



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

PÖÖRDLAVA PROJEKTEERIMINE

BAKALAUREUSETÖÖ

MEHHATROONIKA ÕPPEKAVA

Üliõpilane: Leho Lepler

Üliõpilaskood: 142552MAHB

Juhendaja: Leo Teder

2017

# AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis ..... juhendamisel

“.....“ ..... 201.... a

Töö autor: .....

/alkiri/

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele

“.....“ .....201....a.

Juhendaja: .....

/alkiri/

Lubatud kaitsmisele

“.....“ .....201.... a.

..... õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees: .....

/alkiri/

TTÜ inseneriteaduskond

## BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Leho Lepler, 142552MAHB

Õppekava: Mehhatroonika

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: Leo Teder, assistent

Konsultandid: Ants Vaalma, lavaelektronik, RO Estonia

### LÕPUTÖÖ TEEMA:

(eesti keeles): Pöördlava projekteerimine

(inglise keeles): Development of revolving stage

### Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Projekteerida ajutine pöördlava, mille diameeter oleks kaheksa meetrit ning mille kõrgus ei ületaks 300 mm.	25.05.2017
2.	Lava peab kannatama koori (umbes 40 inimest ehk 3-4 tonni).	25.05.2017
3.	Osandatud lava peab olema transporditav regulaarse veoautohaagisega (haagise mõõdud on 13,6 x 2,45 x 2,7 m)	25.05.2017

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Arendada välja pöördlava raamistik, mis oleks võimalik ehitatav käsitsi töökojas, ning leida kasutamiseks mugavad mõõdud. Samuti töötada välja lihtne ja kiire viis pöördlava ülesehitamiseks ja lahtivõtmiseks. Arvutada ligikaudne maksumus pöördlavale ja hinnata seda turul müüdavatega.

Täiendavad märkused ja nõuded: Esmatähtis on pöördlava raamistik. Mootorite valiku uurimine niivõrd tähtis pole.

Töö keel: eesti keel.

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt:

Töö esitamise tähtaeg: 25.05.2017

Üliõpilane: Leho Lepler

/allkiri/.....

kuupäev .....

Juhendaja: Leo Teder

/allkiri/ .....

kuupäev.....

# Sisukord

1 SISSEJUHATUS .....	7
2 TEOORIA .....	8
2.1 Lõplikud ülesanded ja tingimused.....	8
2.2 Turuseis.....	8
2.3 Rataste asetus .....	9
3 PROJEKTEERITUD RAAMISTIK .....	10
3.1 Alumine osa .....	10
3.1.1 Välimine ring.....	10
3.1.2 Keskmise ring.....	12
3.1.3 Keskmise ring 1 .....	12
3.1.6 Sisemine ring.....	15
3.1.7 Tsentri osa .....	16
3.1.8 Komplektne alumine osa .....	18
3.2 Ülemine osa.....	18
3.2.1 Välimine ring.....	19
3.2.2 Keskmise ring.....	20
3.2.3 Sisemine ring.....	21
3.2.4 Tsentri osa .....	21
3.2.5 Komplektne ülemine osa .....	23
3.3 Rattad ja nende kinnitamine alumisel osal .....	24
3.4 Tsenter .....	26
3.5 Pöördlava kattev materjal .....	26
3.6 Servakate .....	28
3.7 Tugevus raamile.....	28
4 MAKSUMUS .....	29
4.1 Raami alumise osa maksumus .....	29
4.2 Raami ülemise osa maksumus .....	30
4.3 Pöördlava katte maksumus .....	32

4.4 Kogu pöördlava maksumus .....	34
5 MOOTORID, NENDE ASUKOHAD JA JUHTIMINE .....	35
5.1 Potsensiaalsed mootorid.....	35
6 KOKKUVÕTE .....	37
7 SUMMARY .....	38
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	39

## EESSÕNA

Lõputöö teema tuli esimest korda päevakorda Rahvusooper Estonias lõputöö koostaja poolt läbitud praktikal. Kuna Rahvusooper Estonial ja ka teistel teatritel on palju ringreise väiksematesse kohtadesse ning ka väliletendusi, siis pole neil võimalik kasutada monteeritud pöördlava etenduste läbiviimiseks. Sellest tulenevalt on neil vajadus lahti võetavaks ja teisaldatavaks pöördlavaks. Kuna Eestis on ajutisi pöördlavasi vähe, siis esitati septembris 2016 lõputöö koostajale idee kontrueerida tulevikuks pöördlava, mida saaks kasutada etenduste läbiviimiseks ja miks ka mitte kõigeks muuks.

Rahvusooper Estonia lavaelektronika insener Ants Vaalma, kes oli ka läbitud praktika juhendaja, andis lõputöö koostajale ka parameetrid, milline võiks projekteeritav pöördlava olla, et rahuldaks nende vajadusi. Need parameetrid said lõputöö ülesanneteks.

Lõputöö koostamine toimus peamiselt koostaja enda teadmiste põhjal, kuid õigele teele suunas Ants Vaalma.

# 1 SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks on projekteerida osandatav pöördlava teatritele. Selle all mõeldakse sellist pöördlava, mis on ajutine ja mille saab üles ehitada sinna, kuhu vaja. Lõputöö on mõeldud neile, kes tahad omale pöördlava ehitada odavamalt.

Taoliste pöördlavade müüjaid ja tegijaid on maailmas palju, kuid keskmiselt maksab üks kaheksa meetrise diameetriga osandatav pöördlava suurusjärgus 12000€ ning Eesti kontekstis on see suur summa. Suurimad taoliste pöördlavade edasimüüjad ja rentijad on pöördlavadele spetsialiseerunud firma Bumat ning sellega tegelevad ka firma Ventum ja ka nt Showtex, kes peamiselt tegeleb rentimisega. [1], [2], [3]

Kuna Eestis ei ole teatritel eelarve väga suur, siis pöördlava osta on keeruline, kuna kõik müüjad on välismaised, ja kulukas. Kuna teatrites on tehniline meeskond väga kogunud ja oskavad kõike teha, siis käidi Rahvusooper Estonia poolt lõputöö koostajale välja mõtte projekteerida pöördlava, mille saaks ise valmis ehitada.

Esialgset tingimused, mis esitati Rahvusooper Estonia poolt olid järgmised:

- diameeter kaheksa meetrit
- kõrgus alla 300 mm;
- lava peab kannatama tervet koori (umbes 40 inimest);
- osandatud lava peab olema transporditav regulaarse veoautohaagisega (haagise mõõdud on 13,6 x 2,45 x 2,7 m).

Peamine rõhk on lõputöös raamil ja selle väljatöötamisel.

Lõputöös on kasutatud arvutiprogramm SolidWorks 2016, millega tehti ära kogu projekteerimine., Microsoft Word ning Micosoft Excel

## 2 TEOORIA

### 2.1 Lõplikud ülesanded ja tingimused

Lõputöö algas antud tingimuste täpsustamisega. Nii sai täpsustatud tingimused massile ja lisatud ka mõned lisatingimused. Täpsustatud tingimused olid:

- $h \leq 300$  mm;
- $d = 8$  m;
- võimalusel ka  $d = 4$  m ning  $d = 12$  m;
- eraldi seisvad tükid, millest pöördlava koosneb peavad mahtuma veoauto haagisesse (haagise mõõdud on 13,6 x 2,45 x 2,7 m) ja võimalusel ja lihtne ladustamise võimalus;
- pöördlava peab kannatama koori raskust ehk vähemalt  $m = 3$  t;
- pöördlava peab olema juhitud vastupäeva;
- pöördlava liigutav elektrimootor ei tohi olla nähtav;
- kasutatavad detailid ja materjalid peaksid olema saadaval Eestist;
- ehitus peaks olema tehtav ka mitteprofessionaali poolt.

### 2.2 Turuseis

Hetkel turul on mitmeid erinevate põhja lähenemistega pöördlavasid. Nt. sirgetest nelikanttorudest, painutatud nelikanttorudest, jne. On tehtud ka ümartorudest, mis lähevad tsentrist pöördlava raadiuse peale ja hoiavad rattaid ühendudes ratta enda külge. Turu liider on Bumat ja Ventum, kuid on ka väiksemaid firmasid, kes tegelevad teatritehnikaga. Üha enam on hakanud tulema esile Hiina firmad. [1], [2], [3]

Keskmine müügi hind on umbes 12000€ kandis. Kuna on palju erinevaid lisasid ja valikuid, siis hinnad varieeruvad nii üles kui ka alla.



## 2.3 Rataste asetus

Samuti saab eristada kahte erinevat lähenemist toetusratastele, alumisel poolel ja ülemisel poolel.

Kui rattad on ülemisel poolel, siis on seda palju lihtsam ehitada ja läheb vähem materjali, kuid samas tekib mootoritele toitevoolu kaablite vedamisega probleeme. Lisaks sellele on ülemisele poolele rattaid kinnitades ka lisa raskus rataste näol. Samuti võib tekkida probleem, kui midagi jääb rataste alla, nt mõni dekoratsiooni tükk või rekvisiit, siis pöördlava liikumine on takistatud.

Kui rattad alumisele poolele kinnitada, siis oleksid rattad statsionaarsed ja suunaga üles, mis tähendab, et liikumist on väga keeruline takistada. Samuti saab erinevaid kaableid pöördlava alt vajadusel läbi vedada. Samas tähendab selline teostus, et tuleb ehitada kindel pind ülemisel osal, mis rataste peal liikuma hakkab.

## 3 PROJEKTEERITUD RAAMISTIK

Raamistik koosneb kahest suuremast osast, ülemine ja alumine. Alumine osa on põhiliselt rataste kinnitamine ja mootorite kinnitamine raamile ning ülemine osa on pöördlava pöörlev osa, mis sõidab alumisel osal asetsevatel ratastel ning kannab lava ennast, mis on tehtud veekindlast vineerist.

Mõlemad raamistikud koosnevad kolmest ringist ja tsentri osast. Iga ring koosneb vastavatel joonistel näidatud elementidest moodustatud terviklikust ringist. .

Siinkohal tuleb kindlasti öelda, et kõik tükid tuleb ära nummerdada peale kokku sobitamist. Nummerdama peaks selisel viisil, mis ei kuuluks maha ega kaoks kuidagi ära.

Kõik painutustööd saab teha ettevõttes Lindhold OÜ. Töö tasu saab teada küsida hinnapakumisega.

### 3.1 Alumine osa

Alumine osa koosneb nelikanttorudest koostatud elementidest ning tsentri osast. Nelikanttoru, mida kasutatakse alumise osa tegemisel on 20 x 20 x 2 mm. Alumine osa peab hoidma rattaid ja mootoreid. Kõige tähtsamad ongi alumisel osal rataste paiknemise täpsus ja mootorite asetsemise koht ja stabiilsus. Samuti on tähtis tsentri osa, et hoida ülemine osa liikumas seal, kus ta peab.

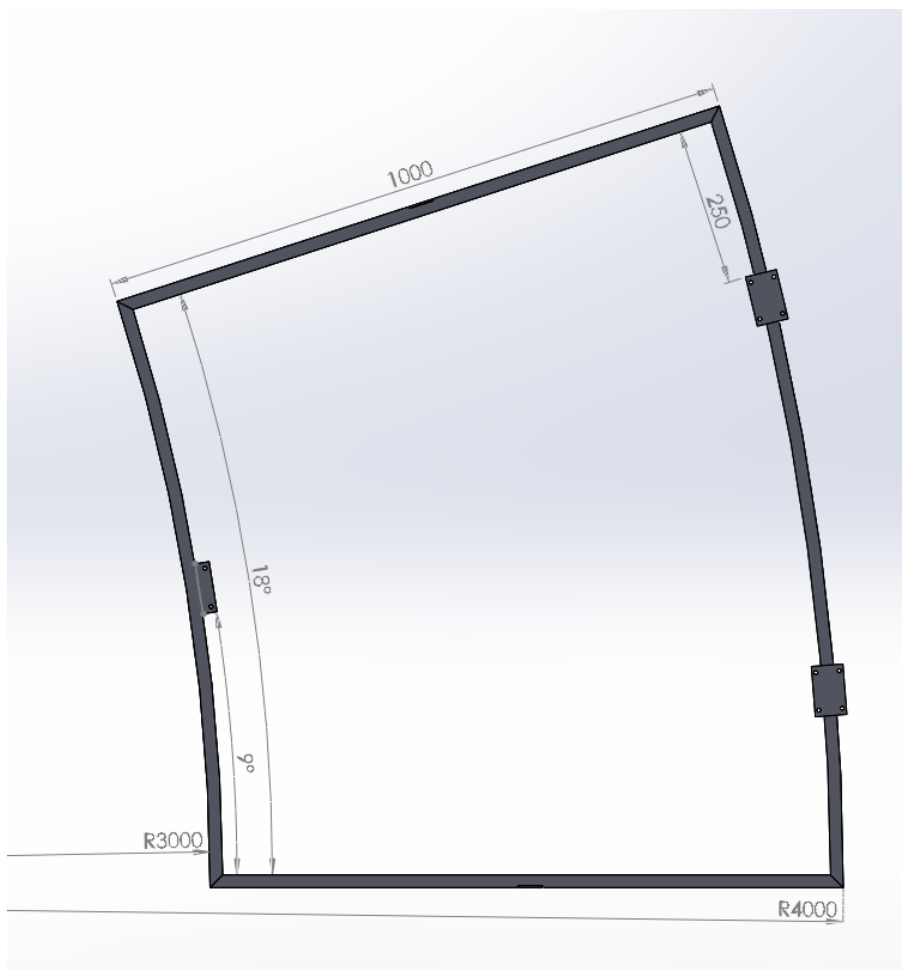
Põhjus, miks alumine osa on tehtud 20 x 20 x 2 mm nelikanttorust, on rattad, mille kinnitamine läheks kulukaks, kui valiksime suuremate dimensioonidega nelikanttoru, kuna kinnitused läheksid väga suureks.

