



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Instituudi nimetus

AUTOMAATSETE KUMERATE LÜKANDUSTE PROJEKTEERIMINE

DESIGNING AUTOMATED CURVED SLIDING DOORS

BAKALAUREUSETÖÖ/MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kert Aedla

Üliõpilaskood 182825MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur

Tallinn 2019

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Kert Aedla (28.05.1993)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Automaatsete kumerate lükanduste projekteerimine

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Toivo Tähemaa

(juhendaja nimi)

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

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

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

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

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ *(allkiri)*

_____ *(kuupäev)*

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kert Aedla, 182825MATM

Õppekava, peeriala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja(d): Teadur, Toivo Tähemaa, +372 5091918

Konsultant:

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Automaatsete kumerate lükanduste projekteerimine

(inglise keeles) Designing automated curved sliding doors.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Mahutada ära paralleelselt klaas- ja puituks etteantud ukseavausse.
2. Leida sobivad ostukomponendid.
3. Teha tugevusarvutused kriitilistele sõlmedele

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande selgitamine, olemasolevate lahenduste analüüs, võimalike lahendusvariantide analüüs	22.03
2.	Teha vajalikud arvutused sõlmedele	20.04
3.	Valmistamise joonised ning töö lõplik vormistamine	23.05

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 25. mai 2020 a

Üliõpilane: ".....".....201....a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....201....a
/allkiri/

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

Programmijuht: ".....".....201....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	7
2. LÜKANDUSTE TÖÖPÕHIMÕTE.....	10
2.1 Projekteerimise aluseks võetud lahendus	10
2.2 Projekteeritava lahenduse tööpõhimõte.....	11
3. KONSTRUKTSIOON JA TUGEVUSANALÜÜS	13
3.1 Kandekonstruktsiooni projekteerimine	13
3.2 Kandekonstruktsiooni tugevusarvutus.....	16
4. KLAASUSTE PROJEKTEERIMINE.....	18
5. PÕHIKOMPONENTIDE VALIK	20
5.1 Ajam	20
5.2 Siinid.....	21
5.3 Rihmapinguti	24
5.4 Rullikud.....	26
6. AJAMI JA SIINISÜSTEEMI KOKKUSOBIVUSE KONTROLL	27
7. KANDURI TUGEVUSARVUTUS	31
8. UKSEKANDURI POLDI TUGEVUSANALÜÜS	33
9. TEEKOND LÕPPTULEMUSENI.....	36
9.1 Esmane koostamine	36
9.2 Laekinnitused	37
9.3 Paigaldamine	38
9.4 Plokiratas	39
9.5 Viimistlemine.....	41
9.6 Mutrikatted.....	42
9.7 Lõpptulemus.....	43
KOKKUVÕTE.....	45
SUMMARY.....	46
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	47
LISA 1 - Joonised	49

EESSÕNA

Käesoleva töö teemaks on: Automaatsete kumerate lükanduste projekteerimine. Töö teema sündis ettevõtte Insero OÜ poole pöördunud kliendi vajadusest leidmaks projekteerija lükandustele, mille suguseid turult saada ega tellida pole võimalik. Autorina tol hetkel nimetatud ettevõttes töötades, tuli kõnealust projekti juhtida ning tänu sellele tekkis idee selle teema sidumiseks magistrikraadi lõputööga. Töösse on oma panuse andnud ka Insero OÜ tegevjuht, kellega koos konsulteerides on välja töötatud selle projekti tehniline lahendus.

Insero OÜ põhitegevuseks on projekteerimine ja valdav osa sellest tehakse eksporttööna Rootsi kaevanduste tarbeks. Seetõttu oli väga põnev juhtida ja projekteerida teistsuguse iseloomuga projekti, kus tuli lahendada mitmeid insener-tehnilisi probleeme. Sama aegselt oli töös ka teine võrdväärse mahukusega projekt, kuid autori hinnangul poleks see lõputöö kirjutamiseks nii palju huvi pakkunud.

Autori eesmärgiks oli välja töötada automatiseeritud lükandused, mille suguseid teadaolevalt senini tehtud pole. Seda, mis teeb nendest lükandustest seninägematud automatiseeritud ukseid, kirjeldab järgnevalt käesolev magistritöö.

1. SISSEJUHATUS

Maailmas on varasemalt loodud kõikvõimalike lahenduste ja tööpõhimõtetega lükanduksi. Ometi ei leidunud sellist tarnitavat lahendust, mis oleks sobinud kliendi objektile. See tähendas seda, et ihaldatud lahendus tuli projekteerida vastavalt kliendi soovidele.

Lisaks inimkäega uste opereerimisele, pidid ukсед olema varustatud ajamitega, mis pidid juhitud olema nii seina peal asetsevatest nuppudest kui ka spetsiaalse tarkvara kaudu, kasutades selleks mobiiltelefoni või tahvelarvutit. Lisaks on ukсед avanevad ja sulguvad ka läbi liikumisanduri signaali. Kuna ettevõtte Insero OÜ tegevusvaldkond on peaaesjalikult mehaanika, siis säärased automaatika lahendused tuli enda kanda võtta spetsiaalselt automaatikaga tegeleval ettevõttel. Kõik, mis puudutas mehaanilist poolt, v.a. klaasuste kinnitamist uksekanduri külge, tuli lahendada just Insero OÜ eestvedamisel. Siiski tuli hoida kontakti automaatikutega, kooskõlastamaks ajami valikut ning lisaks anda ka sisendinformatsiooni ehitajatele, vaheseinade õigete asukohtade ja raadiuste kohta.

Sisuline pool, et kuidas esitatud ülesanne lahendatud saab ei olnud kliendi jaoks niivõrd oluline, vaid primaarne oli Insero OÜ kinnitus, et etteantud ülesanne on tehtav. Andes kliendile kinnitava nõusoleku, saadeti vastu nimekiri sisenditest, millega ukse projekteerimisel tuleb arvestada ning lisaks ka parameetrilised soovid, milleks ukсед peaksid võimalised olema.

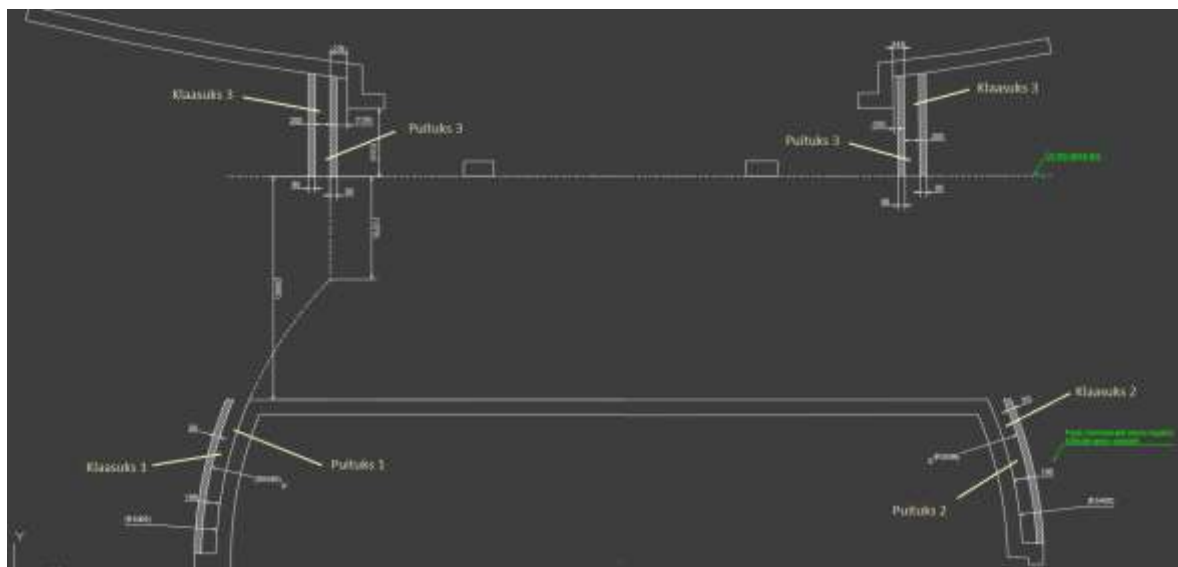
Kliendipoolsed sisendid:

- Automaatikaga juhitud lükandused peavad olema opereeritavad ka käsitsi,
- ühe sektsiooni mehhanismis üks puituks ja üks klaasuks,
- uste kõrgus minimaalselt 2600 mm,
- ukseava maksimaalne laius (paralleelsete seinade sisemine vahe): 190 mm,
- maksimaalne kõrgus põrandast: 10 mm
- mehhanism peab olema võimeline liigutama u. 180 kg raskust ust,
- kõik ukсед eraldi juhitud (kaheksa ust),
- avanemiskiirus: <10 sekundit,
- automaatika osa lahendab kliendipoolt valitud ettevõtte, kuid sobiva ajami peab välja valima Insero OÜ,
- klaasukse paksus: 10 mm, puitukse paksus: 40 mm,
- mehhanismid peavad jääma varjatuks,

- võimalikult hooldevaba süsteem.

Kuna projektis kasutatavad ostutooted ja projekteeritavad komponendid on üsna kulukad, siis tuli tagada maksimaalne sooritus, et projekt õnnestuks esimese valmistamisega ning prototüüpide tegemine poleks vajalik. Seetõttu on mõningad sõlmed projekteeritud tugevamatenä, kui reaalsuses vaja võiks olla, kuid riskide maandamine nii mahuka projekti puhul võibki kujuneda edu võtmeks.

Kogu süsteem koosnes kokku kaheksast (neli klaasust ja neli puitust) uksest, mis pidid kõik olema eraldi opereeritavad. Neli ust oli ühel pool koridori ja neli ust teisel pool koridori. Kummalgi poolel oli sirge osa ja üks kumer osa. Koridori pealt- ja eestvaate suhtes olid mõlemad pooled peaaegu sümmeetrilised (v.a. kumerad osad). Seetõttu sai sirged osad teha sümmeetrilised, kumerad osad aga mitte. Järgnevalt on näidatud pealtvaate skeemiga (Sele 1.1) planeeritavate uste paigutumine.



Sele 1.1 Klaasuste ja puituste asukohtade määramine ning tulevaste seinte asukohtade määramine

Kuna hoonete ehitamisel on lubatud võrdlemisi suured tolerantsid ja seinade geomeetria võib olla ebaühtlane, siis oli mõõtmestamiseks hea kasutada tavapärase mõõdulindi ning paberi ja pliatsi asemel 3D skaneerimise võimalust. Selline instrument oli tol hetkel värskest ettevõttele Insero soetatud. Kõnealune skanner kannab nime FARO Focus S 70 (Sele 1.2), mille mõõtetäpsus 25 m raadiuses on ± 1 mm. [1] Selline mõõtetäpsus antud objekti mõõtmestamiseks on enam, kui piisav.



Sele 1.2 Faro Focus S laserskanner

Skaneerimise tulemusel saadud punktipilve töötlemiseks sai kasutatud FARO Scene tarkvara. Projekteerimiseks ja FEM (lõplike elementide meetod) analüüside ning jooniste tegemise jaoks sai kasutatud CAD-modelleerimistarkvara Autodesk Inventor Professional 2019.

Projektijuhina sai lisaks juhtimisele ka kogu projekteerimise osa ja jooniste tegemine enda kanda võetud. Insener-tehniliste lahenduste genereerimisel sai kasutatud ka kõrvalist abi. Samuti on esmane koostamine sooritatud minu juhendamisel. Lõplik paigaldamine ehitusobjektile pidi jääma ehitajatele. Lõputöö osa Lisa 1-te on lisatud mõned joonised, mis on umbes 20% kogu jooniste mahust. Kogu mahu näitamiseks on näidatud ka üldine jooniste tabel.

2. LÜKANDUSTE TÖÖPÕHIMÕTE

Teades, et ukсед tuleb projekteerida, mitte ei saa tellida juba valmis ja töötavat lahendust, tuli toimiva tööpõhimõtte leidmiseks tutvuda ka juba kasutusel olevaid lahendusi.

2.1 Projekteerimise aluseks võetud lahendus

Projekteerimise alguses sai süvitsi otsitud juba olemasolevaid lahendusi, et projekti mahukus ja sellest tingituna kogu maksumus oleks optimaalne ka kliendile vastuvõetav. Paraku ei õnnestunud nii rasketele ustele (u. 180 kg) sobilikke siine leida, enamasti jäi nende kandevõime kuni 120 kg juurde. Seda tõestas ka asjaolu, et enne Insero OÜ poolde pöördumist, otsis klient lahendust spetsiaalselt lükandustega tegelevalt Eesti ettevõttelt, kuid tulutult. Siinide projekteerimiseks polnud konkreetne ettevõtte aga võimeline ning seetõttu pidigi klient abi saamiseks pöörduma eelneva kogemusega erilahendustele spetsialiseerunud ettevõtte- Insero OÜ poole.

