



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Instituudi nimetus

POLDITAVA JA KEEVITATAVA RAAMI VÕRDLUS TÕSTESADME NÄITEL

COMPARISON OF BOLTED AND WELDED FRAMES BASED ON THE EXAMPLE OF A LIFTING DEVICE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane:	Jonas Jaansoo
Üliõpilaskood	183109MATM
Juhendaja:	Toivo Tähemaa, teadur /nimi, amet/

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.

"....." 2021

Autor: Jonas Jaansoo

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2021

Juhendaja: Toivo Tähemaa

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....2021 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Jonas Jaansoo (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 27.02.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Polditava ja keevitatava raami võrdlus tõsteseame näitel,

(*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: Jonas Jaansoo (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: MATM02/18 – Tootarendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)

Juhendaja(d): teadur Toivo Tähemaa (amet, nimi)

Konsultant:(nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Polditava ja keevitatava raami võrdlus tõsteseadme näitel.

(inglise keeles) Comparison of bolted and welded frames based on the example of a lifting device.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Projekteerida näiteülesande kriteeriumite põhjal tõsteseade.
2. Projekteerida tõsteseadmele polditav välisraam vastavalt püstitatud kriteeriumitele.
3. Võrrelda omavahel keevitatavat ja polditavat välisraami.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande kriteeriumite ning näiteülesande kirjelduse loomine.	12.10.20
2.	Erinevate lahenduste väljatöötamine ning nende omavaheline võrdlemine. Parima lahenduse väljavalimine ja selle edasiarendamine.	20.11.20
3.	Modelleerimine ja inseneriarvutused.	01.12.20
4.	Välisraamade LEM analüüs.	24.12.20
5.	Viimased muudatused ja jooniste vormistamine.	01.01.20
6.	Lõplik vormistamine	03.01.20

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....2021 a

Üliõpilane: Jonas Jaansoo ".....".....2021 a
/allkiri/

Juhendaja: Toivo Tähemaa ".....".....2021 a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....2021 a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....2021 a
/allkiri/

SISUKORD

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut.....	4
SISUKORD.....	5
EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. Ülesande püstitus.....	8
1.1 Esinevad probleemid	8
1.2 Lahenduse kriteeriumid ja teostatavad tööd	8
1.3 Näidisülesanne	9
2. Näidisülesande erinevad lahendused	11
2.1 Variant 1.....	12
2.2 Variant 2.....	13
2.3 Variant 3.....	14
2.4 Lõplik valik	15
3. Näidisülesande lõpplahenduse projekteerimine.....	16
3.1 Rihma valik	16
3.2 Mootori valik.....	17
3.3 Ülekanne.....	19
3.4 Tõstetav kaubaala	24
3.5 Välisraam.....	25
4. Välisraami tugevusanalüüs	26
4.1 Analüüsi mudel	26
4.2 Analüüsi võrgustik	26
4.3 Rajatingimused	27
4.1 LEM analüüsi tulemused.....	28
5. Torulaseris tulenevad võimalused ning piirangud	31
6. Polditava välisraami projekteerimine	33
6.1 Välisraami nurga liide	33
6.1 Diagonaalprofiilid.....	33
7. Polditava välisraami tugevusanalüüs	35
7.1 Analüüsi mudel	35
7.2 Analüüsi võrgustik	36
7.3 Rajatingimused	37
7.4 LEM tulemused.....	38
8. Välisraamide maksumuse analüüs.....	42
KOKKUVÕTE	45
SUMMARY.....	46
KASUTATUD KIRJANDUS	47
JOONISED	49

EESSÕNA

Magistritöö teema pakkus mulle ettevõtte Revismo OÜ, kus ma olen tööl arendusinseneri ametikohal. Teema osutus valituks, sest see võimaldas ettevõtte jaoks käsitleda huvitavat probleemi, millest võib olla kasu järgmistel projektidel.

