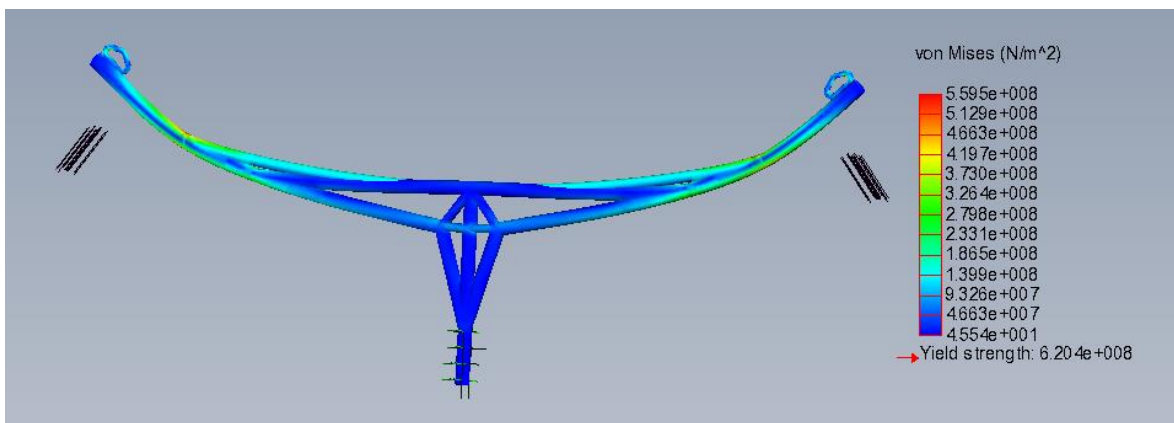
Lahenduse töökindluse kontrollimisel ilmnis selge probleem. Tööline ei ulatu trossi karabiiniga käru külge kinnitama, kui kinnituspunkt asub käru külje keskosas ning käru samal ajal pikema kui 4

meetrise puitmaterjaliga koormatud. Kokkuvõttes tähendab, et käru kinnituspunkti tuleb liigutada nii, et oleks tagatud efektiivne ja kiire käru kinnitus vintsi trossi külge.

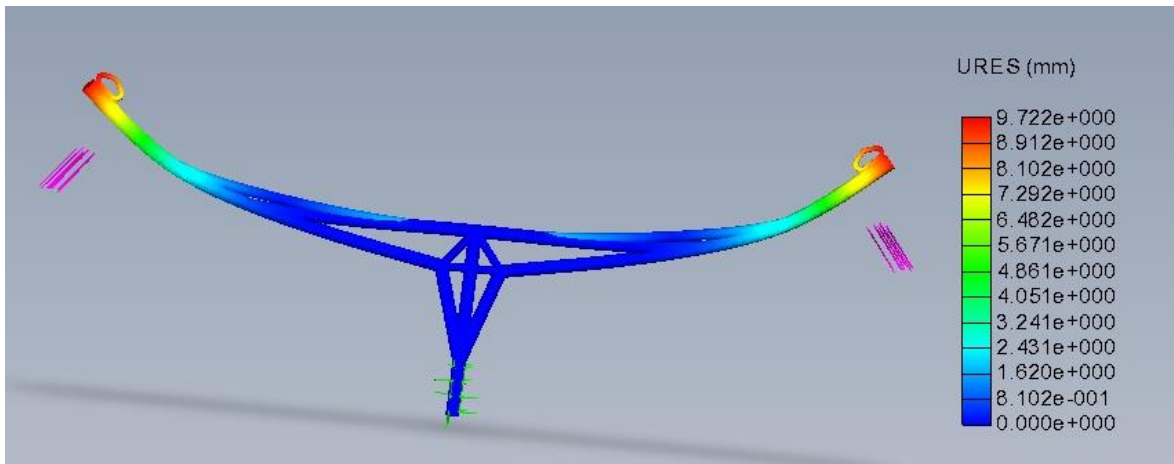


Joonis 4.19 Töoline ei ulatu üle puitmaterjali käega käru vintstile kinnitama [7]

Lahendus on tuua konksud käru külgedele. Selleks on vajalik käru külge projekteerida eraldi aasad, kuhu saab vintsi trossi või teise pealmise käru kinnitada. Viisin läbi veel ühe tugevusanalüüsi, kus fikseerisin joonisel 4.20 näha oleva detaili alt poolt (käru küljes) ning väljaulatuvate otsade peale avaldasin koormuse, mida kärude raskus tekitab. Raamistik on planeeritud valmistada ümartorust läbimõõduga 25 mm ning paksusega 2 mm.

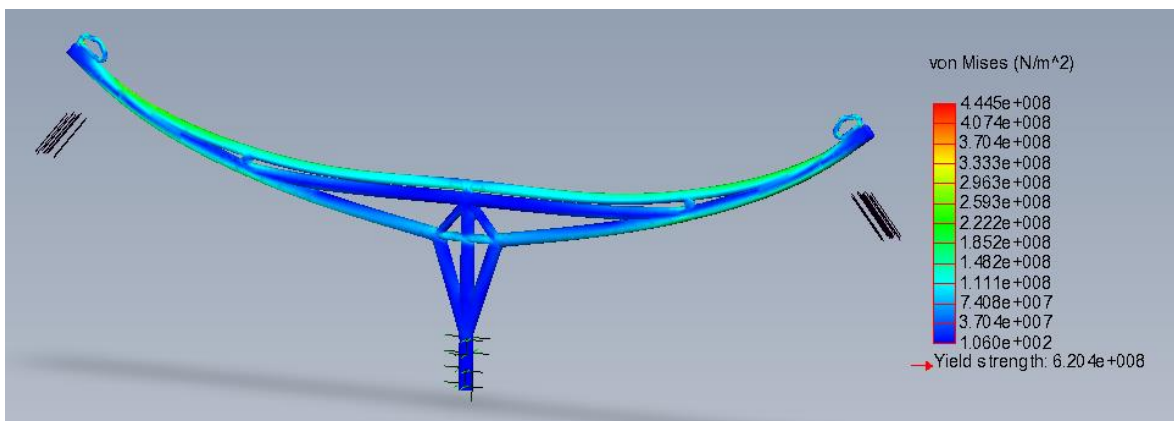


Joonis 4.20 Kärude väljaulatuv kinnitusdetail LEM 1, voolavuspiir ületatud

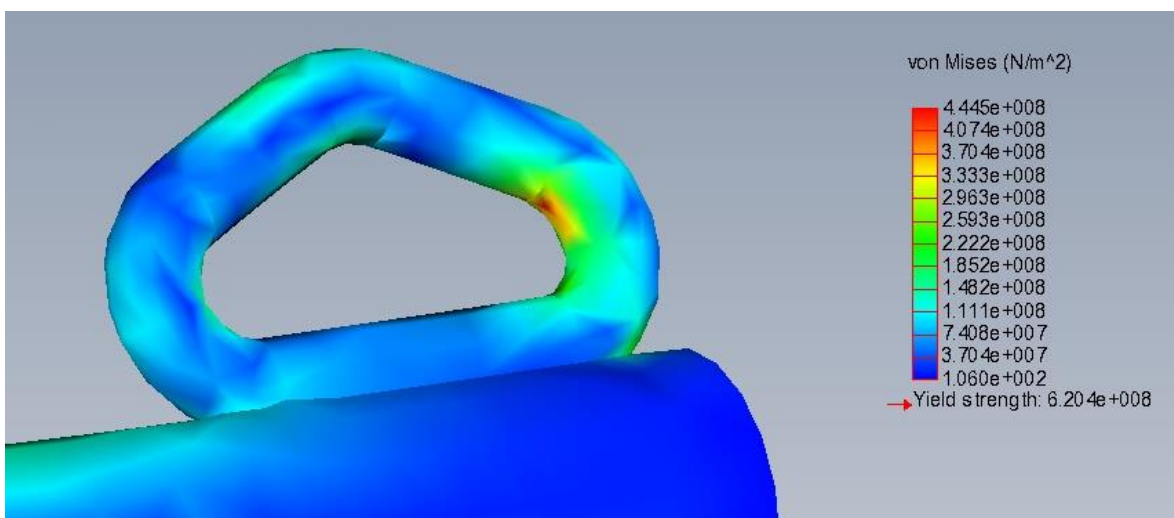


Joonis 4.21 Kärude väljaulatuv kinnitusdetail LEM 1, deformatsioon pea 10 mm

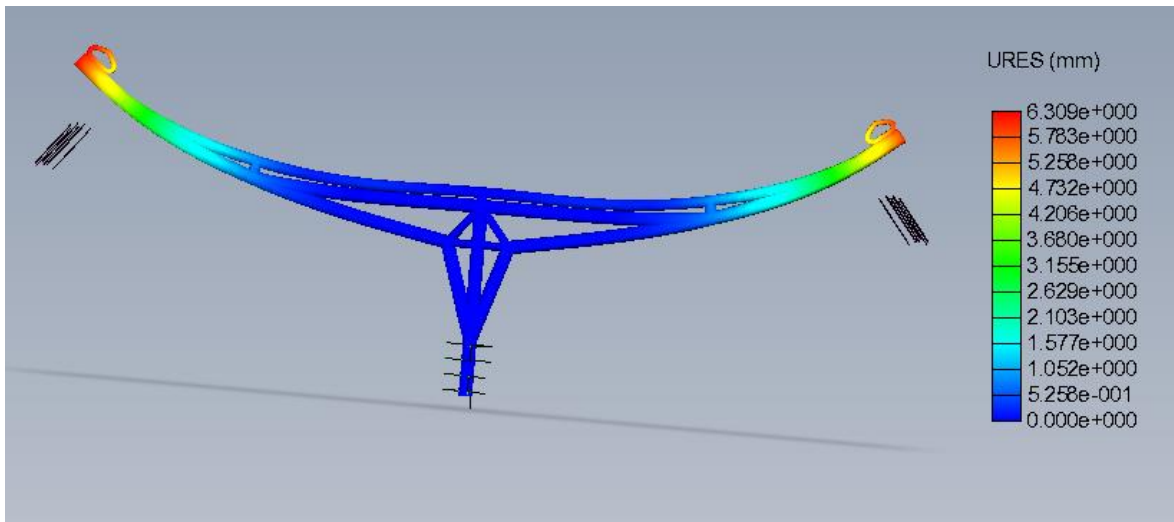
Esimese analüüsi käigus selgus, et konstruktsioon ei pea koormusele vastu ning puruneb ottest. Lisasin teise analüüsi jaoks tugevdusi kogu raamistiku ulatuses, mille tulemuse on näha joonistel 4.22, 4.23 ning 4.24.