#### 3.1.1 Välimine ring

Välimise ringi element koosneb neljast nelikanttorust, millest kaks on painutatud joonisel 3.1 nähtavate raadiustega. Otsad on sirgest nelikanttorust ning on omavahel 18° nurga all. 18° nurk on selleks, et oleks mugavam kasutada elementi, mis muidu läheks liiga suureks oma kabariitide poolest.

Samuti on jooniselt 3.1 näha välimisel painutatud nelikanttorul kahte alustükki, mis asetsevad otsast 250 mm kaugusel. Alustükid on rataste kinnitamiseks vajalikud ning need keevitatakse raami külge kinni, kui ei ole vaja alumist osa laiendada ehk pöördlava diameetrit suurendada. Alustükk on ratta enda kinnitusalusega samas suurusjärgus ning augud tehakse ka ratta kinnitusaukudega samadsse kohtadesse. Kuna rataste valik võib erineda, siis täpsed mõõtmed võivad erineda. Projektsioon on tehtud 50 x 80 x 3 mm metallist plaadi peale. Seesmisele painutatud nelikanttorule tuleb ratta ühendus teha teistsuguse tegumoega, kuna rataste kinnitamist kasutatakse ühtlasi ka kahe ringi, välimise ja keskmise, omavaheliseks kinnitamiseks.

Omavahel kinnitatakse elemendid ringis elemendi otsade keskel asetsevate juurde keevitatud tükide abil, mis asetsevad otsatorude keskel. Tähtis on seejuures kõrvuti asetsevate elementide ühendus tükide kohakuti asetsemine. Ühendustükkidele on sisse puuritud augud, millest pannakse läbi poltliide, mis ühendab kaks elementi omavahel.



Joonis 3.1. Välimise ringi element.

### 3.1.2 Keskmise ring

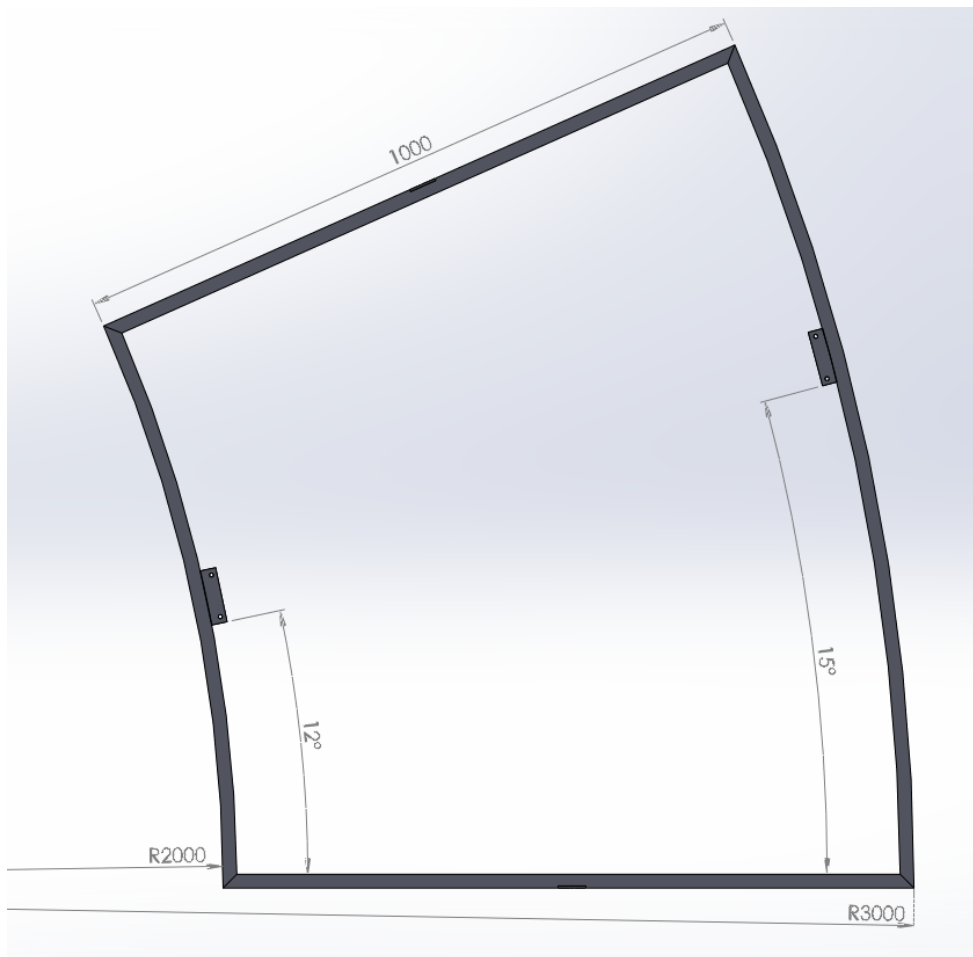
Keskmise ring koosneb kolmest erinevast elemendist, mis erinevad ratta aluste paiknemise poolest. Kuna välimise ringi otsad olid  $18^\circ$  nurga all, siis keskmise ringi elementide otsad on omavahel  $24^\circ$  kraadise nurga all. Lihtsustuse mõttes on elemendid keskmise ring 1, 2 ja 3. Elemendid lähevad ringis Nummeratsiooni järjekorras vasakult paremale pealt vaates mööda ringi. Pannes keskmise ringi kokku välimise ringiga, saame, et kolme keskmise ringi elementi jaoks on vaja nelja välimise ringi elementi.

Omavahel kinnitatakse elemendid ringis samamoodi nagu ka välimisel ringil.

### 3.1.3 Keskmise ring 1

Keskmise ringi 1 element koosneb neljast nelikanttorust, millest kaks on painutatud joonisel 3.2 antud raadiuste järgi. Otsatorud, sirged nelikanttorud, on 1000 mm pikad ja keevitatakse painutatud torudega kokku.

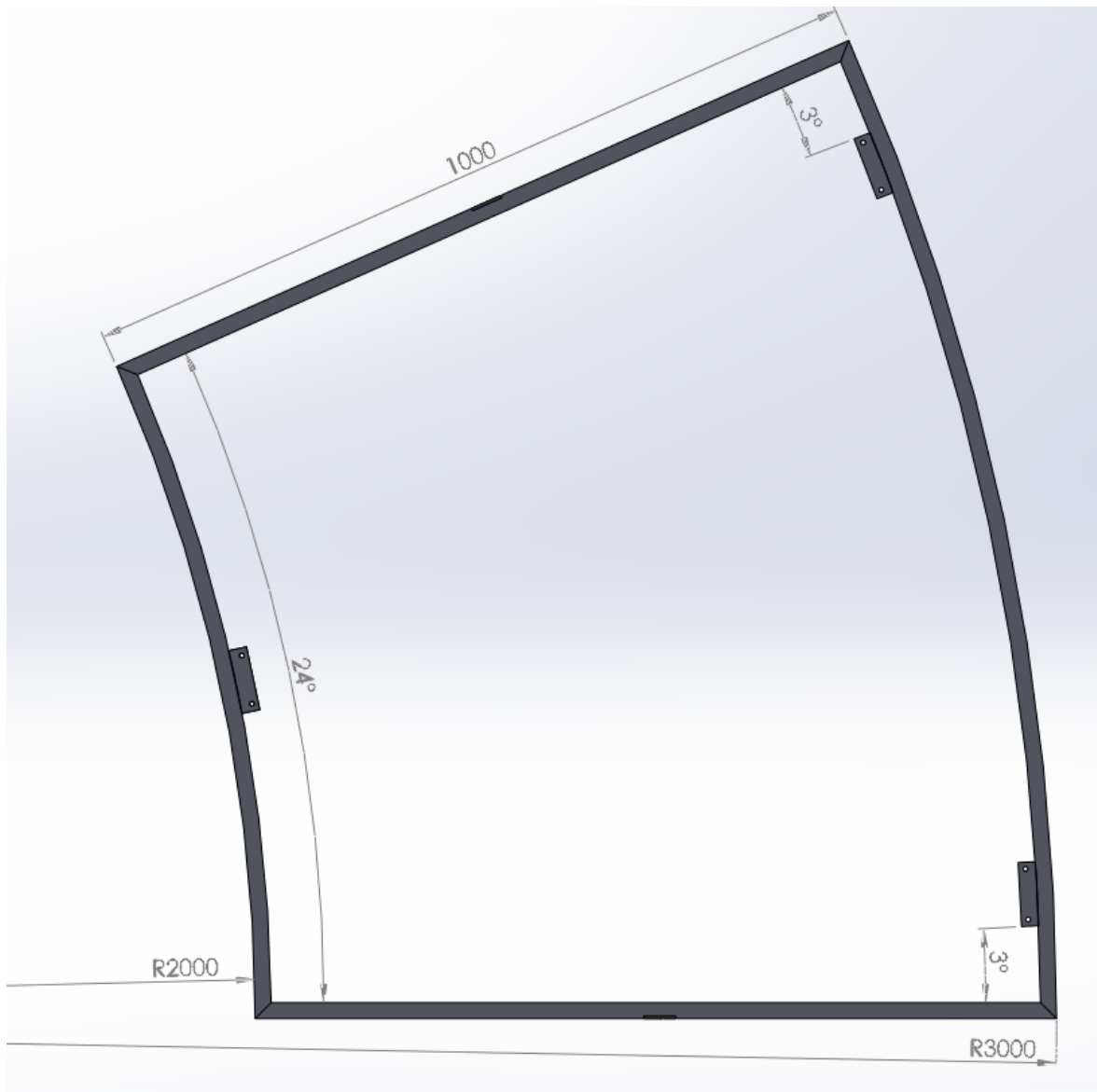
Jooniselt 3.2 on näha, et seesmisel painutatud nelikanttorul on üks ratta aluse kinnitus, mis on otsade vahel  $12^\circ$  mõlemist otsast. Välimisel painutatud nelikanttorul on kinnitus ala  $15^\circ$  peal alumisest otsast mõõdetuna, tsentrist vaadatuna paremast otsast mõõdetuna. See on selleks, et kompenseerida välimise ringi kitsamat elementi, mis oli  $18^\circ$  suurune ja mille ratta kinnitus tükki oli  $9^\circ$  peal.



Joonis 3.2. Keskmise ringi 1 element.