Soovin tänada Revismo OÜ-d lõputöö teema eest ning võimaluse eest kasutada ettevõtte tarkvara litsentse. Lisaks soovin tänada Tallinna Tehnikaülikooli poolset juhendajat Toivo Tähemaa'd, kes andis omapooset nõu lõputöö valmimisel.

SISSEJUHATUS

Lõputöö eesmärk on projekteerida ettevõtte Revismo OÜ poolt antud näidisülesande põhjal tõsteseade, mille põhjal vaadelda, kuidas asendada keevisliiteid keeviskonstruktsioonides, mis on valmistatud torulaseris lõigatud nelinurksetest standardprofiilidest.

Revismo OÜ on Eesti üks suuremaid tootearendusega tegelevaid inseneribüroosid, mis on suunitletud metalltoodete ning seadmete projekteerimisele ja arendamisele. [1]

Töö käigus antakse ülevaade projekteeritava seadme kriteeriumitest ning näiteülesande kirjeldusest ning nende põhjal projekteeritavast tõsteseadmest. Tõsteseadme erinevatele lahendustele viiakse läbi hindamine ning valitakse parim lahendus.

Projekteeritud näiteülesande lahendusele tehakse vajalikud inseneriarvutused ning tugevusanalüüs, et leida probleeme, mis võivad esineda erinevate seadme välisraamide puhul. Lisaks võrreldakse omavahel erinevate välisraamide maksumust.

1. Ülesande püstitus

1.1 Esinevad probleemid

Revismo OÜ on pidevalt kokku puutunud erinevate probleemidega, mis hõlmavad endas keeviskonstruktsioone. Probleemid, millele soovitakse ettevõtte sisest lahendust on järgnevad:

1. Esineb vajadus teha viimased keevitused konstruktsiooni lõppsihtpunktis, mis tähendab objektikeevitust.
2. Objektikeevitust ei ole võimalik teostada plahvatusohtlikes keskkondades või seadusandlus muudab kohapealse tegevuse keeruliseks.
3. Konstruktsioonid on suurte dimensioonidega ja sellest tulenevalt on transporditavus keeruline ja kallis.
4. Konstruktsioonide keevitusel on kõrged keevitusnõuded ning valitseb kvalifitseeritud keevitajate puudus.
5. Ettevõttel puudub korralik keevitustaristu, et teostada keerulisi ja suurt kogust keevitusi.
6. Suure kabariidiga raamidele on keeruline teostada värvimist ja tsinkimist.

1.2 Lahenduse kriteeriumid ja teostatavad tööd

Ettevõtte Revismo OÜ poolt on projekteeritavale lahendusele püstitatud kriteeriumid:

1. Uus liide projekteeritakse nelinurksetele standardprofiilidele vastavalt standardile EN 12019.
2. Keevisliited (nurk – ja pöckliited) tuleb asendada kinnitusviisidega, kus on kasutatud torulaserist tulenevaid võimalusi. Väiksemad keevisliited, mis ei ole seotud profiilide omavahelise liitega on lubatud.
3. Kasutada tuleb standardseid kinnitusvahendeid, mis on üldlevinud ning kergesti kättesaadavad.
4. Projekteeritud näidiskonstruktsiooni profiilide asend peab jääma mõlemas versioonis võimalikult sarnane. Vajadusel võib teha mõningaid muudatusi.
5. Võimalusel tuleb kasutada samasid standardprofiile mõlemas projekteeritud variandis.
6. Uus liide peab tagama vajaliku tugevuse näidisülesandes (vt ptk 1.3).