Joonis 4.22 Kärude väljaulatuv kinnitusdetail LEM 2, voolavuspiir ületatud

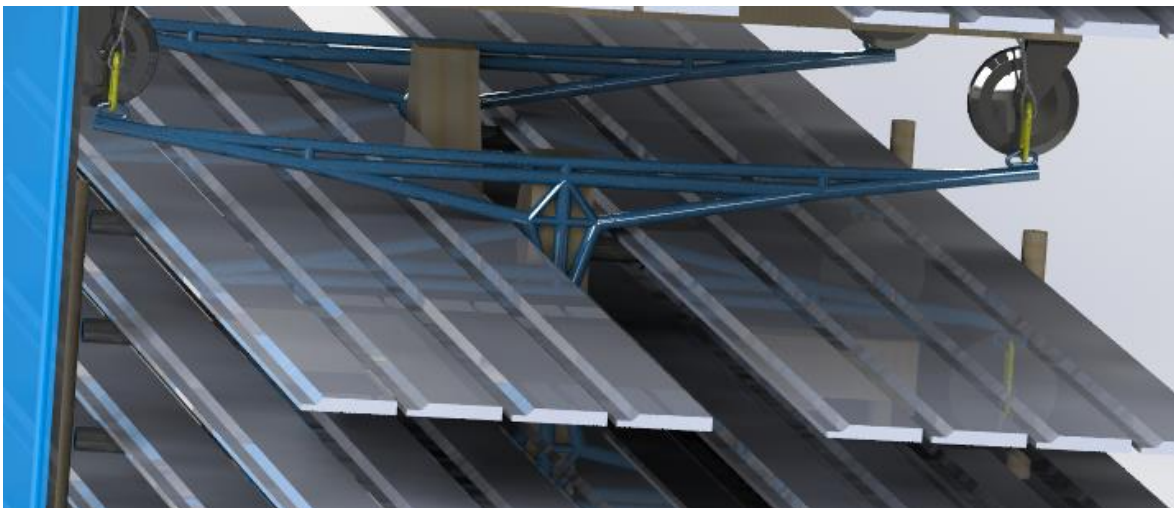


Joonis 4.23 Kärude väljaulatuv kinnitusdetail LEM 2, voolavuspiir ületatud, kriitilised pinged



Joonis 4.24 Kärude väljaulatuv kinnitusdetail LEM 2, deformatsioonid maksimaalselt 6,3 mm

Antud lahendus sobib, sest ületatud kriitilised pinged on jällegi seotud suuresti analüüsi läbiviimise käigus CAD programmile etteantud jõududest ning nende fikseerimisest ja suunast. Tegelikus olukorras ei ole koormus kinnitatud detaili pinnale nagu LEM seda hetkel teeb, mis tagab suured koormused väljaulatuvate konksude küljes. Üldiselt tegemist küllaltki keerulise detailiga, mis peab olema piisavalt väike ning tagasihoidlik, et ei jääks ette tööliste laudise laadimise etapis. Suurem konstruktsioon võib kärü ülemise ladustamistaseme funktsiooni rikkuda – nagu näha joonisel 4.25, kus laudis peaaegu puutub projekteeritud raamistikku.



Joonis 4.25 Kärude väljaulatuv kinnitusdetail ja puitmaterjali ühilduvus

## 4.5 Koostamine, materjalid, hind

Märkuseid hinna kohta:

1. Hinnad ümardatud täisarvudeks

2. Hindadel juures käibemaks 20%
3. Kogustele arvestatud juurde 10% varu
4. Keevituse hind eeldatud. Ettevõttes olemas keevitaja paberitega töötaja, seega saab odavat hinda.
5. Hinnad võivad aja jooksul muutuda. Lõplik tegelik hind võib kasvada.
6. Värvimine arvestatud käsitsi värvimine tehases koha peal.
7. Lõikamise hind eeldatud. Lõikamist saab teostada ka tehases koha peal.

Tabel 4.2 Detailide hinnanimekiri

Nr	Detail/teenus	Kogus	Hind (€)	Lisamärkus
1	TALA IPE 200 teras S235/275JR+AR [8]	22 m	710	2x12 m
2	TALA IPE 100 teras S235/275JR+AR [8]	1,7 m	30	
3	Nelikant toru 50x50 teras S235JR [9]	2,6 m	192	
4	Elektrivints 1000kg [6]	1 tk	174	
5	Ümartoru 25x2mm teras S235JRH [10]	24 m	68	4x6 m
6	Teraslatt 30x10x4000 AISI 316 [11]	16 m	354	4x4 m
7	Nelikant toru 25x50 teras [12]	12 m	50	2x6 m
8	Teraslatt 200x10 S235 [13]	2 m	100	Raami nurgad, tald
9	Vintsi terastross 6 mm 7x19 [14]	5 m	18	
10	Terastrossi kinnitus [15]	22 tk	57	2,6 € tükk
11	Karabiinid 10mm 1900kg [16]	10 tk	27	2,7 € tükk
12	Konks teras 160x11,8x55x10 [17]	8 tk	28	3,55 € tükk
13	Kruvi 6x60 [18]	8 tk	31	3,9 € tükk
14	Polt M16x60mm [19]	4 tk	39	50 tükki karbis
15	Mutter M16 [20]	4 tk	9	50 tükki karbis
16	Kruvi 10x60 [21]	8 tk	13	1,67 € tükk
17	Betoonikruvi 12x75 RUSPERT [22]	8 tk	13	5 tükki pakis, 2 pakki
18	Ümartoru keevitus ~6500 mm	1 tk	500	Keevituskiirus, palk
19	Raami keevitus ~5000 mm	1 tk	500	Keevituskiirus, palk
20	Püstitamine/komplekteerimine	5 h	60	2 töölist, 6 € tund
21	Materjali lõikamine	10 h	500	
22	Transport	5 h	60	Erinevate detailide transport
23	Värvimine	25 tk	200	Mitme detaili siniseks värvimine
	Kokku:		3433	

## 5. KOKKUVÕTE

Magistritöö käigus sai käsitletud teema ruumisäästlik kuivatusriiul puitmaterjali värvimisliinile. Projekti teostus sai algselt alguse tuvastatud lahendatava probleemiga – läbi mõtlemata puitmaterjali ladustamisest tingitud kasuliku tootmispinna ruumipuudus. Järgnevalt proovisin kümnete välja mõeldud eskiiside ja kontseptsioonidega leida kõige optimaalsem lahendus selgunud probleemile. See hõlmas endas võimalike lahenduste kriitilist analüüsi välja toodud ettevõtte ja tehase kitsaste tingimuste poolt tingitud nõuete ja soovide põhjal ning lisaks ettekujutust näha iga kontseptsiooni töövõimelisena antud probleemses tehases. Viimaks, kui põhimõtteline lahendus sai paika pandud, sain hakata tegelema toote konstruktsiooni täiustamisega ja samaaegse lõplike elementide meetodil põhineva analüüsiga. Selle faasi käigus ilmes paar möödapääsmatut toote töövoime, kasutusmugavusega ning turvalisusega seotud probleemi, mille käigus tuli puitmaterjali kuivatuskärudele projekteerida juurde paar detaili, mis tagavad töölistele puitmaterjali riulile töstmise stabiilsuse ning mugavuse.

Valmis projekti põhjal võib öelda, et tootele esialgselt püstitatud eesmärgid said täidetud. Elektrivintsiga riul säästab nii tehaseruumi kui ka olulisel määral tööaega. Puitmaterjali saab vintsi abil ladustada kõrgemale kui ettevõttes olemasoleva kahveltõstukiga võimalik, töstmine toimub kordades kiiremini ning nõuab töstmiseks vaid ühte töölist. Projekteeritud riuli raam peab vastu täidetud kuivatuskärude poolt tekitavale koormusele. Lisaks sai riuli koguhind odavam kui algselt oodata oli, mis lubab tulevikus hetkel lihtsalt tootele võimalikke täiustusi ning parandusi.

Värviliini kuivatusriiuli edasiarendusel on palju potentsiaali. Praeguse magistritöö raames oli eesmärk luua odav ning lihtne töökindel variant, kuid tulevikus saab lisada süsteemi ka võimaliku kuivatusseadme, mis värvitud laudise ja muu puitmaterjali kuivamist kiirendaks. Lisaks saaks otse värviliini juurde projekteerida automaatse tõstuki, mis korjaks värvimasinast laudad otse kuivatuskärusse. Võimalik oleks luua kogu puitmaterjali värviliini automatiseeritud tootmisprotsess, kuid see nõuaks suuremat tehasepinda.

## 6. SUMMARY

In this Master's Thesis I covered the topic of a space-saving drying shelf for wood material painting line. The implementation of the project started with finding a solution to a problem that was identified – lack of space due to poor space management in the production factory. After that I came up with dozens of different potential solutions and drawings that could fix the problem in the most optimal way. It contained critical analysis of every possible solution I found based on the requirements made by the company and features of the factory. Lastly after the main idea of the solution was chosen, I got to designing and improving the design and structure of the shelf with finite element method analysis and CAD software. In this phase a couple of inevitable malfunctions with the product came to light, which impaired the products efficiency and ease of use. To fix these problems I added improvements to the wood material drying trolley.

Looking back on I can say that the aim of this project established earlier was fulfilled. An electric winch shelf saves both factory space and significantly frees up workers working time. Wood material can be raised higher with the winch than it is possible with an existing forklift and the lifting procedures speed is many times faster than the use of a forklift and regular stationary shelves. The designed shelf frame will withstand the load caused by the wood material trolleys. Finally, the total price of the shelf was cheaper than initially expected, which will allow for possible improvements and corrections to the whole system in the future.

