



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

GTEM KAMBRILE MANIPULAATOR RAKISE KONSTRUEERIMINE

BAKALAUREUSE TÖÖ
MEHHATROONIKA ÕPPEKAVA

Üliõpilane: Andres Kirsipuu

Üliõpilaskood:142522

Juhendaja: Marek Jarkovoi

Tallinn 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 Marek Jarkovoi juhendamisel

“.....” 2017 a.

Töö autor:

/allkiri/

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele

“.....” 2017 a.

Juhendaja:

/allkiri/

Lubatud kaitsmisele

“.....” 2017 a.

..... õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees:

/allkiri/

BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Andres Kirsipuu

Õppekava: MAHB 02/13

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: Teadur, Marek Jarkovoi

Konsultandid: : (nimi, amet, telefon)

.....

LÕPUTÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) GTEM kambri manipulaator rakise konstrueerimine

(inglise keeles) The construction of GTEM cell manipulator device

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Lõputöö teema valik ning lähteandmete kogumine.	15.04.17
2.	Arvutuste ja modelleerimise teostamine. Kirjanduse läbitöötamine.	30.04.17
3.	Uuringu tulemuste kirjeldamine, järeldused.	3.05.17
4.	Töö esimene versioon valmis ja juhendajale läbilugemiseks saatmine.	20.05.17
5.	Lõplik vormistamine ning köitmine.	24.05.17

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 13.03.17

Töö esitamise tähtaeg: 25.05.2017

Üliõpilane Andres Kirsipuu

/allkiri/

kuupäev.....

Juhendaja Marek Jarkovoi

/allkiri/

kuupäev.....

SISUKORD

EESSÕNA	5
1.SISSEJUHATUS.....	6
2.GTEM TESTSEADME TUTVUSTUS	7
3.POSITSIONEERIMISRAKISED	10
4.SOBILIKU KONSTRUKTSIOONI LEIDMINE	13
4.1 Esimene prototüüp	13
4.2 Teine prototüüp.....	14
4.3 Lõplik versioon	15
5. LÕPLIKU RAKISE KONSTRUKTSIOON	17
5.1 Detaili kinnitamine	17
6.MATERJALI VALIK.....	19
6.1 Puit.....	19
6.2 Plastid.....	21
6.2.1 ABS	22
6.2.2 POM	22
6.2.3 PVC ehk Polüvinüülkloriid.....	23
6.3 Materjali valik	23
7.TUGEVUSANALÜÜSID	25
7.1 Peatala	25
7.2 Detaili alus	27
7.3 Kogu rakis.....	28
8.TÖÖTLEMISVIISID	31
8.1 Vesilõikus.....	31
8.2 Laserlõikus	32
8.3 CNC freesimine ja treimine	32
8.4 Sobilik töötlemisviis	32
KOKKUVÕTE	33
SUMMARY	34
KASUTATUD KIRJANDUS	35
LISA 1: Rakis koos juhtimismehhanismiga	36
LISA 2: Rakis koos juhtimismehhanismiga	37

EESSÕNA

Antud lõputöö teema pakuti välja Tallinna Tehnikaülikooli poolt, sest ülikoolil puudus vastav seade. Lõputöö juhendajaks oli Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja Mehhatroonika instituudi nooremteadur Marek Jarkovoi. Bakalaureusetöö valmis koostöös mehhatroonika eriala tudengi Mait Arustega, kelle ülesandeks oli välja mõelda rakise juhtmehaanika. Autori ülesandeks oli lõputöö puhul konstrueerida sobiv konstruktsioon ning leida sobiv materjal ja õige töötlusviis.

Siinkohal tahab autor avaldada tänu teadur Marek Jarkovoile, kes oli juhendamisel suureks abiks.

1.SISSEJUHATUS

Lõputöö ülesandeks on välja töötada GTEM (gigahertz transverse electromagnetic cell kambri) kaugjuhitav rakis mõõdetavate seadmete jaoks. Praegu pole GTEM katsekambris rakist, millega saaks katseid ja uurimusi läbi viia, seega on antud seadmele praktiline vajadus ülikoolil, sest täpselt kooli nõuetele vastavat rakist jaekaubandusest saada ei ole. Rakist saaks tellida ka tehasest eritellimusena, kuid selline variant pole eriti kuluefektiivne.

Juhendaja poolt on rakisele ette nähtud nõuded:

*Peab kannatama püsivalt 30kg detaili (+ varu 15%) igas asendis ja pööramisel.

*Ei tohi sisaldada mitte ühtegi metalloosa.

*Peab mahutama mõõdetavat aparatuuri mõõtudega kuni 45x45x45 (cm).

*Mõõdetava aparatuuri tsentri kõrgus peab olema reguleeritav.

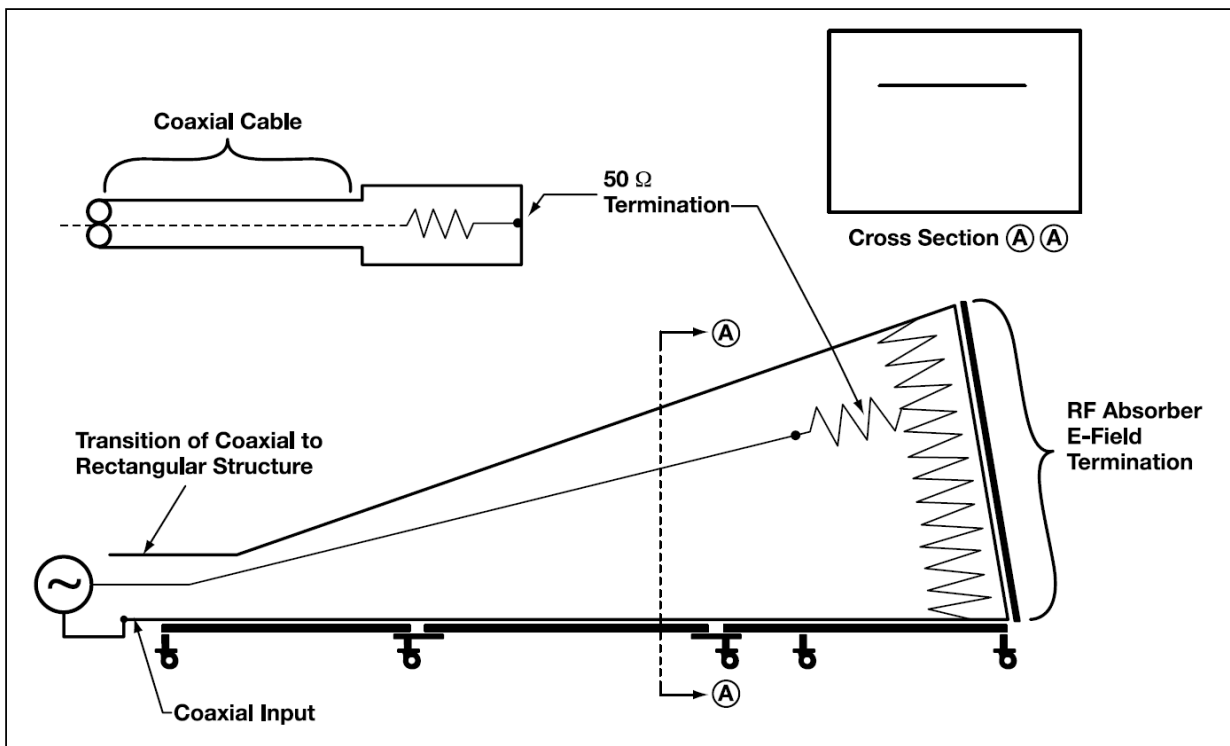
*Kinnitamiseks kambrisse ei tohi kasutada kambrit läbivaid kinnituseadmeid.

*Juhtimine tuleb lahendada pneumaatiliselt ja positsioneerimine optilise anduri abil.

Antud lõputöös on ülevaade sobiliku konstruktsiooni leidmisest, kaaludes erinevaid variante. Materjali valikus on toodud välja materjalide omadused ja võrdlus ning valituks osutunud materjal. Lõputöö teises pooles on konstruktsiooni tugevusarvutused tähtsamatele osadele ning kogu rakisele. Töö võtab kokku erinevate töötlusviiside analüüs ning sobiva valik.

2.GTEM TESTSEADME TUTVUSTUS

GTEM kamber on sageduslikult laiendatud variant traditsioonilisest seadmest TEM(transverse electromagnetic cell). GTEM kambri on võimalik mõõta mõõdetava seadme kiiravat, kui ka neelatavat elektromagnetilist kiirgust [1]. Elektromagnetiline kiirgus on laetud osakeste kiirav ja neelatav energia, mis kandub ruumis edasi lainena, milles elektri- ja magnetvälja komponendid võnguvad teineteise ja laine levimise suuna suhtes risti, olles üksteisega samas faasis. EM-laine levib vaakumis valguse kiirusel, milleks on $c = 299\,792\,458$ m/s (kuna meeter on defineeritud valguse kiiruse järgi, siis on see arv täpne) [2]. Elektriliselt on GTEM kamber pikendatud variant 50-oomi ülekandeliinist. Ülekandeliini välimine elektrijuht on püramiidikujuline, mis on GTEM kambri välimine sein, mis on omakorda ka raadiosageduslikuks (RF) varjestuseks. Keskmise elektrijuhi kuju muutub õhukeseks, laiaks plaadiks, mis omakorda on GTEM-i vahesein. Voolu jaoks on liini lõpus 50-oomine lairiba-takistusvõrgustik, mis on vaheseina ja tagaseina vahel. Väljade summutamise jaoks on kambri tagaseinal raadiosageduslikud neelajad [3]. Selel 2.1 on näidatud kambri ülesehitus.



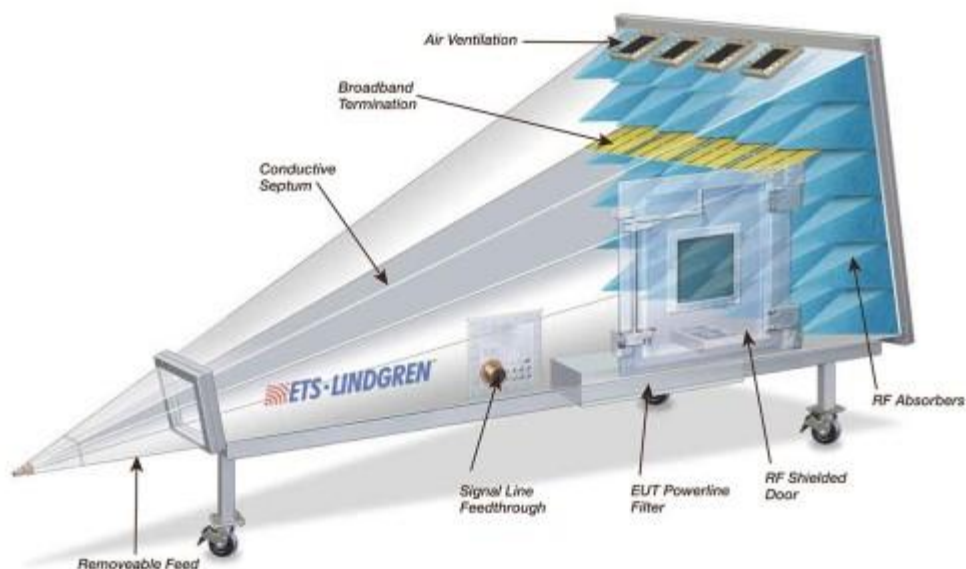
Sele 2.1 GTEM kambri ülesehitus.

GTEM kambrid on saadaval erinevates suurustes ja mõõtudes, vastavalt vajadusele. Väiksemad seadmed hakkavad 250mm kõrgusest ning suuremad kambrid küündivad 2000 mm kõrgusteks. Sellised kambrid sobivad suurtele tööstusettevõtetele, kes teevad massiivsete ja mahukate detailidega katseid. Tallinna tehnikaülikooli laboris on GTEM kamber 750.

GTEM mõõtekambri eelisteks on väikse võimsusetarve juures tugevate väljade loomine. Genereeritavad väljad on üldjuhul homogeenised ja ühtlased. Kambrit saab kasutada väga laias sageduspiirkonnas. Samuti ei vaja kamber mitte ühtegi välist antenni või muud seadet. Lisaks on suuremad GTEM kambrid rataste peal, mis võimaldab seda liigutada mööda ruumi. Monteerimiseks ja tööle panemiseks ei ole muud vaja, kui lükata sobiva koha peale ning ühendada vooluvõrku. Järgneval kahel seel on näidatud erinevad GTEM kambrid.