Kui kumerates automatiseeritud lükandustes pole midagi iseäranis enneolematut, siis keeruliseks tegi kogu süsteemi asjaolu, et ukse kihte pidi olema kaks kihti. Ehk kaks paralleelset lükandust (puit- ja klaasuks) pidid mahtuma võrdlemisi kitsasse (190 mm) ukseavausse kõrvuti liikuma. Õnneks ei pidanud hakkama n.ö. „jalgrattast leiutama,“ vaid õnnestus leida sobilik lahendus [2], mis on küll mõeldud ühele uksele, aga sinna poleks liiga keeruline sekundaarset uksemehhanismi juurde pookida. (Sele 2.1.1)

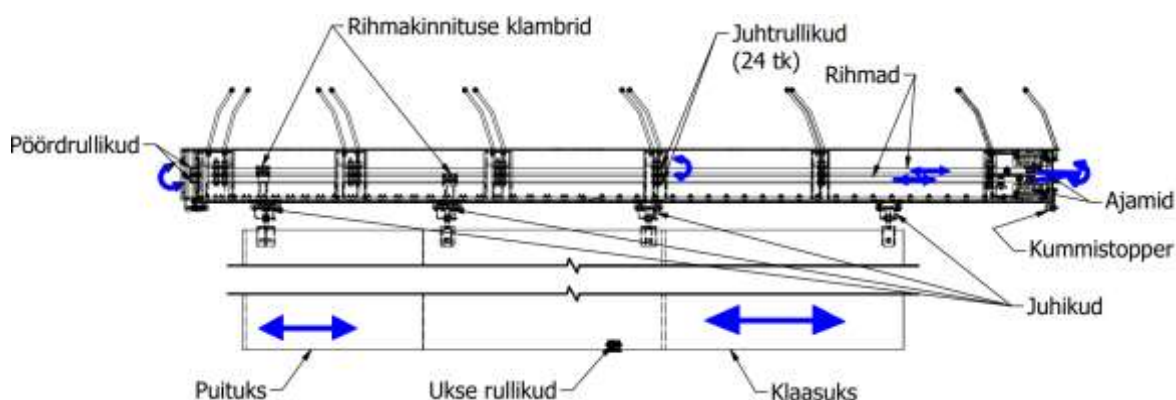


Sele 2.1.1 Projekteerimisel inspiratsiooniks leitud lahendus

Selline lahendus kõrvaldas ka hammasrihma kurviline trajektooriga liikumise probleemi, mis tähendab, et rihm toetub mõne aja tagant ühele juhtrullikule, moodustades sirgetest lõikudest ebaühtlase kaare. Ebaühtluse probleemi lahendabki siin ise, mis hoiab liikuvat ust soovitud kursil.

2.2 Projekteeritava lahenduse tööpõhimõte

Lükanduste tööpõhimõtte mõistmiseks on kõige parem luua põhimõtteline skeem. (Sele 2.2.1) Kuigi kogu projekt hõlmab endast nelja sektsiooni, millel igal ühel neist omakorda on kaks uksepaneeli, on vaatluse alla võetud üks kumer sektsioon lihtsustamaks tööpõhimõtte arusaadavust.



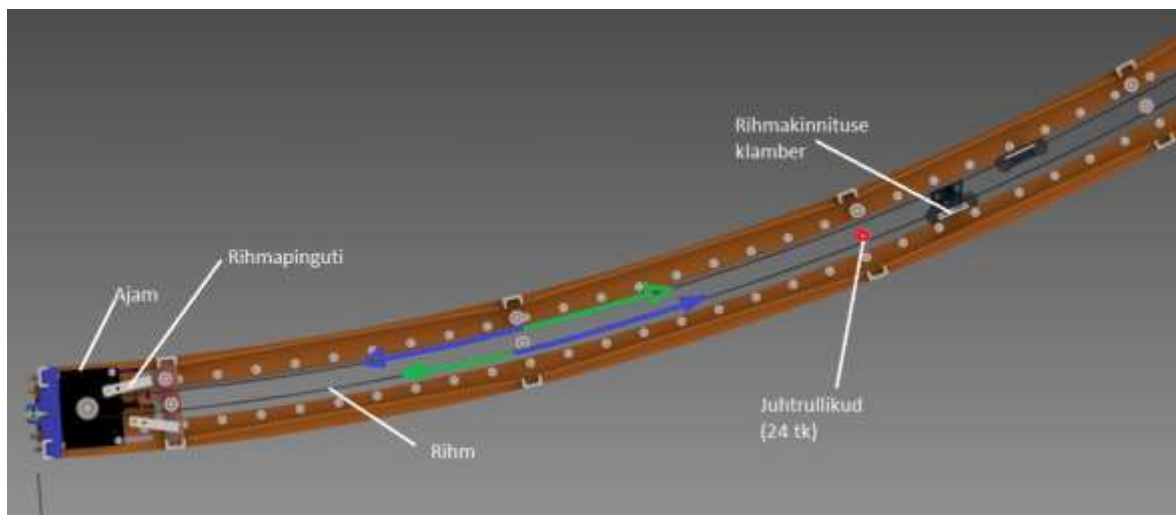
Sele 2.1.1 Põhimõtteline skeem eestvaates

Lahtiseletatuna tähendab see:

- Kontroller saab käsu ajami käivitamiseks,
- rihm hakkab liikuma mööda juhtrullikute ja pöödrulliku poolt määratud trajektoori,
- Rihma külge polditud rihmakinnituse klambrid ringlevad koos rihmaga,
- rihmaklambrid on kinnitatud juhikute külge, mis hakkavad liikuma mööda siine,

- uks, mis on samuti kinnitatud juhikute külge, hakkab liikuma mööda siinide trajektoori,
- ukse alumise ääre toestamiseks on ukse avause põhja lisatud väikesed tugirullikud, hoidmast ust siinide trajektooriga,
- lükandukse lõpuasendisse jõudmise märguandeks kontrolleri jaoks on siini otstes lisatud kummistopperid. Lõpuasendid määratakse eelnevalt esmasel käivitusel õppeprogrammiga.
- Automaatikal on lisaks ka ohutusrežiim, mis suudab tuvastada takistuse ukse sulgemisel. Juhul, kui näiteks inimene või tema kehaosa peaks jääma ukse trajektooriga kokku puutuma, siis saab kontrolleri sellest kohase signaali ning seiskab mootori ja muudab koheselt liikumise suunda avades uuesti ukse. Järgmisel sessioonil samasse punkti jõudes, antakse kontrolleri poolt ajamile käsk kiirust vähendada.

Selgitamiseks ja täpsustamiseks veel mehhanismi toimimist, on tehtud lõige näitamaks ühe ukse liigutamiseks vajalikke mehaanikakomponente. (Sele 2.2.2) Seetõttu on mehhanismi toimimine näidatud lõikena pealtvaates. Kuigi illustratsioonil näib, et rihma trajektoor kulgeb ühtlase raadiusega, siis tegelikkuses jookseb ta sirgete osadena, murdudes väikeste nurkade kaupa juhtrullikute koha pealt. Lisaks näib värviliselt illustratsioonilt kaks rihmapinguti. See tähendab, et üks rihmapinguti on mõeldud ülemisele hammasrihmale ehk teise ukse mehhanismi jaoks.



Sele 2.2.2 Põhimõtteline skeem pealtvaates

3. KONSTRUKTSIOON JA TUGEVUSANALÜÜS

Kõige keerulisem ja mahukam töö oli kandekonstruktsiooni projekteerimine, sisuliselt oli see kogu projekti tuum, mille külge tuli erinevad komponendid külge pookida.

3.1 Kandekonstruktsiooni projekteerimine

Lükanduste konstruktsioon projekteerimisel tuli lähtuda järgnevatest nõuetest:

- Sobituks olemasoleva ehitatud seinaga,
- oleks ülevalt ankurdatav,
- piisavalt jäik ja tugev,
- lihtne monteerida:
 - võimalikult väheste abivahenditega monteeritav,
 - vältida liiga suuri konstruktsiooni mooduleid,
 - kuni 100 kg-sed moodulid,
 - ligipääsetavus olulistele detailidele.
- transpordi kindel.

Kuna manuaalne mõõtmestamine ehitusobjektidel oleks kujunenud võrdlemisi keerukaks põhjusel, et kõik seina pinnad ei ole alati täiuslikud ja nurgad, mis peaksid olema täisnurgad, võivad omada võrdlemisi suuri tolerantse. Lisaks olnuks käsitsi mõõtmestamine üsnagi ajakulukas, seetõttu oli mõistlik kogu keskkond 3D laserskanneriga üles kaardistada. (Sele 3.1.1)



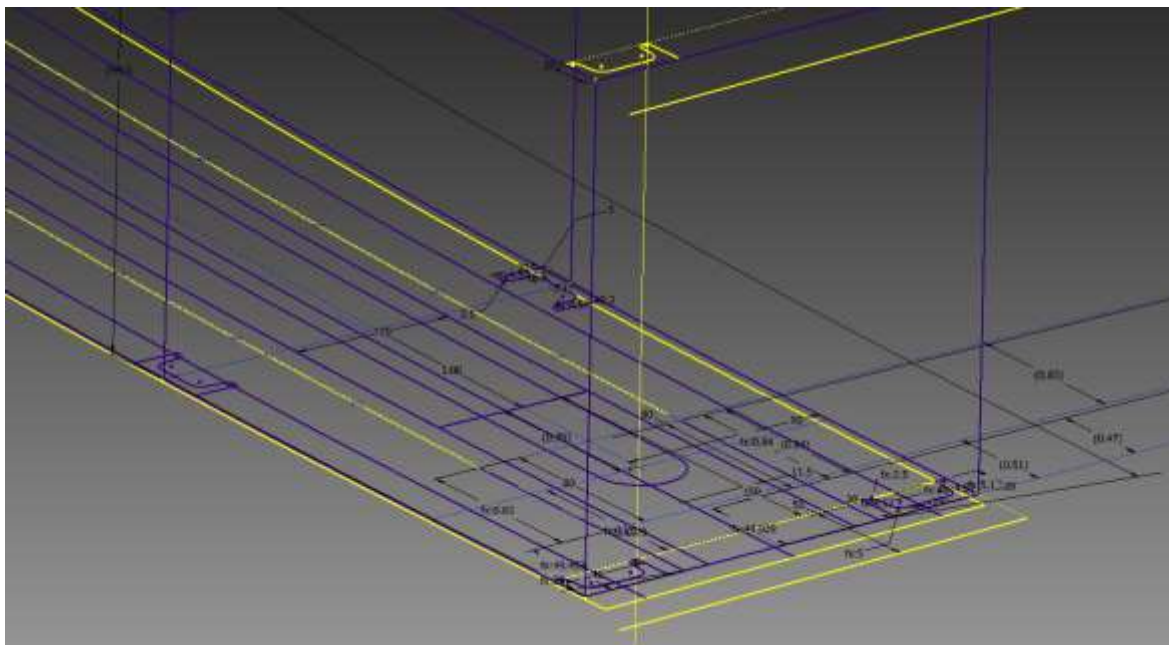
Sele 3.1.1 3D laserskanneeritud punktipilv

3D laserskanneerimise tulemusena, sai koostada punktipilve, mille sai sisse importida CAD programmi, et vajalikud seinad keskkonnast saaks üles modelleerida. (Sele 3.1.2) Tuginedes loodud mudelile sai juurde ehitatavate seinade põhimõtteline joonis edastatud ka ehitajale (Loodavad seinad on joonisel markeeritud viirutatud joontega- Sele 1.2)



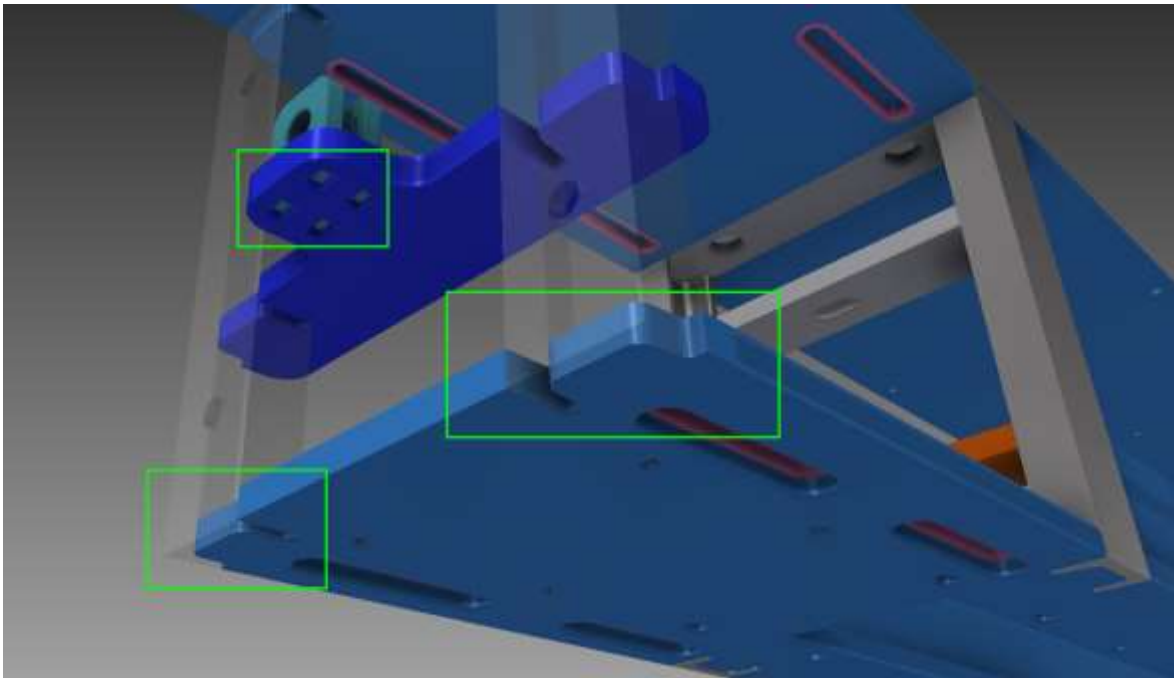
Sele 3.1.2 Ehitusobjektile eksisteerivad seinad

Saadud mudeli järgi sai luua juba skitseeringu faili (Sele 3.1.3), mis oli nii öelda tuumaks kõikidele loodavatele mudelitele. See tähendas seda, et kui mingit parameetrit muuta skitseeringu failis, siis muutuvad automaatselt ka kõik detaili- ja koostumudelid. Olgugi, et esialgu ei ole selline meetod kõige kiirem, siis tänu sellele oli võimalik kokku hoida projekteerimisele kuluvat aega moel, et hilisem muudatuste tegemine mudelis oleks ajaliselt võimalikult ökonoomne.



Sele 3.1.3 Lähivaade üldisest skitseeringu failist

Konstruksioon koosneb laserlõigatud lehtmetsall detailidest ja vertikaalsetest UNP-profiil (U-kujuline terasprofiil, standard: EN 10365) taladest. Kogu konstruktsioon on projekteeritud n.ö. pusle meetodil, mis tähendab, et detailide positsioneerimiseks on eelnevalt juba laserlõikusega õigetes asukohtadesse sisselõiked tehtud. Tänu sellele saab keevitamiseks detailide asukohad määrata ilma mõõdistamiseta. Lisaks on võimalikult paljud detailid projekteeritud sümmeetriliselt, vältimaks nende valesti positsioneerimist. Kõnealuse meetodi idee näidatud roheliste kastidega Sele 3.1.4.