There can be many potential improvements to make to the space-saving drying shelf. In this current project the main idea was to design and potentially produce a reliable but simple product. However, in the future it is possible to add an automated drying mechanism to the shelf, which would help with the drying speed of different painted wood materials. Additionally, it could be possible to attach a mechanism to the painting machine, which would automatically lift painted wood material straight onto the drying shelf or trolley. It is even possible to build a whole autonomous wood material painting production process, except it would require a whole larger factory surface.

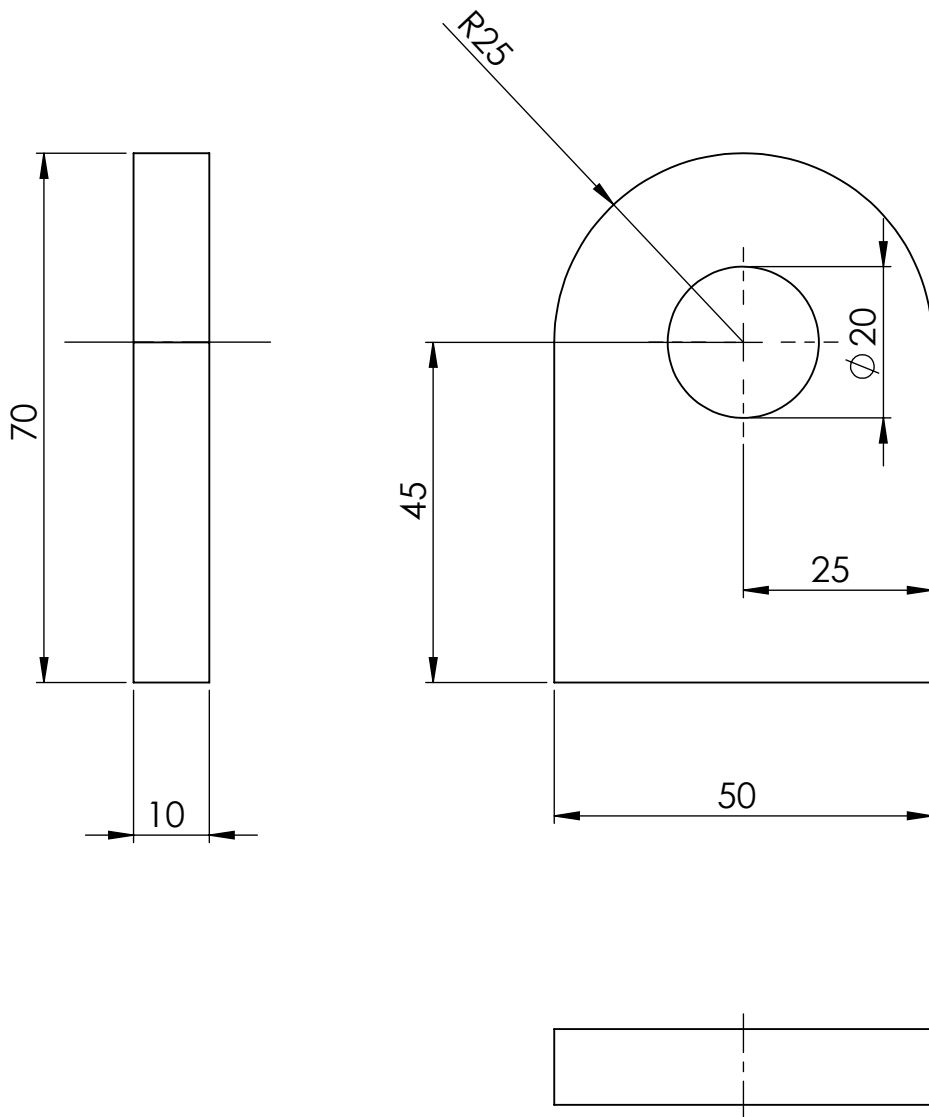
## 7. KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Värvimisautomaat saematerjalile, harjadega, Ceetec A250 – *Hansa Maaler*. [https://www.hansamaaler.ee/mod\\_catalogue\\_8757150decdbd89b0f5442ca3db4d0e0e\\_Vr](https://www.hansamaaler.ee/mod_catalogue_8757150decdbd89b0f5442ca3db4d0e0e_Vr) vimisautomaat-saematerjalile-harjadega-Ceetec-A250\_est (veebruar 2019. a.)
2. Laaserkaugusemõõtja WDM 3-12, Würth – *Aleksander Siilbaum Elekrikaup*. <https://www.elektrikaup.ee/elektriku-tooriistad/6892/laaserkaugusemootja-wdm-3-12-wurth-5709300508.html> (veebruar 2019. a.)
3. Shopping cart – *Grabcad*. <https://grabcad.com/library/shopping-cart--2> (veebruar 2019. a.)
4. Välisvoodrilaud UYVK peensaetud – *Puumerkki*. [http://www.puumerkki.fi/et/tooted\\_ja\\_kaubamargid/tooted/valisviimistlus/valisvoodrilaud\\_uyv\\_k\\_peensaetud.html](http://www.puumerkki.fi/et/tooted_ja_kaubamargid/tooted/valisviimistlus/valisvoodrilaud_uyv_k_peensaetud.html) (veebruar 2019. a.)
5. Structural Steel S235, S275, S355 – *AZOM materials*. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6022> (märts 2019. a.)
6. MSW Electric Hoist Winch – *Amazon UK*. [www.amazon.co.uk/MSW-Electric-Hoist-PROLIFTOR-resistance/dp/B07CGRF5NG/ref=sr\\_1\\_fknull\\_2?keywords=MSW+Electric+Hoist+Winch+PROLIFTOR+1000+%281000+kg&qid=1558179158&s=industrial&sr=1-2-fknull](http://www.amazon.co.uk/MSW-Electric-Hoist-PROLIFTOR-resistance/dp/B07CGRF5NG/ref=sr_1_fknull_2?keywords=MSW+Electric+Hoist+Winch+PROLIFTOR+1000+%281000+kg&qid=1558179158&s=industrial&sr=1-2-fknull) (märts 2019. a.)
7. Mountaineering buckle (carabiner) – *Grabcad*. <https://grabcad.com/library/mountaineering-buckle-carabiner-1> (aprill 2019. a.)
8. Tala IPE 200x12100 S235/275JR+AR – *Metall24*. <https://www.metall24.ee/tooted/tala-ipe-200x12100-s235-275jrar/tala-ipe> (aprill 2019. a.)
9. Nelikant 50x50 S235JR – *Metall24*. <https://www.metall24.ee/tooted/nelikant-50x50-s235jr/nelikantraud> (aprill 2019. a.)
10. El.keev toru 25x2,0x6000 S235JRH – *Metall24*. <https://www.metall24.ee/tooted/el.keev-toru-25x20x6000-s235jrh/el.-keevistoru> (aprill 2019. a.)
11. Tala IPE 200x12100 S235/275JR+AR – *Metall24*. <https://www.metall24.ee/tooted/rst-latt-30x10x4000-aisi-316/roostevaba-latt> (aprill 2019. a.)
12. Rst latt 30x10x4000 AISI 316 – *Metall24*. <https://www.metall24.ee/tooted/nelikantturu-50x25x3x6000-s235jrh/teras-s235> (aprill 2019. a.)
13. Latt 200x10 S235 – *Metall24*. <https://www.metall24.ee/tooted/latt-200x10-s235/teras-s235-79> (aprill 2019. a.)
14. Kiuline happekindel tross – *Dutyhook*. <https://www.dutyhook.eu/6-7x19-wire-rope-a4.html> (aprill 2019. a.)

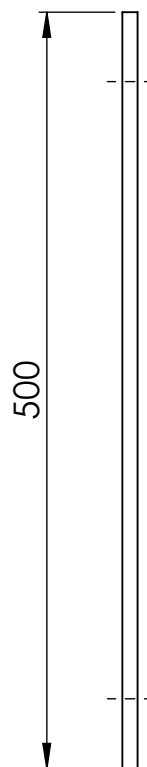
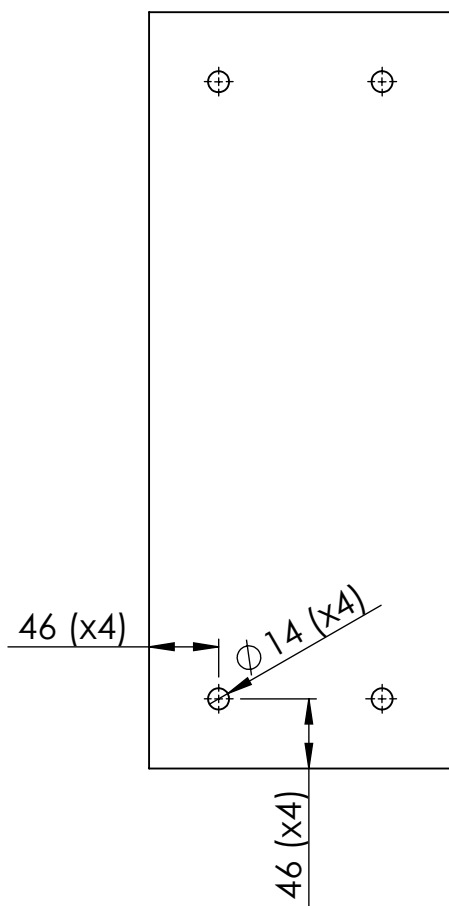
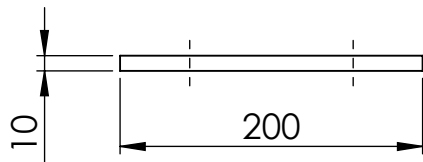


15. Terastrossi kinnitus – *Shadest*. <http://www.shadest.com/pood/terastrossi-kinnitus> (aprill 2019. a.)
16. Carbine snap hooks – *Wire Rope shop*. [https://wireropeshop.co.uk/wire-store/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=19\\_114&products\\_id=508](https://wireropeshop.co.uk/wire-store/index.php?main_page=product_info&cPath=19_114&products_id=508) (aprill 2019. a.)
17. Kiigekonks Suki – *Bauhof*. <https://www.bauhof.ee/et/rauakaubad-ja-kinnitusvahendid/trossid-koied-traadid/kiigekonks-suki-160x11-8x55x10-tsinkkattega-638807?refSrc=4372084&nosto=nosto-page-product1> (mai 2019. a.)
18. Kruvi 6x60 roostevaba – *Tööriistamarket*. <https://www.tooriistamarket.ee/et/kruvi-6x60-roostevaba> (mai 2019. a.)
19. Polt M16x60mm – *Tööriistamarket*. <https://www.tooriistamarket.ee/et/polt-m16x60mm-50tk-pakk> (mai 2019. a.)
20. Mutter M16 – *Tööriistamarket*. <https://www.tooriistamarket.ee/et/mutter-m16-50tk-pakk> (mai 2019. a.)
21. Kuuskant puidukruvi – *Kruvi*. <http://kruvi.ee/et/kuuskant-puidukruvi/214-10x60-kuuskant-puidukruvi-1-kg.html> (mai 2019. a.)
22. Betoonikruvi – *Bauhof*. <https://www.bauhof.ee/et/betoonikruvi-12x75-ruspert-5tk-eta-521864> (mai 2019. a.)