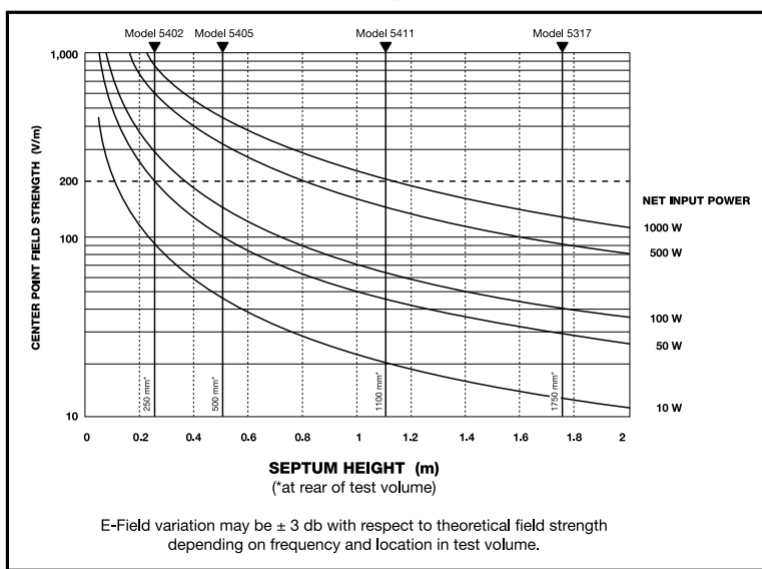
Sele 2.2 Väiksem GTEM kamber.



Sele 2.3 GTEM kambrit tutvustav pilt.

GTEM kamber genereerib koos signaali sisendiga TEM laineid piki vaheseina. TEM lainetel on välja impedants 377 oomi, sama, mis vabas ruumis. Välja intensiivsus on otseselt võrdeline sisse antava võimsuse ja vaheseina kuni pöranda vahelisest kaugusest. Loodavad väljad on ühtsed ja samades parameetrites. Seos teoreetilise välja tugevuse ja sisendvõimsuse vahel on näidatud seel 2.4.

Theoretical Field Strength vs CW Input Power



Sele 2.4 Teoreetiline välja tugevus vs sisendvõimsus.

3.POSITSIONEERIMISRAKISED

GTEM kambri kasutamiseks on vaja seadmesse rakist, mis fikseeriks mõõdetava detaili ning millega saaks detaili pöörata soovitavates suundades. Selle lõputöö raames tuleb välja selgitada parim tehnoloogiline lahendus ja konstruktsioon, mida saaks antud ülesandes kasutada. Konstruktsioon peab olema rakisel võimalikult lihtne ja võimalikult väheste liigenditega, kuna liigne keerukus võib esile kutsuda rakise purunemise. Kaubanduses on rakiseid saada paari erineva konstruktsiooniga ja kümne erineva välismõõtmega. Peamiseks põhjuseks, miks antud olukorras kaubanduses olevad rakised ei sobi, on, et TTÜ-l on spetsiifilised nõudmised rakisele ning turul olevatest rakistest üksi ei vasta kõikidele tingimustele. Teiseks määravaks faktoriks on rakise maksumus, mis eelduste kohaselt tuleb ise tehes on vähemalt sama suur või väiksem, kui jaekaubanduses olevatel rakistel. Seetõttu on kasulikum luua ise täpselt nõudmistele vastav rakis. Järgnevalt ülevaade erinevatest turul saadaolevatest rakistest.

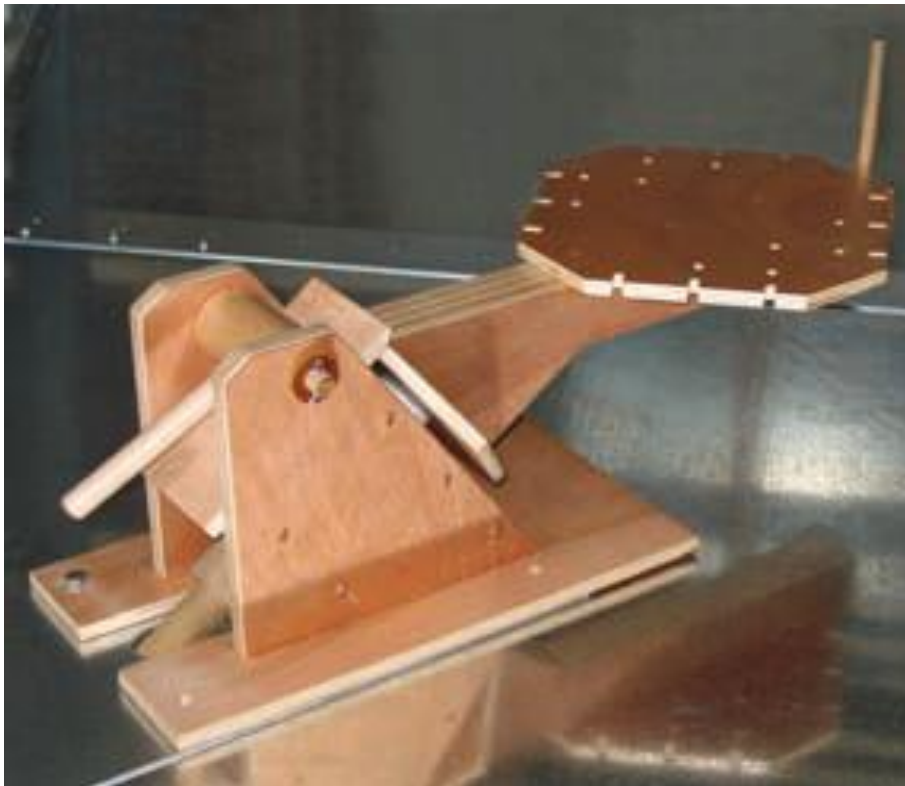
Järgnevalt on välja toodud firma “Teseq” poolt pakutavad rakised [4].



Sele 3.1 Teseq MPH 1500 rakis.

Eelnevalt näidatud rakis konstruktsiooni plussiks on lihtsus ja vähene mehhanismide arv. Kaubanduses on neid saada erinevates konfiguratsioonides, alustades väikestest rakistest, mis kannatavad ainult 5 kg detaili, kuni lõpetades rakistega, mis kannatavad kuni 20kg detaili. Just detaili maksimaalne kaal on see, mille tõttu antud kaubanduses pakutavat rakist kasutada ei saanud.

Pildil näidatud rakis on käsijuhtimisega, mis Tallinna Tehnikaülikooli poolt esitatud nõuetele ei vasta. Samuti on näha, et rakise paigaldamiseks on vajalik teha ava GTEM kambri seina sisse, et juhtida rakist. See nõue samuti ei vasta konstrueeritava rakise nõuetele. Pneumaatiliselt sellist rakist juhtida ja optilise anduriga positioneerida on küllaltki keeruline, kuid mitte võimatu. Taolise rakise eeliseks on veel reguleeritav katselava kõrgus ning suhteliselt kompaktne disain.



Sele 3.2 Teist tüüpi EUT manipulaatorrakis.

Sele 3.2 näidatud rakis on mõeldud väiksematele GTEM kambritele, kuna manipulaatori kandevõime on suhteliselt tagasihoidlik. Rakis kannatab detaili kuni 5kg ja on samuti pööratav manuaalselt, nagu

eelnev rakis. Antud rakise konstruktsioon ei ole sobilik suurte ja massiivsete detailide pööramiseks, kuna rakises tekkiv jõuõlg on liialt suur. Mõlemad rakised on tehtud puust, eeskätt vineerist, sest GTEM kambris ei tohi kasutada mitte ühtegi metalloosa. Metallosad võivad mõjutada mõõtetulemusi ja tekitada hälbeid.



Sele 3.3 Plastikust EUT manipulator, mis on pneumaatiliselt juhitud.

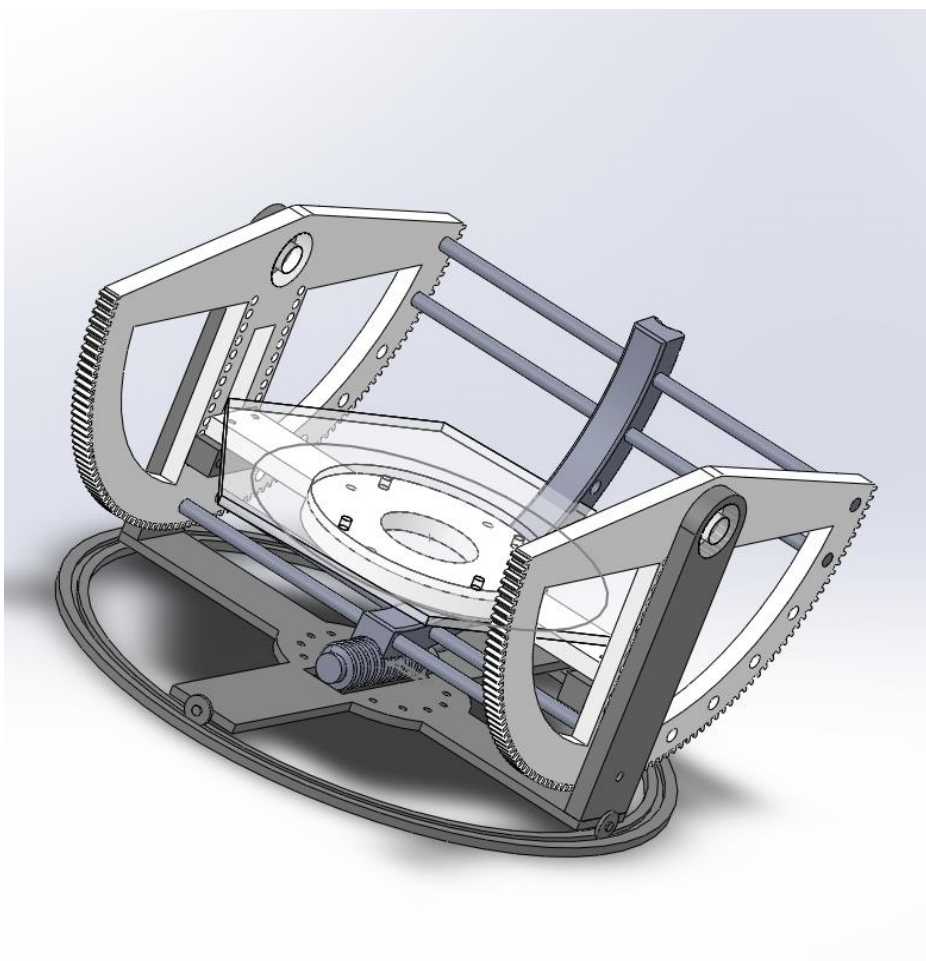
Konstruktsioon on sarnane sele 3.2 näidatud manipulaatorile, kuid nagu näha, on erinevus materjalis ja juhtimises. Antud rakis on juhitud pneumaatiliselt, mis on lahendatud hammaslati ja pneumaatilise silindri kaudu. Rakis on ehituselt ja mehhanismide poole pealt lihtne, kuid tema detaili kandevõime on liialt väike. Samuti ei ole antud rakisel positsioneerimist. Seetõttu on raske seda täpselt liigutada.

4.SOBILIKU KONSTRUKTSIOONI LEIDMINE

Konstruksiooni projekteerimisel lähtusin etteantud tingimustest, millele loodav rakis peab vastama. Esimese prototüübi projekteerimisel tahtsin luua võimalikult täpse positioneerimisega rakist, mis vastaks eeltoodud nõuetele. Konstruksiooni loomist mõjutas oluliselt materjali valik, kuna kandvad sõlmed ja ühendused tuli projekteerida materjali omaduste järgi.