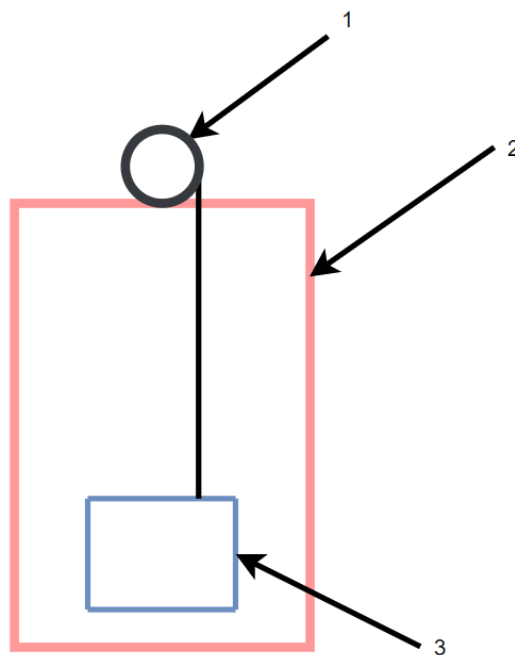
Ettevõttele teostatavad tööd:

1. Projekteeritakse näidislahendus vastavalt kriteeriumitele ning näidisülesandele. Lahendusele luuakse lisaks erinev välisraami varianti, kus ei ole profiilid omavahel keevitatud.

2. Modelleeritakse vastavalt näidisülesandele (vt ptk 1.3) kaks 3D mudelit kasutades erinevaid raame.
3. Mõlemale konstruktsioonile teostatakse tugevusanalüüs ning neid võrreldakse omavahel.
4. Koostatakse tehniline dokumentatsioon.

1.3 Näidisülesanne

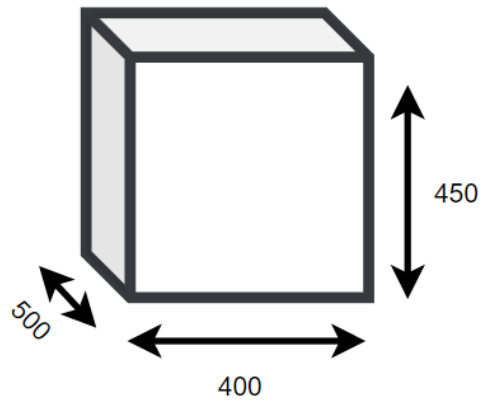
Ettevõtte poolt antud ülesanne on seotud varasemalt projekteeritud projektiga, kuid on muudetud ja lihtsustatud. Ülesandeks on projekteerida tõsteseade, mis tõstab välisraami sees olevat riulit.



Sele 1.1 Näidisülesande skeem; 1 - elektrimootor, 2 - välisraam, 3 - tõstetav riul

Näidisülesande nõuded:

1. Välisraam peab olema projekteeritud standard nelikanttorudest.
2. Tõstetav riul peab olema vastavalt etteantud mõõtmetele (vt Sele 1.2 Kaubaala mõõtmed millimeetrites Sele 1.2).
3. Tõstetav mass on koos tõstetava konstruktsiooniga 1500 kg.
4. Tõstekäigu pikkus on 1500 mm.
5. Maksimaalne tõstekiirus 0,15 m/s.
6. Tõsteajamiks on elektrimootor.
7. Automaatika osa projekteerimine ei ole vajalik.
8. Kõik vajalikud mehaanikaosad süsteemi toimimiseks tuleb projekteerida.



Sele 1.2 Kaubaala mõõtmed millimeetrites

2. Näidisülesande erinevad lahendused

Probleemi lahendamiseks mõeldakse välja variatsioonid, kuidas projekteerida näidisülesandele vastavat süsteemi.

Lahendused peavad vastama püstitatud kriteeriumitele (vt ptk 1.2) ning näidisülesandele (vt ptk 1.3). Kõiki lahendusi hinnatakse ühtse hindamismatriksi alusel, mille põhjal valitakse parim lahendus (vt Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Hindamismatriks

Kriteerium	Kaal
Tugevus	3
Maksumus	3
Lihtsus	4
Töökindlus	4
Kriteeriumitele vastavus	5

Hindamismatriksi kriteeriumid tulenevad ülesande püstituses kajastatavates probleemidest ning nõuetest. Esialgse hinnangud on subjektiivsed ning lõpliku variandi valikusse kaasatakse ettevõtte.