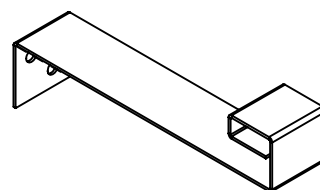
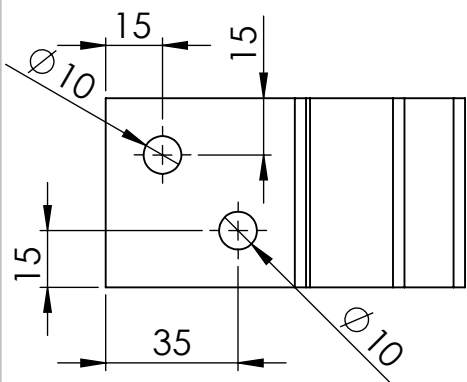




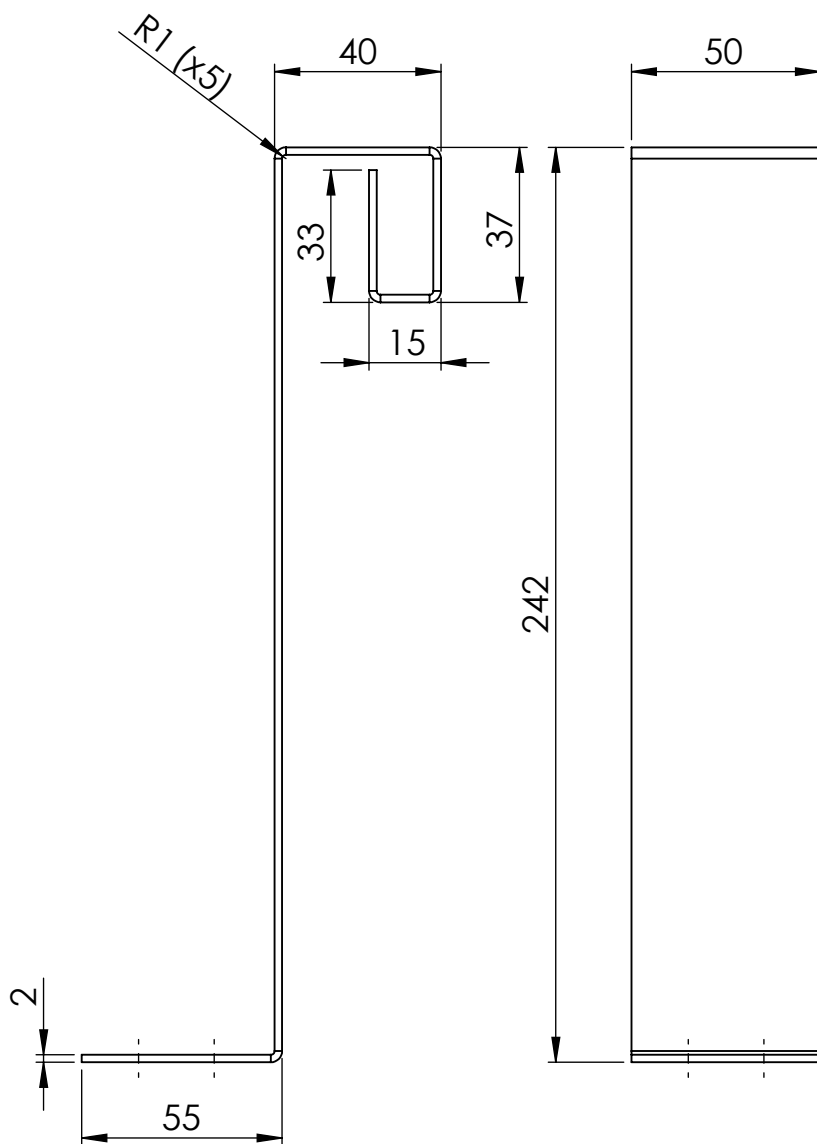
	<b>Materjal:</b> <i>Teras S235</i>		<b>Märkimata piirhälbed:</b> <i>ISO 2768 - c</i>	<b>Mass:</b>	<b>Mõõt:</b> <i>1:1</i>
	<b>Teostas</b> <i>Ingmar Aru</i>	<b>Nimetus:</b> <h1 style="text-align: center;">Kinniti</h1>			
<b>Kontrollis</b> <i>Toivo Tähemaa</i>					
<b>Kinnitas</b>					
<i>Taltech Inseneriteaduskond  Mehaanika ja tööstustehnika  instituut</i>		<b>Leht:</b> <i>1</i>	<b>Tähis:</b> <i>CAD.01.00.01</i>	<b>Formaat:</b> <i>A4</i>	



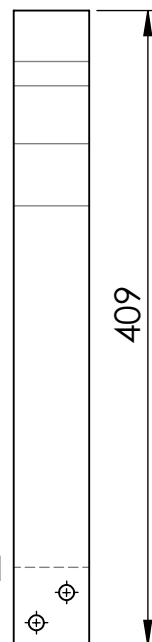
	<b>Materjal:</b> <i>Teras S235</i>		<b>Märkimata piirhälbed:</b> <i>ISO 2768 - c</i>	<b>Mass:</b>	<b>Mõõt:</b> <i>1:5</i>
	<b>Teostas</b> <i>Ingmar Aru</i>	<b>Nimetus:</b> <i>Raami tald</i>			
<b>Kontrollis</b> <i>Toivo Tähemaa</i>					
<b>Kinnitas</b>					
<i>Taltech Inseneriteaduskond  Mehaanika ja tööstustehnika  instituut</i>		<b>Leht:</b> <i>1</i>	<b>Tähis:</b> <i>CAD.01.00.02</i>	<b>Formaat:</b> <i>A4</i>	



MÕÕT 1:5



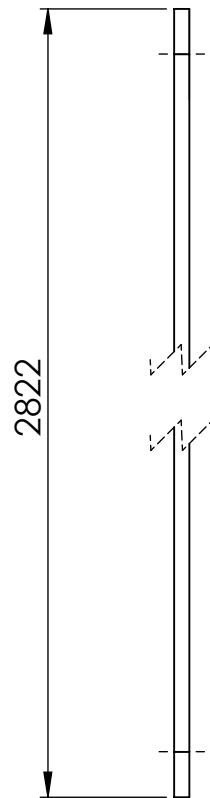
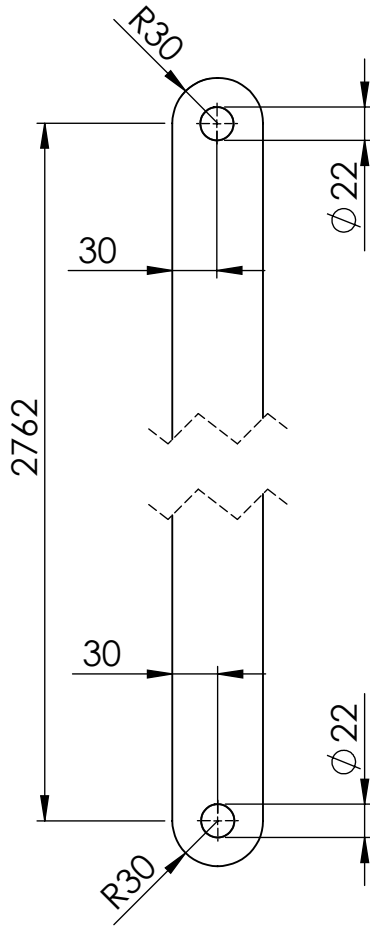
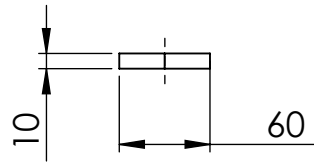
UP 90° R 1  
 UP 90° R 1  
 UP 90° R 1  
 UP 90° R 1