4.1 Esimene prototüüp

Esimese prototüübi näidis seel 4.1



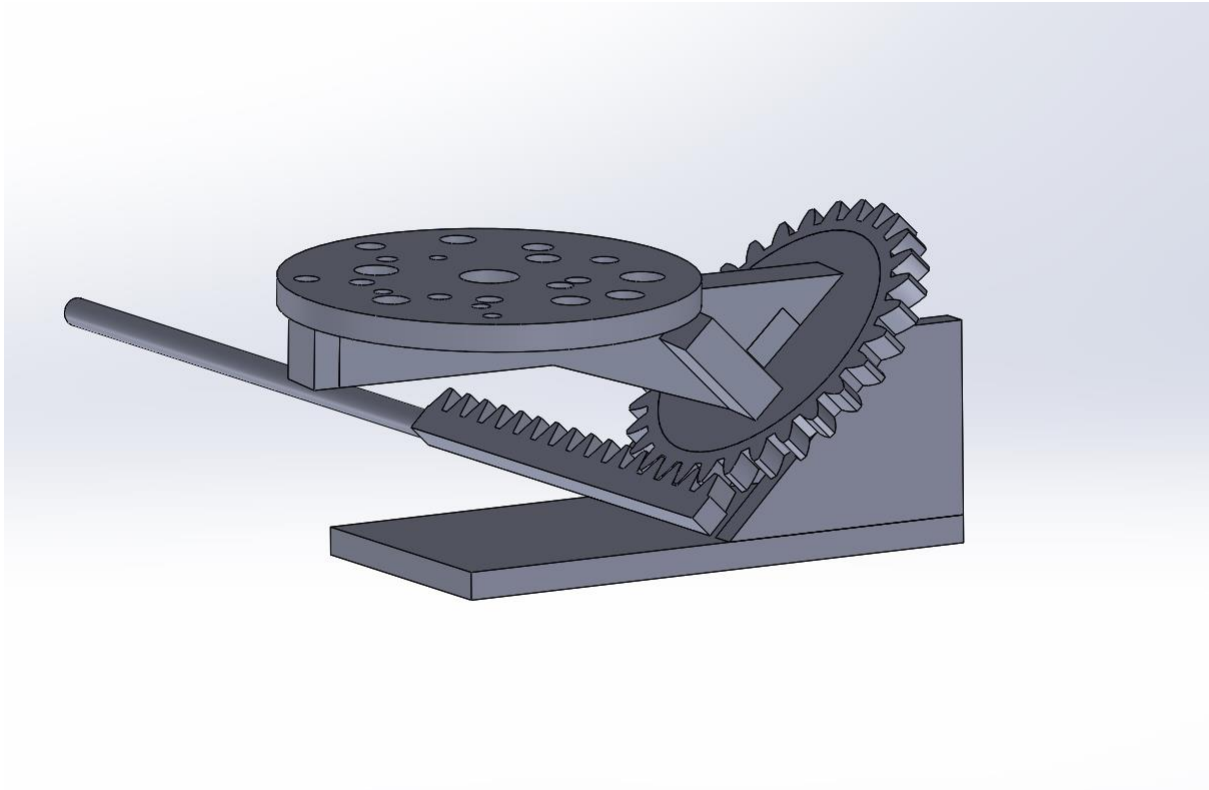
Sele 4.1 Esimene prototüüp.

Nagu illustatsioonilt näha, oli esimene prototüüp prakis suhteliselt keerulise konstruktsiooniga, kuid väga suurte reguleerimisvõimalustega. Rakise kandevkonstruktsiooni moodustavad kaks tala, mis hoiavad üleval kahte poolringi taolist konstruktsioonielementi. Poolringide peal on rakise aluse kõrguse

reguleerimisvõimalused. Rakis toetub alt ringikujulisele alusele, mille sees soon. Mõõda soont liiguvad liugerattad, mille abil rakis on pööratav. Rakis on „kiigutatav“ teohammasratta ja pooliku hammasratta abil. Teohammasratta kasutamise plussiks on stabiilsus ja täpsus, ka suurte jõudude korral. Antud konstruktsiooni eeliseks on reguleerimisvõimaluste rohkus ning positsioneerimistäpsus. Kuid sellisel rakisetüübi juhtimine on liialt keeruline ja nõuab palju juhtimiskomponente. Selleks, et rakist saada liigutada nii edasi tagasi, kui pöörata, oleks sinna vaja olnud pneumomootoreid. Kuid pneumomootorite puuduseks on nende väike jõudlus ja ebamäärane täpsus. Lisaks selgus uurimise käigus, et vajaliku suurusega pneumomootorit plastikust on väga keeruline saada. Eelnevate põhjuste tõttu oli sellise konstruktsiooni tegemine küsimärgi all. Katsetasin veel võimalust kasutada hammaslatti ja lineaarset silindrit, projekteerides mõlemale küljele poolringile hammasratta osa. Selline lahendus oleks nõudnud aga liiga pikka hammaslatti ja sama suurt silindrit. Pika silindri ja hammaslati kasutamise välistas ruumipuudus, kuna vaja oleks läinud vähemalt meetri pikkust lisa konstruktsiooni. Kaaludes edasi erinevaid lahendusi antud konstruktsioonile, jõudsin järeldusele, et mõistlikum on alustada uuesti projekteerimist ning võttes arvesse juba turul saadaolevaid konstruktsioone.

4.2 Teine prototüüp

Uue prototüübi projekteerimiselt lähtusin konstruktsiooni robustsusest ja lihtsusest. Lihtsuse all just juhtimise korraldamist. Kuna eelmist prototüüpi tehes, sai selgeks, et juhtimine peab olema võimalikult lihtne ja teostatav väheste komponentidega. Teise prototüübi eeskujuks sai võetud sele 2.2 näidatud rakise tüüp. Rakise juhtimise teeb lihtsaks see, et on võimalik liigutada ühe lineaarse liigutuse abil rakist ortogonaalselt, nagu tingimused nõuavad. Rakis on oma konstruktsioonilt lihtne ja minimalistlik. Selline rakise lahendus tundus sobivat juhtimise koha pealt, sest vaja oleks läinud ainult ühte suruõhusilindrit, mis liigutab hammaslati vahendusel hammasrattast. Konstruktsiooni mõõtmed olid samuti nõutud piirides, mahtudes ideaalselt GTEM kambrisse. Kui juhtimise poole pealt tundus kõik sobivat, tulid välja rakise suured puudused tehes tugevusarvutusi. Simuleerides rakist tarkvaras SOLIDWORKS, tuli välja, et rakise suurim peatala läbipaine on 4 mm, mis on liialt suur. Selleks, et saada rakist stabiilsemaks ja tugevamaks, oleks tulnud dimensioneerida konstruktsiooni detaile liialt massiivseks. Samuti tekkis antud konstruktsioonis maksimaalsete jõudude korral palju stressikohti, mis teevad rakise vastupidavuse küsitavaks. Proovisin veel teha erinevaid tugevdusi ja lisatugesid, kuid olulist efekti need konstruktsioonilahendused ei andnud. Kaaludes veel erinevaid variante jõudsin järeldusele, et rakise konstruktsioon peab olema mõlemalt otsast toetatud, et vähendada läbipainet. Seega ei osutunud sobilikuks ka see rakise prototüüp ning tuli teha uus variant. Konstruktsiooni prototüüp on näidatud selel 4.2.

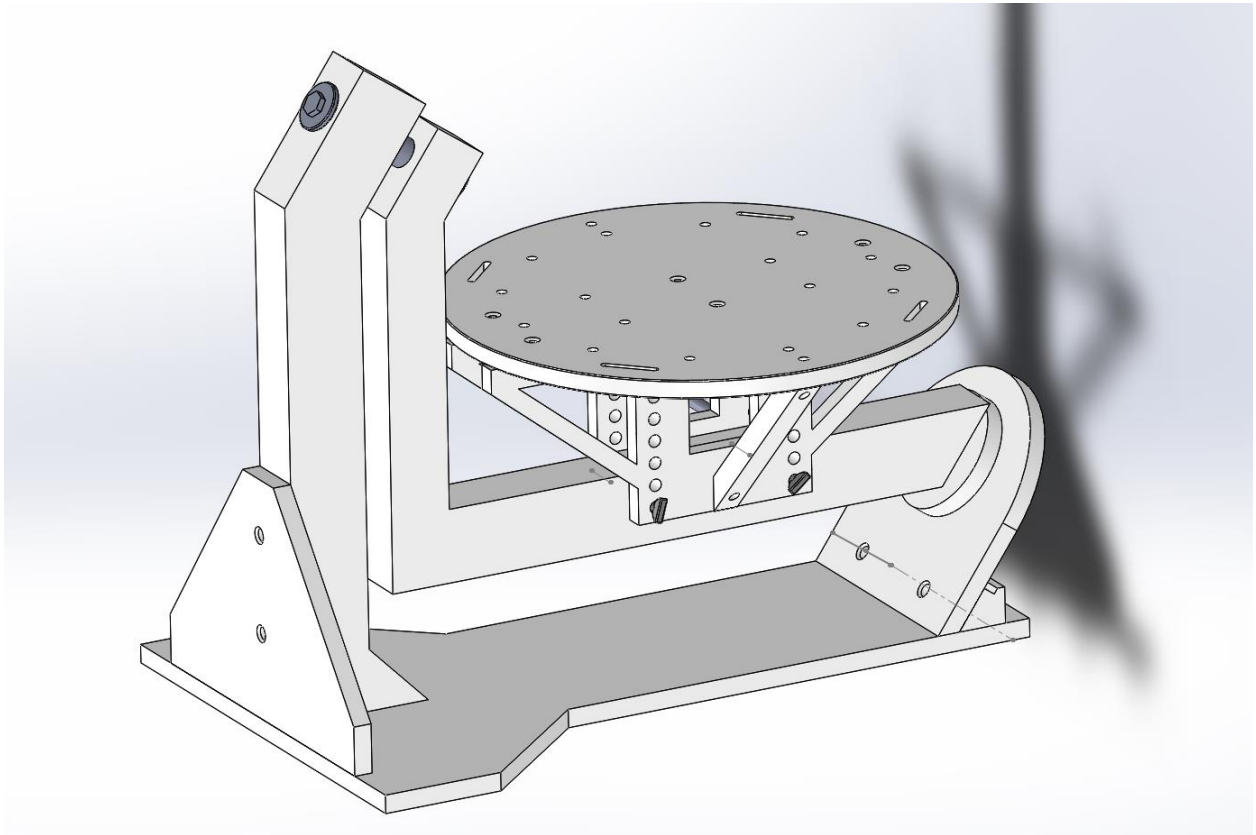


Sele 4.2 Konstruktsioon, mis osutus nõutud koormuste jaoks ebasobivaks.

4.3 Lõplik versioon

Valituks osutus kolmas prototüüp, mis lähtus ka juba turul saadaolevatest rakistest. Konstruktsioonilt nagu sele 3.1 kirjeldatud rakist toetab mõlemast otsast konstruktsioon, mis vähendab oluliselt rakise läbipainet ja stressikohti. Sellise konstruktsiooni juhtimine on lihtne, vajalik kasutada ainult lineaarselt liikumist. Kuid vastab kõikidele positsioneerimisnõuetele. Selline lahendus teeb rakise väga töökindlaks ka suurte raskuse puhul. Rakise laua kõrgus on reguleeritav, mistõttu on see sobilik eri detailide katsetamiseks. Rakise konstruktsiooni talad toetuvad määritavaale plastikule ning seetõttu on rakise pööramisele vajaminev jõud minimaalne. Rakist pööratakse hammaslati ja hammasratta vahendusel, kasutades lineaarset suruõhusilindrit. Hammaslatti ja hammasrattas on projekteeritud nii, et ülekande suhe oleks optimaalne liigutamaks rakist kõikidesse positsioonidesse. Kasutades hammaslatti ja hammasrattast, on kindel, et rakist saab soovitud positsioneerimispunktis fikseeritud. Rakise konstrueerimisel on arvestatud ka, et rakis oleks võimalikult stabiilne ka suurte katsedetailide pööramisel. Seetõttu on rakisel all laia kandepinnaga põhi, mis hoiab rakist kindlalt paigal. Rakise sõlmedesse ja erinevatesse stressi kohtadesse on konstrueeritud nurgad või lisatoed, et välistada rakise

purunemise ka suure äkk-koormuse korral (detail kukub natuke kõrgemalt rakisele). Rakis on näidatud seel 4.3