### 3.1.4 Keskmise ring 2

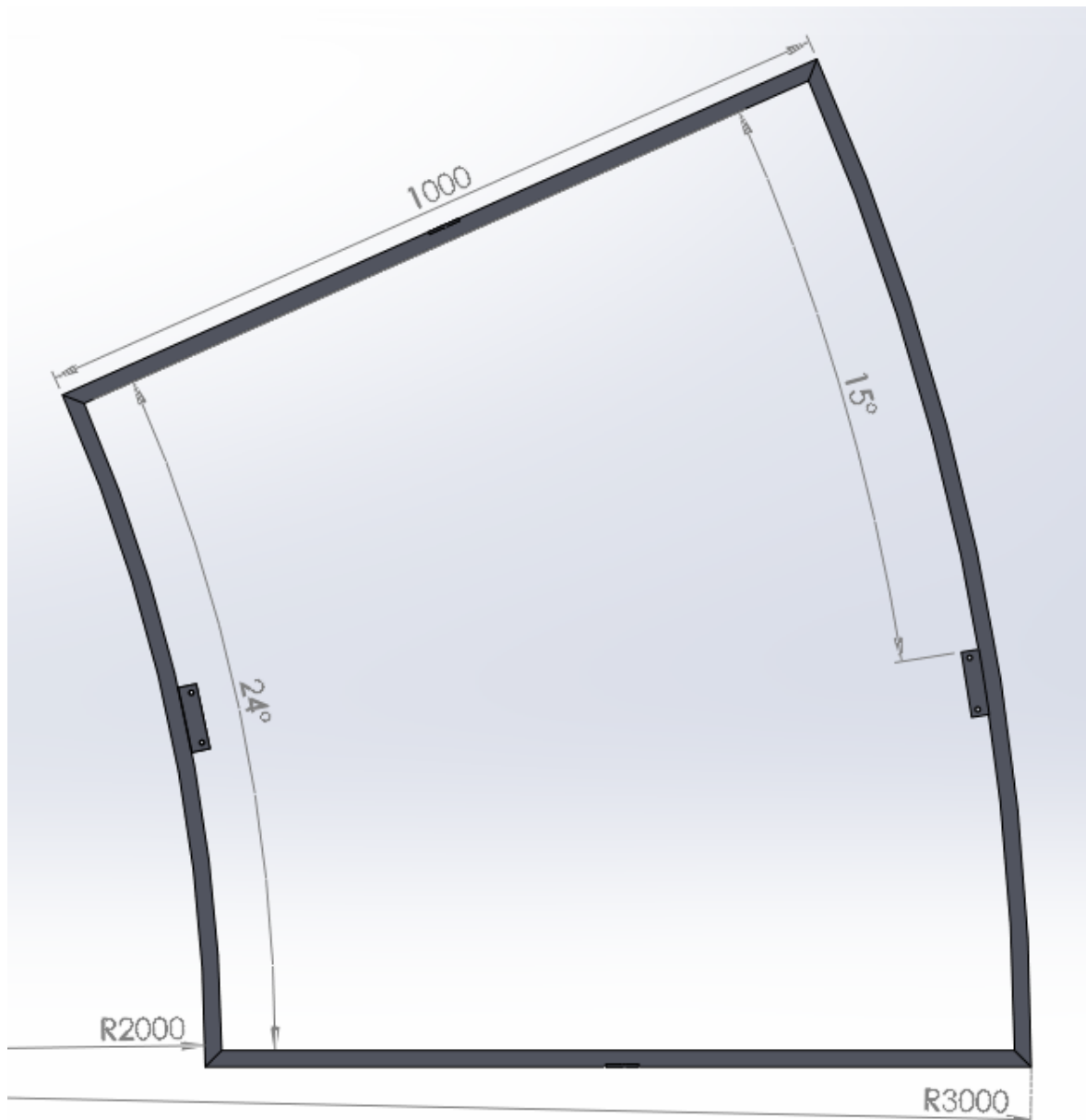
Keskmise ringi 2 element on ehituselt sama keskmise ringi 1 elemendiga, kuid välimise painutatud nelikanttoru on kaks ratta kinnitust jal asetsevad mõlemist otsast  $3^\circ$  kaugusel. Kuna selle elemendi välimisele küljele jääb kaks välimise ringi elemendi keskohta, ehk ratast, siis tuleb ka siia teha kaks kinnitust kohta.



Joonis 3.3. Keskmise ringi 2 element.

### 3.1.5 Keskmise ring 3

Keskmise ringi 3 element on ehituselt peegelpildis keskmise ringi 1 elemendiga. Välimisel nelikanttorul tuleb panna ratta asetus  $15^\circ$  ülemisest, ehk tsentrist vaadatuna vasakust otsast.

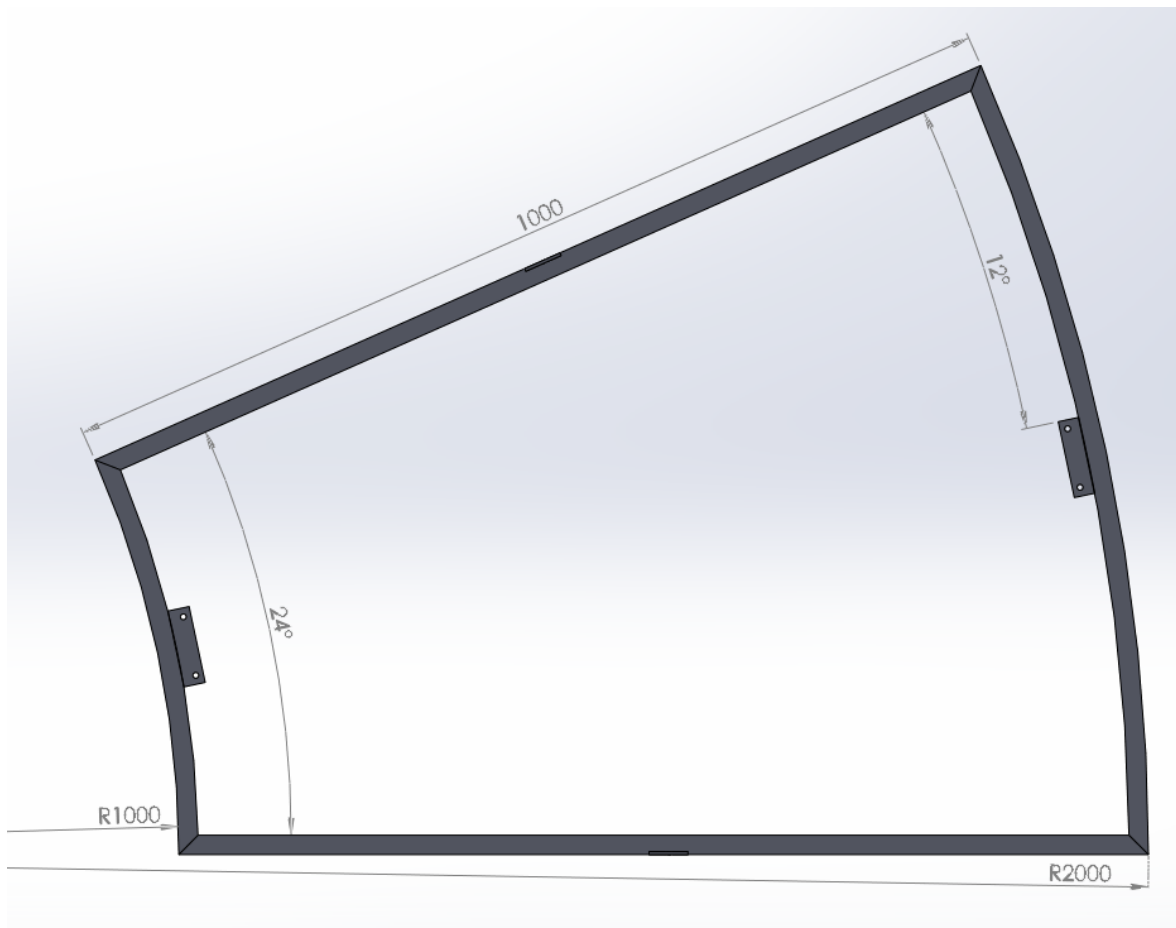


Joonis 3.4. Keskmise ringi 3 element.

### 3.1.6 Sisemine ring

Sisemise ringi element on ehituselt keskmistega sarnane, kuid välimisel painutatud nelikanttorul on ainult üks ratta kinnitus tükk, mis on painutatud nelikanttoru keskel.

Ringis ühendatakse elemendid omavahel sarnaselt välimise ja keskmise ringi elementidega. Keevitatakse otstele lisatükid, kuhu puuritakse sisse ava ja liidetakse elemendid poltliitmega omavahel kokku.



Joonis 3.5. Sisemise ringi element.

### 3.1.7 Tsentri osa

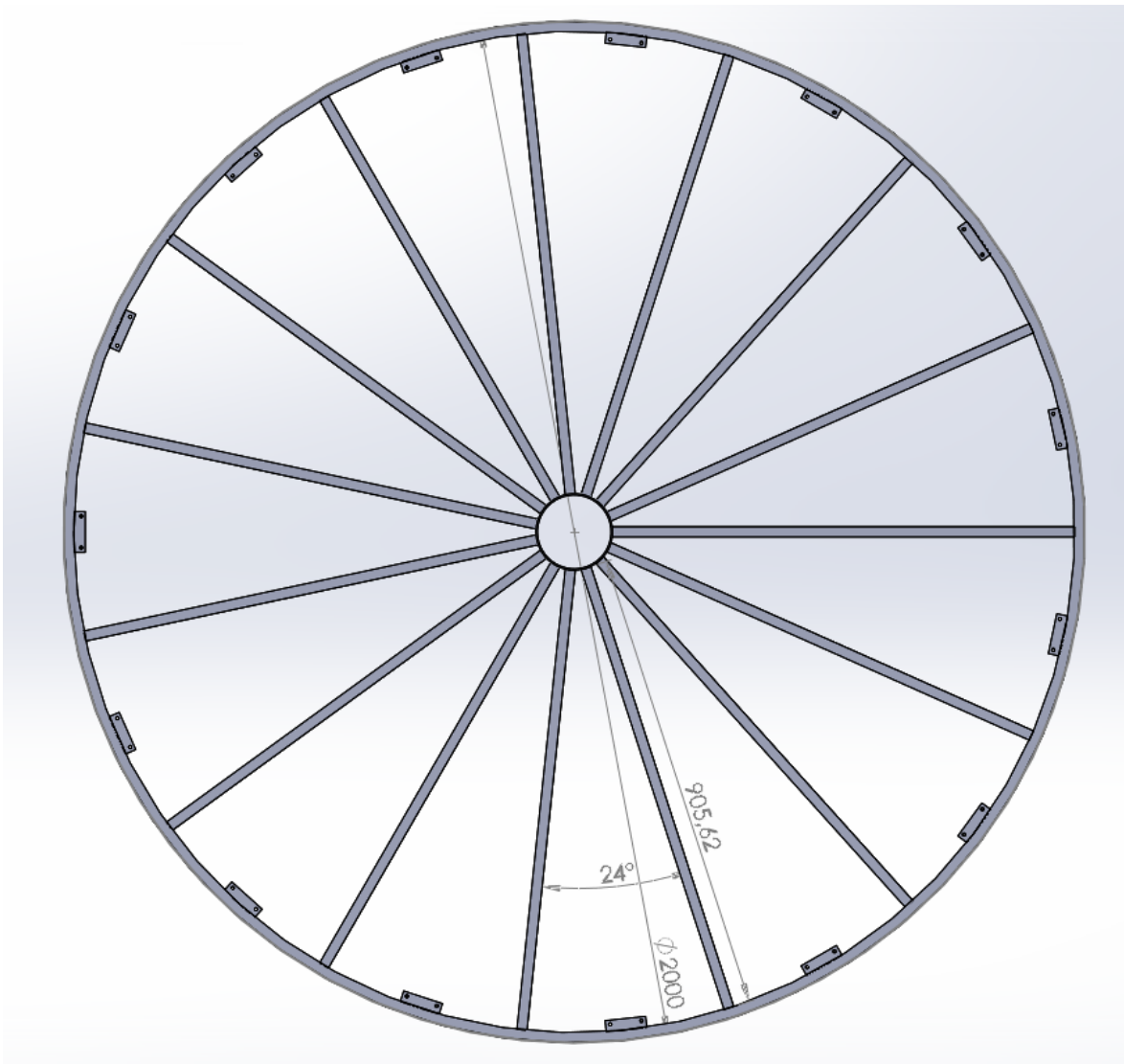
Tsentri osa koosneb kolmest erinevast tükist – välimine painutatud nelikanttorust ring, keskmine ümartoru ja sirgest nelikanttorust neid kahte ühendavast vahelülist, mida on kokku 15 tükki.

Välimise painutatud nelikanttoru saab teha mitmest tükist ning keevitades tükid omavahel kokku moodustades nii ringi. Välisseina raadius peab olema 1000 mm.

Keskmine ümartoru, millega saavutatakse tsentri asend, peab olema ülemisest ümartorust väiksema läbimõõduga, et alumine toru osa läheks ülemise sisse ning hoiaks sellega tsentriasendit.