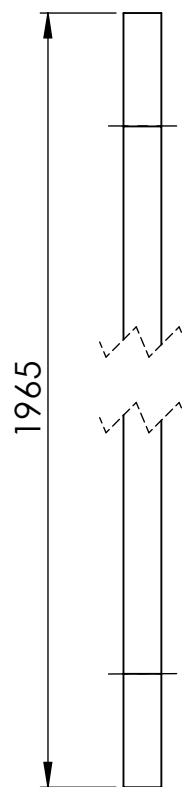
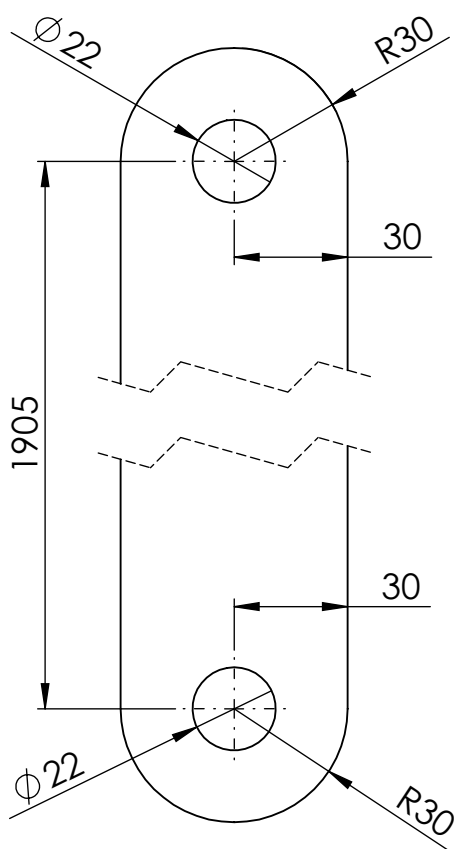
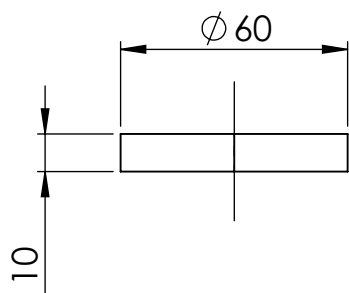
DOWN 90° R 1

MÕÕT 1:5

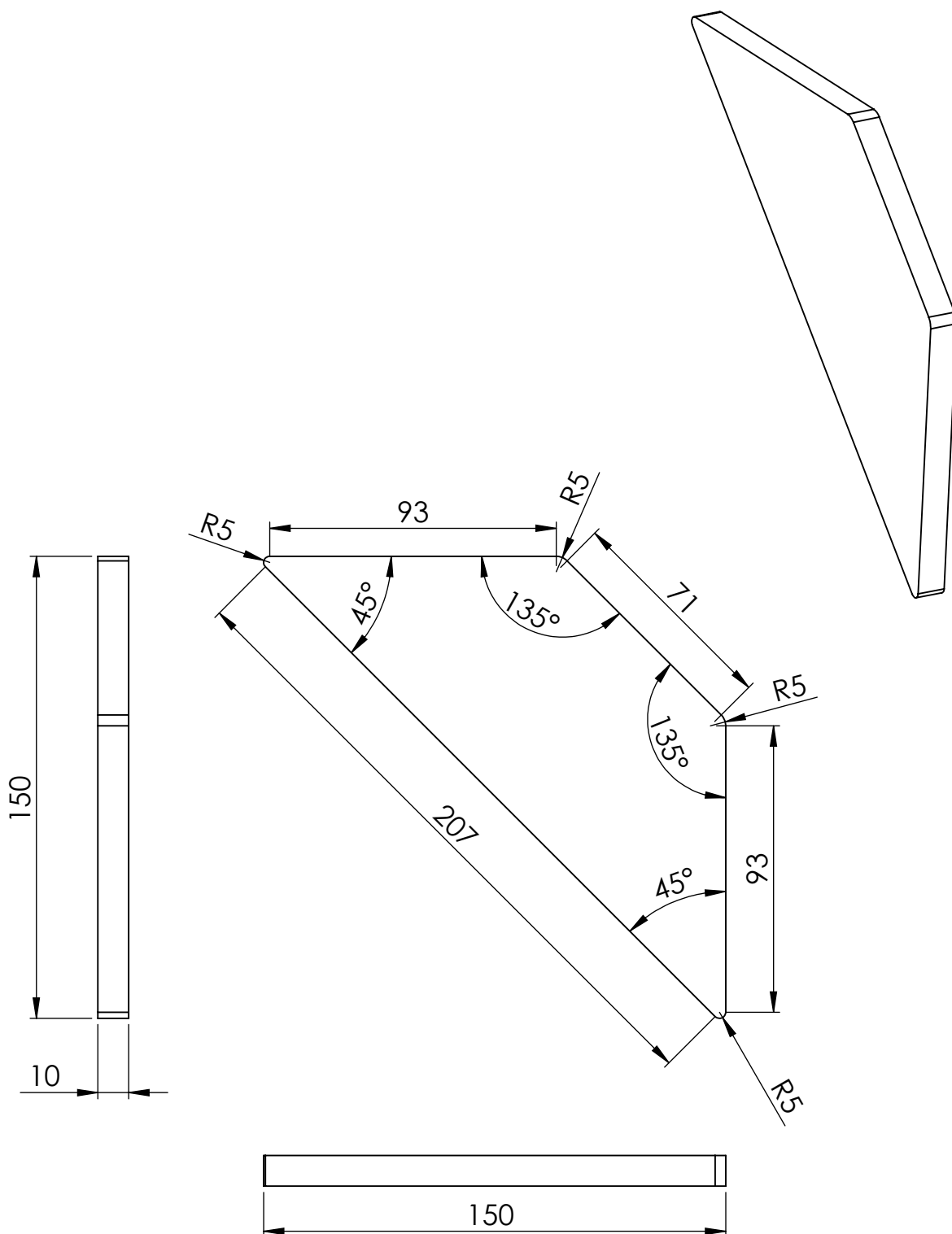
	Materjal: Teras S235	Märkimata piirhälbed: ISO 2768 - c	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Ingmar Aru	Nimetus: <b>Stabilisaator</b>		
Kontrollis	Toivo Tähemaa			
Kinnitas				
Taltech Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht: 1	Tähis: CAD.01.00.03	Formaat: A4



	<b>Materjal:</b> <i>Teras S235</i>		<b>Märkimata piirhälbed:</b> <i>ISO 2768 - c</i>	<b>Mass:</b>	<b>Mõõt:</b> <i>1:5</i>	
	<b>Teostas</b>	<i>Ingmar Aru</i>	<b>Nimetus:</b> <h1 style="text-align: center;">Diagonaal 1</h1>			
	<b>Kontrollis</b>	<i>Toivo Tähemaa</i>				
	<b>Kinnitas</b>					
<i>Taltech Inseneriteaduskond  Mehaanika ja tööstustehnika  instituut</i>		<b>Leht:</b> <i>1</i>	<b>Tähis:</b> <i>CAD.01.00.04</i>	<b>Formaat:</b> <i>A4</i>		

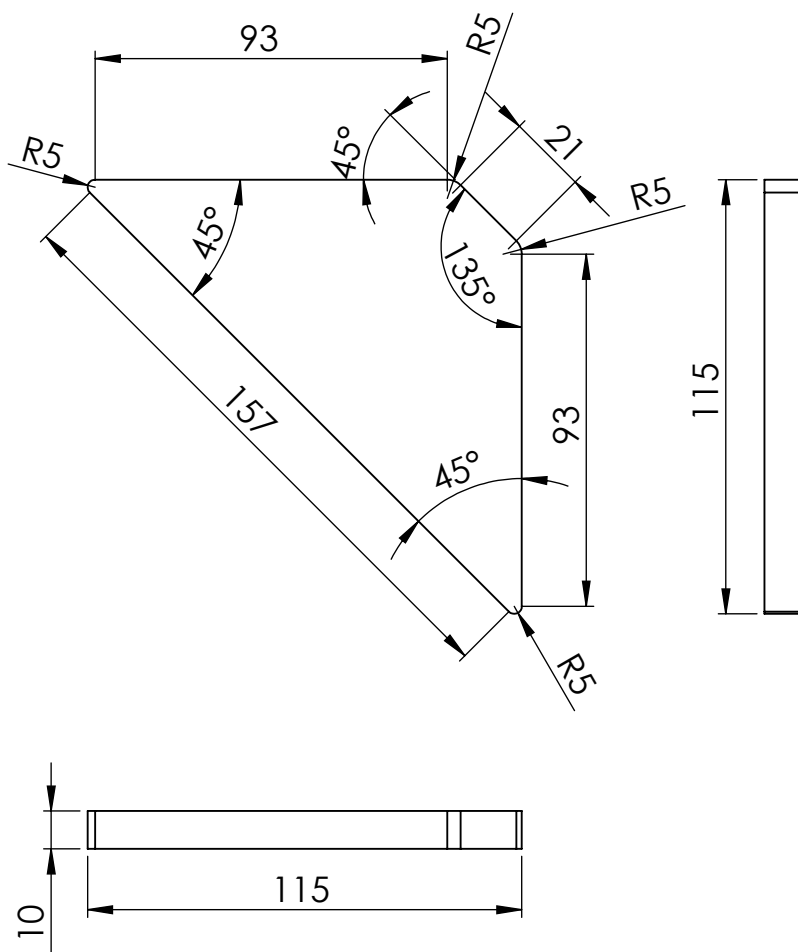
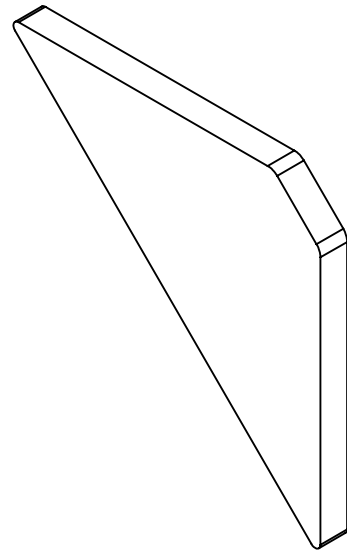


	<b>Materjal:</b> <i>Teras S235</i>		<b>Märkimata piirhälbed:</b> <i>ISO 2768 - c</i>	<b>Mass:</b>	<b>Mõõt:</b> <i>1:2</i>
	<b>Teostas</b> <i>Ingmar Aru</i>	<b>Nimetus:</b> <h2 style="text-align: center;">Diagonaal 2</h2>			
	<b>Kontrollis</b> <i>Toivo Tähemaa</i>				
	<b>Kinnitas</b>				
<i>Taltech Inseneriteaduskond  Mehaanika ja tööstustehnika  instituut</i>		<b>Leht:</b> <i>1</i>	<b>Tähis:</b> <i>CAD.01.00.05</i>	<b>Formaat:</b> <i>A4</i>	