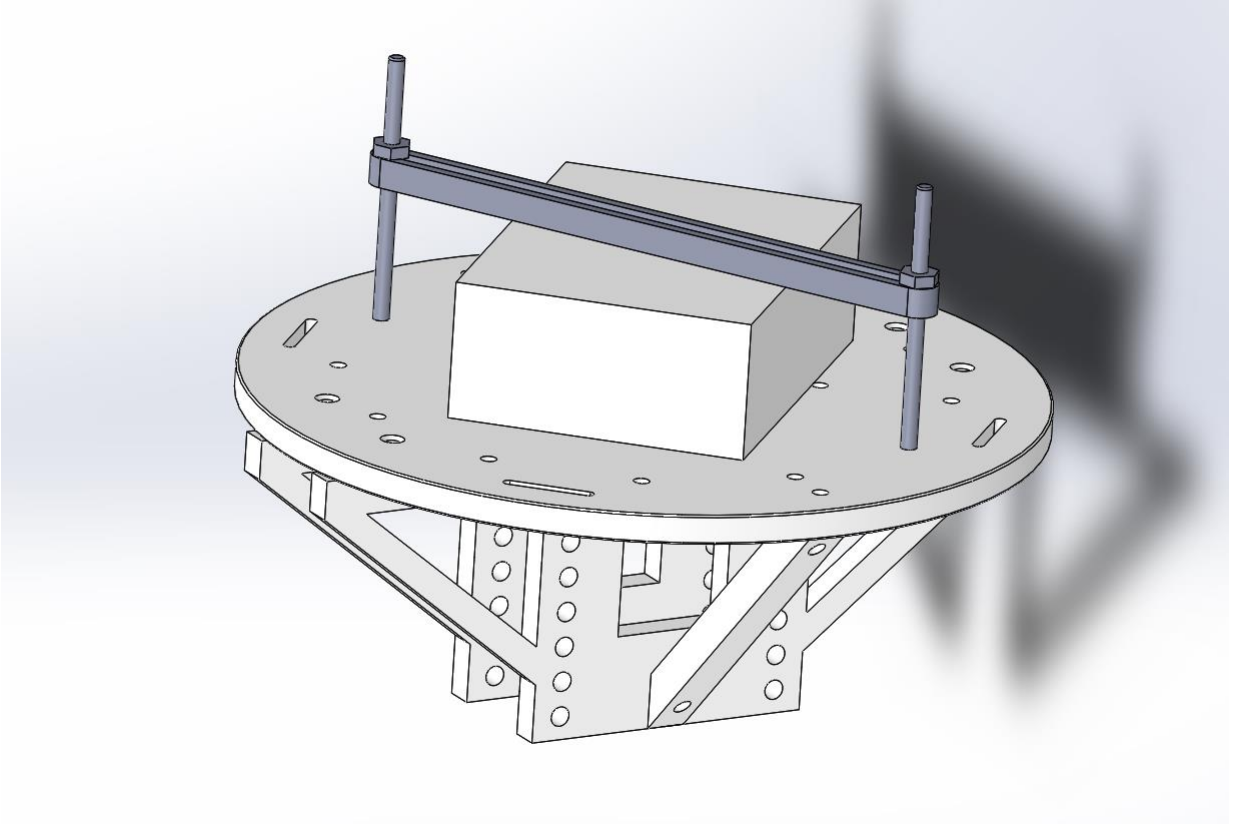
Sele 4.3 Rakise lõplik variant.

5. LÕPLIKU RAKISE KONSTRUKTSIOON

Rakise peatelg on alusega 35.3 kraadise nurga all, mis vastab ortogonaalse pööramise standardile. See võimaldab detaili pöörata nii, et on võimalik mõõta kõigist kolmest teljest. Peateljeks on 50mm paksusega L kujuline tala, mis kinnitub mõlemast otsast tugeledele. Tala on valmistatud, kas 50mm plastikust või kahest omavahel tüüblite ja liimi abil kokku liidetud 25mm plastikust. Tala on ühendatud tugelega 25mm paksuse völliiga, mis tagab piisava tugevuse. Völli sees on keere, sest völli fikseeritakse talade külge kasutades kahte 10mm polti ja 40mm seibi. Völli ümber ei ole kasutatud laagreid, vaid kasutatud vastavaid määrdeaineid, et tagada sõlmede liikuvus. Rakise tagumine tala on 50mm paksusega tala, mis on ühendatud aluse külge poldi ja liimiga. Tala alumine osa on laiem, ja ulatub rakise alla, et läbipaindumine oleks minimaalne. Tala toetab tagant 15mm plaat, mis on risti talaga. Plaat välistab tala kõikumise küljelt-küljele ning lisab stabiilsust tervele rakisele. Plaat ja tala on ühendatud liimi, tüüblite ja poltidega. Samuti on plaat ühendatud veel põhja külge. Rakise põhi on konstrueeritud nii, et tagada rakise stabiilsus igas asendis ja iga detailiga. Põhja paksus on 15mm, mis on piisav, et hoida kogu rakist kindlalt püsti. Rakise peatala hoiab eestpoolt põhja küljes 15mm paksusega plaat, mille sees on 25mm ava. Plaat kinnitub põhja külge kolme 8mm tüübli, kahe 10mm poldi ning liimi abil. Need kinnitused tagavad jäikuse, hoidmaks kindlalt rakist üleval. Rakise ja peatala vahel on veel 100mm seib, mis hajutab peateljelt tulevat raskust. Antud plaadis ei ole samuti laagrit, vaid sõlm on määratav määrdeainetega. Teisel pool plaati kinnitub völli otsa hammasratas, mille kaudu on terve rakis juhitud hammaslati abil. Völliiks on 25mm paksusega plastikvölli. Plaadi all on tugi, mis lisab jäikust ja toetab rakise konstruktsiooni, samuti on tugi ka hammaslati liuguraluseks. Hammaslati ja aluse vahelise kanali vahe on 0.5mm, mis välistab liigse hõõrdumise ja laseb hammaslatil mingil määral liikuda külgsuunas.

5.1 Detaili kinnitamine

Katsedetail kinnitatakse rakise 400mm läbimõõduga ringikujulise laua külge. Laud asub peatala peal, kinnitades peatala külge mõlemalt poolt. Vastavalt detaili suurusele saab kasutaja hõlpsasti reguleerida laua kõrgust. See on teostatav kahe poldi ja liblikmutrite abil, millega kinnitub laud peatala külge. Kõrguse reguleerimise võimalus on kuni 107mm. Kasutusel on liblikmutrid, et oleks ilma tööriistadeta lihtne kõrgust muuta. Samuti ei ole antud kohas oluline suur pingutusmoment, seetõttu on antud lahendus sobilik. Detaili kinnitamiseks on ringikujulise laua küljes keermestatud avad ning rihma kinnitusavad. Vastavalt detailile on võimalik kinnitada, kas rihma või klambriga. Klambriks on pikk, reguleeritav plastikust osa, mis kinnitub keermelattide külge 8mm mutritega. Seel 5.1 on visuaalselt näha, kuidas toimub detaili kinnitamine.



Sele 5.1 Detailide kinnitamine klambriga.

6.MATERJALI VALIK

Materjali valik on antud ülesande puhul üks olulisi aspekte. Materjalist sõltuvad rakise dimensioonid, konstruktsioonide lahendused ja ühendused, mis tugevdaksid kriitilisi sõlmi. Materjalist oleneb töötlemisviis, kas seda saab freesida, lõigata. Samuti on oluline materjalide kättesaadavus, kuna eesmärk on võimalikult kuluefektiivselt rakis valmistada. Materjalist sõltub ka kinnitusvahendite valik, kas on võimalik kasutada liime, keevitust, polte, kruve- kõik see ja eel loetletud mõjutavad oluliselt rakise kuju, dimensioone ja konstruktsiooni.

Rakise üheks põhitingimuseks oli metallosade täielik puudumine. Seega, see tingimus välistab kohe põhilised konstruktsioonmetallid ja teeb valikuvõimaluse oluliselt kitsamaks. Valikuvariantideks jäi kaks suurt materjali klassi- puitmaterjalid ja plastid. Järgnevalt on ülevaade erinevate materjalide omadustest.

6.1 Puit

Puit on üks vanimaid ehitus- ja konstruktsiooni materjale. Puitu kasutatakse laialdaselt tööstuses, ehituses, energiasektoris ja paljudes muudes valdkondades.

Puidu eelised:

1. Suhteliselt suur tugevus mahukaalu kohta;
2. Puitkonstruktsioonide ehitamine on lihtne ja ei sõltu aastaajast ega ilmastikust;
3. Vähetundlik keemilistele mõjutustele;
4. Väike soojajuhtivus $\lambda = 0.14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (võrdluseks mineraalvill $\lambda = 0.04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$; kivimüritis $\lambda = 0.5 \dots 1.3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$; betoon $\lambda = 2.1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$; teras $\lambda = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$);
5. Puidu temperatuuri lineaarpaisumise tegur on väike, mistõttu temperatuurist tingitud pinged staatiliselt määramata konstruktsioonides on tühised ja neid ei arvestata;
6. Kergesti ülestöödeldav ja taastuv materjal;
7. Suhteliselt kerge ja tugev materjal eriti piki kiudu, mis võimaldab ehitada konstruktsioone avaga 100 m ja enam;
8. Vastupidav tsüklilisele koormamisele dünaamiliste löökidega, mis võimaldab neid kasutada sildades

ja maavärinaohtlikes piirkondades;

9. Puitu on võimalik liimida veekindlate liimidega, mis võimaldab liimida praktiliselt suvalisi ristlõikeid ja suvalise pikkusega nii sirg- kui kõverjoonelisi elemente.

Puudused:

1. Puitkonstruktsioonide ebaõigel kasutamisel ja eksploateerimisel puit mädaneb liigniiskuse toimel ja rikneb kahjurite mõjul (keemiline kaitse ja õiged konstruktiivsed lahendused);
2. Anisotroopne materjal (anisotroopsus = materjalomaduste erinevus erinevates suundades).
3. Muudab mahtu niiskuse hulga muutumisega;
4. Pideval koormamisel esinevad puidus küllalt suured plastilised deformatsioonid;
5. Tuleohtlik materjal [5].

Antud konstruktsiooni eesmärgiks oli luua võimalikult minimalistlik disain, mis oleks piisava tugevusega. Puitmaterjalidest on selleks ülesandeks sobilikum vineer. Vineeri vastupidavus, kergus ja tugevus on olulised aspektid liimpuidu, ja laudade, plaatide ees. Samuti on vineeri maksumus küllaltki taskukohane.

Vineer on kihiline materjal, mida valmistatakse õhukeste puitlehtede – spoonide – kokkuliimimise teel. Spoonid asetatakse vineertahvlisse üksteise suhtes kiudude suunaga risti ja paaritu arvuga joonis 3.2-1 Spooni paksus on 1,4–3,2 mm. Paaritu arvu spoonikihtidega tagatakse, et vineertahvli väliste spoonide kiud on ühesuunalised, mis on vajalik vineertahvli kaardumise tõkestamiseks.. Vineer koosneb 3...13 üksteise suhtes risti asetatud õhukestest puiduspoonidest. Kiudude risti asetamisega vähendatakse tunduvalt puidu anisotroopsust ja ühtlustatakse mahudeformatsioone erinevates suundades. Spoonide arvu suurendamisega suureneb vineeri homogeensus. Kandekonstruktsioonides kasutatav vineer peab olema ilmastiku- ja niiskuskindel. Vastasel juhul löövad kihid niiskuse ja vee käes üksteise küljest lahti ja/või servad punduvad. Vineeri valmistamiseks kasutatakse kase- ja okaspuud. Okaspuuvineeris kasutatakse kuuse- ja männipuitu. Segavineeris tarvitatakse lisaks kase- ja okaspuule ka haavapuuspooni, kuid välispind on alati kasest. Kasepuuvineer on kõige tugevam. Vineeri kasutatakse muu hulgas kandelementides, põhikonstruktsioonides jäikuselementidena, vooderdamiseks, tasandamiseks, kujundamiseks, sisustus- ja puusepatöodes.

Vineerile on omased kõrged tugevusnäitajad, väike mass (näiteks 4x väiksem alumiiniumist), madal soojus- ja helijuhtivus ja on kasutatav keemiliselt agressiivses keskkonnas. Kui vineeri valmistada veekindlatel liimidel, saame niiskuskindla vineeri, millest valmistatakse kandekonstruktsioone.