Sele 3.1.4 Laserlõikuse meetodil tehtud sisselõiked talade täpseks positsioneerimiseks

3.2 Kandekonstruktsiooni tugevusarvutus

Vaatluse alla on võetud konstruktsioon, millele mõjuv koormus on kõige suurem. Selleks, et määrata mõjuv koormus, tuleb kogu süsteemi sektsioonist maha lahutada konstruktsiooni mass. Teisisõnu, tuleb leida kõikide lisadetailide mass, mis määrab konstruktsioonile mõjuva koormuse.

$$m_d = m_{kogu} - m_k = 392.46 - 87.61 = 304.85 \text{ kg}, \quad (3.2.1)$$

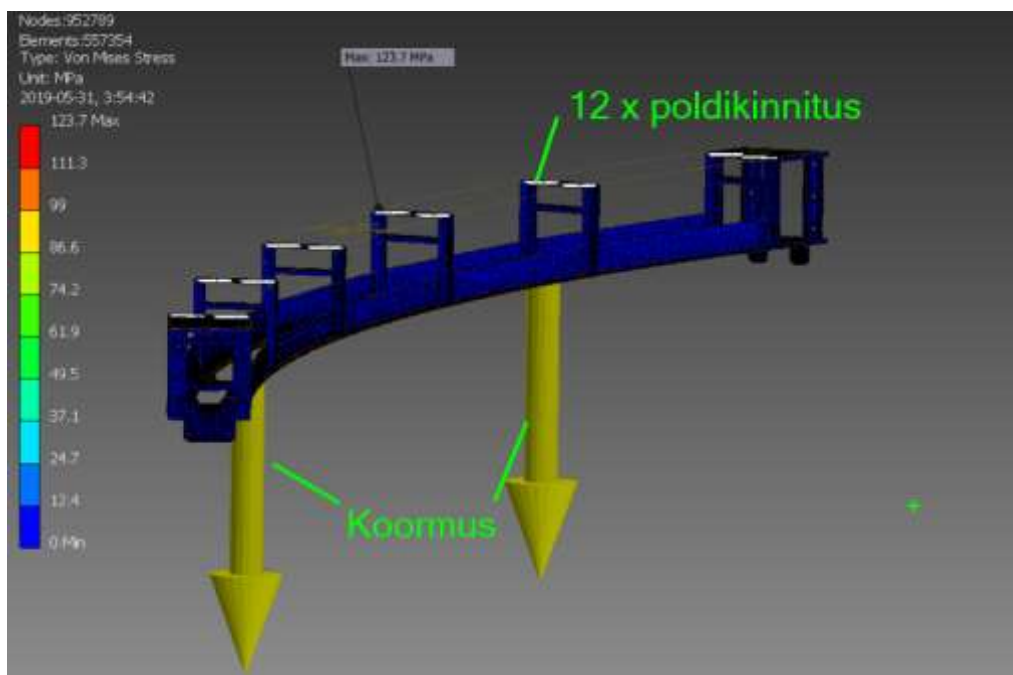
kus:

- m_d - Lisadetailide mass, kg
- m_{kogu} - Kumera süsteemi kogumass, kg
- m_k - Konstruktsiooni mass, kg

Selle kaudu saab leida koormuse, mis avaldub raskusjõu kaudu:

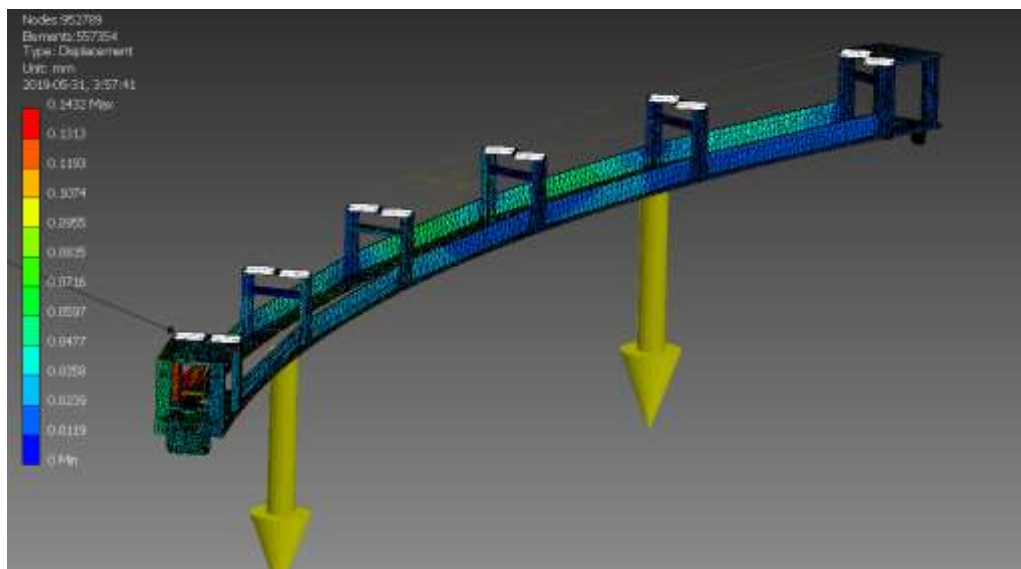
$$F_r = m_d \cdot g = 304.85 \cdot 9.81 \approx 2991 \text{ N}, \quad (3.2.2)$$

Lisades rajatingimused mudelisse (12 lakkekinnituvat poldiava kinnitust, jagatud koormus: 2991 N), mille tulemusena on maksimaalne pinge 123.7 MPa (Sele 3.2.1), mis on selgelt madalam terase voolepiirist: 355 MPa.



Sele 3.2.1 Kandekonstruksiooni FEM analüüs

Konstruksiooni maksimaalne läbipaine (Sele 3.2.2):

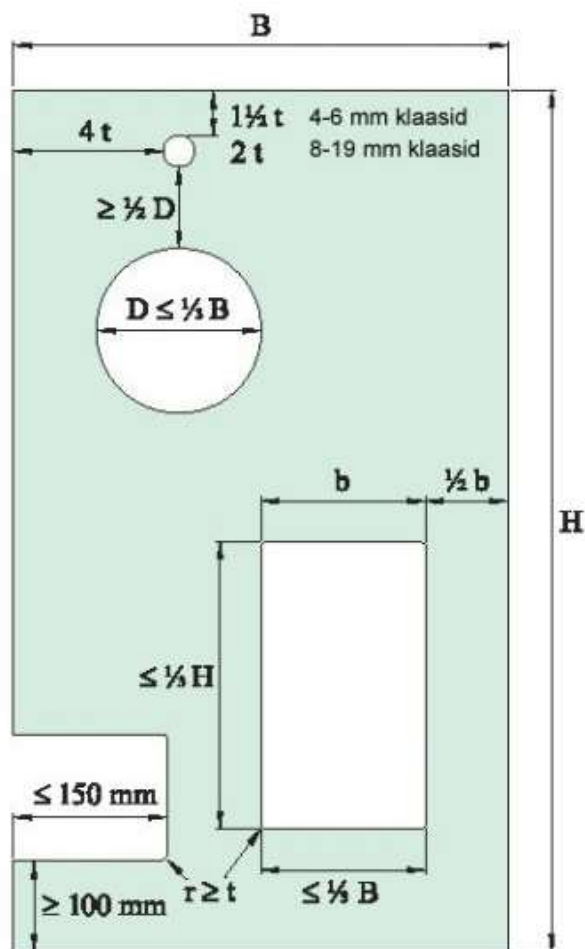


Sele 3.2.2 Kandekonstruksiooni läbipaine

Konstruksiooni arvutuslik läbipaine on alla 0.15 mm, mis ei tohiks kuidagi mõjutada siini juhikute liikumist, arvestades ka asjaolu, et siinid ise lisavad ka konstruktsioonile jäikust. Tugevusarvutuste tulemusi analüüsides võiks kaaluda ka konstruktsiooni optimeerimist, kuid arvestada tuleb asjaoluga, et transportides ei ole konstruktsioon nii tugev, kui paigaldatuna ning võib seetõttu saada deformeeritud.

4. KLAASUSTE PROJEKTEERIMINE

Esmapilgul lihtsa ülesandena tundunud klaasuste projekteerimise puhul tuli arvestada siiski ka mõningaste asjaoludega, mille peale poleks tulnud varasema kogemuse puudumise tõttu. Olgugi, et klaasuksed pidi tellima ja tarnima üks teine ettevõtte, kes igapäevaselt selle teemaga ka tegeleb. Vältimaks aga võimalikke kommunikatsiooni ebakõlasid, oli mõistlikum uste projekteerimine siiski enda kanda võtta. Seda põhjusel, et sellisel juhul saime kõikide uste gabariitide, painutusraadiuste ja avade üle kontrolli omada. Sellegi poolest tuli arvestada piirangutega, millega klaasi projekteerimisel arvestada tuleb. Paraku see informatsioon õnnestus saada alles hiljem. Säilitamaks maksimaalselt klaasi tugevusomadusi, tuli puuritavad kinnitusavad paigutada vastavalt nõudmistele. Selleks andis sisendi klaasuste tellimisega tegelev ettevõtte jagades põhimõttelist joonist (Sele 4.1) avade paigutamise piiranguks. [3]



Sele 4.1 Klaasi avauste mõõtmestamine

Kui algselt ei osanud klaasuksele tehtavate avade piirangutega arvestada, siis peale korrektse mõõtmestamise informatsiooni saamist selgus, et klaasuksed tuleb teha kõrgemaks kui algselt planeeritud. See tähendas, et kandekonstruktsioon tuli tõsta 10 mm kõrgemale, kuna algselt oli arvestatud, et tõsteava perimeeter võib jääda ühekordse klaasipaksuse kaugusele klaasi ülaservast. Hiljem selgus, et see kaugus klaasi ülaservast peab olema vähemalt kahekordne. Samuti tuli uksestopperite poldid välja vahetada pikemate vastu, kuna mõõtmestamise piirangute tõttu tuli juhikud stopperitest kaugemale viia.

Klaasuste ümber projekteerimine tähendas ühtlasi seda, et ka puituksed tuli kõrgemaks teha, kuna mõlema ukse siinid asuvad samal kõrgusel. Ka kinnitusavad tuli vastavalt klaasuste nõuetele ümber projekteerida, tagamaks ühtlasema esteetilise välja nägemise.

5. PÕHIKOMPONENTIDE VALIK

Saavutamaks toimivat lahendust, tuli lisaks valmistatavatele detailidele leida sobilikud ostukomponendid, sidumaks süsteemi üheks tervikuks. Järgnevalt on välja toodud põhilised komponendid, mis ei kuulu valmistamisele.

5.1 Ajam

Kahepoolsete automaatsete lükanduste puhul kasutatakse üldjuhul ühte ajamit mõlema poole liigutamiseks. Kuna antud juhul pidid kõik ukсед olema eraldi opereeritavad, tuli iga ukse kohta lisada eraldi ajam. Ajami valikul tuli lähtuda järgnevatest tingimustest:

- Gabariitidelt sobiv konstruktsiooniga,
- piisav jõudlus vedamaks 180 kg raskust klaasust,
- mootori ühilduvus kliendile sobiva kontrolloriga,
- Tarnija, kellel on Eestis esindus olemas,
- sisseehitatud takistuse tuvastus ohutuse tagamiseks.

Nende tingimuste täitmiseks osutus valituks Siemens'i mootor: Sidor MED280, mis ongi automaatsete liuguste jaoks mõeldud. (Sele 5.1.1)



Sele 5.1.1 Siemens Sidoor MED280

5.2 Siinid

Siinide välja valimine osutus kõige keerulisemaks protsessiks, kuna tuli otsustada, kas projekteerida need ise või tellida otse tootjalt. Keeruliseks tegi otsustamise just müüdavate siinide kõrge hinnatase. Otseseid nõudeid siinide valimiseks kliendi poolt ei tulnud. Valides konservatiivsema lähenemise, otsustasime lõpuks koos kliendiga siiski valmis lahenduse kasuks.

Nii nagu ajam, peavad ka siinid olema võimelised opereerima 180 kg-st klaasust. Selle baastingimuse tõttu ahenes erinevate siinitehnoloogiate valik võrdlemisi kasinaks. Valikus oli kolm erinevat tehnoloogiat: pöödrullikutel-, kuulidel- või hõõrdumisel liikuv juhik.

Projekteerimise algfaasis oli valikuna laual ka siinide projekteerimine meie enda poolt. Vundamentaalseks ideeks oleksime võtnud mööda ribaterast ratastel liikuva rippukse lahenduse, mis on kasutusel ka lihtsamatel kodus kasutatavatel lükandustel. (Sele 5.2.1) Takistuseks kujunes selle lahenduse puhul ribaterase faasimine ja painutamine. Kui ühe ribaterase serva faasimise jaoks leidsime ettevõtte, kes töö ära oleks teinud, siis painutamisega oli lugu keerulisem. Nimelt oleks valmistaja plaaninud teha seda valtsimise meetodil, kuid kuna and poleks suutnud tagada soovitud täpsust painutusraadiusel, siis ei soovinud nad seda tööd ette ka võtta, mistõttu oleksime pidanud mõtlema mõnele teisele lahendusele.



Sele 5.2.1 Kaalutud siinide lahendus

Lineaarse hõõrdliikumise ehk liugliikumise põhimõttel liikuva siinisüsteemi oleks olnud võimeline pakkuma Igus (Sele 5.2.2), aga nende poolt pakutavate painutavate siiniprofiilide lahendus poleks sobinud oma suurema hõõrdeteguri tõttu. Nimelt on Iguse plastikute keskmine hõõrdeteguri koefitsient umbes 0.11μ [4], mida on ligikaudu 10 korda rohkem kui pöödrullikutel liikuvatel juhikutel. Lisaks olles varasemalt Iguse juhikutega kokku puutunud, saan öelda, et nende seadistamine sujuva liikumise saavutamiseks, on ilma eelneva kogemusega võrdlemisi aeganõudev.