Kriteeriumite puhul vaadatakse põhiliselt:

1. Tugevus – Konstruksioonilise lahenduse vastupidavus eeldatavatele koormustele näidiskonstruktsioonis.
2. Maksumus – Variandi eeldatav maksumus tulenevalt tootmisest, materjalist ning ostukomponentidest.
3. Lihtsus – Lahenduse (ostu)detailide arv, erinevate tootmismeetodite arv ning nende keerukus.
4. Töökindlus – Lahenduse töötamine ilma tõrgeteta.
5. Kriteeriumitele vastavus – Variandi vastavus ülesandes püstitatud kriteeriumitele.

Kõigile hindamiskriteeriumitele on antud kaal, millega korrutatakse antud esialgne hinnang läbi ning saadakse kriteeriumi lõpphinnang.

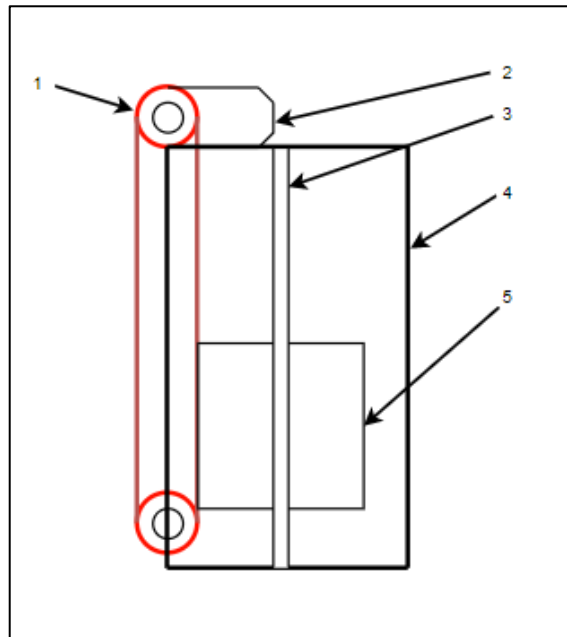
$$\text{esialgne hinnang} \cdot \text{kaal} = \text{kriteeriumi lõpphinnang} \quad (1)$$

Kriteeriumite hinnangud ning kaalud antakse vahemikus 1 ... 5, kus madalaim tulemus on 1 ning kõrgeim tulemus 5. Kriteeriumite lõpphinnangud omavahel liites saadakse lahenduse lõpphinnang.

Erinevate variantide lõpphinnanguid võrreldakse omavahel ning parima tulemuse saanud lahendust kasutatakse näidiskonstruktsiooni projekteerimisel.

2.1 Variant 1

Esimeses variandis kasutatakse kettülekanne. Rullketi külge kinnitatakse tõsteriul, mis liigub ketirattaid liigutades vastavalt üles-alla. Stabiilsuse tagamiseks lisatakse mõlemale riuli poole metallprofiilid, mille peal libisevad plastikust puksid. (vt Sele 2.1).



Sele 2.1 Esimene variant; 1 - kettülekanne, 2 - elektrimootor, 3 - juhikud, 4 - välisraam, 5 - tõsteriul.