Nimetatud positiivsed omadused võimaldavad vineeri kasutada mitmekihiliste piirdekonstruktsioonide valmistamiseks, nagu puitvineerpaneelid, ribilised kaared, koorikud- hüparid, konoidid jne. Ehitusvineeri sortimenti kuuluvad kasevineer, bakeliseeritud vineer, kus välised pinnad on töödeldud piirituses lahustuvate vaikudega. Seega on viimased veekindlad. Konstruktsioonides leiavad kasutamist vineerspoonidest liimitud karp- ja nurkristlõiked, torud ja lainelise ristlõikega plaadid. Vineeri tugevus välimiste spooni kiudude asetusel piki sillet on oluliselt suurem, kui põikisuunas. Samas vineeri lõiketugevus pindade vahel võib olla ligi 2,5x suurem kui puidu lõiketugevus piki kiudu, mis on tema oluliseks eeliseks puidu ees. Bakeliseeritud vineeri normaalpinged piki vineeri tahvleid on 2,5 ja põiki kuni kaks korda suurem, kui okaspuidu tugevus piki kiud [6].

6.2 Plastid

Plastid ehk plastmassid on sünteetilised materjalid, mis kujutavad endast kas puhtaid vaike või vaigu ja rea lisandite (täiteaine, plastifikaator, stabilisaator, värvaine jms) sulameid.

Plastide mehaanilised omadused:

- Plastide deformatsioonidiagrammid on sirged peaaegu kuni purunemiseni, kusjuures enamiku katkevenivus ei ületa 2–3%.
- Tavaliselt on plastide mehaanilised karakteristikud tõmbel ja survel erinevate väärtustega.
- Plastid taluvad metallidest tunduvalt halvemini vahelduvaid ja kestvaid koormusi.
- Plastide mehaanilised karakteristikud on metallidega võrreldes suurema hajuvusega. See seletub materjalide vananemise, hügroskoopsuse, anisotroopsuse ja struktuuri ebaühtlusega ning temperatuuri ja valmistamistehnoloogia mõjuga.
- Plastidele on iseloomulik metallidega võrreldes järsem mastaabiefekti avaldumine. Plastdetailide tugevuspiir alaneb oluliselt põikmõõtmete suurendamisel.
- Temperatuur mõjutab tugevalt plastide omadusi. Plastide põhirühmad võivad töötada temperatuurivahemikus $-200...+200$ °C. Ränioorgaanilistest polümeeridest ja fluoroplastidest valmistatud plastide ilmumisega tõusis ülemine temperatuuripiir $+500$ °C.
- Plastidel on kalduvus roomamisele ja relaksatsioonile isegi toatemperatuuril.
- Plastidele on iseloomulik vähene jäikus. Kõige jäigemate plastide (klaasplastide) elastsusmoodul on ligikaudu 10 korda väiksem kui metallidel. Selle tulemusena ületavad plastdetailide deformatsioonid koormamisel märgatavalt metalldetailide deformatsioone.

- Kihiliste plastide arvutamisel tuleb elastsusõpetuse meetoditega arvesse võtta materjali anisotroopsust.

Võrreldes erinevate põlumeerplastide tugevusnäitajad, tihedust, löögisitkust ja kasutusvaldkondi jäi potentsiaalseks valikuvariandiks kolm polümeeri- ABS, POM ja PVC. Nende polümeeride tugevusnäitajad on sobilikud kasutamiseks rakise konstruktsioonis.

6.2.1 ABS

ABS on terpolümeer, mis koosneb 25% ulatuses akrüülnitriilist, 25% ulatuses butadieenkummist ja 50 % ulatuses stüreenist. ABS on üliheade mehaaniliste omadustega polümeer: Tugev, sitke (ka madalal temperatuuril), elastne, Suure kõvaduse ja löögisitkusega, hea mõõtmepüsivusega, suhteliselt kuumuskindel (kuid süttiv).

Heade mehaaniliste omaduste tõttu kasutatakse neid tihti paljude raskkoormatud ja vastupidavust nõudvate esemete valmistamiseks: näiteks mobiiltelefonide, fotoaparaatide, sülearvutite jms korpused, autode iluvõred, pörkerauad ja salongidetailid [7].

ABS nimetus on Akrüülnitriilbutadieenstüreen, tihedus on keskmiselt 1050 kg/m^3 . Tõmbetugevus on $35\text{--}56 \text{ N/mm}^2$. Löögisitkus on $80\text{--}m.p.$ (katsekeha ei purunenud) mJ/mm^2 . Pikaajaline töö temperatuur $85\text{--}100^\circ\text{C}$ [8].

6.2.2 POM

Nimetatakse ka polüoksümetüleeniks.

Sellel tugeval, kõval ja jäigal plastil on väga väike hõõrdetakistus. Katkendlikkus libisemisel on peaaegu välistatud, sest staatilised ja dünaamilised hõõrdetegurid on võrdsed. Lisaks sellele absorbeerib POM tänu oma suurepärasele elastsetele omadustele tugevaid lööke ja vibratsioone. Nende omaduste tõttu sobib POM ideaalselt näiteks pumpade komponentide valmistamiseks. See materjal on mehaaniliselt hästi töödeldav, keemiliselt vastupidav õlidele ja kütustele ning selle niiskuvus on väga väike. POM on termiliselt väga vastupidav, survekindel, steriliseeritav, masinaga hästi töödeldav, elektrit isoleeriv ja UV-kindel (must). See plast on väga vastupidav orgaanilistele lahustitele ja selle kasutustemperatuuri vahemik on -40 kuni $+100^\circ\text{C}$. Suurepärase mehaanilised omadused tagavad mõõtmete stabiilsuse, mis võimaldab valmistada suurte hälvetega tooteid. Materjal on ülimalt sobiv täppiskomponentide tootmiseks. See plastiliik, välja arvatud POM-C GF, võib kokku puutuda toiduainetega (loomulik värv). POM-C MT-d võib kasutada ka meditsiinitööstuses [9].

POM-I tihedus on 1420 kg/m³, tõmbetugevus 50-70 Nm/mm², löögisitkus 100 mJ/mm², pikaajaline töö temperatuur 95 °C [8].

5.2.3 PVC ehk Polüvinüülkloriid

PVC on valdavalt amorfse struktuuriga (kristalliinsusaste umbes 5%), hea läbipaistvuse ja kulumiskindlusega polümeer. PVC iseloomustab ennekõike isekustuvus, mis on tingitud selle koostises olevast kloorist. Polümeeri pürolüüsil (põlemisel lagunedes) eralduvad soolhappe (HCL) aurud, mis pärsivad leegi levikut. Üldiselt on PVC heade mehaaniliste omadustega ja odav plast, ning sobib seetõttu ehituses ja teistes tehnilistes rakendustes kasutamiseks (paneelid, põrandakatted, torud, talad, aknaraamid). PVC-st kasutatakse väga suurel hulgal variatsioone ja kopolümeere, mille omadused on väga erinevad. PVC-d iseloomustab üldiselt hea UV-kindlus. PVC on hästi vormitav ning sisaldab alati lisaained. Plastifikaatorite lisamisel muudetakse jäik PVC pehmeks ja sitkeks, võimaldades selle kasutusvaldkonda laiendada [7].

PVC -U tihedus on 1380 kg/m³, tõmbetugevus 35-60 N/mm², löögisitkus m.p.(katsekeha ei purunenud), ning pikaajaline töö temperatuur on < 60 °C [8].

6.3 Materjali valik

Materjali valikus on määravateks teguriteks hind, saadavus ning materjali omadused. Hinna ja saadavuse poolest on vineer plastikutest eespool. Kuid vineeri kahjuks räägivad materjali tugevus ja sitkusnäitajad, mis jäävad plastidele alla. Järgnevalt võrdlustabel, mis võrdleb potentsiaalsete konstruktsioonimaterjalide omadusi.

Tabel 6.3 Erinevate konstruktsioonimaterjalide võrdlus.

Nimetus	Tihedus kg/m ³	Tõmbetugevus N/mm ²	Löögisitkus mJ/mm ²	Max töö temp °C	Maksumus
ABS	1050	35-56	80-m.p.	85-100	-
POM	1420	50-70	100	95	141,2.- €/m ²
PVC-U	1380	35-60	m.p.	<60	59,20.- €/m ²
Vineer	450-500	20	-	100	12,09.- €/m ²

m.p. – Katsekeha ei purunenud

Plastide tihedused on oluliselt suuremad, kui on vineeri tihedus. Suurim tihedus plastidest on POM-il, 1420 kg/m³ kohta, järgneb PVC-U 1380 kg/m³ kohta, tunduvalt väiksema tihedusega on juba ABS vastavalt 1050 kg/m³, ning vineeri tihedus on oluliselt väiksem plastidest, olles vaid 500 kg/m³. Kuid suur tihedus tähendab seda, et materjal on raske. Kuid kasuks räägib aspekt, et on võimalik väiksemate mõõtmetega saada piisava jäikuse ja tugevusega detail. Seetõttu on vineer küll kerge, kuid plastidega sama tugevuse saamiseks on vaja teha konstruktsioonid massiivsed. Ning sellepärast tuleb vineerist rakise kogumass vähemalt sama suur, kui seda tehes plastidega. Tõmbetugevuse näitajad on samuti suurimad plastil POM. Järgnevad plastid ABS ja PVC-U mis on enamvähem võrdsete tõmbetugevus näitajatega, kuid POM plastile jäävad alla. Oluliselt väiksema tõmbetugevusega on vineer, mille tõmbetugevus on koguni 3 korda väiksem kui võrreldavatel plastidel. Järgmine võrreldav suurus on löögisitkus, mis on kõikidel plastidel kõrge näitaja. Löögisitkus iseloomustab materjali käitumist purunemisele, ning mida suurem jõudu materjal kannatab, seda parem. Vineeri kohta löögisitkuse andmed puuduvad. Veel on tabelis välja toodud võrreldavate materjalide maksimaalne töö temperatuur, mis küll antud projekti puhul ei ole väga oluline, kuna kambris valitsevad normaaltemperatuur ja normaalrõhk. Temperatuuritaluvus on vähim materjalil PVC-U, olles väiksem kui 60 °C. Teised kaks plasti ning vineer on töö temperatuurilt suurusjärgult 100 °C juurde. Viimane võrreldav aspekt on materjali maksumus. Tabelis toodud maksumused on 15mm paksuse lehtmaterjali kohta. ABS plastiku hind puudub, kuna toode puudus Eesti plastimüüjate ladudest. Nagu tabelist näha, on soodsaim variant vineer, mis on koguni pea 5 korda soodsam, kui PVC-U plast. POM, mis on väga heade omadustega plastik, on ka väga kõrge hinnaga, koguni 141.2 €/m².

Tabeli põhjal võrreldes ja analüüsid eelnevaid materjale selgus, et kõige mõistlikum on teha rakis PVC-U plastikust. ABS plastiku kättesaadavus Eestis on keeruline ning sobilikke mõõte raske tellida. POM plast on väga heade omadustega ning kui kuluefektiivsus poleks oluline, oleks POM kõige sobilikum materjal. Kuid antud lõputöö ülesanne on luua võimalikult kuluefektiivne rakis, seega see tingimus välistab materjali POM. Vineeri miinuseks on selle tugevusomadused ning kiuline struktuur, mis võib hakata eraldama puiduosi. Materjal PVC -U on levinud materjal, mida on saada erinevates mõõtudes. Seega on seda hõlbus kasutada konstruktsiooni erinevates kohtades. PVC-U tugevusomadus on piisavad, et rakise mõõtmed oleks optimaalsetes piirides. Samuti on materjalil ka väga hea pinnakvaliteet, mis välistab ära lisa pinnatötluse ning annab rakisele hea väljanägemise. Kuluefektiivsuse poole pealt oleks tulnud arvatavasti odavam teha rakis vineerist, kuid siis oleks rakise dimensioonid olnud oluliselt suuremad, ning see aspekt kaalus üle plasti kõrgema hinna.