Sele 5.2.2 Iguse siin juhikuga

Kuulidel liikuvad juhikud on väga laialt levinud kohtades, kus on vajalik täpsus ja suur koormus. Seetõttu kasutatakse neid näiteks CNC-pinkidel telgedel liigutamisel. Olgugi, et antud süsteemis sellist täpsust taga ei aeta, sobiks tehnoloogia iseenesest hästi. Säärast lahendust kurvlisteks liikumisteks pakub tootja THK [5], illustratsioon nähtav:

Sele 5.2.3. Kuna kuulidel liikuva juhiku süsteemile Eestist edasimüüjat ei leidnud, siis ei olnud mõistlik selle tehnoloogia uurimisele esialgu liiga palju ressursse kulutada ning seetõttu otsustasime selle lahenduse kõrvale jätta, hoolimata selle sobilikest omadustest.



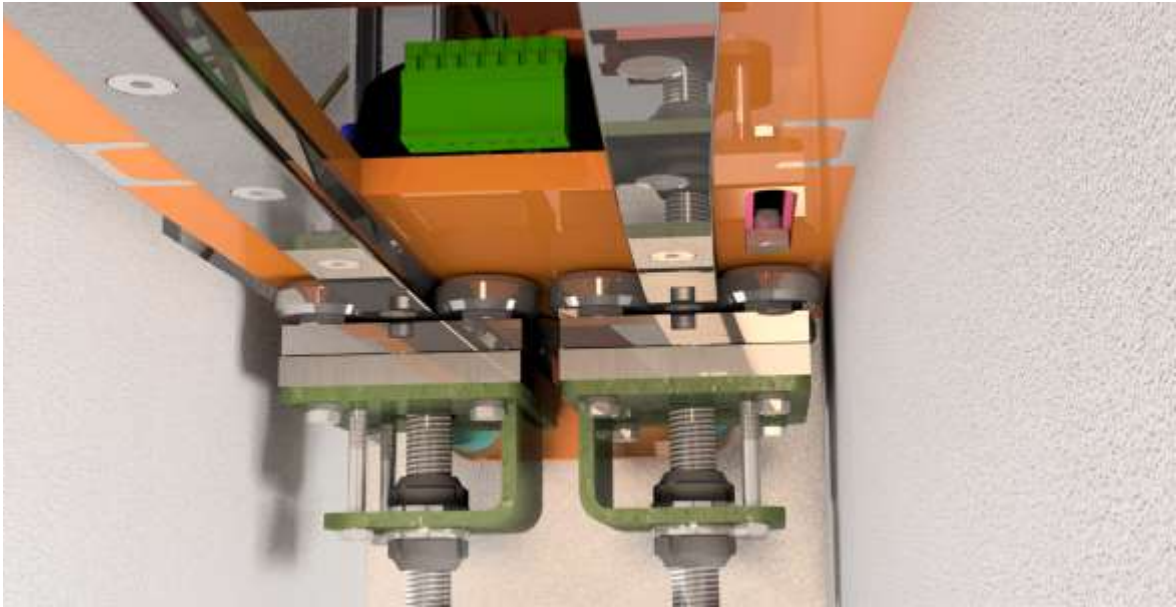
Sele 5.2.3 THK siin juhikuga

Kaaludes erinevate siinide positiivseid ja negatiivseid külgi, osutus valituks Rollon'i Curviline seeria [6], mis töötab rullikutel ja on mõeldud kurvlisteks liikumisteks. (Sele 5.2.4)



Sele 5.2.4 Rollon Curviline siin koos juhikuga

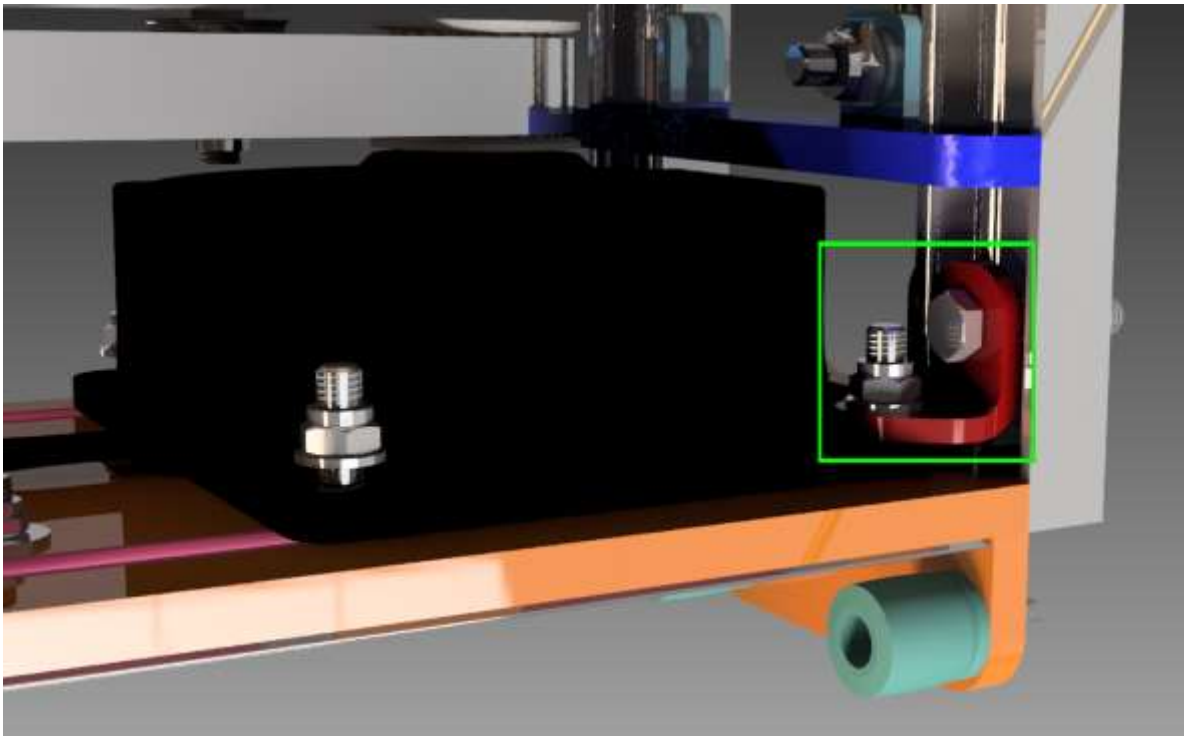
Oma gabariitide poolest on Rollon Curviline juhikud võrdlemisi laiad (89.58 mm) ning arvestades, et kaks eraldi rullikut peavad teineteise kõrval mahtuma liikuma tuli kandekonstruktsioon projekteerida võimalikult kompaktselt. (Sele 5.2.5) Lõpuks olidki juhikud need, mis määrasid ära konstruktsiooni laiuse, mis omakorda määras ära seinte avause minimaalse laiuse, mille ehitajad pidid tagama.



Sele 5.2.5 Rollon Curviline siinid impordituna 3D mudelisse

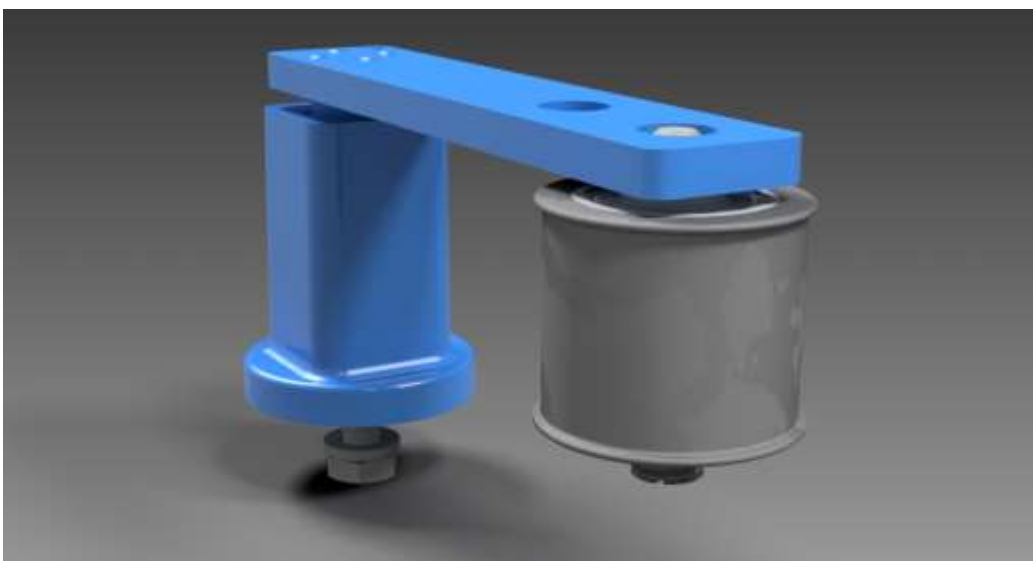
5.3 Rihmapinguti

Kuna ajamiseks valitud Siemens'i mootor tarnitakse koos rihmarattaga, siis on ülekande vahendiks ilmselgelt hammasrihm. Seetõttu tuli kogu ülekandest mõjutatud süsteem üles rajada just rihmülekande omadustest lähtudes. Kuna hammasrihmadel on kombeks aja jooksul venida, tuleks ülekanne varustada rihmapingutiga. Lisaks oleks mõistlik kasutada eelpingutit, et aktiivse rihmapinguti seadistamise protsessi lihtsustada. Kuna mootori küljes ühtegi eelpingutamiseks mõeldud detaili ega kinnitusava polnud, tuli eelpinguti ise projekteerida. Selleks sai lisatud mootorit kinnitavate poltide külge painutatud lehtmetailist plaadid, mis ühtlasi täitsid ka seibide eesmärgi. Painutatud plaatidele sai lisatud horisontaalne ava, milledest sai tänu poldidele rihma eelpingestada. (Sele 5.3.1)



Sele 5.3.1 Hammasrihma eelpingutussüsteem

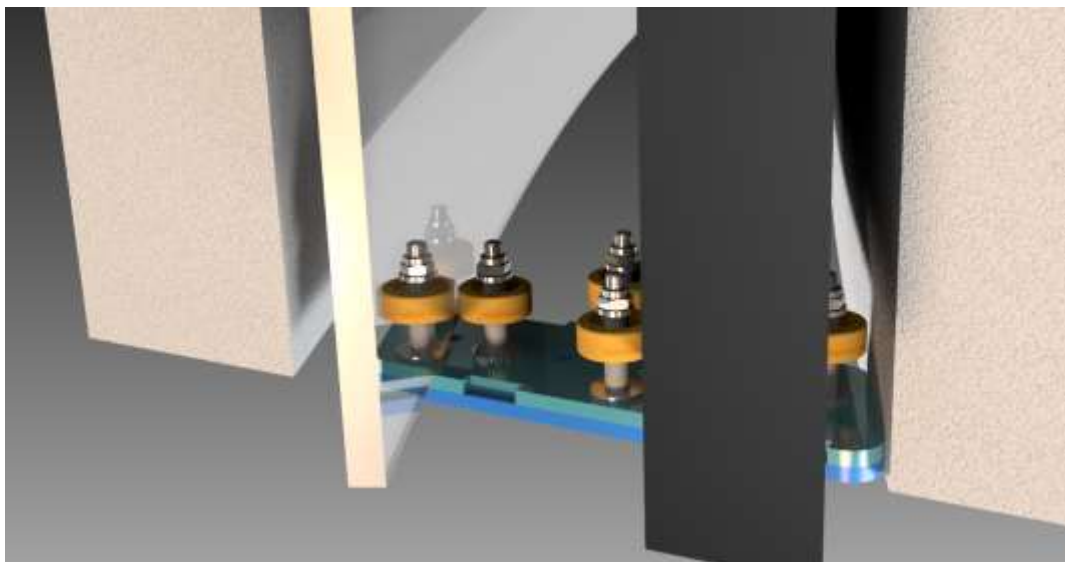
Lahendades ära eelpingestamise küsimuse, tuli ainult veel välja valida aktiivne rihmapinguti. Tuginedes eelnevale kogemusele, sai otsustatud kasutada Rosta keti- ja rihmapingutit, mille pingutustugevust saab vastavalt vajadusele reguleerida. Lisaks oli Rosta SE 11 [7] pinguti sobiv ka oma gabariitmõõtmete poolest. Kahjuks ei leidunud tootjal aga sobivat rullikut, mis tuli seetõttu ise projekteerida ja alumiiniumtoorikust valmistamine tellida. (Sele 5.3.2)



Sele 5.3.2 Rosta SE11

5.4 Rullikud

Toestamiseks nii klaasist kui ka puidust uksi, tuli ukseavausse lisada rullikute mehhanism. Kuna põrandale (käidavale osale) ei tohtinud ühtegi siini ega toetusdetaili lisada, tuli ära kasutada ukseavaus, mille sisse sai toetusmehhanismi peita (Sele 5.3.3). Mehhanismi kuuluvad rullikud aitavad ukse alumist serva hoida ettenähtud liikumistrajektoorigil, mis kokkuvõttes annab ustele suurema jäikuse. Eriti oluline on see klaasuste jaoks, kuna piisava külgsurve tagajärjel võivad klaasukesed ilma rullikuteta oma kinnituskohadest puruneda. Rullikute valikul tuli silmas pidada, et need oleksid võimalikult väikse diameetriga (25 mm) ning lisaks, et neil oleks omadus mitte tekitada veeremisjälgi. Sellised rullikud olid leitavad Blickle kataloogist.[8]



Sele 5.3.3 Põrandale kinnitatavad lükanduste tugirullikud

6. AJAMI JA SIINISÜSTEEMI KOKKUSOBIVUSE KONTROLL

Välja valitud mootori ja siinisüsteemile tuleb teha kontrollarvutus, kinnitamaks nende kokkusobivust. Selleks tuleb leida lükanduste liigutamiseks vajalik jõumoment ning seejärel võrrelda seda mootori jõumomendiga, mis peab olema suurem, kui vajalik jõumoment.

Tingimus:

$$M_m > M_v,$$

kus:

M_m - Mootori maksimaalne jõumoment

M_v - Vajatav jõumoment

Valitud mootor Siemens MED280 on mõeldud just automaatsetele lükandustele ning kirja järgi peaksid need olema võimelised liigutama kuni 280 kg raskuseid uksi [9]. Samas ei ole andmelehel välja toodud, millistel tingimustel antud väärtus on kehtiv.