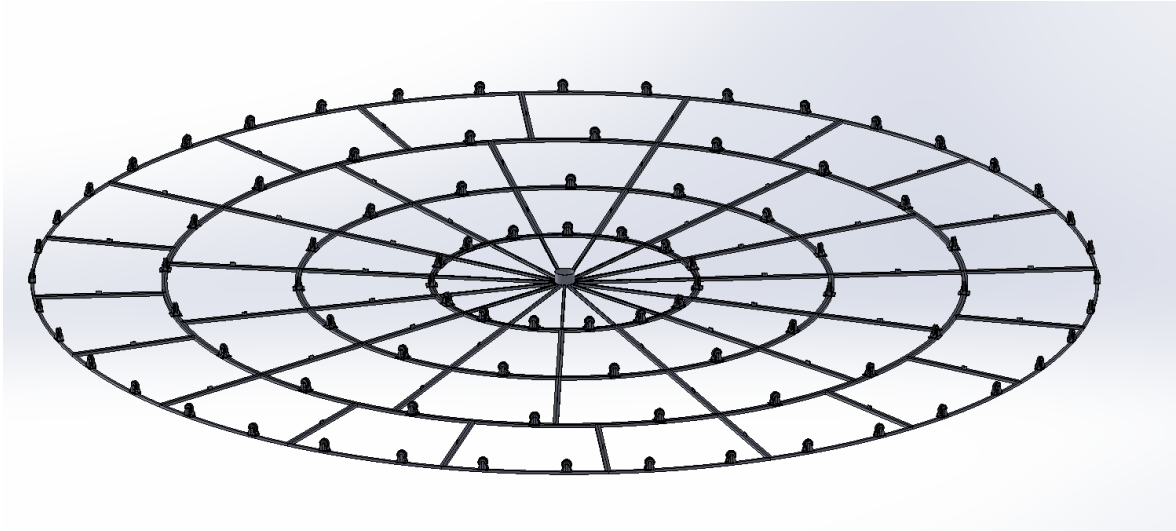
Sirgest nelikanttorust vahelüli peab olema umbes 905 mm pikk ning tuleb keevitada nii tsentritoru kui ka välimise painutatud nelikanttoru külge. Kuna vahelülid on paigutatud omavahel  $24^\circ$  alla, siis läheb vahelülsid kokku 15 tükki tsentringi jaoks.



Joonis 3.6. Tsentri osa.

### 3.1.8 Komplektne alumine osa

Lõpuks, kui kõik on õigesti tehtud, peaks lõpptulemus välja nägema midagi sarnast joonisel 3.7 tooduna.



Joonis 3.7. Alumine osa kompleksena.

### 3.2 Ülemine osa

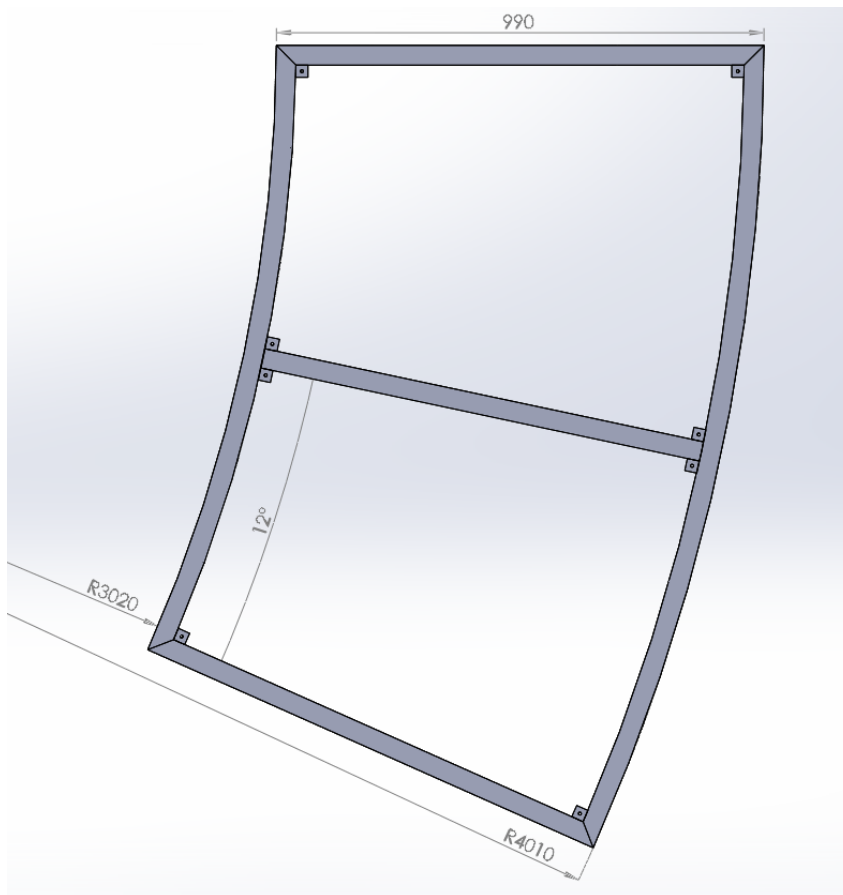
Ülemine osa koosneb nelikanttorudest koostatud elementidest ning tsentriosast. Nelikanttoru, mida kasutatakse ülemise osa tegemisel on 40 x 40 x 3 mm. Selline valik annab stabiilsuse ning kuna raam hakkab liikuma rataste peal, siis on vajalik natukese suurem pind, et oleks eksimisruumi juhuks, kui mõni ratas ei ole õiges asendis. Kuna ülemine osa liigub, siis on tähtis, et liikumispind oleks sile ja ühtlane. Samuti on vajalik ka mootorite rada kinnitada ülemise osa raami alumisele poolele sinna, kuhu on soovitud asetada mootorid, mis ülemist osa liigutama hakkavad. Kuigi gravitatsioon teeb suure osa tööst ära, siis on vaja ka siiski tsentri osa, mis hoiab ülemist osa õiges kohas, kuna iga suurem pöörutus tahab liigutada lava oma asukohast ära.

### 3.2.1 Välimine ring

Välamise ringi element koosneb kahest osast, välimine kontuur ja keskmine vahelüli. Välimine kontuur koosneb neljast nelikanttorust, millest kaks on painutatud joonisel näidatud raadiuste järgi ja otsa nelikanttorud on sirged pikkusega 990 mm. Otsmised nelikanttorud on omavahel  $24^\circ$  nurga all. Vahelüli on kahe otsmise nelikanttoru vahel. Vahelüli pikkus peab olema 910 mm. Kõik torud tuleb omavahel kinnitada keevitamisega.

Välimine raadius, nagu näha jooniselt 3.8, on 10 mm suurem, kui alumisel raamil. See on selleks, et ratta puutepind oleks võimalikult suur ja mitte raami ääre peal. See annab väikese eksimisvõimaluse. Sellisel konstruktsioonil on ka võimalus panna äärekate otse raami külge.

Kogu ringi elementide arv on 15. Elementid ringis ühendatakse omavahel otsadele profiili küljele puuritud aukude ühendamisel poltiitega M12. M12 on küll suur ja küllaltki kallis suurtes kogustes, siiski ei tohi lubada juhtumit, kus poldi purunemise tõttu inimene viga saab



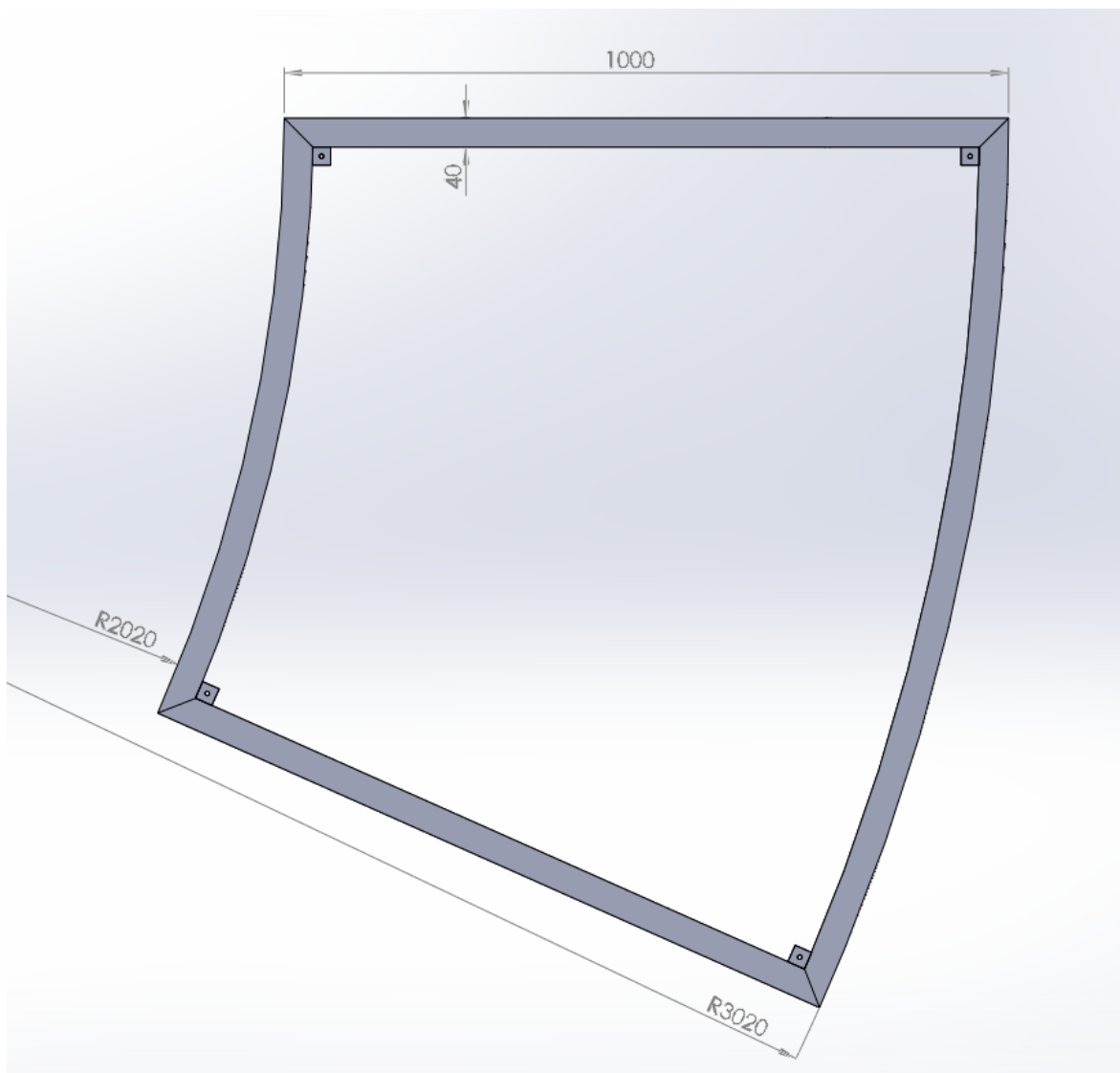
Joonis 3.8. Välamise ringi element.

### 3.2.2 Keskmise ring

Keskmise ringi element koosneb ühest tervikust, mis koosneb neljast nelikanttorust. Kaks nelikanttoru on sirged, mis on otstes ja mille pikkuseks on 1000 mm, ning kaks nelikanttoru on painutatud joonisel 3.9 näidatud raadiuste järgi. Otsmised nelikanttorud on omavahel  $24^\circ$  nurga all. Kõik torud kinnitatakse omavahel keevitusega.

Kogu ringi elementide arv on 15. Omavahel ringis ühendatakse elemendid otsade kaudu M12 poltliite abil, samal moel välimise ringiga.

Välimise ringiga ühendatakse elemendid M12 poltliitega, mille jaoks on augud puuritud painutatud torudele, keskmise ringi välimisele ja välimise ringi seesmisele iga  $4^\circ$  järelt jättes keskmise vahele, mis asetseks otsatorust  $12^\circ$  kaugusel, kuna selle kohta on vahelüli välimise ringi elemendil. Kokku teeb see neli poltliidet elemendi kohta.