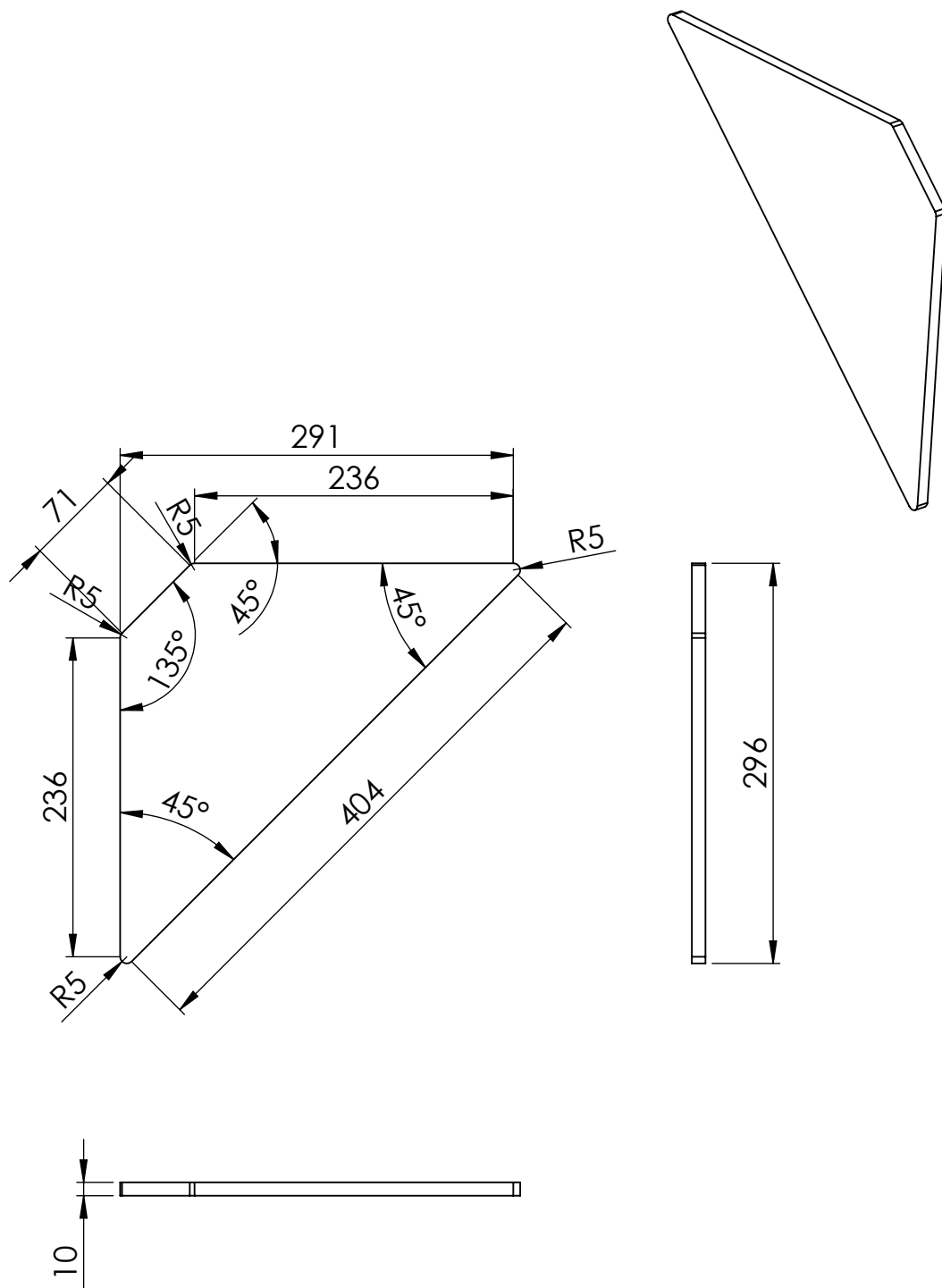


	<b>Materjal:</b> <i>Teras S235</i>		<b>Märkimata piirhälbed:</b> <i>ISO 2768 - c</i>	<b>Mass:</b>	<b>Mõõt:</b> <i>1:2</i>
	<b>Teostas</b> <i>Ingmar Aru</i>	<b>Nimetus:</b> <h1 style="text-align: center;">Tugevdus 1</h1>			
	<b>Kontrollis</b> <i>Toivo Tähemaa</i>				
	<b>Kinnitas</b>				
<i>Taltech Inseneriteaduskond  Mehaanika ja tööstustehnika  instituut</i>		<b>Leht:</b> <i>1</i>	<b>Tähis:</b> <i>CAD.01.00.06</i>	<b>Formaat:</b> <i>A4</i>	

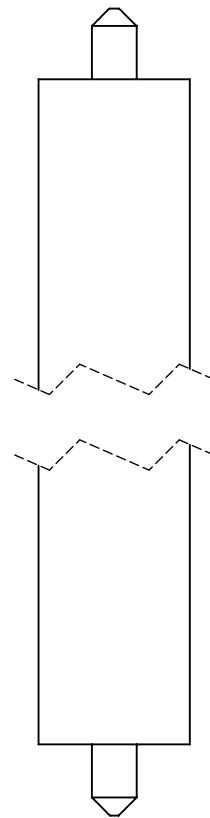
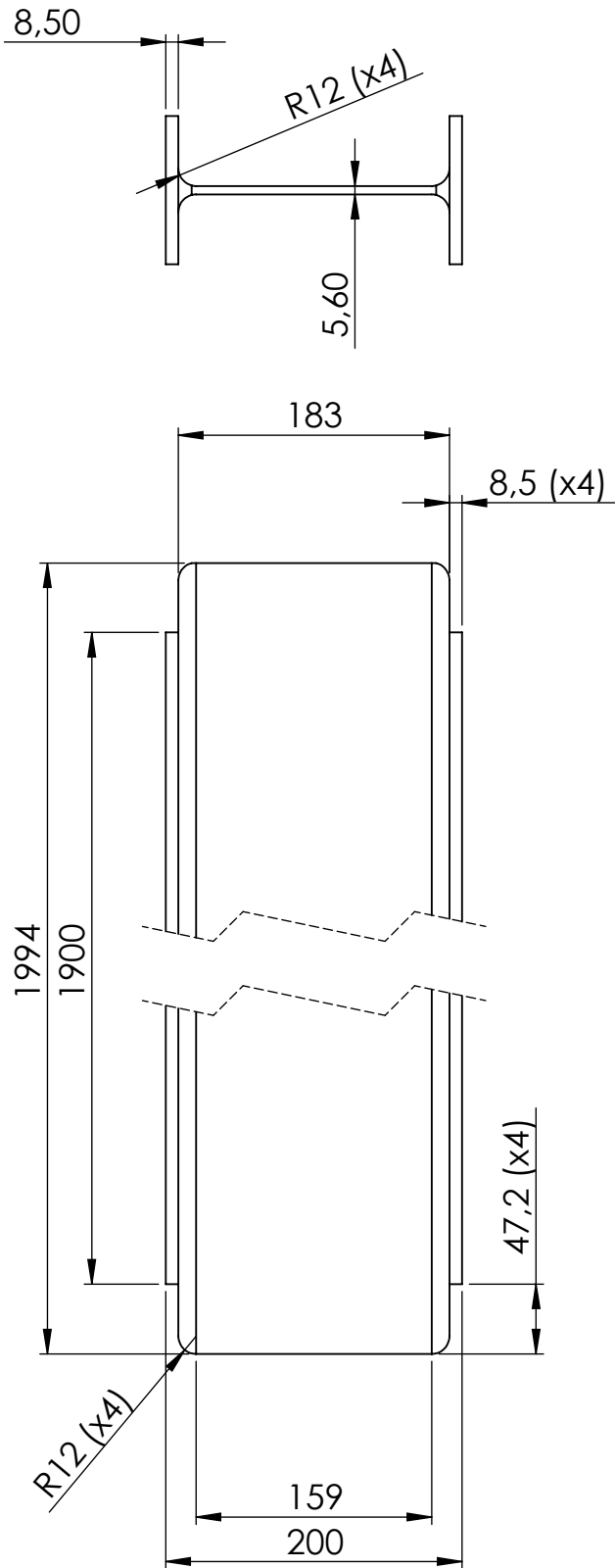




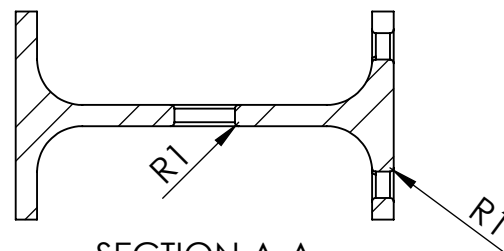
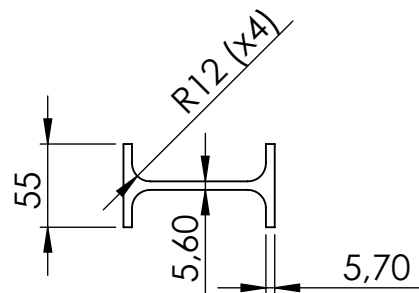
	Materjal: <i>Teras S235</i>	Märkimata piirhälbed: <i>ISO 2768 - c</i>	Mass:	Mõõt: <i>1:2</i>
Teostas	<i>Ingmar Aru</i>	<b><i>Tugevdus 3</i></b>		
Kontrollis	<i>Toivo Tähemaa</i>			
Kinnitas				
Taltech Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht: <i>1</i>	Tähis: <i>CAD.01.00.08</i>	Formaat: <i>A4</i>