Mootori maksimaalne jõumoment on 6.7 Nm, kuid soovituslik jõumoment, millega tootja soovib arvestada on 4.7 Nm. (Sele 6.1)

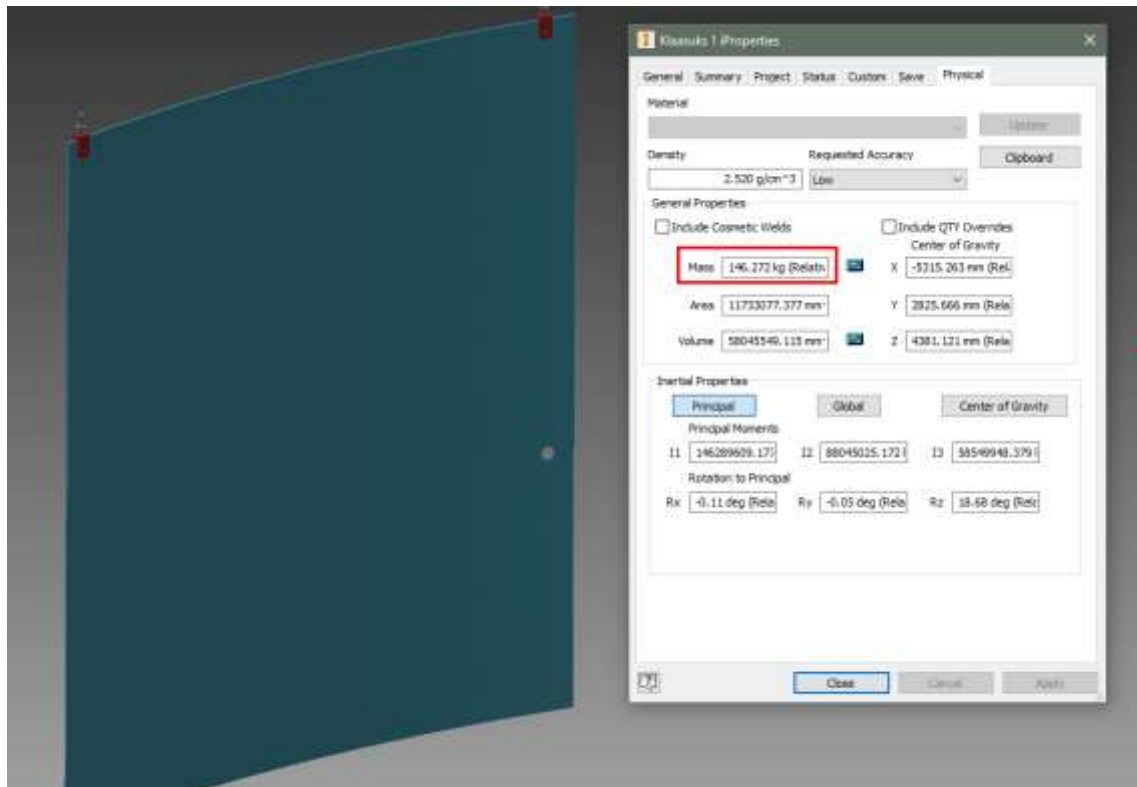
SIDoor EC motor – Technical specifications

Length x width	160 x 140 mm
Depth	57 mm without belt pulley – suitable for any door mechanism
Rated output	200 W
Max. output	285 W
Rated speed	400 rpm
Rated torque	4.7 Nm
Max. rated torque	6.7 Nm
Sensor type	Integrated magnetic encoder with emulated AB-channel incl. encoder modulation for position information (patent pending)

Sele 6.1 Siemens Sidor MED280 mootori spetsifikatsioon

Lükanduste liigutamiseks vajaliku minimaalse jõumomendi arvutamiseks on vaja teada raskeima ukse massi ja siinide hõõrdetegurit.

Esmalt tuleb leida ukse liigutamiseks vajalik jõud. Kuna projektis on kasutusel mitu erineva kuju ja gabariitidega ust, ühtlasi on pooled neist puidust ja pooled klaasist. Kogu süsteemi kõige raskem uks on kumer ja valmistatud klaasist, mille mass koos riputuskomponentidega on 146.27 kg. Ülekande arvutustel lähtutakse just sellest massist, kuigi esialgse info kohaselt pidi klaasuks hakkama kaaluma hinnanguliselt 180 kg. Reaalse ukse massi arvutamisel sai arvestatud uste tellija poolt antud tiheduse väärtusega (2.5 g/cm^3).



Sele 6.2 Raskeima ukse mass

Sellisele massile tuleb leida vastav siinisüsteem, mis vastavat koormust kannataks. Kuna siinisüsteem peab olema kumer, siis on tootevalik limiteeritud. Lükandustele spetsialiseerunud ettevõtted ei olnud võimelised pakkuma lahendust nii raskele uksele, seega tuli probleem ise lahendada. Lõpuks osutus valituks Rollon Curviline CKR siinilahendus [6].

> Load capacities

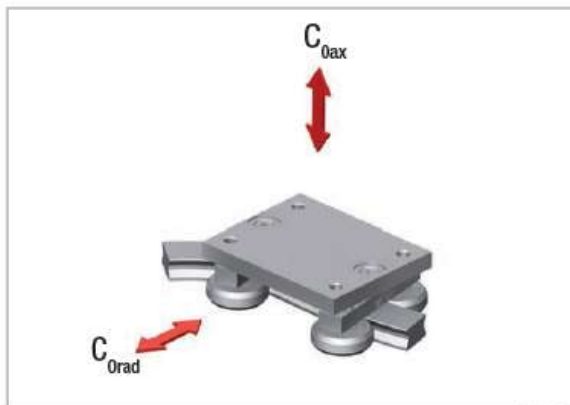


Fig. 21

Slider type	Load capacities	
	C_{0ax} [N]	C_{0rad} [N]
CKRX01-CCTX08 CVRX01-CCTX08	400	570
CKRX05-CCTX11 CVRX05-CCTX11	1130	1615

Resulting moment loads must be absorbed through the use of two sliders

Tab. 12

CL-11

Sele 6.3 Rollon Curviline juhiku koormuse spetsifikatsioon

Kandurite kandejõud peab olema suurem, kui ukse raskusjõud. Kuna kandureid on kaks, siis tuleb kandurite kandejõud kahega korrutada.

Tingimus:

$$2 \cdot F_k > F_{ua},$$

kus:

F_k - Ühe kanduri maksimaalne kandejõud

F_{ua} - Ukse raskusjõud

Ukse raskusjõud aksiaalsihis:

$$F_{ua} = m_u \cdot g = 146.27 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 1453 \text{ N}, \quad (6.1.1)$$

kus:

m_u - Ukse mass

g - Raskuskiirendus

Tingimuse kontroll:

$$2 \cdot 1130 \text{ N} > 1453 \text{ N} \rightarrow 2260 \text{ N} > 1453 \text{ N}$$

Ukseandurid on piisava kandejõuga.

Hõõrdetegurit pole Rollon'i tootelehel välja toodud, kuna tootja sõnul sõltub see konkreetsest olukorrast, kuid praeguses konfiguratsioonis võib nende hinnangul arvutustel arvestada teguriga 0.01 süsteemile.

Ukse liigutamiseks vajaliku jõu arvutamine:

Seejärel saab leida ukse liigutamiseks vajaliku jõu radiaalsihis:

$$F_u = F_{ua} \cdot \mu_u = 1453 \cdot 0.01 = 145.3 \text{ N}, \quad (6.1.2)$$

Selle põhjal saab arvutada vajaliku momendi arvestades, et mootori vedav rihmaratas on fikseeritud välimise läbimõõduga 38.2 mm [10]. Arvutuses on arvestatud ka rihmülekande kasuteguriga, mille väärtus kirjanduse andmetel on 0.98 [11]. Kuna selle süsteemi rihmajami trajektoor on raadiusega, kus rihm toetub juhrullikutele, siis ei tohiks nii efektiivset kasuteguri väärtust kasutada. Seetõttu on valitud konservatiivsem lähenemine ja kasuteguri väärtuseks on määratud 0.8.

Part Number			Pulley Shape	Jawless Installation	Shaft Bore Spec. (1mm Increment)																		P.D.	O.D.	D	F	E
Type	Teeth	Type Nominal Width			H	P	N/C	HU	PU	NU	V/F			Y													
					dh7										dh7		ZH7	J (inch/mm)	d	d1 / R1	S / T						
					A Shape	B Shape	A Shape	B Shape	A Shape	B Shape	A Shape	B Shape	A Shape	B Shape	A Shape	B Shape	A Shape	B Shape	A Shape / B Shape	A Shape	A Shape	A Shape					
(2017 Aluminum Alloy) HTPA HTPB HTPK HTPS	14	S5M100 *A :11 *W :16 *L :28	H	HU	5-10	5-10	5-10	5-8	8-10	-	C-E	C-E	C-E	C-D	D-E	-	5-6	5-6	7-8	7-8	5-6	7-8	22.28	21.32	14	26	16
	15				5-10	5-10	5-10	5-8	8-10	-	C-E	C-E	C-E	C-D	D-E	-	5-8	5-8	7-10	7-10	5-8	7-10	23.87	22.91	15	28	18
	16				5-12	5-12	5-12	5-10	8-12	8	C-E	C-E	C-E	C-E	D-E	D	5-10	5-10	7-12	7-12	5-10	7-12	25.46	24.50	17	32	20
	18				6-14	6-14	6-12	6-11	8-12	8-10	C-F	C-F	C-E	C-E	D-E	D-E	6-12	6-12	8-14	8-14	6-12	8-14	28.65	27.69	19	33	22
	19				6-16	6-15	6-16	6-11	8-16	8-10	C-G	C-F	C-G	C-E	D-E	D-E	6-14	6-13	8-16	8-15	6-14	8-16	30.24	29.28	19	36	24
	20*				6-16	6-15	6-16	6-11	8-16	8-10	C-G	C-G	C-G	C-E	D-E	D-E	6-14	6-13	8-16	8-15	6-14	8-16	31.83	30.87	19	36	24
	22*				7-19	7-19	7-18	7-15	8-18	8-12	D-G	D-G	D-G	D-F	D-G	D-E	7-17	7-17	9-19	9-19	7-17	9-19	35.01	34.05	24	40	27
	24*				7-22	7-22	7-20	7-17	8-20	8-13	D-H	D-H	D-H	D-G	D-H	D-F	7-20	7-20	9-23	9-23	7-20	9-22	38.20	37.24	27	45	30
	25*				7-22	7-22	7-20	7-17	8-20	8-15	D-H	D-H	D-H	D-H	D-F	7-20	7-20	9-23	9-23	7-20	9-22	39.79	38.83	27	45	30	
	26				S5M150	8-27	8-27	8-22	8-21	8-22	8-17	E-K	E-K	E-H	E-H	E-H	E-G	8-25	8-25	10-27	10-27	For A Shapes 2.0xJd-W-2.0	8-25	10-27	41.38	40.42	31
(1045 Carbon Steel) HTPT HTPM HTPP	28*	*A :17 *W :22 *L :34	A	NU	8-27	8-27	8-24	8-22	8-24	8-18	E-K	E-K	E-J	E-H	E-J	E-G	8-25	8-25	10-27	10-27	8-25	10-27	44.56	43.60	32	48	36
	30*	10-26			10-26	10-26	10-23	10-26	10-18	F-K	F-K	F-K	F-J	F-K	F-G	10-26	10-26	12-28	12-28	For B Shapes 2.0xJd-L-2.0	10-26	12-28	47.75	46.79	33	52	36
	32*	10-32			10-32	10-28	10-27	10-28	10-22	F-L	F-L	F-K	F-K	F-K	F-H	10-30	10-30	12-32	12-32	10-30	12-32	50.93	49.97	37	55	40	
	34	S5M250			10-37	10-36	10-30	10-30	10-30	10-25	F-M	F-M	F-K	F-K	F-K	F-J	10-35	10-34	12-37	12-36	10-35	12-37	54.11	53.15			
(304 Stainless Steel) HTPS	36*	*A :27 *W :32 *L :44	B	C	10-37	10-36	10-30	10-30	10-30	10-25	F-M	F-M	F-K	F-K	F-K	F-J	10-35	10-34	12-37	12-36	10-35	12-37	57.30	56.34	40	61	45
	40*	10-42			10-42	10-38	10-35	10-38	10-28	F-P	F-P	F-M	F-M	F-K	F-K	10-40	10-40	12-42	12-42	10-40	12-42	63.66	62.70	47	67	50	
	44	12-50			12-46	12-42	12-38	12-40	12-32	F-R	F-R	F-P	F-M	F-N	F-L	12-48	12-44	14-50	14-46	12-48	14-50	70.03	69.07	50	74	58	
	48	12-55			12-55	12-45	12-45	12-40	12-40	F-S	F-S	F-Q	F-Q	F-N	F-N	12-53	12-53	14-55	14-55	12-53	14-55	76.39	75.43	60	83	63	
	50	12-59			12-59	12-45	12-45	12-43	12-43	F-S	F-S	F-Q	F-Q	F-Q	F-P	12-57	12-57	14-59	14-59	12-57	14-59	79.58	78.62	63	87	67	
	60	12-72			12-71	12-45	12-45	12-45	12-45	F-S	F-S	F-Q	F-Q	F-Q	F-Q	12-70	12-69	14-72	14-71	12-70	14-72	95.49	94.53	75	99	80	
	72	12-80			12-80	12-65	12-65	12-50	12-50	F-S	F-S	F-S	F-S	F-R	F-R	12-80	12-80	14-82	14-86	12-75	14-82	114.59	113.63	90	119	100	

For inch hole dimensions detail information refer to next page.

HTPS is available for * marked No. of teeth only.

Z-d2 for shaft bore specification V and F. Q(R)-d2 for shaft bore specification Y.

Shaft Bore Dia. 6.35 is selectable for Shaft Bore specifications H, P, V and F. Q(R)-d2 for shaft bore specification Y.