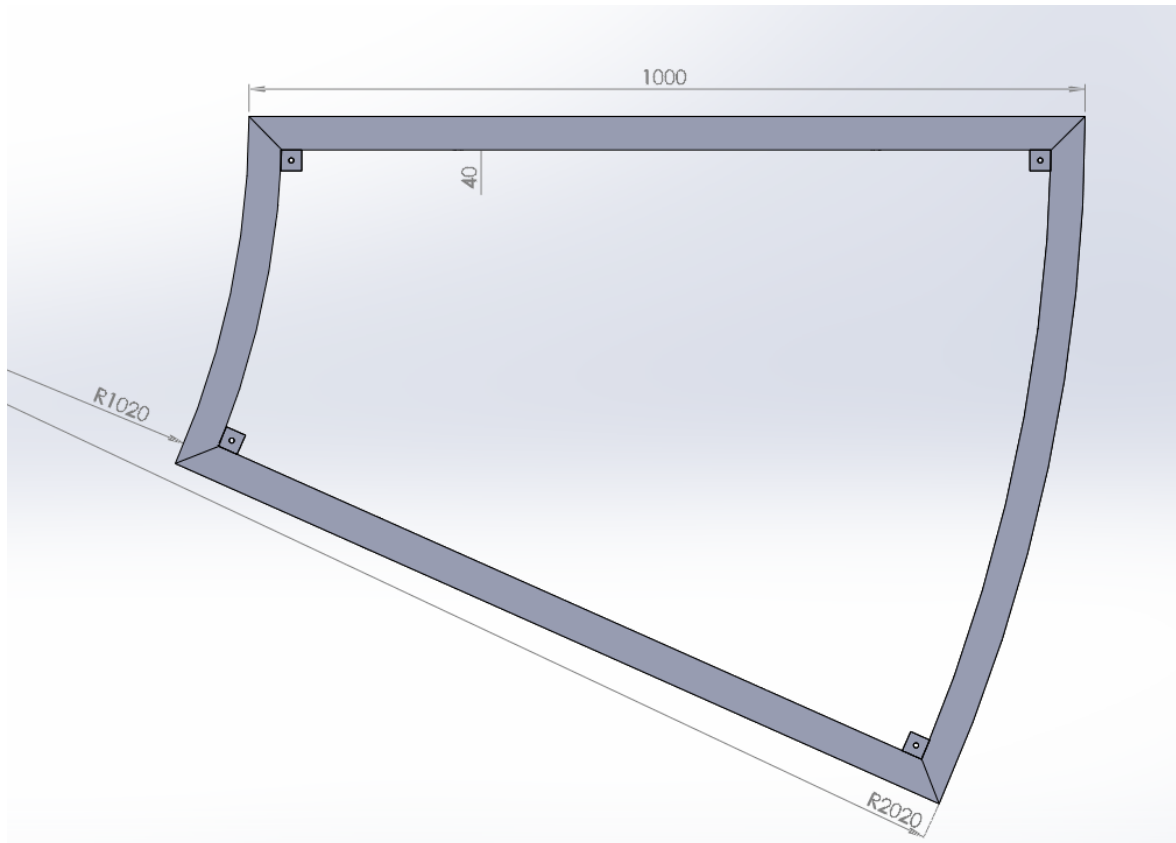


Joonis 3.9. Keskmise ringi element.

### 3.2.3 Sisemine ring

Sisemise ringi element koosneb sarnaselt keskmise ringi elemendiga ühest tervikust. Erinevus seisneb ainult raadiuste muutusega.

Keskmise ringiga ühendatakse kahe poltliitega, mille jaoks puuritakse nii sisemise ringi välimisele ja keskmise ringi sisemisele painutatud nelikanttorul augud, mis on otsatorudest 6° kaugusel.



Joonis 3.10. Sisemise ringi element.

### 3.2.4 Tsentri osa

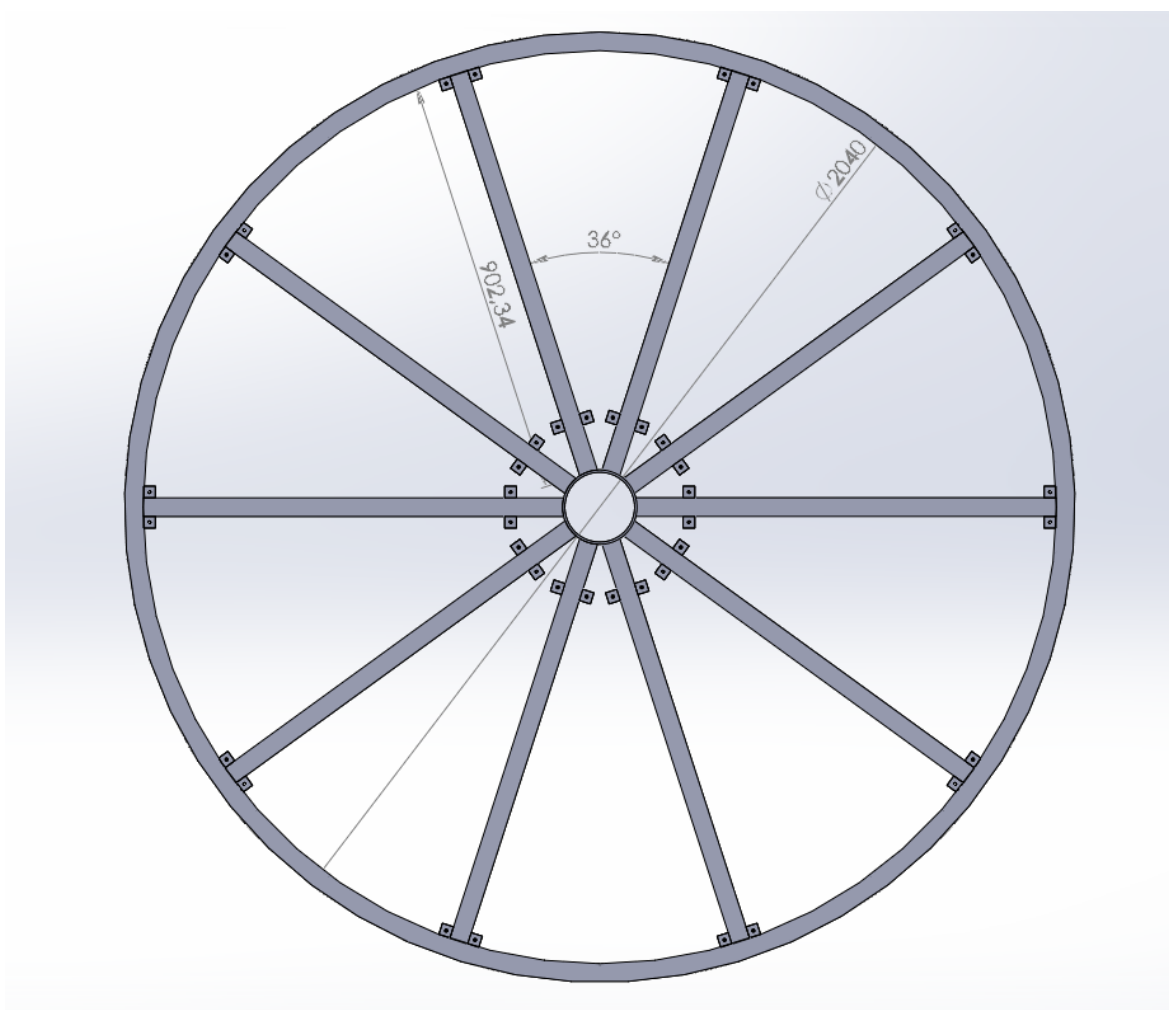
Tsentring koosneb kolmest eraldiseisvast elemendist – välimisest painutatud nelikanttorust, keskmisest ümartorust ning neid ühendavast sirgest nelikanttorust vahelülist, mida on kokku 10 tükki.

Välimise painutatud nelikanttoru saab teha mitmest tükist ja keevitades tükid omavahel kokku moodustades ringi. Välissiena raadius peab olema 1020 mm.

Keskmine ümartoru, millega saavutatakse tsentri asend, peab olema alumisest ümartorust suurema läbimõõduga nii, et pealmise osa toru lähöks alumise peale ning hoiaks sellega tsentriasendit.

Sirgest nelikanttorust vahelüli peab olema umbes 902 mm pikk ning tuleb keevitada nii tsentritoru kui ka välimise painutatud nelikanttoru külge. Kuna vahelülid on paigutatud omavahel  $36^\circ$  alla, siis on vaja 10 vahelüli tsentringi jaoks.

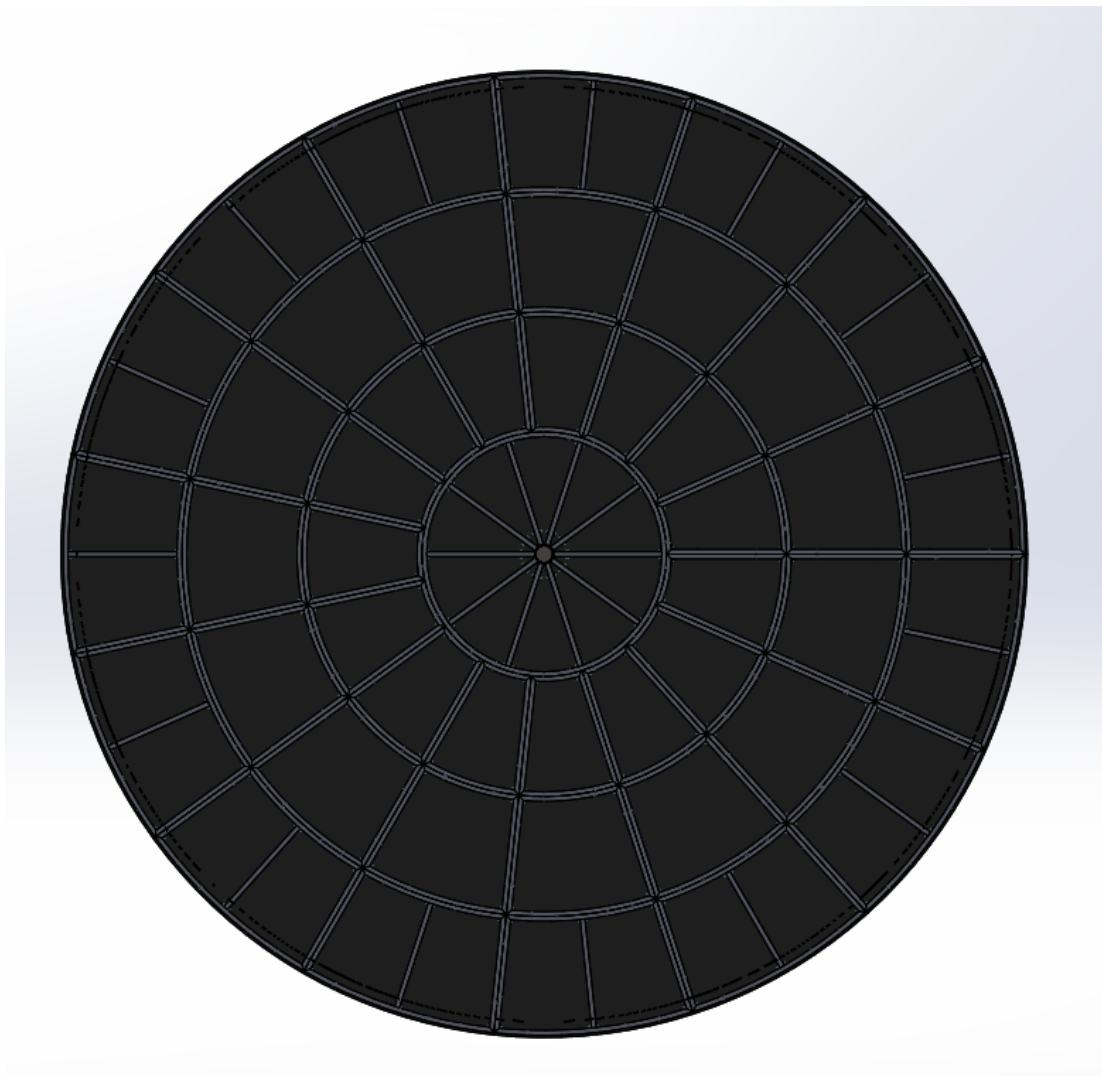
Kuna tegemist on kõige suurema ja raskema osaga tervest raamist, siis seda peab tõstma ja liigutama vähemalt kolme inimesega. Teised osad on kõik väikesed ja ei kaalu keskmiselt üle 10 kg. Ülemise osa tsentri kaaluks on umbes 75 kg. 15 ratas asetsevad selle tüki all ja seega kannab ainult raami pannes osa üle tonni raskust. (üks ratas kannatab 70 kg)



Joonis 3.11. Tsentri osa.