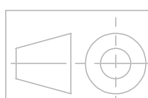
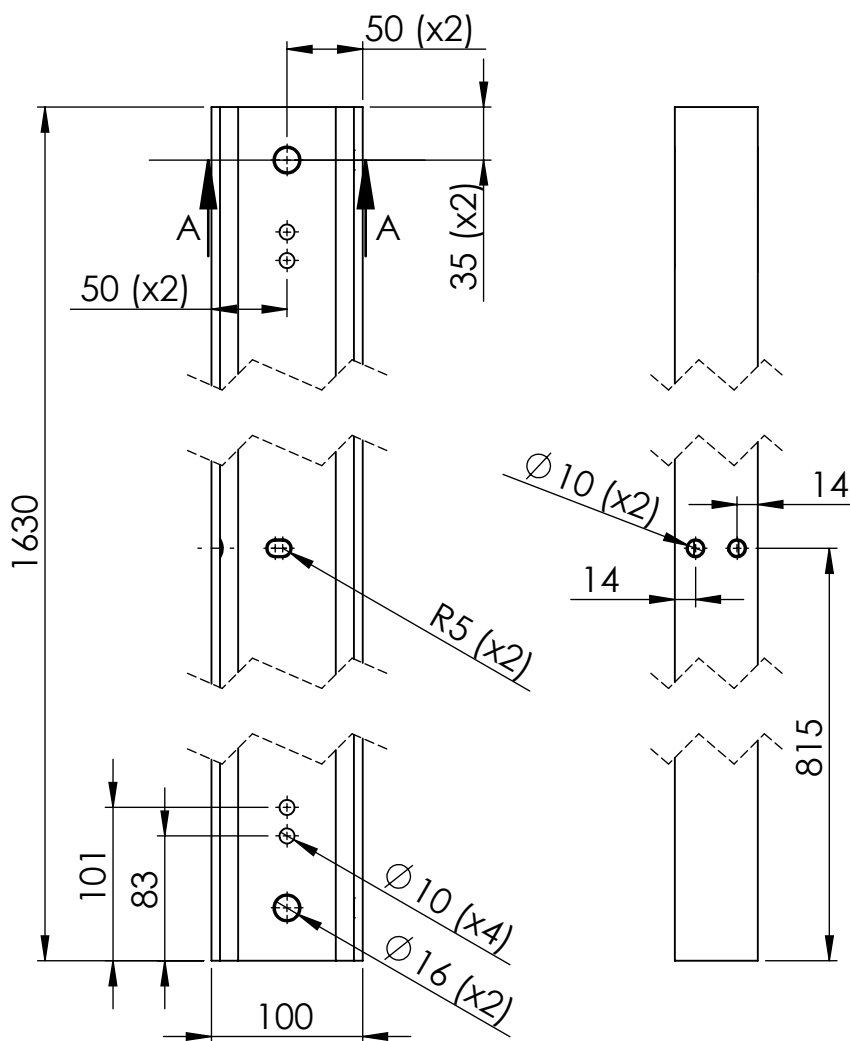
	<b>Materjal:</b> <i>Teras S235</i>		<b>Märkimata piirhälbed:</b> <i>ISO 2768 - c</i>	<b>Mass:</b>	<b>Mõõt:</b> <i>1:5</i>
	<b>Teostas</b> <i>Ingmar Aru</i>	<b>Nimetus:</b> <i>Tugevdus 2</i>			
<b>Kontrollis</b> <i>Toivo Tähemaa</i>					
<b>Kinnitas</b>					
<i>Taltech Inseneriteaduskond  Mehaanika ja tööstustehnika  instituut</i>		<b>Leht:</b> <i>1</i>	<b>Tähis:</b> <i>CAD.01.00.07</i>	<b>Formaat:</b> <i>A4</i>	



	Materjal: Teras S235	Märkimata piirhälbed: ISO 2768 - c	Mass:	Mõõt: 1:5
Teostas	Ingmar Aru	Nimetus: <b>Tala horisontaalne</b>		
Kontrollis	Toivo Tähemaa			
Kinnitas				
Taltech Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht: 1	Tähis: CAD.01.00.09	Formaat: A4



SECTION A-A  
SCALE 1 : 2



Materjal:  
Teras S235

Märkimata piirhälbed:  
ISO 2768 - c

Mass: Mõõt:  
1:5

Teostas Ingmar Aru  
Kontrollis Toivo Tähemaa  
Kinnitas

Nimetus:

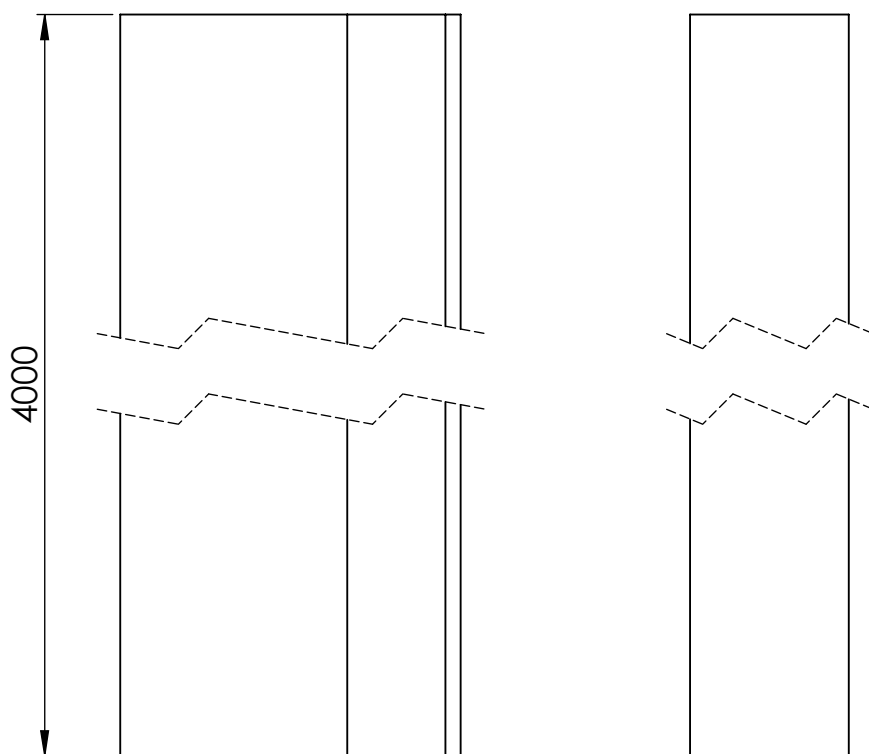
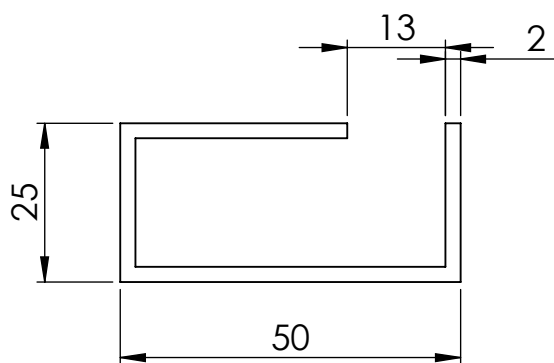
**Tala vintsil**