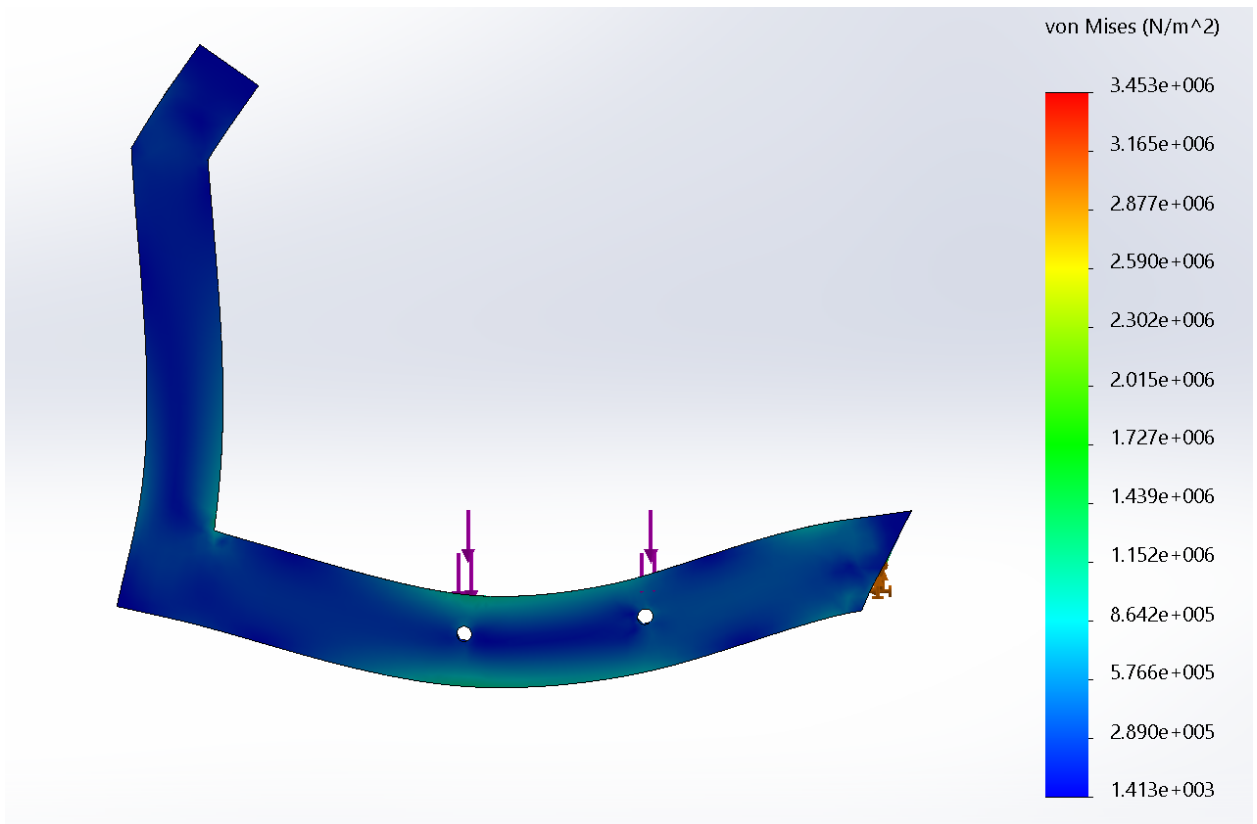
7.TUGEVUSANALÜÜSID

Tugevusanalüüsid on detailide konstrueerimisel väga olulised osad. Nende kaudu saab näha, kas loodav konstruktsioon on vajalikele koormustele vastupidav, kui palju on läbipaine ning samuti näitab programm ära stressikohad. Tugevusanalüüsi antud rakise kohta koostasid nii eraldi osade, kui ka terve rakise kohta. Samuti võrdlesin erinevate materjalide kasutamist ning sellest tulenevat erinevust materjalide käitumises. Materjalid, mida simulatsioonis läbi analüüsisin, olid plastid POM, ABS, ja PVC-U. Antud valikust oli parimate näitajatega plast ABS, mis oli teistest mõnevõrra tugevam ning seetõttu ka paremate näitajatega. ABS ja PVC-U olid suhteliselt sarnaste näitajatega ning käitusid ka enamjaolt samamoodi.

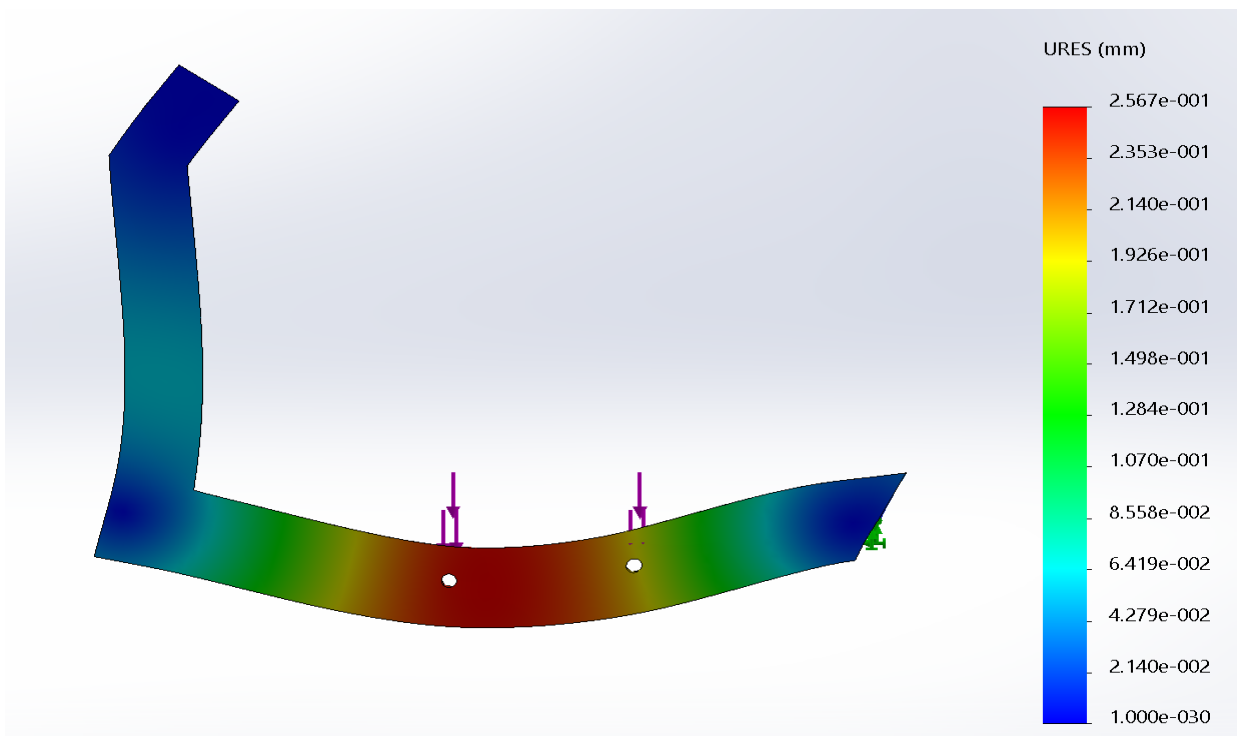
Kuna materjali valikuks osutus PVC-U plast, siis järgnevad tugevusanalüüsid on tehtud just sellega. Käsitsi arvatud ei ole, kuna detailid on keerulised ning erinevaid jõudusid ja kinnitusi on mitmeid. Seetõttu oleks käsitsi arvutades olnud suur võimalus teha viga ja saada ebatäpsed vastused. Tugevusanalüüsid on koostatud tarkvaraga Solidworks, kasutades alamprogrammi Simulation.

7.1 Peatala

Peatala on rakise üks osasid millele langeb suur osa koormusest. Peatala peab olema tugev eriti just paindele, kuna kinnituse vahe on suur ja jõud langeb täpselt tala keskele. Jõud mõjub kahele 10 mm avale läbi 10 mm poltide, samuti mõjub osa jõudu külgedele, kui rakist pööratakse. Peatalale mõjuv jõud kandub edasi 25 mm avadele, mis on L kujulise tala otstes, kuhu kinnitub võll. Simulatsioon tarkvaras on läbi viidud maksimum jõuga, 350 N, mis mõjub suunaga alapoolse avada peale. Fikseeritud osadeks on avad tala otstes. Järgnevalt näidatud peatala suurimad stressi- ja läbipaindekohad.



Sele 7.11 Peatala suurimad stressikohad.

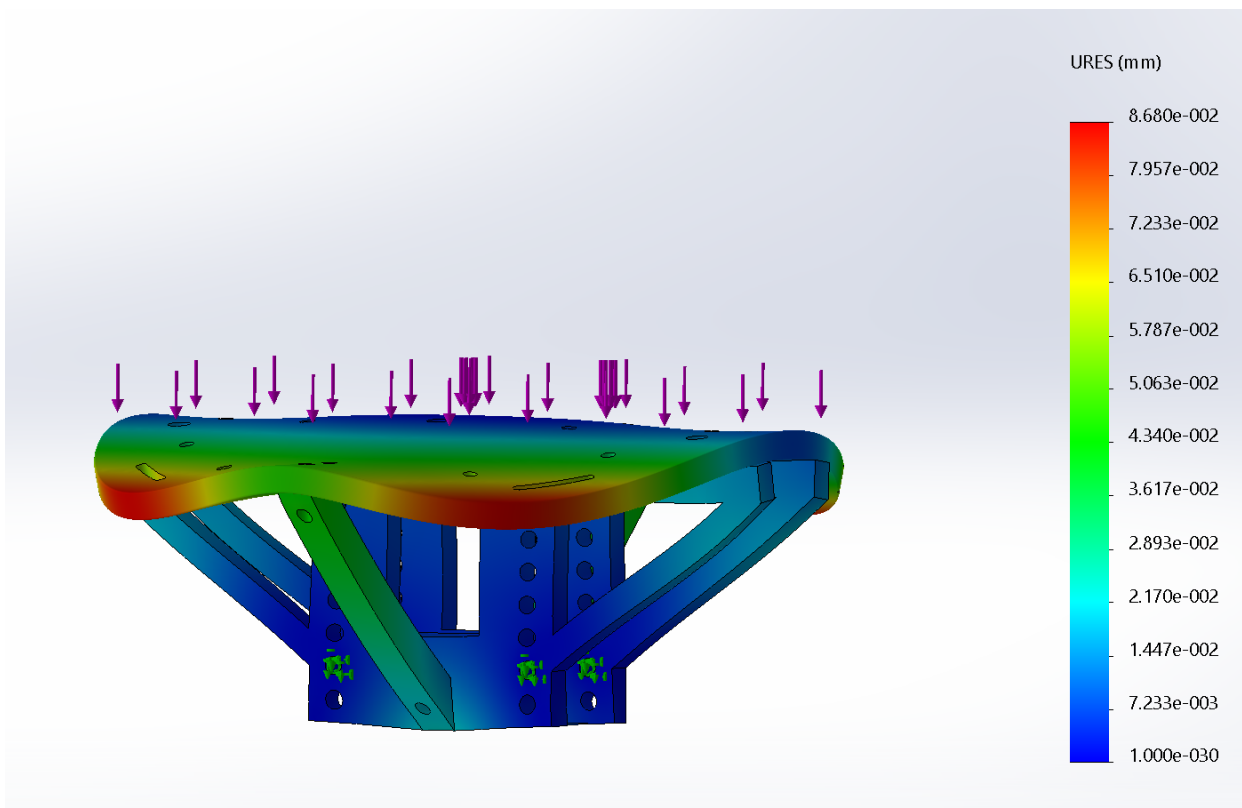


Sele 7.12 Peatala suurimad läbipaindekohad.