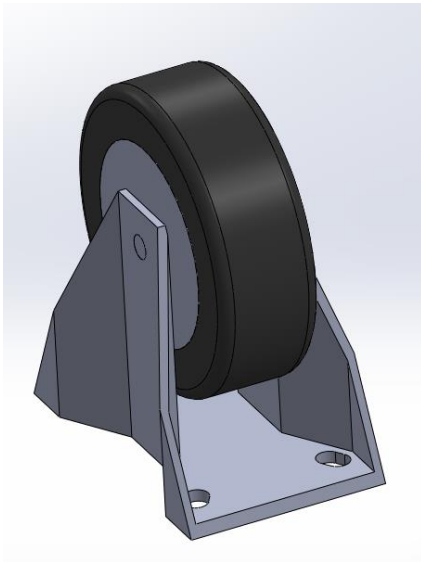
### 3.2.5 Komplektne ülemine osa

Kui ülemine osa valmis teha ja kokku panna, peaks lõpptulemus olema joonise 3.12 sarnane.



Joonis 3.12. Lõplik ülemise osa raamistik.

### 3.3 Rattad ja nende kinnitamine alumisel osal



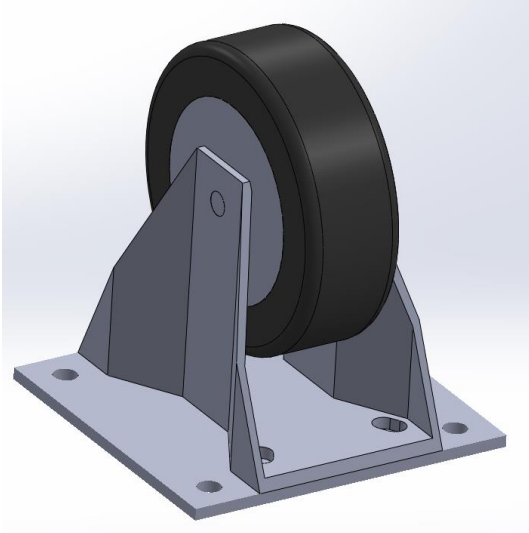
Joonis 3.13. Projekteerimis kasutatud ratta projektsioon.

Malliks võeti ratas, mida müüakse Eesti ehituspoodides (nt. K-Rauta jne). Ratas on Pisla poolt toodetud ja kannatab vähemalt 70 kg raskust. [4]

Kinnitamine välimisel ringil välimise painutatud nelikanttoru peal on lihtne. Kui on keevitatud eelpool nimetatud alus kinni, siis saab poltliitega ratta aluse külge panna. Seal juures tuleb alus keevitada väga täpselt ja võimalusel jätta kinnitusaugud natuke suuremad, et saaks vajadusel ratta nurka paremaks sättida, et ei takistaks ratta veeremist ja sellega pöördlava pöörlemist.

Ringide ühendamisel tuleb aga kasutada kinnitustükke ja alust mõlemat. Aluseks tuleb võtta selline plaat, millele mahub ära nii ratas kui ka poldid kinnitamiseks. Ratas tuleb keevitades kinnitada suuremale alusele joonisel 3.14 näidatud viisil.





Joonis 3.14. Ratas alusel.

Selleks, et aluse saaks kinnitada raami külge, tuleb raamile keevitada tükid eelpool näidatud kohtadesse. Lihtne viis, kuidas seda läbi on võimalik viia, on kasutades kahte alust. Kinnitades nad omavahel poltliitega, saame asetada nad soovitud kohta ja alumisele alusele märkida peale, kust on vaja teha lõige. Järele peab jääma kaks serva, kus on poldi augud sees. Need kaks serva peab see järel keevitama raami külge selliselt, et alus koos rattaga toetuksid nii raamile kui ka juurde lisatud kinnituskohtadele. Ehk kinnituskohtade keevitamise järgselt peab jääma pealt sile pind. See järel saab kahe erineva ringi elementide kinnituskohtadele lisada ratta ja fikseerida seeläbi kahe ringi omavaheline seos.

Kokku tuleb rattaid nelja meetrise raadiuse peale 40, kolme meetri peale 20, kahe meetri peale 15 ning meetri peale samuti 15. Liites kõik rattad kokku, siis saame, et kokku läheb rattaid 90 tükki. Võttes eesmärgiks ära kanda neli tonni raskust, mis oleks maksimaalne, mis pöördlavale pannakse, siis rattad kannatavad selle raskuse ära.

$$90 tk * 70 kg = 6300 kg$$

Kui lisada koori raskusele ka ülemise osa raskus ja ümardades seda piisava varuga üles, võime väita, et pöördlava kannatab 4,5 tonni raskust tugevusvaruga 1,4.

### 3.4 Tsenter

Selleks, et pöördlava pöörlemisel hoiaks tsentrit, on vaja kasutada kahte ümartoru juppi. Mõlemad jupid keevitatakse tsentri osade külge ja seda tehakse nii, et mõlema ümartoru tsenter oleks ühes kohas. Alumise osa tsentri ümartoru võib olla näiteks 150 mm välisläbimõõduga ning ülemise osa tsentri ümartoru jupp 150 mm siseläbimõõduga. Muidugi ei tohi nad olla liiga tihedalt koos, nad peavad saama siiski vabalt liikuda.

Ülemise osa tsentritoru ei tohi samas ka minna vastu alumise osa raami. See tõttu peab olema ülemise osa tsentritoru olema natukese lühem, kui alumise osa tsentritoru. Mõlemad torud võiksid olla pöördlava kõrgusest umbes 75%.

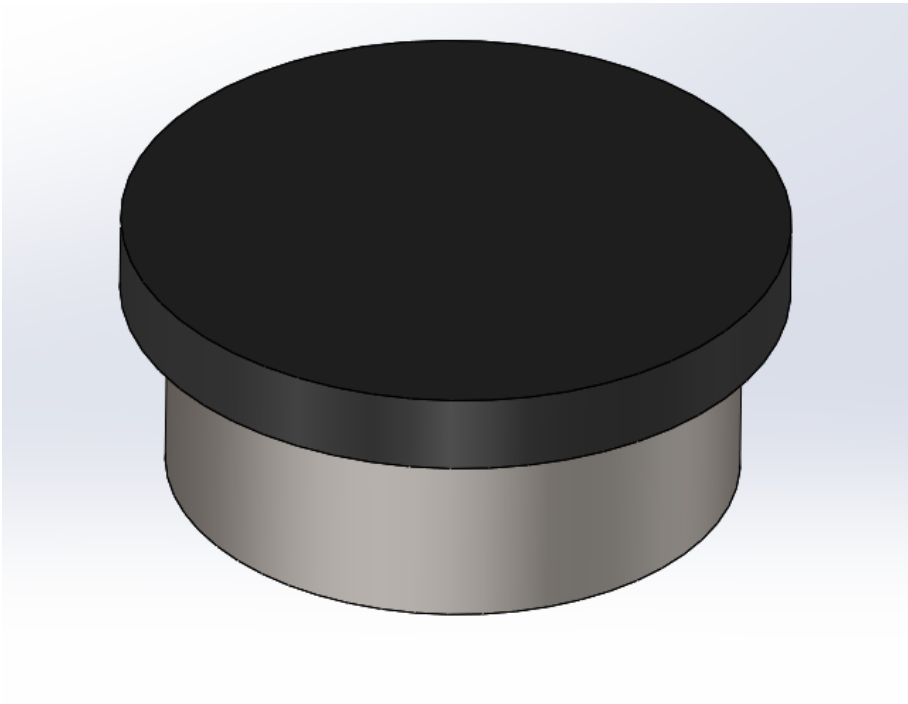
### 3.5 Pöördlava kattev materjal

Lisaks raamile tuleb raami peale kinnitada ka nii-öelda lava ise, mille peale oleks võimalik panna dekoratsioone ja millel ka esinejatel oleks võimalik liikuda.

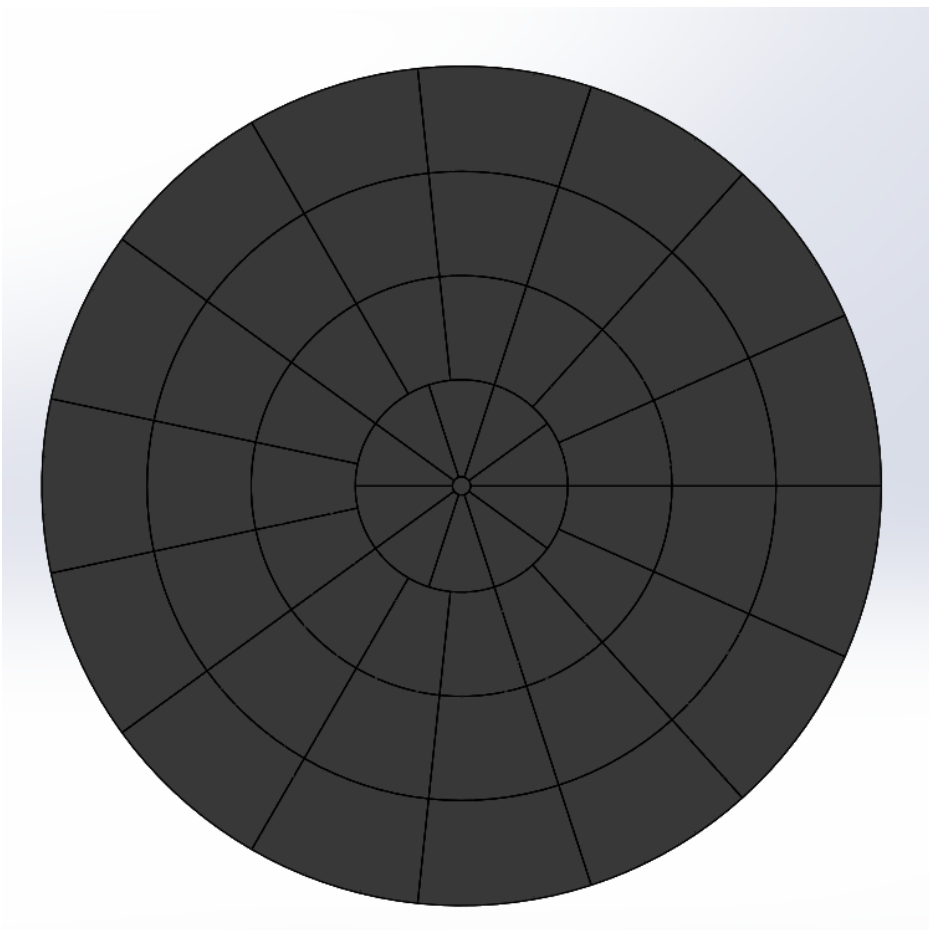
Materjal peaks olema tugev ja samas ka kerge, kui peamine on siiski vastupidavus. Võimalusi on palju, kuid kõike lihtsam ja vastupidavam on kasutada veekindlat vineeri. Veenkindla vineeri kasuks räägib nii hea töödeldavus ning ka see, et kui peaks juhtuma vesi maha kukkuma või maha valguma, ei lähe veekindel vineer nii kiiresti kasutuskõlbmatuks. [5]

Et ülemisele osale vineerid kinnitada, tuleb lisada nurkadesse väiksed lisatükid ülemise osa elementidele nagu on näha ülemise osa joonistel (joonistel sisenukades). Lisa tükk oleks keevitav raami külge ning tükile puuritud ka ava, mis on keermestatud M6 metallikruvi jaoks. Vineerile saab vastavatesse kohtadesse puurida samuti avad ja peitpeaga metallikruviga ühendada omavahel raamile lisatud tüki ja lavaplaadi. Nii ei jää näha auke ega ka poldi või kruvi peasid.

Lavaplaadid on jaotatud tükideks vastavalt ülemise osa elementide järgi. Ainus erinevus on tsentritoru kattev tükk, mis on eraldi tehtud ümmargune tükk. Katte tükk läheb ümartorude katteks tsentris. Selle tüki saab valmistada veekindlast vineerist ja alumise osa tsentritoru jäägist, mille saab kinnitada katte külge. Kui on omavahel kinnitatud, saab pöördlava katet pannes selle tüki lihtsalt ülemise osa toru sisse panna.



Joonis 3.15. Tsentritoru kate.



Joonis 3.16. Erinevad lavapinna osad paika asetatuna.