Taltech Inseneriteaduskond  
Mehaanika ja tööstustehnika  
instituut

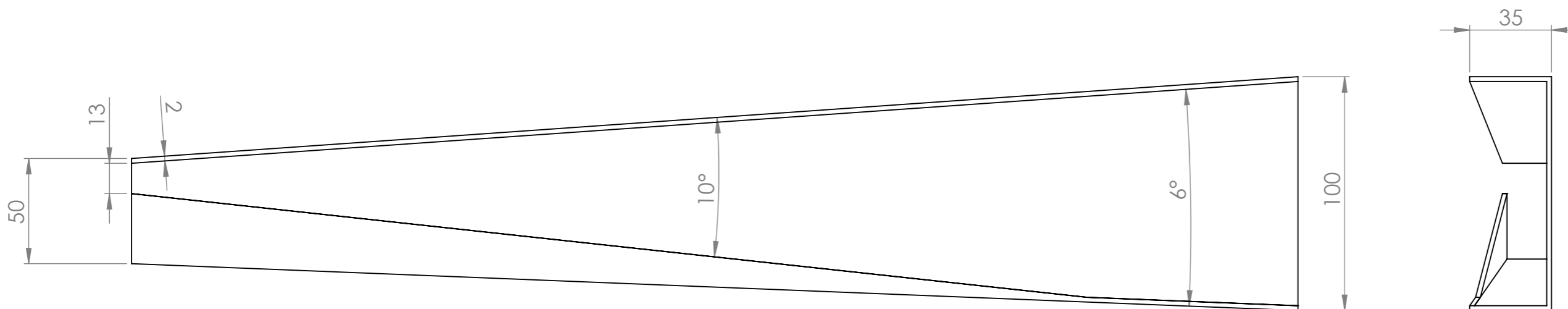
Leht:  
1

Tähis:  
CAD.01.00.10

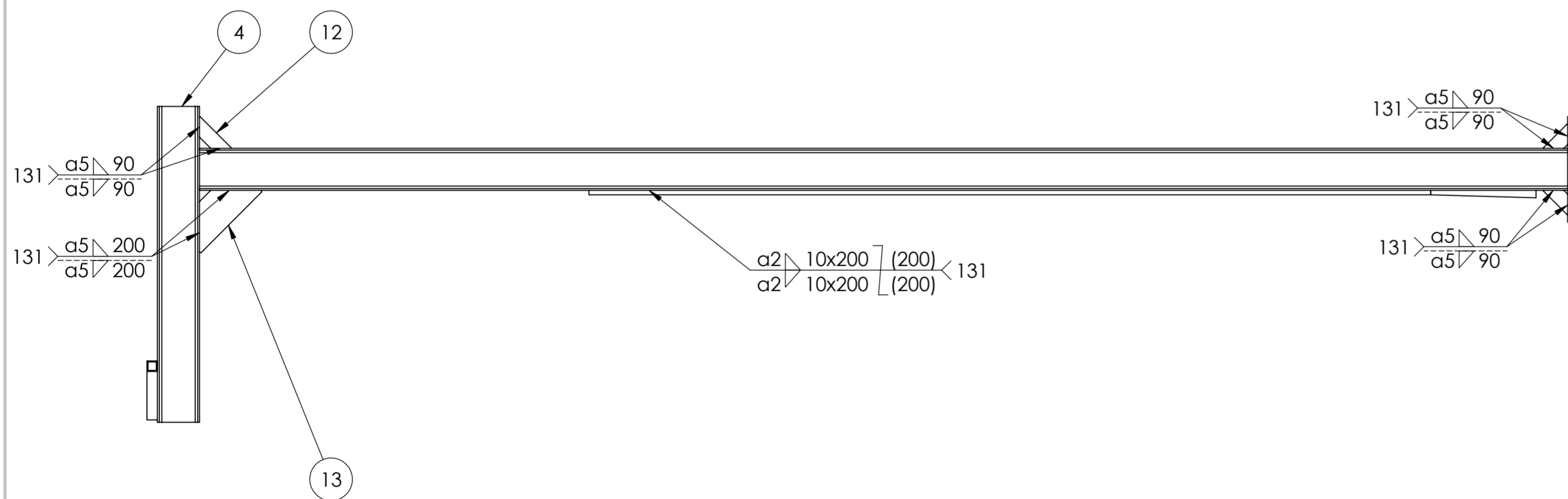
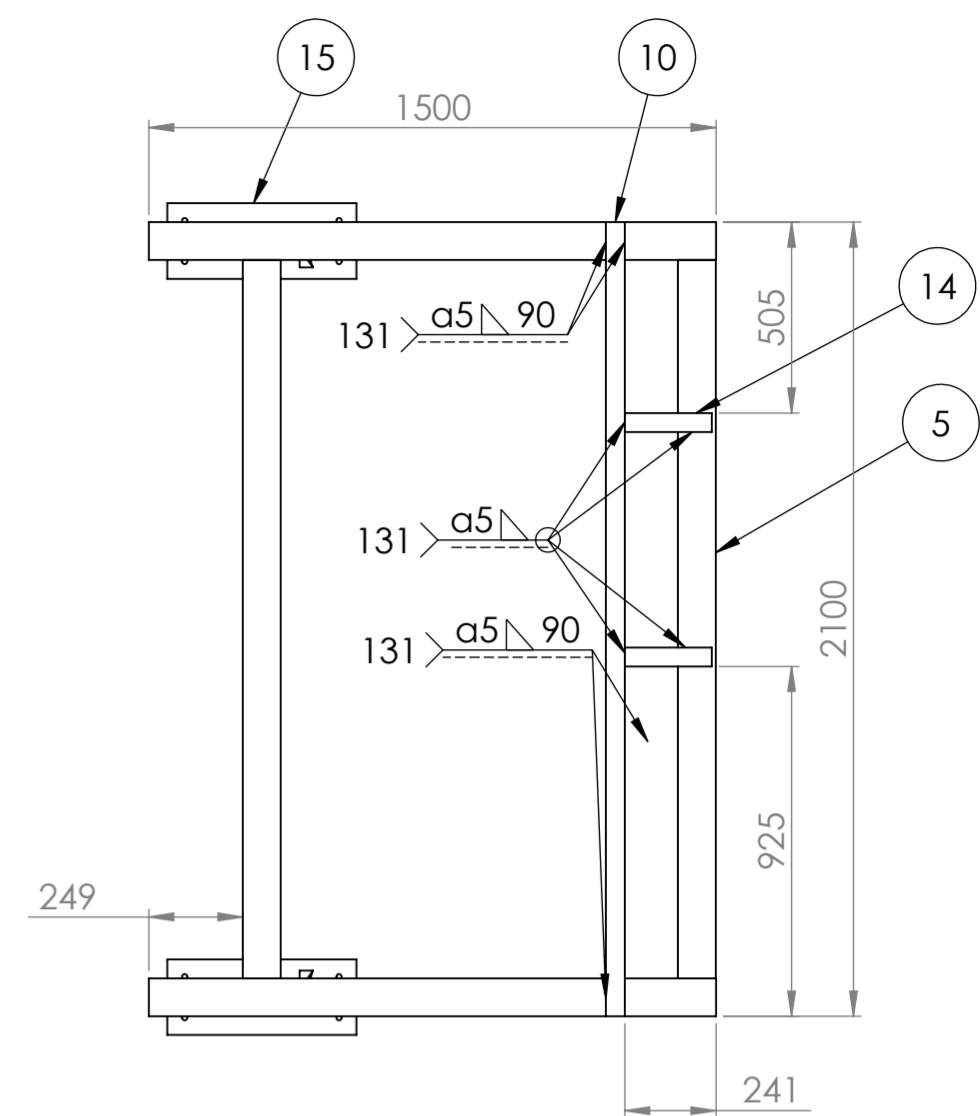
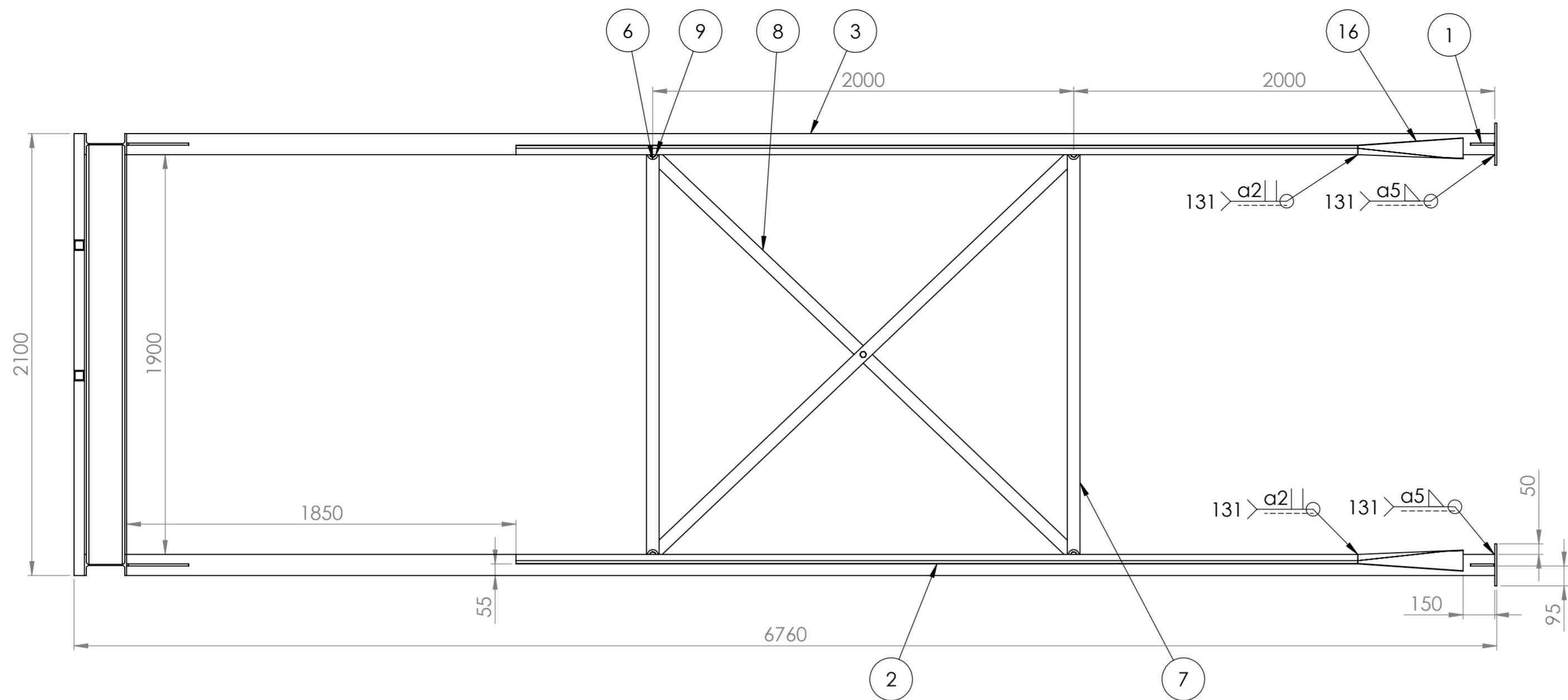
Formaat:  
A4



	<b>Materjal:</b> <i>Teras S235</i>		<b>Märkimata piirhälbed:</b> <i>ISO 2768 - c</i>	<b>Mass:</b>	<b>Mõõt:</b> <i>1:1</i>
	<b>Teostas</b> <i>Ingmar Aru</i>	<b>Nimetus:</b> <i>Käru stabilisaator 1</i>			
<b>Kontrollis</b> <i>Toivo Tähemaa</i>					
<b>Kinnitas</b>					
<i>Taltech Inseneriteaduskond  Mehaanika ja tööstustehnika  instituut</i>		<b>Leht:</b> <i>1</i>	<b>Tähis:</b> <i>CAD.01.00.11</i>	<b>Formaat:</b> <i>A4</i>	



	<i>Materjal:</i> Teras S235		<i>Märkimata piirhälbed:</i> ISO2768 - c	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 1:2
	<i>Teostas</i> Ingmar Aru	<i>Nimetus:</i> <b>Käru stabilisaator 2</b>			
<i>Kontrollis</i> Toivo Tähemaa					
<i>Kinnitas</i>	Taltech Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut		<i>Leht:</i> 1/1	<i>Tähis:</i> CAD.01.00.12	<i>Formaat:</i> A3



OSA	NIMETUS	TÄHIS	HULK
1	Tugevdus 3	CAD.01.00.08	4
2	Käru stabilisaator 1	CAD.01.00.11	1
3	Tala	IPE 200x6500 mm	2
4	Tala	IPE 200x1500 mm	2
5	Tala horisontaalne	CAD.01.00.09	2
6	Kinniti	CAD.01.00.01	4
7	Diagonaal 2	CAD.01.00.05	2
8	Dianonaal 1	CAD.01.00.04	2
9	Polt	ISO 7412 - M16x45	4
10	Nelikanttoru	50x50x2x2100 mm	1
11	Mutter	ISO 4034 - M16	5
12	Tugevdus 1	CAD.01.00.06	2
13	Tugevdus 2	CAD.01.00.07	2
14	Nelikanttoru	50x50x2x230 mm	2
15	Raami tald	CAD.01.00.02	2
16	Käru stabilisaator 2	CAD.01.00.12	1

Materjal: Märkimata piirhälbed: Mass: Mõõt: ISO2768 - c 1:20

Teostas	Ingmar Aru	Nimetus:	<b>Puitmaterjali riul</b>	
Kontrollis	Toivo Tähemaa			
Kinnitas				
Taltech Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht:	Tähis:	Formaat:
		1/1	CAD.01.00.00	A2