Shaft Bore Dia. 9 is not available for Shaft Bore specification N.

Shaft Bore Dia. 8, 9, 11, 13, 14, 17, 21 ~ 45 are not available for Shaft Bore specification C.

Tabel 6.4 Mootori rihmaratta arvutuslik läbimõõt

$$M_v = F_u \cdot \frac{d_m}{2 \cdot \eta_r} = 145.3 \cdot \frac{0.0382}{2 \cdot 0.8} \approx 3.48 \text{ Nm}, \quad (6.1.3)$$

kus:

d_m - Rihmaratta efektiivlähimõõt, mm

η_r - Rihmülekande kasutegur

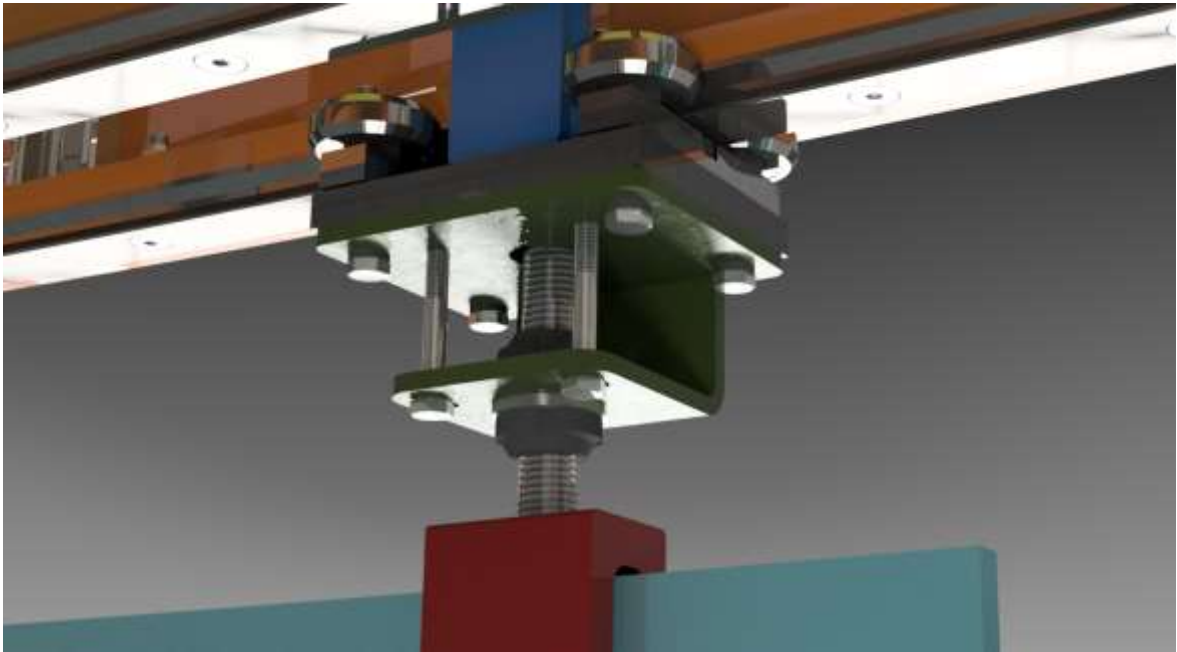
Selle põhjal saab kontrollida, kas vajalik jõumoment ületab mootori jõumomendi:

$$4.7 \text{ Nm} > 3.48 \text{ Nm}$$

Järelikult on mootor piisavalt võimas liigutamaks süsteemi kõige raskemat ust. Hoidmaks projekteeritud lahendust lihtsana, kasutatakse sama mootorit kõikide uste ajamina, olgugi et saaks kasutada ka väiksema võimsusega mootorit.

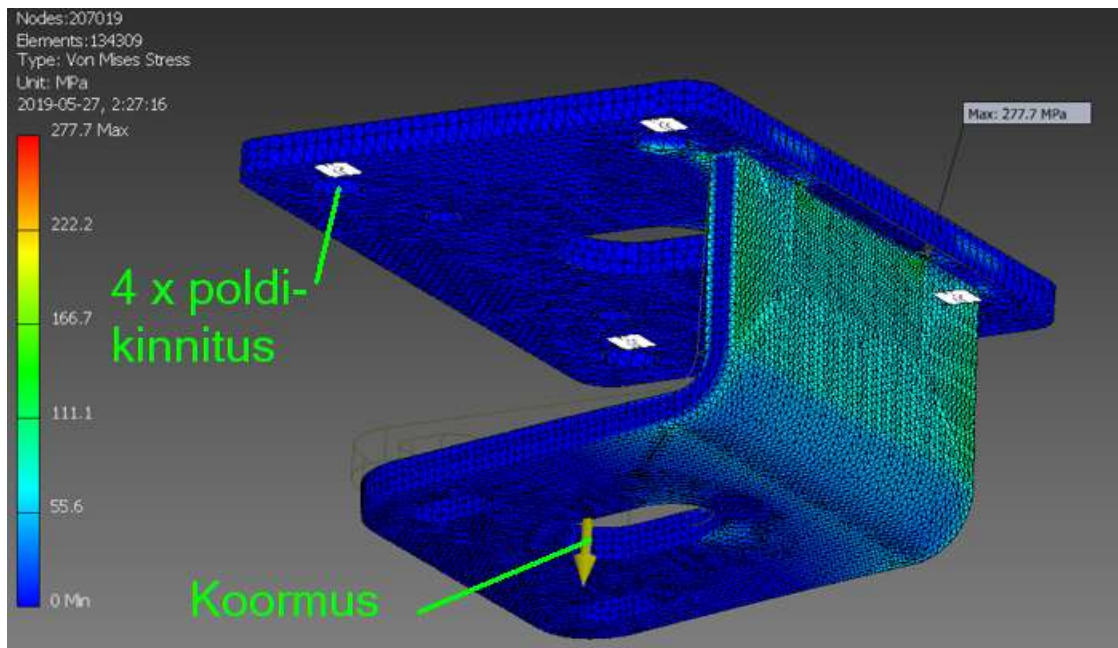
7. KANDURI TUGEVUSARVUTUS

Selleks, et ukse ja siinide juhikud omavahel ühendada, tuleb nende liitmiseks projekteerida kandur, kus mõlemad komponendid on kinnitatud selle külge poldliitega (Sele 7.1). Kuna kandur peab olema jäik ning ühtlasi ka ligipääsetav, on sellele lisatud poldid, mis paigaldatakse peale uste monteerimist ja seadistamist.



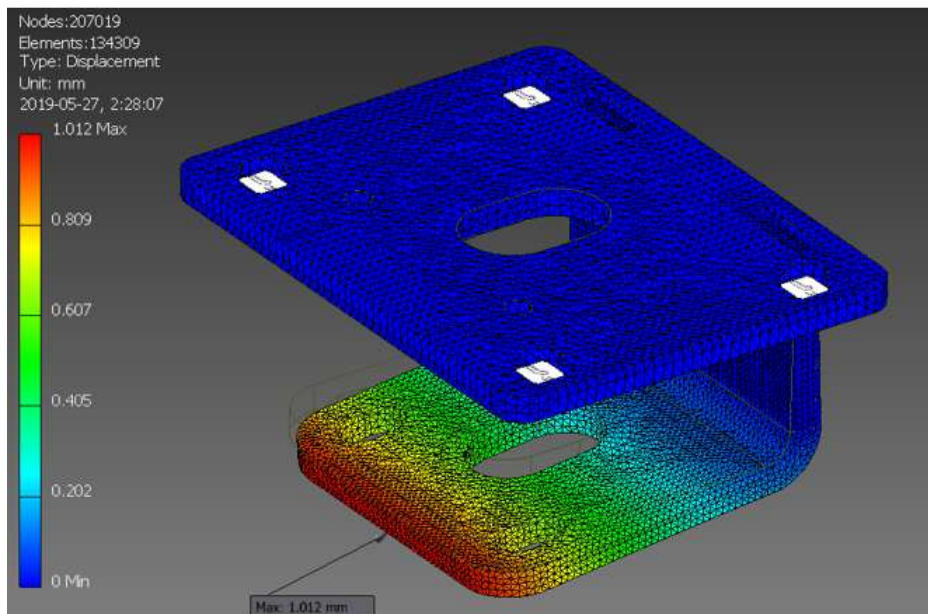
Sele 7.1 Ukse kanduri illustratsioon

Kuna uste paigaldamise hetkel on tõmbele töötavad poldid süsteemist eemaldatud, peab kandur suutma sellegi poolest ust kandma ilma, et see puruneks või plastselt deformeeruks. Mudelile (Sele 7.2) lisatud rajatingimused: 4 poldikinnitust ülemise plaadi avades, mõjuv koormus on paigutatud keermestatud vardale mõeldud ava keskele, mille koormus on konservatiivselt 1453 N.



Sele 7.2 Kanduri sisepinge analüüs

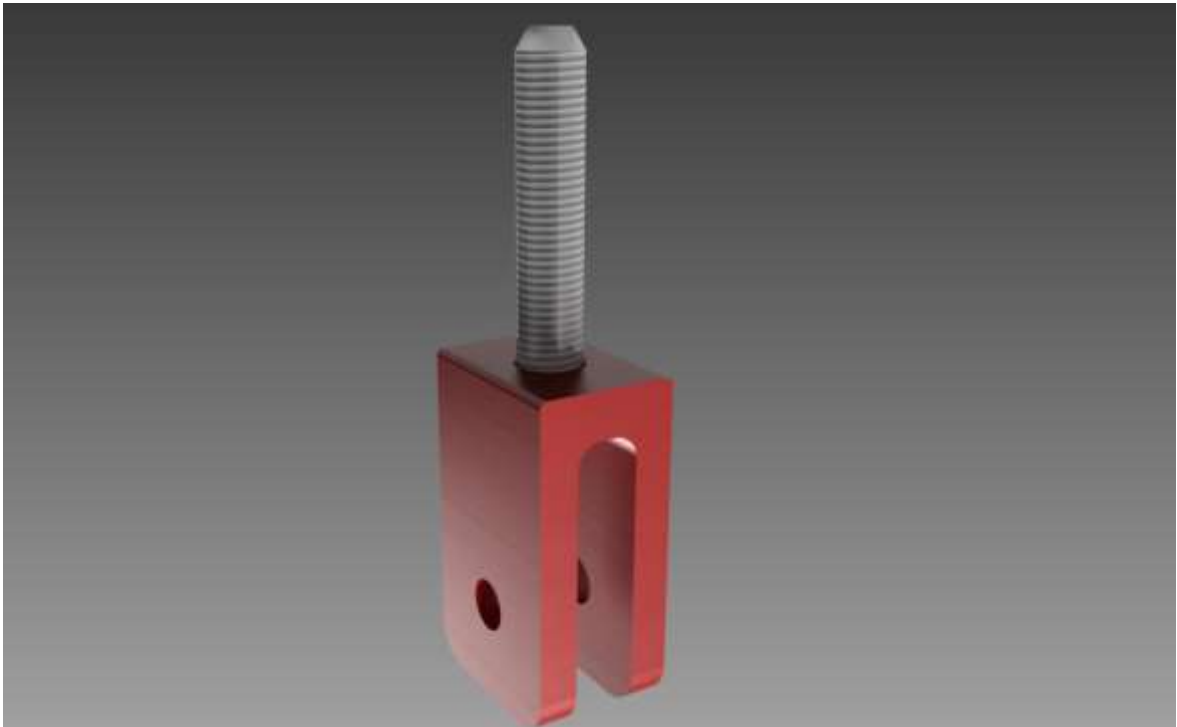
Lõplike elementide meetodil tehtud analüüsile tuginedes, on pinged keevisdetailis maksimaalselt 278 MPa ja seegi asub singulaarsuspunktis ehk kohas, kuhu tekib pingekonsentraator. Kuna terase voolepiir on 355 MPa, siis detaili tugevus ilma tugipoltideta kandmaks poolt ukse raskust, on piisav. Läbipaine, millega ukse kõrgust reguleerides tuleb arvestada on umbes 1 mm. Oluline on see sellepärast, et uste ja põranda vahele peab jääma võimalikult väike vahe.