### **3.6 Servakate**

Pöördlava jaoks on tähtsal kohal servakate, mis katab ära kogu raami, mootorid ja kõik, mis on vaja vaatajate silme alt ära viia. Seda saab kinnitada kas lavaplaadi külge või otse ülemise osa välimise ringi raami külge. Kuna see on vastavalt etendusele erinev, siis projekteerida seda ei ole mõtet. Sinna võib panna raske riide, mis ei jääks rataste alla või siis plastikust serva või teha puitmaterjalist vastava paindega serv

### **3.7 Tugevus raamile**

Kuna alumisel raamil on pidev kokkupuude maa või raami all oleva pinnaga, siis murdumist ei ole vaja karta. Seevastu ülemisel osal on raam kokkupuudes ainult ratastega. Ratastega kokkupuutes on siiski aga vaja vaadelda ülemist osa ühe tervikuna. Lisaks kate, mis raami peale kinnitatakse, toetub terve raami peale.

Kõige suurema riskiga on ülemise poole tsentri osa. Tsentri osa on tehtud kolmest erinevast detailist, välimine ring, tsentritoru ja nende vaheline nelikanttoru, mis on keevitatud mõlemast otsast. Siiski tuleb arvestada ka sellega, et peale pandavad plaadid toetuvad kolmest küljest.

## 4 MAKSUMUS

Maksumuse all ma mõtlen üldist hinda raamile ning raami peale pandavale lavale. Samuti arvestatakse lõppsummale juurde ka poltide, seibide, mutrite kulud. Tööriistade kulusi ei arvesta. Samuti ei arvestata mootorite hinda, et tekiks võrdlus turul müüdavatega.

### 4.1 Raami alumise osa maksumus

Raami alumise osa materjaliks on 20 x 20 x 2 mm nelikanttoru. Lisaks on seal vaja painutada sama nelikanttoru. Lisaks tuleb arvestada ühendustükkidega, mis tuleb juurde keevitada ja ka poldid, muttrid ja seibid.

Eelnevat on teada alumise osa elementide mõõdud ja tükkide arvud. Selle järgi saab arvutada nelikanttoru vajaduse. Arvutused on tehtud tsentritoru välisläbimõõdu järgi (150 mm). Kui panna väiksem toru tsentrisse, tuleb tsentri osa sirgetoru vajadus suurem.

Kõik vajadused on ümardatud suuremaks. Kui mõnda varutükki on vaja, on vaja see juurde arvestada.

	Sirge toru vajadus (m)	Painutatud toru vajadus (m)	Elementide arv (tk)	Kokku (m)
Välimine ring	2	2,3	20	86
Keskmine ring	2	2,2	15	63
Sisemine ring	2	1,4	15	51
Tsentri osa	15	6,4	1	21,4

Tabel 4.1. Alumise osa nelikanttoru vajadus.

Kuue meetrise 20 x 20 x 2 mm nelikanttoru hinnaks on 10.40€. [6]

Tsentritoru ligikaudne maksumus umbes 25€ meetri eest. [6]

Polte on vaja ringide siseselt iga elemendi kinnitamiseks üks tükk elemendi kohta, ehk kokku:

$$20 + 15 + 15 = 50 \text{ tk}$$

Lisaks on vaja iga ratta kinnitamiseks neli polti. Iga ratta ühendus on samas ka ringide omavaheline ühendus. Eelnevalt on välja toodud, et kokku on 80 ratast.

$$80 * 4 = 160 tk$$

Kokku on vaja umbes 225 polti ja mutrit. Lisaks on võetud 15 tükki juhuks, kui mõned peaksid praagid olema.

Bauhofi e-poes on M6x35 poldi pakk, milles on 25 tükki, 3€. Mutrid M6 on pakis 25 tükki ja paki hinnaks 1,35€. Kokku teeb see 25 liite eest 4,35€. [8]

Lisaks tuleb arvestada ka keevitavate kinnitus tükide hind. Selleks tuleb võtta üks kahe mm paksusne lehtmetsa tükk. Metall24 pakub ka seda toodet ning selle mehe pindala on 3,125 m<sup>s</sup> ning hinnaks on 64,36€.

Rataste kogus on 80. Iga ratta hind umbes 5€.

	Vajadus (m)	Hind	Maksumus (€)
Nelikanttoru	222	10.40 (€/6 m)	384.80
Polidid, mutrid	225	4.35 (€/25 tk)	39.15
Ümartoru	1	25 (€)	25
Lehtmetsa	1	64,36 (€)	64,36
Ratas	80	5 (€)	400
		Kokku:	563,31

Tabel 4.2. Materjali maksumus alumisele osale.

## 4.2 Raami ülemise osa maksumus

Raami ülemise osa materjaliks on 40 x 40 x 3 mm nelikanttoru. Lisaks on vaja painutada sama toru. Tuleb arvestada ka poltide ja mutrite kogus.

Eelnevalt on teada ülemise osa elementide mõõdud ja tükide arvud. Arvutused on tehtud tsentritoru välisläbimõõdu järgi (154 mm).

Lisatud ei ole mootorite raja maksumust ega pöördlava katmise kinnitus tükide maksumust.

	Sirge toru vajadus (m)	Painutatud toru vajadus (m)	Elementide arv (tk)	Kokku (m)
Välimine ring	2	3,1	15	76,5
Keskmine ring	2	2,2	15	63
Sisemine ring	2	1,4	15	51
Tsentri osa	10	6,5	1	16,5

Tabel 4.3. Ülemise osa nelikanttoru vajadus.

Kuuemeetrise 40 x 40 x 3 mm nelikanttoru hinnaks on 27,84€. [6]

Ümartoru ligikaudne maksumus on 25€ meetri eest. [6]

Polte ja mutreid on vaja iga ringi siseselt elemendi kohta kaks tükki. Välimise ja keskmise ringi omavaheliseks ühendamiseks on vaja nelja tükki. Ülejäänud ringide ühendamiseks on vaja kahte tükki elemendi kohta. Kokku teeb see kogu ringi peale 220 polti ja mutrit. Lisaks on võetud 10 tükki juhuks, kui mõni peaks olema praak.

Pakk M12 polte maksab Bauhofi e-poes 7,25€ ja pakis on 10 polti. M12 mutrite pakk, mis sisaldab kuut mutrit, maksab 1,70€. [8]

	Vajadus (m)	Hind	Maksumus (€)
Nelikanttoru	207	27.84 (€/6 m)	960.48
Poldid	220	7.25 (€/10 tk)	159.5
Mutrid	220	1.70 (€/6 tk)	62,9
Ümartoru	1	25 (€)	25
		Kokku:	1207.88

Tabel 4.4. Ülemise osa maksumus.

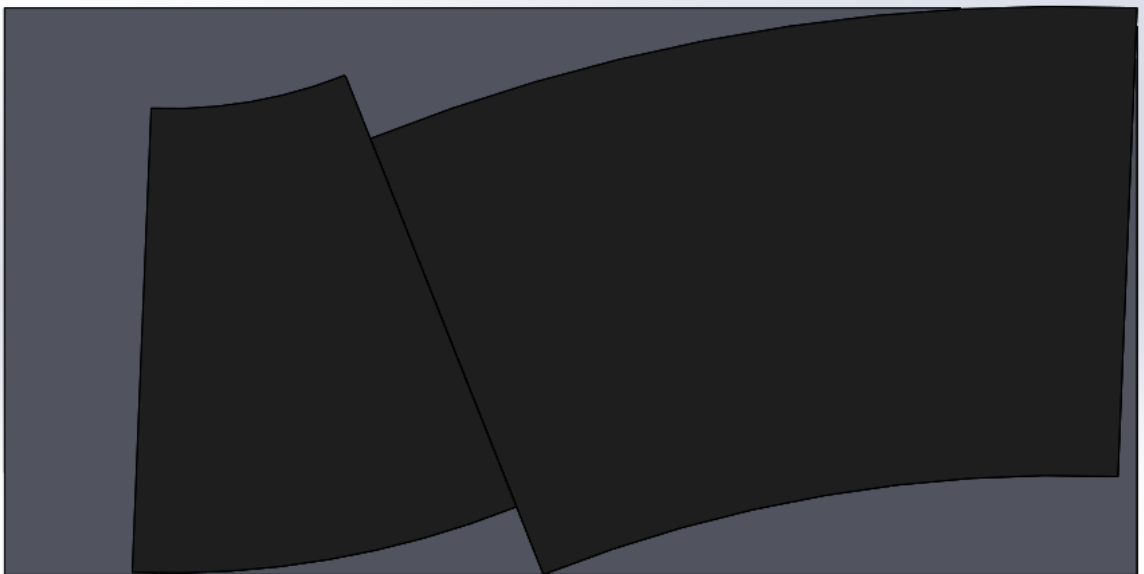
### 4.3 Pöördlava katte maksumus

Bauhofi e-poes on müügil veekindlat vineeri, mis on plaatitena müügil. Ühe plaadi mõõdud on 1220 x 2440 x 21 mm, mis teeb ühe plaadi pindalaks 2,977 m<sup>2</sup>. Ühe plaadi hind on 43,19€. [8]

Kogu pöördlava pindala on:

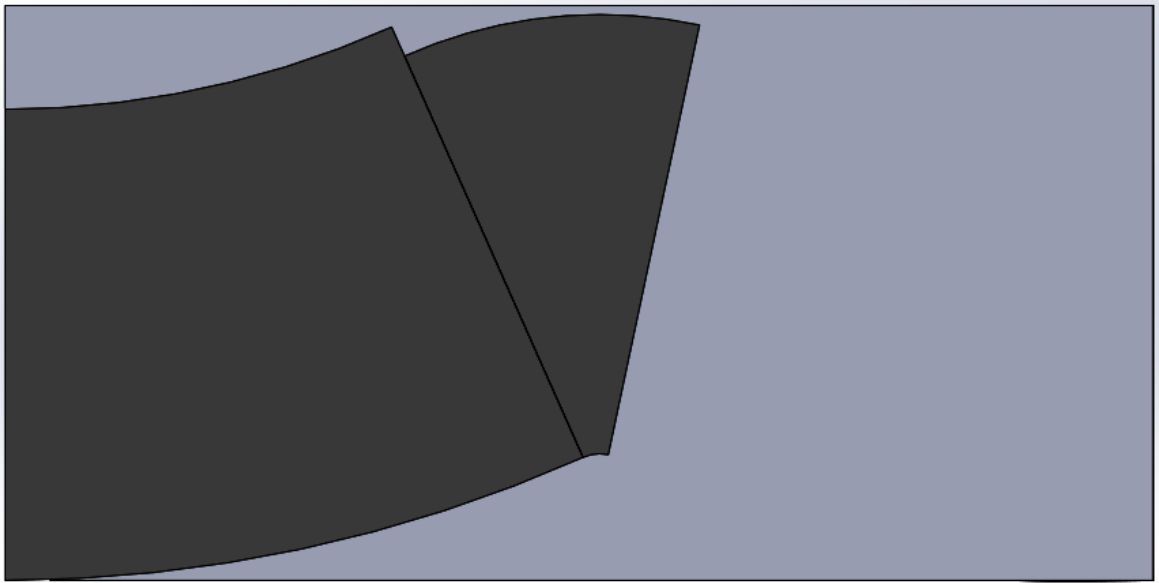
$$S = \pi * r^2 = \pi * 4^2 \sim 50,27 \text{ m}^2$$

Kuna katte tükid on vaja kõik välja lõigata raami järgi, siis tuleb paigutada tükid plaadile võimalikult palju kokku hoides. Samas peab olema katte tükk ühest tükist, muidu kaob tugevus ära. Kõik tükid tuleb ära nummerdada.



Joonis 4.1. Välimise ja sisemise ringi katte paigutus vineeriplaadile (tumedamad on katted) .





Joonis 4.2. Keskmise ringi ja tsentri osa katte paigutus vineeriplaadile.

Kui paigutada katted sarnaselt joonistel 4.1 ja 4.2 tooduna, läheks terve ringist 24° kahe vineeriplaadiga. Sellisel paigutusel läheb kokku vaja 30 plaati ning sealt jääb veel üle materjali muuks kasutamiseks.

Samas saab ka teisele plaadile panna katted juurde vähendades sellega materjali kadusi. Juurde saaks lisada algul kaks tsentri osa katet ja hiljem saaks teise keskmise ringi katte panna kõrvale, kuna tsentri osa katted on vaja kokku 10, siis nelja plaadiga saab need valmis. Selliselt ehitades läheks kokku 25 plaati.

Arvutused tehakse 30 plaadiga, et oleks varu juhuks, kui mõni tükk ei valmi õigete mõõtudega.