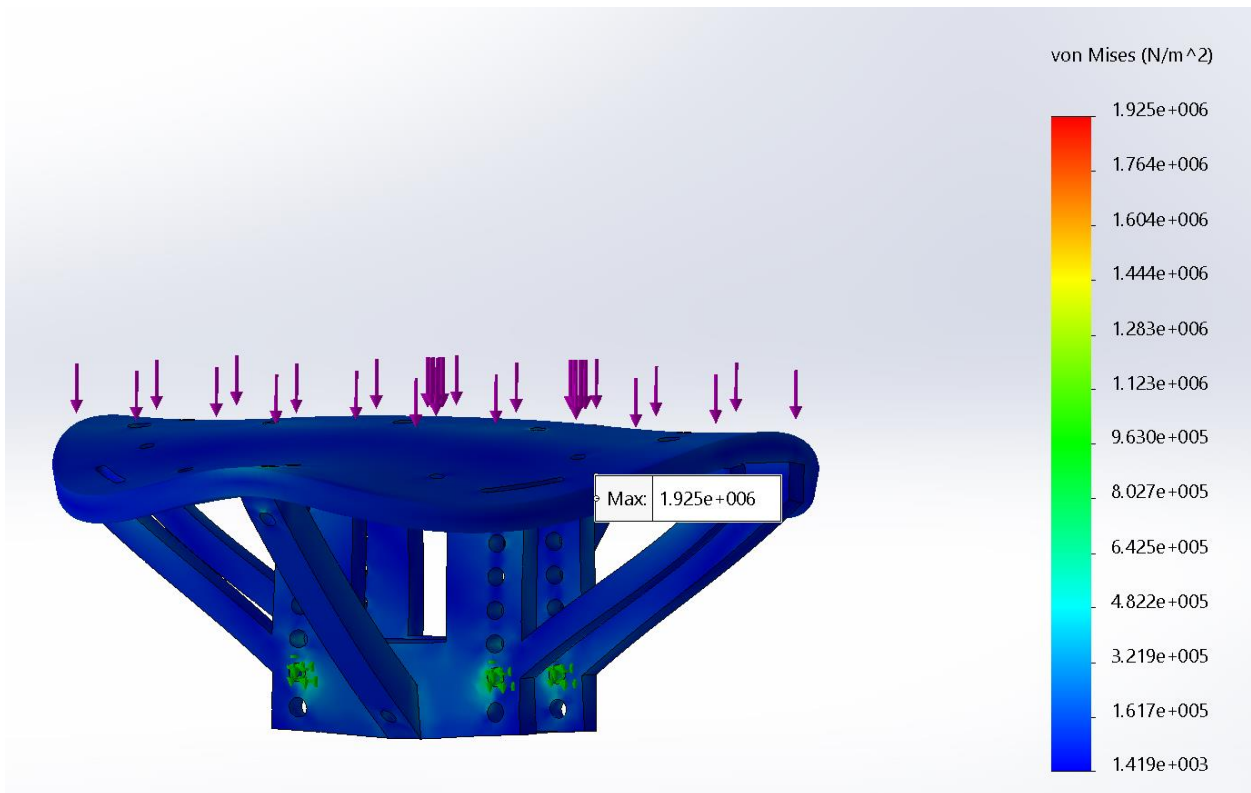
Tala dimensioonid on projekteeritud nii, et läbipaine oleks minimaalne, kuid säiliks ka optimaalne paksus ja rakise suurus. Suurimateks stressikohtadeks on otsaavade ümbrus ning tala keskoht. Maksimaalne surve suurimas kohas on 3.45 N/mm^2 . Maksimaalne läbipaine on 0.26 mm , mis on täpselt tala keskel. Antud tulemused on lubatud piirides ja näitavad, et talal on piisav tugevusvaru.

7.2 Detaili alus

Detaili aluse simulatsioonis on kasutatud konstruktsiooni osa, mille abil on ühendatud detaili alus peatalaga. Simulatsioonis on kasutatud jõudu 350N , mis mõjub suunaga ülevalt alla, hajutatud terve aluse peale. Konstruktsiooni erinevad osad on simulatsioonis defineeritud jäigalt, realselt on kinnitatud poltide, tüüblite ja liimi abiga. Kogu alusele mõjuv jõud kandub üle neljale 10mm avale, mille kaudu on alus ühendatud peatalaga. Simulatsioonis on antud ühendus defineeritud jäigaks. Järgnevalt näidatud detaili aluse suurimad stressi- ja läbipaindekohad.



Sele 7.21 Aluse läbipaindumine

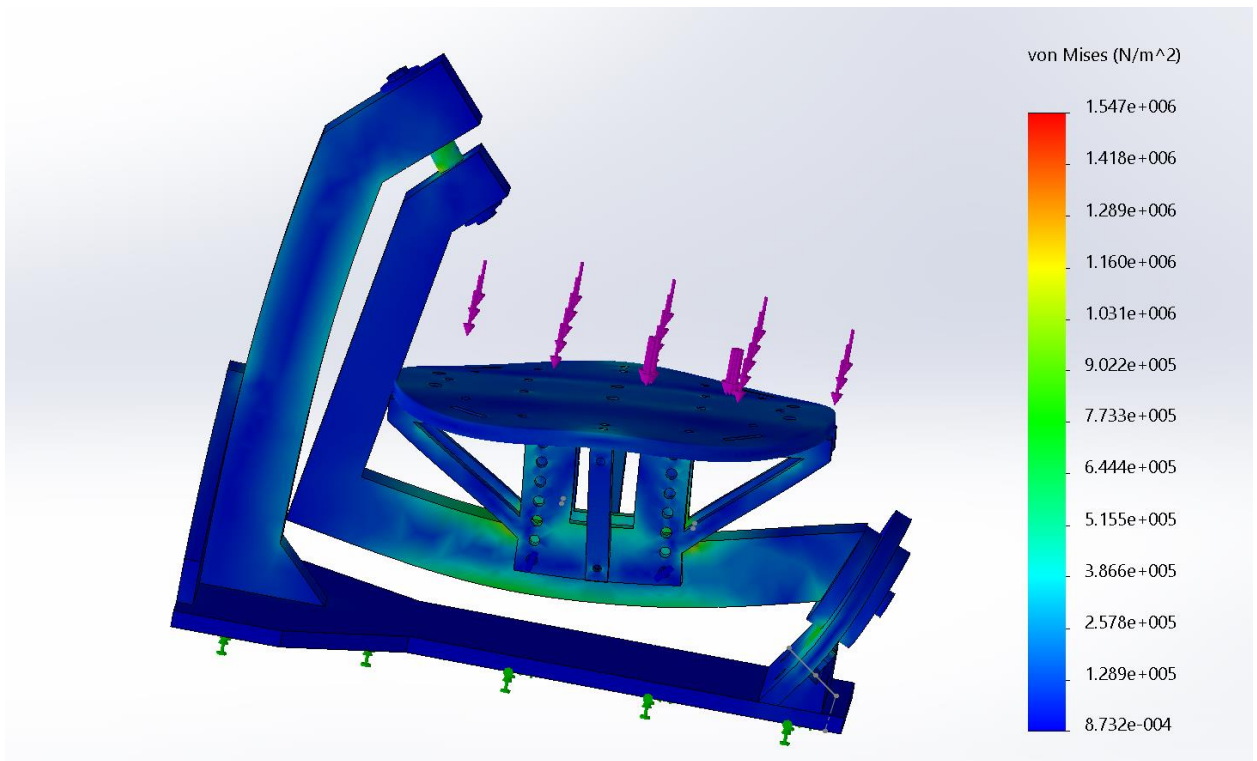


Sele 7.22 Aluse suurimad stressikohad.

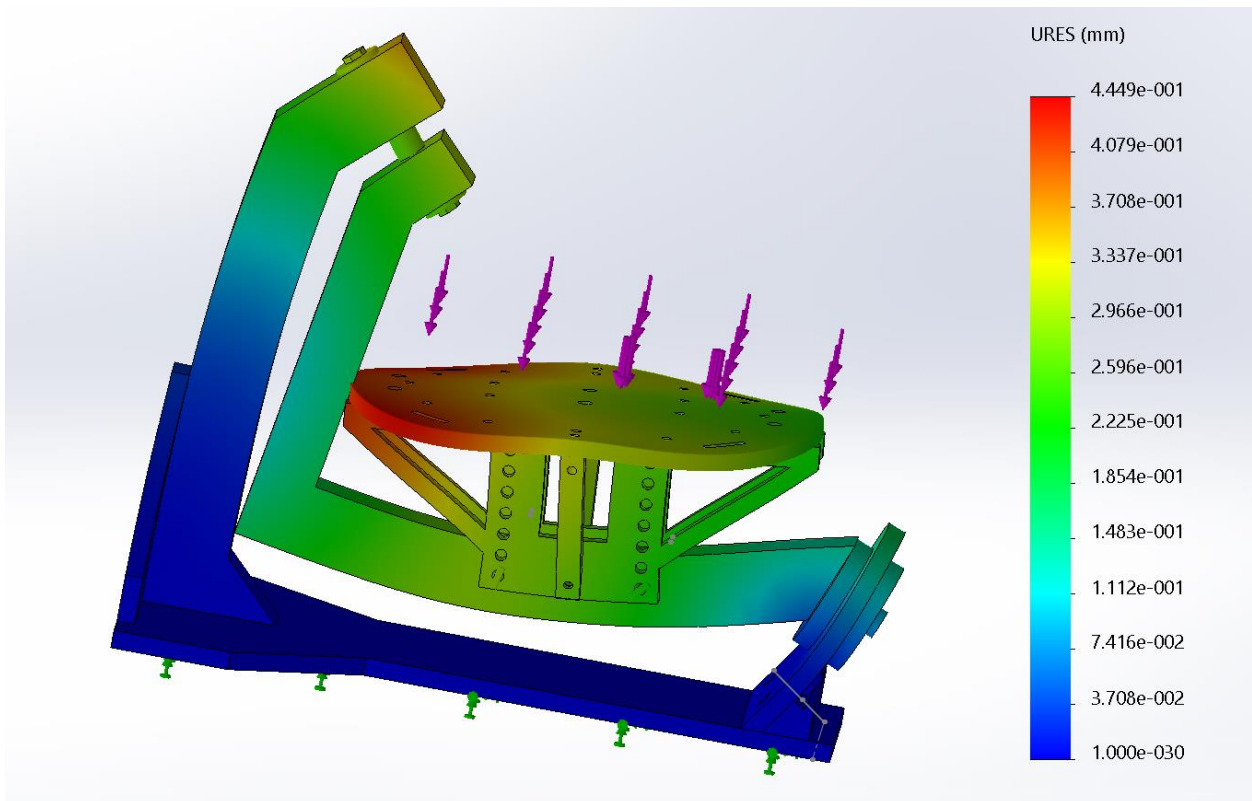
Eelnevatest joonistest näeb ära, millised on suurimad läbipaindekohad aluse konstruktsioonis. Nendeks on pealaua äärmised küljed, kus suurimaks läbipaindeks on 0.1 mm. Teistes rakise osades esineb samuti läbipainet, kuid see on äärmiselt väike. Suurim surve kandub aluse konstruktsioonil nende avade ümbrusesse, millega on alus ühendatud peatalaga. Samuti on suure surve all aluse külgmised toed, millele langeb lisaks suur koormus. Kuid suurim koormus ei ole siiski ohustavalt suur, vaid on lubatud normides. Suurimaks koormuseks on 1.92 N/mm² kohta.

7.3 Kogu rakis

Kogu rakise tugevusanalüüs on tehtud samuti Solidworks tarkvara simulatsioonis. Simuleerides kogu rakist, kasutades maksimaalset jõudu 350 N, näeb ära suurimad pinged ja stressi kohad ning samuti detailid, mis kõige rohkem läbi painduvad. Jõud on mõjuma pandud suunaga ülevalt alla, hajutades terve aluse peale ära. Fikseeritud osadeks on rakise põhi. Järgnevalt näidatud terve rakise suurimad stressi- ja läbipaindekohad.



Sele 7.31 Rakise suurimad stressikohad.



Sele 7.32 Rakise suurimad läbipainde kohad.

Eelnevatel joonistel on näha simulatsiooni resultaat läbipainde ja stressi kohta. Rakise suurimateks stressikohtadeks on mõlemad völlid, nii alumine, kui ka ülemine ning samuti keskmine „L“ peatala. Samuti mõjub suur pinge ka esimesele plaadile, kus on näha stressi kogunemise kohta. Suurimaks stressiks on 1.54 N/mm^2 . Antud surve on normi piires, ega ohusta rakise konstruktsiooni. Suurimaks läbipaide kohaks on pealus, kus läbipaine ulatub 0.444 mm . Peatalad ning muu kandev konstruktsioon on keskmiselt 0.2 mm läbipaindega, mis näitab, et konstruktsioon on piisavalt tugev.