Sele 7.3 Kanduri läbipaine

8. UKSEKANDURI POLDI TUGEVUSANALÜÜS

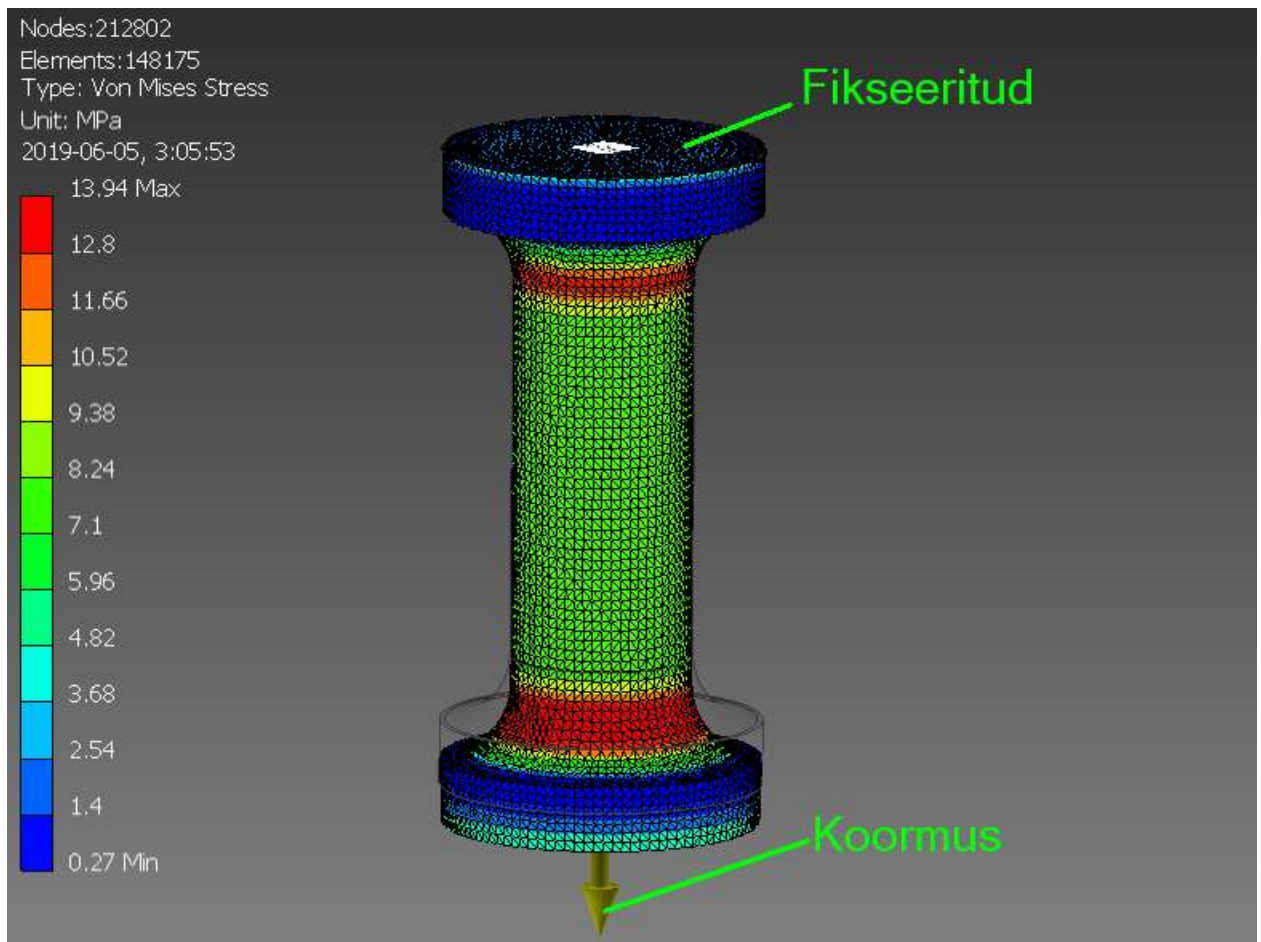
Uksekanur koosneb kahest komponendist: freesdetailist ja keermestatud vardast, mis on omavahel kokku keevitatud tagamaks jäiga ühenduse (Sele 8.1). Kuna detail kannab hinnalisi painutatud klaasuksi, siis ei tohi see kindlasti järele anda ning tuleb tagada suur tugevusvaru tõmbel. Eesmärgiks oli teha võimalikult suure läbimõõduga varras, mis freesdetailiga sobiks, kuna hinna erinevus võrreldes väiksema varda läbimõõduga on marginaalne.



Sele 8.1 Uksekanduri illustratsioon

Maksimaalne läbimõõt, mille vardale sai tagada oli 16 mm. Keermesammuks on valitud 1.5 ehk peenkeere, mis sobib kokku madalate lukustusmutritega seadistamiseks uste kõrgust.

Keermestatud varda arvutus on tehtud lõplike elementide meetodil. Poldi diameetriks on valitud poldi vähim läbimõõt: 14.16 [12]. Varras on ümber modelleeritud nii, et otsad on suurema läbimõõduga, mis juhul tegu on oma kujult justkui katseteimiga. Lisatud rajatingimused: Ülemine ots on jäigalt kinnitatud ja koormus lisatud alumisele otsale. Koormuse väärtus on konservatiivselt valitud kogu ukse raskuse järgi (1453 N), kuigi kuna kandureid on kaks, siis realselt jaguneb koormus kaheks.



Sele 8.2 Keermestatud varda FEM analüüs

Analüüsi tulemus näitab, et maksimaalne pinge on 13.94 MPa. Arvestades 8.8 tugevusklassiga poldi maksimaalset voolepiiri: 640 MPa, on erinevus enam kui 45-kordne, seega on M16 keermega varras piisavalt vastupidav. Selle kontrollimiseks teostatakse kontrollarvutus käsitsi meetodil.

Keermestatud varda käsitsi arvutamiseks tuleb esmalt leida varda arvutuslik läbimõõt.

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{15.03 + 14.16}{2} \right)^2 \approx 167 \text{ mm}^2 \rightarrow 0.000167 \text{ m}^2, \quad (8.1)$$

kus:

- S - Arvutuslik ristlõikepindala, mm^2 ,
- d_2 - Keskläbimõõt, mm ,
- d_3 - Vähim läbimõõt, mm .

Selle põhjal saab leida tõmbepinge:

$$\sigma_v = \frac{F_u}{S} = \frac{1453}{0.000167} \approx 8.7 \text{ MPa}, \quad (8.2)$$

kus:

σ_v - Varda tõmbepinge, *MPa*.

Võrreldes lõplike elementide meetodil saadud tulemusega, on käsitsi saadud arvutustulemus optimistlikum u. 38%. Seetõttu on mõistlik arvestada lõplike elementide meetodil saadud tulemusega. Kuigi pealtnäha võib arvutusvaru olla liiga suur, siis reaalses elus ei pruugi varras alati toimida pelgalt tõmbele, vaid ka näiteks paindele, juhul kui inimene peaks uksele otsa jooksmas. Küll aga sellisel juhul puruneb tõenäoliselt enne klaasuks kui kandur. Samas võiks kaaluda varda materjalina elastsemat terast, mis annaks süsteemile rohkem paindlikust, tagades endiselt piisava tugevusvaru. Eelnev arvutuskäik oli loodud ka eesmärgiga, et võrrelda tarkvara ja käsitsi arvutamise pädevust, mis annaks aimduse ka eelnevates punktides tehtud tarkvaraliste arvutuste pädevuse kohta.

9. TEEKOND LÖPPTULEMUSENI

Esimesest maha istumisest kliendiga kuni paigaldatud valmislahenduseni kulus aega umbes 6 kuud. Niivõrd mahuka ja keerulise projekti puhul on palju asju, mis valesi võivad minna. Tänu mitmekordsetele üle kontrollimistele, õnnestus projekt võrdlemisi suurepäraselt ning märkimisväärseid möödapanekuid ei esinenud.

9.1 Esmane koostamine

Enne koha peal paigaldamist, toimus töö autori juhendamisel esmane koostamine valmistaja juures, kes keevitas raamidele spetsiaalsed stanged, imiteerimaks ehitajate poolt loodavat sillust, mille külge konstruktsioonid kinnitatakse. Tänu sellele sai teha eeltestimised siinide ja mootorite toimimisest. Ühtlasi sai katsetatud ligi 200 kg raskuse koormaga kogu süsteemi. (Sele 9.1.1)



Sele 9.1.1 Esmane koostamine

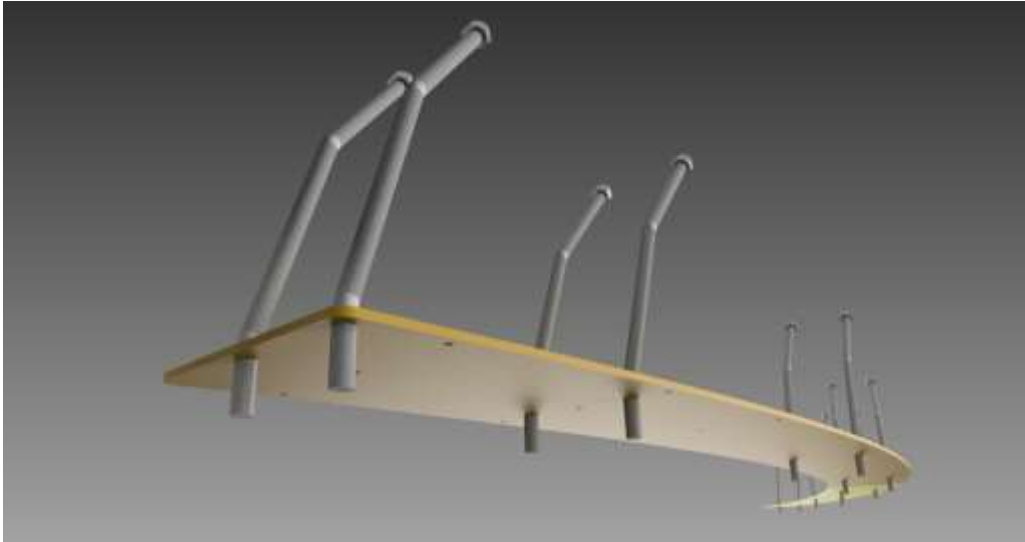
Üks keerulisemaid ülesandeid oli ära mahutada loodav konstruktsioon etteantud piirmõõtmetesse. Tänu sobivatele komponentidele ja mõistlikule disainile õnnestuski konstruktsioon võrdlemisi kompaktselt optimeerida. Eriti suur ruumivaegus esines konstruktsiooni ajami-poolsetes otstes, kuhu pidi lisaks ära mahutama ka kõik rihmapingutid ja tõstmiseks mõeldud abivahendid. Lisaks tuli tagada juurdepääs silluse kinnitustele. (Sele 9.1.2)



Sele 9.1.2 Koostatud komponendid

9.2 Laekinnitused

Konstruktsiooni ülaosas asuvad avad, mis on mõeldud lakkekinnitamiseks. Need pidid kindlasti kattuma üsna täpselt ankurdavate poltidega. Vältimaks võimalike ebatäpsusi nende osas, otsustasime projekteerida lehtmetailist plaadid, mis ühtiksid konstruktsiooni avadega. Projekteeritud plaatidele keevitati painutatud M12 keermevardad (Sele 9.2.1). Paine on lisatud ankurdamise eesmärgil valatavasse betoonsillusesse, keermevarraste otstesse sai lisatud ka mutrid ankurdamise kindlustamiseks. Seega olid lisatavad detailid ühtlasi silluse põhjaks betooni valamisel.



Sele 9.2.1 Lakkekinnitatavad ankurplaadid

9.3 Paigaldamine

Kui konstruktsioonid olid objektile transporditud, sai ehitajale esitatud juhised nende monteerimiseks. Juhiste järgi oli ettenähtud objektile tellida virnastaja, millega oleks toimunud konstruktsioonide ülesse tõstmine moel, et virnastaja ise asuks koridori keskel. Abirakendusena oli ajami poolsetesse otstesse ette nähtud plokirattad, mis kinnitati sillutise külge. Selle poole tõstmiseks tuli kinnitada konstruktsiooni külge tõstetross, trossi teine ots tuli juhtida läbi plokiratta trossisoone läbi teenindusava elutuppa, kus oleks siis juba reaalne tõstmine toimunud. (Sele 9.3.1)

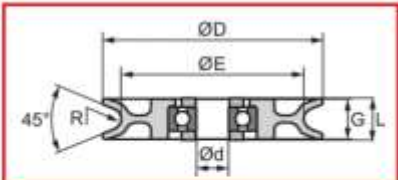


Sele 9.3.1 Ajami-poolse otsa tõstmise illustratsioon

9.4 Plokiratas

Tingituna vähesest ruumist oli sobivate plokirataste valik üsnagi kitsas ning sobiva läbimõõduga ($\varnothing 80$ mm) plokiratast ei õnnestunud hankida, kuigi Certex Eesti OÜ-l oli sobiv ratas kataloogis täiesti olemas [13]. Vähesese potentsiaalse tellimuse mahu tõttu ei olnud Certex Eesti OÜ nõus sobivaid plokirattaid tarnima ning seetõttu oli tarvilik plokirattad ise projekteerida. Selleks sai eeskuju võetud Certexi kataloogi joonisest (Sele 9.4.1), millest piisas lihtsustatud kujul plokiratta projekteerimiseks. Lihtsustatud disain sai tehtud põhjusel, et valmistuskulude pealt saaks kokku hoida. Kui Certexi poolt pakutav plokiratas on mõeldud valmistamiseks valutehnoloogiat kasutades, siis projekteeritud ratas pidi piirduma üksnes treimise protseduuriga.

Poldi joonis

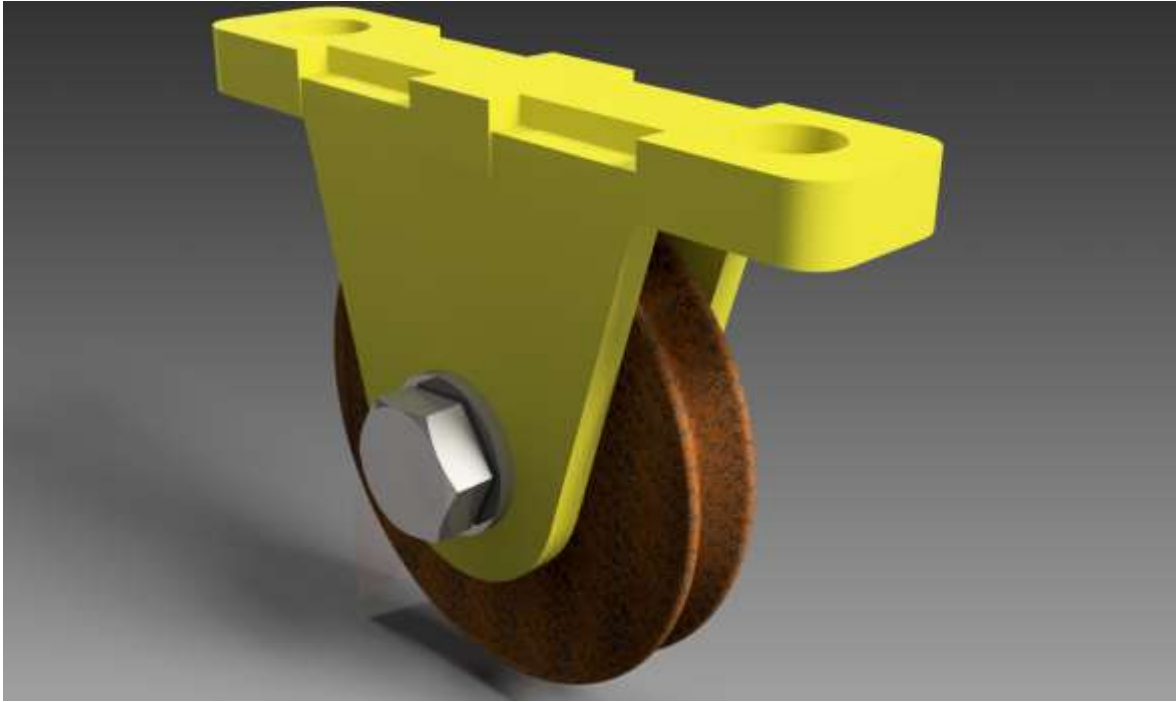


Vali allolevast tabelist sobivaim rida, seeläbi lähe loode püügile.