Lisaks materjalile on vaja kinnitada katted peitpea metallikruvidega. Mutreid pole vaja, sest raami külge sain keevitatud lisa kinnitused, mis ka ära keermestati (M6). Kuna valitud vineeri paksus on 21 mm, siis on vajalik peitpea metallikruvi pikkus vähemalt 30 mm.

Bauhofi e-pood pakub M6 x 30 peitpea metallikruvi pakendit, kus sees on 25 tk, hinnaga 6.40€. [8]

	Katteid (tk)	Tüki kohta kruve	Kokku (tk)
Välimine ring	15	4	60
Keskmine ring	15	4	60
Sisemine ring	15	4	60
Tsentri osa	10	4	40
		Kokku:	220

Tabel 4.5. Peitpea metallikruvide vajadus, kus pakid on võetud täisosa peale (9 pakki).

	Kogus	Ühe ühiku hind (€)	Maksumus (€)
Metallikruvid	9 pk	6,4	57,4
Vineerplaadid	30 tk	43,19	1295,7
		Kokku:	1353,1

Tabel 4.6. Kogu pöördlava katmise maksumus

## 4.4 Kogu pöördlava maksumus

Kogu maksumuse alla lähevad nii ülemine kui ka alumine osa ning pöördlava katmine. Selle sees on materjalid ja ühendusvahendid. Maksumusse pole arvestatud tööriistu, tööd ega mootoreid. Samuti pole arvestatud kuluvahendeid, nt elektroodid või löikekettad.

	Ülemine osa	Alumine osa	Lavapind	Kokku
Maksumus (€)	1207,88	563,31	1353,1	3124,29

Tabel 4.7. Projekteeritud pöördlava maksumus

Võrreldes turul müüdavate pöördlavadega, mille hinnad jäävad kaheksa meetrise diameetri juures umbes 12000€ lähedusse, siis ise teha tuleb odavam, kuid tuleb siiski arvestada projekteeritud hinna juurde ka mootorite hinna, tööriistade hinna ja ka töö hinna. Samuti saab turult ostes ka garantii, mis võib tulla kasuks, kui peaks midagi juhtuma. Kui ise teha, siis ei ole sellist võimalus.

Kuna nelikanttorude painutamistööd tuleb sisse tellida, siis tuleb ka selle hind juurde liita.

## 5 MOOTORID, NENDE ASUKOHAD JA JUHTIMINE

Täna sel päeval on enim levinud kolme tüüpi mootorite asetust, mida kasutatakse.

Esiteks on keskringil asetsev mootor, mis toob välja kõige keerulisema ehituse raamile. See meetod on kallis ja raskesti ehitatav, kuid väga hea pöördlava monteerimisel ja demonteerimisel.

Teiseks meetodiks on väljas paiknev mootor. See meetod on väga hea, kuna jõud on väikesed, mis on vaja, et pöördlava liikuma saada. Kuid kuna üks täpsustatud tingimus on, et mootor ei tohi olla nähtaval kohal, siis langeb ka see variant ära.

Kolmandaks on võimalik ehitada ka rada, kus peal saab mootori poolt veetav ratas sõita, mis omakorda pöörab pöördlava. See meetod on väga hea kasutada, kuid nõuab lisa elemente ülemise osa all. Lisaks peab mootor mahtuma ülemise ja alumise osa vahele.

Seega võttes arvesse, et mootorid peavad olema väikesed, tuleb viia mootorid võimalikult suurele raadiusele, et mootorid suudaksid pöördlava raskuse all pöörlema ajada. Siinkohal tuleb ära märkida, et lava kindlasti ei pöörle, kui terve koor selle peal on, kuna see muutuks ohtlikuks.

Projekteeritud pöördlavale mootori veorattale mõeldud rada on raadiusega 3800 mm ülemise osa all. Kinnitub see rada ülemise osa välimise ringi elementide alla. Vajadusel võib sinna teha ajutist paigaldust võimaldavad kinnitused või siis panna statsionaaselt, keevitades ülemise osa raami alumisele poolele rada kinni. Kui raja tükid kinni keevitada, on vaja suurt täpsust.

Mootorite toide tuleb tuua pöördlava tagant või alt, et kaableid ei jääks näha. Toiteks tuleb valida kas 400 V või 230 V, olenevalt mootoritest ja võimalustest voolu saada.

Mootorite juhtimine toimub läbi puldi, millel on peal ka nii-öelda surnud mehe lüliti. Kui nuppu alla ei vajuta, et saa mootoreid tööle panna ja sellega seoses ka pöördlava liikuma panna. Surnud mehe lüliti on vajalik, et kogemata ei läheks keegi vastu puldile ja seda tööle ei paneks.

### 5.1 Potsensiaalsed mootorid

Kuna projekteeritud pöördlava on küllaltki madal, et panna mootor lava alla peitu, siis peab valima mootori samuti väikeste välisdimensioonidega. Hea valik mootoreid on ALMVEL Engineering OÜ-l. Sealt tuleb valida vajadustele sobiv mootor. [9]

Näiteks on võetud Transtecno toodetud mootorite seast väliste mõõtude järgi sobiv mootor, milleks on MY seeria B14, mille suurimaks läbimõõduks on 80 mm asetades mootori külili. Kuna tegemist on ühe faasilise mootoriga, siis tuleb tuua mootorini 230 V vahelduvvool. Mootorile lisatakse vastav reduktor ja kinnitatakse pöördlava alumise poolele mootorile ehitatud kinnitustega. Reduktorile pannakse veoratas mis sätitakse vastu rada, mis on pöördlava ülemise poole all. Kui rada on tehtud õigesti ja raja raadius ei muutu kogu aeg, siis saab pöördlava liigutada. [9]

Samuti võib valida ka TS seeria mootori, mis on põhimõtteliselt sama, kuid kolmefaasiline. [9]

Ehitades mootorile rakist, mis teda hoiaks paigal, tuleb ta ka ühendada alumise osaga. Sellega välditakse mootorite liikumist alumise osa suhtes. Samuti tuleb tagada ka reduktori kindel asend.

Vajadusel saab sama komplekti ka lisada esimesest mootorist 180° eemale, või siis kolm mootorit ja kõik 120° peale.

Mootorite juhtimine peab olema paralleelne. Juhtida saab ainult ühest puldist ja surnud mehe lülitiga. Mootoritele on vajalik sagedusmuundur ning ka kontrolleri.

Sagedusmuundurid maksavad ca 200€. Kontrolleri jaoks võib kasutada Unitronicsi kontrolleri, mis maksab umbes 100€, olenevalt mudelist. Kontrolleri jaoks saab seadistada kiirust ja palju muud.

Programmi saab Unitronicsi kontrolleri jaoks Unitronicsi kodulehelt allalaadida tasuta.

Programmeerimine on redeliga. [10], [11]

## 6 KOKKUVÖTE

Lõputöös käigus sai projekteeritud raamistik pöördlavale ja uuritud ka võimalikke mootorite kasutamist.

Pöördlava on kaheksa meetrise diameetriga ja lihtsast tehtav ka nelja meetrise diameetriga. Selleks on vaja lihtsalt võtta keskmine ja välimine ring ära. Sellisel juhul on aga vaja ka uut mootori rada. Samuti saab teha lava ka 12 meetrise diameetriga ümber. Selleks on vaja teha juurde kaks ringi, mis viivad pöördlava raadiuse kuuele meetrile. Võib teha sarnase loogikaga, aga nurka ühe elemendi otsa nelikanttorude vahel peab vähendama või lisama vahe tükke painutatud nelikanttorude vahele. Pöördlava kõrgus on 181 mm.

Pöördlava on võimalik osadeks lahti võtta ja teisaldada sinna, kuhu vaja on. Samuti on võimalik osandatud pöördlava vedada tavalise veoauto järelhaagisega. Pöördlava osad on tõstetavad üksinda, kuid tsentri osa peab mõõtmete tõttu tõsta vähemalt kolme inimesega. Osa diameeter on kaks meetrit ja kaal on ligikaudu 75 kg (alumise osa tsentri osa kaal on umbes 25 kg).

Raamistiku kokkupanemine toimub pöörliidetega või siis rataste abil. Rattaid on 90, mis asetsevad põhjaga alumise osa raami peal, ratas jookseb mööda ülemist raami. Sellega vähendatakse riski, et midagi jääb liikumisteele ja selliselt saab panna kahe raami, ülemise ja alumise, vahele kaableid, dekoratsioone jm.

On projekteeritud ka lavakatmine veekindlavineeriga, mis kinnitub ülemise raami külge peitpea metallikruvidega raamile lisatud keermestatud tükki abiga.

On olemas projekteeritud pöördlava raami ja lavakatte potentsiaalne maksumus, milleks tuli kokku 3125€. Siiski tuleb arvestada, et see ei ole lõplik hind. Mootorid, tööriistad, painutamistöö ja garantii puudumine tuleb samuti lisada. Samuti on olemas ligikaudne võrdlus turul müüdavate ajutiste pöördlavadega.

Sai uuritud ja mõeldud, kuhu panna ka potentsiaalne elektrimootor vedava rattaga ja mootori jaoks ka rada projekteeritud, mida mööda vedav ratas lava ülemist poolt liigutama hakkab. Mootori valik on tehtud koos mootori juhtimisega.

Kuna põhiorhk läks raamistiku väljatöötamisele, edasised tööd võiksid olla seotud mootorite valiku täpsustamine.

Kokkuvõttes on üliõpilase hinnang tööle hea, sest sai tehtud nullist osandatava pöördlava projektsioon ja hinnatud ka maksumust, mis pöördlava raamistiku ja lava katmisele veekindla vineeriga kuluks. Kui teha lõputöö järgi valmis projekteeritud osad, siis saaks pöörleva lava.

## 7 SUMMARY

In the bachelor's thesis is the development of a revolving stages frames and possible usages of electrical motors.

Revolving stage is eight meters in diameter and is easily modifiable to four meters in diameter by taking away two outer circles of elements. Also it is possible to take the diameter 12 meters, but to do so, two more circles of elements have to be done. Maximum height of the revolving stage is 181 mm.

It is possible to disassemble the revolving stage and move it to wherever is the need. In addition the disassembled parts are transportable with a regular truck trailer and are movable by one person except for the center piece, which outer dimensions are too big for one person to lift comfortably.

Putting together the frame is done with bolts or with the help of supporting wheels. There are 80 supporting wheels and they are located on the lower frame. By putting the wheels facing up we cut down the risk of something getting in the way of the wheels and disrupting movement of the stage. In addition to cutting down the risks, it is possible to put different decorations and cables below the stage, if needed.

The covering of the revolving stage is done by waterproof plywood. The plywood pieces connect to the upper frame with metal screws to the threaded holes in the added pieces to the frame itself.

There is estimated cost of the frame and covering. It comes up to 3125 euros. The price does not contain the motors, work of bending squarebeams and tools.

The choice for the motors is done, but because of the possibilities, the choice of motor can be studied further in the future.

In conclusion the students rating for the work is good because the frame is done and covering also, what was the main emphasis of the work. In addition the price of developed constructions was calculated and compared to the alternative possibilities on the market.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Bumati koduleht. [WWW]  
<http://www.bumat.com/e/>
- [2] Ventumi koduleht. [WWW]  
<http://www.ventum-s.com/en/revolving-stage.html>
- [3] Showtexi koduleht. [WWW]  
<http://www.showtex.com/en>
- [4] K-Rauta tootekataloog. [WWW]  
<https://www.k-rauta.ee/p/tugev-ratas-pisla-kummiga-70kg-75mm/1ygs>
- [5] Vineerimaailma tootekataloog. [WWW]  
<https://www.vineerimaailm.ee/veekindel-kasevineer>
- [6] Metall24 tootekataloog. [WWW]  
<http://www.metall24.ee/tooted>
- [7] Frellock koduleht. [WWW]  
[http://www.frellok.ee/products\\_est.pdf](http://www.frellok.ee/products_est.pdf)
- [8] Bauhofi tootekataloog. [WWW]  
<http://www.bauhof.ee/>
- [9] Almveli koduleht. [WWW]  
<http://www.almvel.ee/tarvikud/reduktormootorid-ja-reduktorid.html>
- [10] Elektroscandia koduleht. [WWW]  
<http://www.elektroskandia.ee/hinnakiri/ryhm/38-sagedusmuundurid-ja-sujuvk%C3%A4ivitid>
- [11] Unitronics koduleht. [WWW]  
<https://www.unitronics.com/>