8.TÖÖTLEMISVIISID

Kuna antud lõputöö eesmärk on projekteerida sobilik rakis, mis vastaks ettetoodud nõuetele, siis samuti on eesmärk see rakis ka täielikult valmistada. Selle tarbeks tuleb leida ka sobilik töötlemisviis, mis annaks piisava täpsuse, pinnaviimistluse ja kvaliteedi. Rakises on kasutatud erineva kuju ja löikega detaile, seega tuleb kasutada ka erinevaid töötlusviise. Järgnevalt on välja toodud enamlevinud plastiku töötlemisviisid ja neid pakkuvad ettevõtted Eestis.

8.1 Vesilõikus

Vesilõikus kujutab endast lõikusprotsessi, kus lõikavaks materjaliks kasutatakse vett. Pumba abil survestatakse vesi (3800 baari) ning juhatakse läbi peenikese düüsi. Moodustub väga tugeva ühtlase survega veejuga (100 m/s), mille abil on võimalik lõigata erinevaid materjale: kumm, vineer, plastid, nahk, põrandakatted. Tugevamate ja kõvemate materjalide nagu titaan, karastatud teras, roostevaba, alumiinium, klaas, marmor, keraamilised plaadid, graniit, polüstürool, lõikamiseks lisatakse veejoale abrasiivosakesi.

Kasutades lõikuspingil CNC juhtimist on võimalik lõigata väga keerulise kujuga detaile. Seega on võimalus ära jätta hilisemad treimis-, puurimis- ja freesimisoperatsioonid. Veega on võimalik lõigata peaaegu kõiki materjale, seejuures tekitamata termilisi - või keemilisi muudatusi materjalis. Veega lõikamisel materjalid ei kuumene ei põle ning seega ei teki keskkonnale kahjulike gaase. Detail ei deformeeru ning siledatele pindadele ei teki kahjustusi. Lõikejoa läbimõõt erinevate materjalide puhul on: 0,1...1,5 mm, mis annab märgatava materjali kokkuhoiu.

Vesilõikuse eelised teiste lõikus tehnoloogiate suhtes on järgmised:

- keskkonna säästlikumaid lõikus meetodeid;
- lõikab palju erinevaid mittemetalseid materjale kaasa arvatud tuleohtlikud materjalid;
- ei tekita materjalides termilisi-ja keemilisi muudatusi;
- materjali kadu on minimaalne;
- täpsus;
- odavam ja kiireim meetod keeruliste detailide lõikamiseks;
- hea pinnakvaliteet, ei nõua hilisemat järeltöötlemist;
- võimaldab lõigata kuni 100 mm paksuseid materjale [10].

Vesilõikus on üks enamlevinud lõikusviise, millega lõigatakse plastikut. Suurimad firmad, kes Eestis pakuvad seda teenust: OSSMET OÜ, BALTIC STEEL CENTER OÜ, FINEST STEEL AS, ETRA BALTI AS.

8.2 Laserlõikus

Laserlõikeprotsess on võrreldav teiste termiliste lõikeprotsessidega. Termilistes lõikeprotsessides kasutatakse soojusallikat, millest tulenev kuumus kontsentreeritakse töödeldava detaili pinnale. Laserlõikeprotsessi puhul toimub soojuse ülekandmine kiirusülekanne teel. Laserkiire footonid neelduvad lõigatavas detailis ja nende energia muundub soojuseks. Kui laseriga lõikamisel kasutatakse abigaasina hapnikku, reageerib hapnik enamiku metallidega, näiteks terasega. Toimub eksotermiline oksüdeerumisprotsess, mis annab lõikeprotsessile lisasoojust. Laseri võimsus on hästi realiseeritav tänu laserkiire unikaalsetele omadustele nagu koherentsus ja monokromaatsus – laserkiir koondatakse väikesesse punkti lõigatava detaili pinnal. Võimsuse tihedus kerkib üle 106 W/cm² taseme, mis võimaldab metallide aurustamist. Võimsuse tihedus on otseses seoses laseri võimsusega. Võrdluseks: päiksekiire võimsustihedus maa atmosfääris on väiksem kui 0,1 W/cm² [11].

Laserlõikus on enimlevinud lõikeviis erinevatele materjalidele. Kuid, kuna PVC-U plast ei ole laserlõigatav, siis tuleb otsustada alternatiivsete variantide kasuks.

8.3 CNC freesimine ja treimine

CNC freesimine on samuti väga laialt levinud enamus materjalide töötlemisviis. Töödelda on võimalik erineva kuju, suuruse ja materjaliga detaile. Piire seab ainult töötlev CNC-freespink. Ümarmaterjali on võimalik töödelda CNC-treipingiga. Mõlema pingi puhul toimub pingi juhtimine CAD/CAM joonise kaudu, mis tagab detailidele suure täpsuse. Antud ülesande puhul, kus töödeldavaks materjaliks on plastik PVC-U, on sobilikud nii CNC freesimine kui ka treimine. Eestis on CNC freesimis- ja treimisteenuse pakkujaid palju, suuremad tegijad: Custom Metal OÜ, Radius Machining OÜ, CNC Studio OÜ jpt.

8.4 Sobilik töötlemisviis

Sobiliku töötlemisviisi valimiseks antud rakise detailide valmistamiseks on kas vesilõikus või CNC freesimine ja treimine. Kuna antud lõputöö esitamise ajaks ei olnud autoril veel olemas erinevate ettevõtete hinnapakumisi siis jääb siinkohal sobiliku töötlemisviisi valimine lahtiseks.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärk oli konstrueerida GTEM kambrile manipulaator rakis. Lõputöö esitamise ajaks sai eesmärk täidetud, rakise projekt, koos tugevusarvutuste ja materjali valikuga valmis vastavalt tähtajale. Lõputöö valmis koostöös üliõpilase Mait Arustega, kelle osa oli projekteerida juhtmehaanika.

Antud rakise projekteerimise käigus sai kaalutud erinevaid variante ja konstruktsioone. Sai võrreldud nii olemasolevaid lahendusi, kui ka proovitud läheneda täiesti uut moodi. Uut moodi konstruktsiooni lahendus oli oma reguleerimisvõimaluste poolest ideaalne, kuid keerulise juhtimise tõttu selline konstruktsioon valituks ei osutunud. Lõppkonstruktsioon sarnaneb kaubanduses olemasolevale, kuid omab olulisi täiendusi, et vastaks Ülikooli nõuetele. Lõputöö raames valiti konstruktsiooniks sobivaim materjal, milleks osutus plast PVC-U. Peale materjali valikut on tehtud konstruktsioonile mitmeid tugevusarvutusi erinevatele osadele. Tugevusarvutused näitasid rakise vastupidavust ja töökindlust ka suurimate jõudude korral. Samuti selgusid mõningased stressikohad rakises, kuid kõik oli lubatud normi piires. Lõputöö viimases osas on tehtud ülevaade erinevatest võimalikest töötlemisviisides ning sobivaima valimisest.

Edasiarenduseks antud rakise puhul saaks olla täielik automatiseerimine. Detaili aluse kõrgusereguleerimine ning detaili kinnitusklamber võiksid olla automatiseeritud ning eemalt juhitud.

SUMMARY

The aim of the bachelor thesis was to construct the manipulator device for the GTEM chamber. By the time of presenting the thesis the aim was fulfilled -the device project together with strength calculations and material selection were done on time. The thesis was completed in collaboration with student Mait Aruste, whose part was to project the lead mechanics for this device.

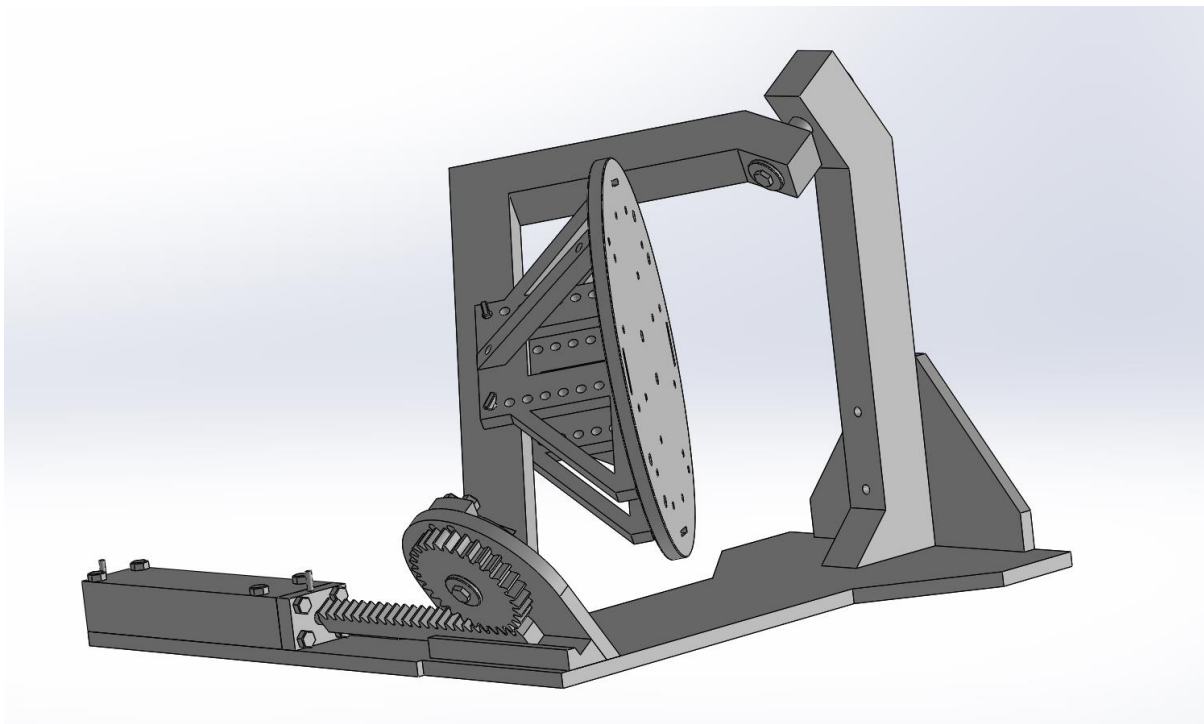
Designing this device many different options and constructions were considered. Already existing solutions were considered and also a totally new approach was thought over. The new construction solution was ideal for its regulating possibilities, but the management of this construction was too difficult and that is the reason why it was not chosen. The final construction of the device is similar to an already existing solution, but has important additions that match the requirements of the University. Within the framework of the final thesis the most suitable construction material was chosen, which turned out to be plastic PVC-U. After the selection of the material, strength calculations were made for several different parts of the construction. Strength calculations showed the resilience and reliability of the device even in the biggest forces. Some stress places in device were also detected, but these were within the allowed limits. In the last part of the thesis an overview of the possible processing methods for production and choosing the best one is made.

Full automation would be the improvement possibility for this device. Adjusting the height of the detail and the kinnituskamber could be automated and managed from the distance.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. <http://www.teseq.com/product-categories/gtem-cells-tem-cells.php> (25.04.2017)
2. https://et.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetiline_kiirgus (25.04.2017)
3. <http://www.ets-lindgren.com/pdf/GTEMBro.pdf> (25.04.2017)
4. http://www.teseq.com/products/accessories/MPH_MPC.php (25.04.2017)
5. https://www.ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste_projekteerimise_instituut/Oppematerjalid/puit_arhitektid/Arh_Puit_2015.pdf (25.04.2017)
6. https://www.ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste_projekteerimise_instituut/Oppematerjalid/puit_arhitektid/Arh_Puit_2015.pdf (25.04.2017)
7. Materjalitehnika, Tehnomaterjalid/ üldtoimetaja P.Kulu, LK 240. (30.04.2017)
8. Mehaanikainseneri käsiraamat/ üldtoimetaja P.Kulu, Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2013 (30.04.2017)
9. <http://www.tplast.ee/fi/plastide/kulumiskindlad-plastikud/pom-poluoksumetuleen/> (30.04.2017)
10. <http://www.balticsteel.ee/et/tehnoloogia/vesiloikus> (30.04.2017)
11. https://www.innove.ee/UserFiles/Kutseharidus/%C3%95ppe-%20ja%20juhendamaterjalid/mehaanika%20ja%20metall/%C3%95ppematerjal_5%20Lehtmetsalli%20t%C3%B6%C3%B6lemistehnoloogiad_veebi.pdf (30.04.2017)

LISA 1: Rakis koos juhtimismehhanismiga



LISA 2: Rakis koos juhtimismehhanismiga