	Tootekood	Kood	Trossi Ø mm	Kuullaagrit tüüp	Maks. vööli koormus	D mm	E mm	G mm	L mm	R mm	d mm
○	10.353017712	7103	3	8300-2Z	200	60	40	11	12	1,7	10
○	10.353017713	7104	4	8301-2Z	315	80	64	13	14	2,2	12
○	10.353017714	7105	5	8302-2Z	550	100	80	18	17	2,8	12*
○	10.353017715	7106	6	8304-2Z	795	120	96	20	21	3,3	20

Tabel 9.4 Certex plokiratas

Juba algselt oli teada plokiratta kinnituse projekteerimise vajadus ning seda taaskord vähesese vaba ruumi puuduliku olemasolu tõttu. Selleks sai keevitatud kolmest eraldi lehtmetail plokiratta tugihark. Kui ostutootena pakutav ratas kasutab pöörlemise hõõrdejõu takistamise vähendamiseks kuullaagrit, siis projekteeritud ratas sai disainitud ilma laagrita. Plokiratta pöörlemine toimub ümber poldi, kus hõõrdumise vähendamiseks on valmistaja valikul lisatud määrdeõli. Selline lahendus sai loodud põhjustel: hoida valmistamine võimalikult soodsana, plokiratast kasutatakse eeldatavasti vaid mõned korrad lükanduste eluea jooksul. Plokiratta üldine koost projekteeritud detailidega näidatud Sele 9.4.2.



Sele 9.4.2 Plokiratta koost

Hoolimata projekteeritud lahendusest ja edastatud juhistest ehitajale konstruktsioonide üles tõstmisel objektil, otsustas ehitaja siiski oma nägemuse järgi konstruktsioonid paigaldada. Kuna paigaldamise hetkel käesoleva töö autor kohal ei viibinud, siis ei tea kinnitada, kuidas konstruktsioonid omale kohale jõudsid. Ehitaja jutu järgi polnud need liiga rasked paari mehega lakke tõstmiseks. See tähendas seda, et ettenähtud virnastajat ja ajamite poole tõstmiseks kasutatavat plokiratast paigaldamisel lõpuks ei kasutatudki. Sellest hoolimata olid vähemalt laekinnitid (nelikant seib ja mutter) juhiste järgi monteeritud ning kaablitoru korrapäraselt lisatud. (Sele 9.5.1)

9.5 Viimistlemine



Sele 9.5.1 Paigaldatud kandekonstruktsioon

Peale konstruktsioonide paigaldamist tuli kliendipoolne nõue tsingitud siinide katmiseks värviga, tekitamaks ühtsema tooni. Sele 9.5.2



Sele 9.5.2 Värvitud siinid

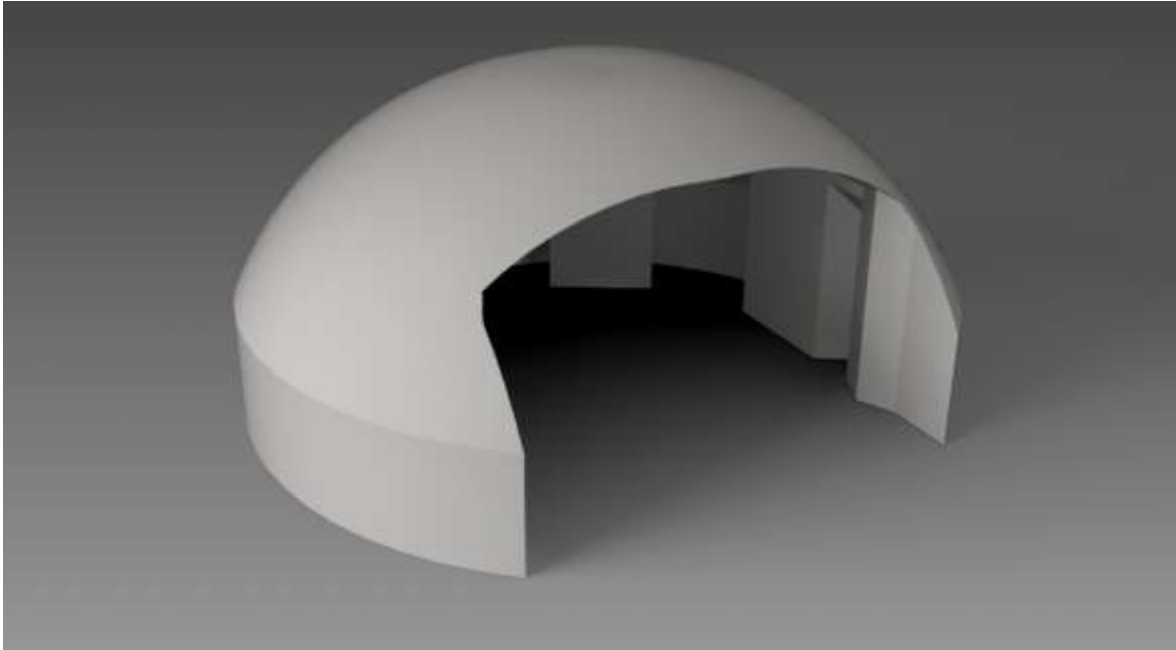
9.6 Mutrikatted

Lisaks värvimisele, tekkis kliendil soov katta ka uksekinnitused, jätmaks esteetilisema üldmulje. Uksekinnitused olid praktiliselt ainuke teema, mida meie ettevõttel lahendada ei tulnud, vaid kokkuleppel pidi selle enda kanda võtma klaasuste tarnija, kuna nendel on olemas varasem pädevus selle kohta. Lõpuks selgus, et midagi keerulist nende lahendatud kinnitusmeetod ei kujutanud ja kinnitus sai lahendatud lihtsal: polt-seib-seib-mutter meetodil. (Sele 9.6.1)



Sele 9.6.1 Uste kinnitusviis

Klaas- ja puituste poldipeade ning mutrite katmiseks sobivaid ostutootena katteid müügil paraku pole. Ostutootena olemasolevad mutrikatted poleks oma liigse kõrguse (21.9 mm [14]) tõttu sobinud. Lisaks oleks tekkinud ka monteerimise probleem, kuna kui ukse on suletud asendis, siis ajami poole jäävad uksekinnitused ulatuvad ukseavause sisse, mis juhul mutrikatet polnuks lihtsalt füüsiliselt võimalik mutri otsa paigaldada. Selle jaoks tuli välja mõelda teine lahendus, mis tähendas mutrikorkide projekteerimist ja valmistamist. Kuna korgid olid eelkõige dekoratiivse eesmärgiga, siis ei olnud oluline, millisest materjalist need valmistada tuleks. Seetõttu sobis kasutada ettevõtte Insero OÜ omandis olevat FDM (sulatatud sadestumise vormimine) tüüpi 3D printerit, printimaks PLA (polülaktaat) materjalist vajalikud detailid. Valminud mutrikatte disain võimaldas selle paigaldada mutri suhtes nii öelda külje pealt. (Sele 9.6.2)



Sele 9.6.2 3D prinditud mutrikate

9.7 Lõpptulemus

Lõpptulemusest on näha, et kogu projekteeritud mehhanism on peidetud seinade ning sillutatud lae süvisesse (Sele 9.7.1 ja Sele 9.7.2), mis oli ka üheks põhinõudeks.



Sele 9.7.1 Lõpptulemus Elutoast vaadatuna

Olles ise olnud tunnistajaks, saan väita, et lükanduksed on paigaldatud ja töötavad nii nagu seda autorina ette nägin. (Sele 9.7.2)



Sele 9.7.2 Lõpptulemus koridorist vaadatuna

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli välja töötada lükanduste süsteem, mis pidi sobituma just kliendi poolt ette antud objektile. Kuna kliendi poolt esialgselt välja valitud ettevõtte ei olnud suuteline pakkuma sobilikku lahendust, siis tuli kliendil pöörduda ettevõtte Insero OÜ poole, kellel on aastate pikkune kogemus erilahendust nõudvate projektidega, mis tõttu oli ülesanne jõukohane.

Analüüsid olemasolevaid pakutavaid lahendusi selgus, et sobivat varianti turul ei leidu. Sellegipoolest ei tähendanud see, et nendelt lahendustelt poleks projekteerimiseks ideid saanud. Nii saigi loodud tuginedes kellegi loodud disainile, tõstes siinide kandevõimet ning lisades sinna paralleelse siini teise ukse jaoks.

Pea kõik süsteemis olevad detailid sai arvuti modelleerimistarkvaras projekteeritud tuginedes ühele skitseeringu failile. Selle eesmärgiks oli tagada detailide omavaheline sõltumatus ning kokku hoida hilisemate muudatuste tegemisele kuluvat aega. Suureks abiks oli 3D skanneri olemasolu, tänu millele sai olemasolev keskkond ehitusobjektile täpselt üles kaardistatud.

Projekteeritud detailidele, mis asusid kriitilistemas sõlmedes nagu näiteks uksekandurid, sai tehtud tugevusarvutused FEM analüüside näol, tõestamaks detailide piisavat tugevust. Põhikonstruktsioon sai tehtud projekteeritud selliselt, et peaks vastu ka transportimisele ja ebakorrektsele monteerimisele.

Mehhanismile tuli valida ka sobilikud ostutooted. Kõige keerulisem oli välja valida siinid, millele oli mitu valikut. Lõpuks sai valitud Rollon Curviline siinid, mis sobisid omadustelt küll suurepäraselt, kuid samas olid need hinna poolest ka kõige kulukamad. Ajami valik möödus võrdlemisi lihtsalt seetõttu, et Siemensi pakutav Sidor MED 280 ajam sobis projekteeritud konstruktsiooniga ideaalselt, pakkudes ühtlasi ka ohutut töörežiimi.

Kuigi paigaldusel ei järgitud punktuaalse täpsusega ette antud juhtnööre, said moodulid õigesti kohtadesse paigaldatud ning ukseid töötasid pea laitmatult. Lisaks sai jooksvalt parandatud ka mõned iluvead, mis muutsid kogu süsteemi veelgi esteetilisemaks.

Ülima tõenäosusega on tegu kõige kallimate lükandustega Eestis, seega oli tubliks kergendustundeks autorile näha neid töötamas, kellel oli au kõnealust projekti juhtida.

SUMMARY

The aim of this thesis was to develop a sliding door system that had to fit the object given by the client. As the company initially selected by the client was not able to offer a suitable solution, the client had to turn to Insero OÜ, which has years of experience with projects requiring a special solution, which made the task affordable.

An analysis of the existing solutions revealed that there is no suitable option on the market. However, this did not mean that these solutions did not provide ideas for design. So this was created based on someone's design, increasing the load-bearing capacity of the rails and adding a parallel rail for the second door.

Almost all the details in the system were designed in computer modeling software based on one sketch file. The aim was to ensure the independence of the details and to save time on subsequent changes. The presence of a 3D scanner was a great help, thanks to which the existing environment on the construction site could be accurately mapped.

For designed parts located in more critical assemblies such as door supports, strength calculations were performed in the form of FEM analyzes to prove the sufficient strength of the details. The main structure was designed in such a way that it could withstand transportation and incorrect assembly.

Suitable purchasing products also had to be selected for the mechanism. The most difficult thing was to choose the rails, which had several choices. In the end, Rollon Curviline rails were chosen, which were perfect in terms of features, but they were also the most expensive in terms of price. The choice of motor was relatively simple because the Sidoor MED 280 motor offered by Siemens fit perfectly with the design, while also offering a safe operating mode.

Despite the installers did not follow the instructions too precisely, the modules were installed in the right places and the doors worked almost flawlessly. In addition, some beauty flaws were fixed on an ongoing basis, which made the whole system even more aesthetic.

These are most likely the most expensive sliding doors in Estonia, so it was a great relief for the author to see those working who had the honor of leading this project.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] Faro 3D laserskanneri tutvustus [online]

<https://www.faro.com/en-gb/news/faro-introduces-focuss-70-laser-scanner-2/>

(24.05.2020)

[2] Referentsiks valitud valmis lahendus [online]

<https://padautodoor.en.made-in-china.com/product/MotJQpxjaFTC/China-Decorative-Entrance-Automatic-Glass-Doors-for-Hotel.html>

(24.05.2020)

[3] Klaasi avauste mõõtmestamine [online]

<https://klaasmerk.ee/et/tooted/klaaside-tootlemine/avade-puurimine-ja-valjaloike>

(24.05.2020)

[4] Iguse siinid [online]

<https://www.igus.ee/info/plain-bearings-iglidur-coefficients-of-friction>

(24.05.2020)

[5] THK siinid [online]

<https://www.thk.com/?q=eng/node/279>

(24.05.2020)

[6] Rollon Linear Evolution kataloog: Curviline

[7] Rosta keti- ja rihmapinguti [online]

<https://www.rosta.ch/en/products/tensioning-technology/tensioner-devices/Type-SE/71>

(24.05.2020)

[8] Blickle rullikute kataloog

<https://www.blickle.ee/toode/FPU-25x10-6-6K-757447>

(24.05.2020)

[9] Siemens Sidor kataloog: Innovative door management – now with EC motors

[10] Rihmaratta tabel [online]

<https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110300406030/>

(24.05.2020)

[11] Rihmülekande efektiivsus [online]

<https://www.machinedesign.com/technologies/pushing-belt-drive-efficiency>

(24.05.2020)

[12] Mehaanikainseneri käsiraamat/üldtoimetaja P. Kulu. Tallinn: TTÜ Kirjastus 2012

[13] Certex plokiratas [online]

<https://www.certex.ee/tooted/trossitarvikud/plokid-ja-plokirattad/ploki-ratas-tuup-7100-p62546>

(24.05.2020)

[14] Mutrikate [online]

<https://plastmet.ee/toode/poldi-ja-mutri-kate-ms/>

(24.05.2020)

LISA 1 - Joonised