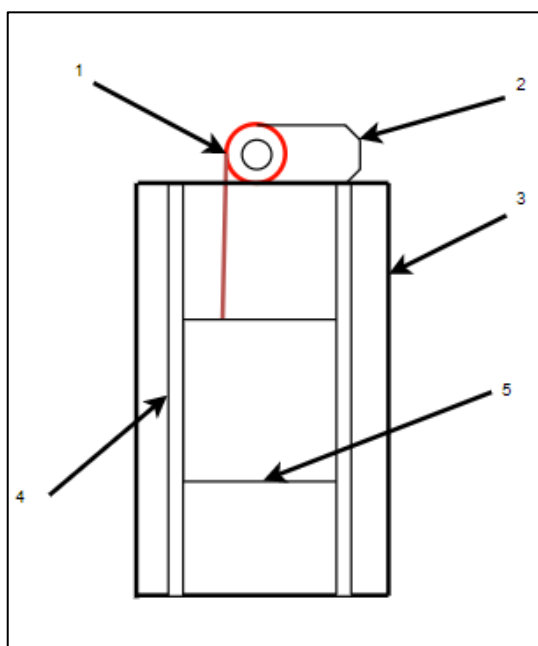
Esimese variandi eelisteks on kogusüsteemi töökindlus ning ülekanne tugevus. Probleemaatiliseks on riuli tõstepunkti tsentrist väljaspool asumine. Sellega kaasnevaid probleeme on võimalik vähendada kasutades juhikuid või lisades lisavõlli koos kettülekannega teisele poole riulit. Lahenduses esinevate komponentide rohkus on samuti koht, mis mõjutab süsteemi lihtsust ning lisaks tuleb projekteerida ketipingutus. Vastavalt püstitatud kriteeriumitele teostati hindamismatriks (vt Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Esimese lahenduse hindamismatriks

Kriteerium	Esialgne hinnang	Kaal	Lõpphinnang
Tugevus	4	3	12
Maksumus	2	3	6
Lihtsus	2	4	8
Töökindlus	4	4	16
Kriteeriumitele vastavus	5	5	25
		Kokku	67

2.2 Variant 2

Teises variandis on kinnitatud rihm või tross riuli ülemisse otsa ning riulit tõstes keeratakse rihm trumlile. Stabiilsuse tagamiseks lisatakse mõlemale riuli poole metallprofiilid, mille peal libisevad plastikust puksid. (vt Sele 2.2).



Sele 2.2 Teine variant; 1 – Tross/rihm ja trummel, 2 - elektrimootor, 3 - välisraam, 4 - juhikud, 5 - tõsteriul.

Teise lahenduse eelisteks on komponentide vähesus ning on võimalik tõsta riulit keskelt. Probleemaatiliseks kohaks võib kujuneda trumli peale rihma keeramine, kus tõstmiskiirus ning rihma kaugus võllitsentrist muutub, mida rohkem on rihma peale keeratud trumlile.

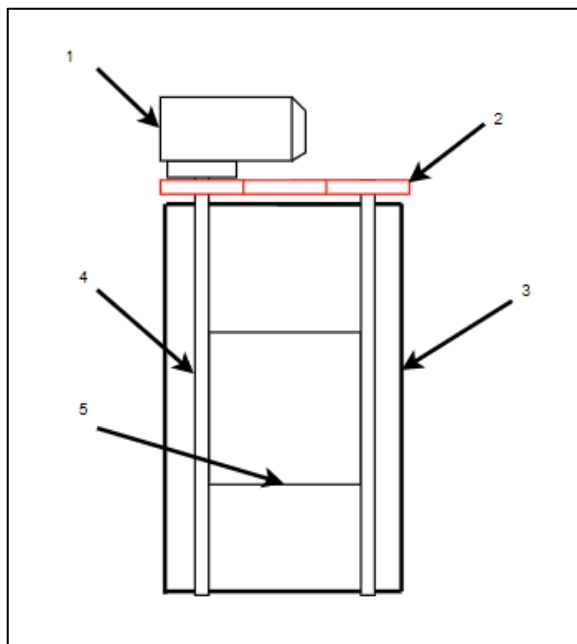
Vastavalt püstitatud kriteeriumitele teostati hindamismatriks (vt Tabel 2.3)

Tabel 2.3 Teise lahenduse hindamismatriks

Kriteerium	Esialgne hinnang	Kaal	Lõpphinnang
Tugevus	4	4	16
Maksumus	4	3	12
Lihtsus	5	3	15
Töökindlus	3	4	12
Kriteeriumitele vastavus	5	5	25
		Kokku	80

2.3 Variant 3

Kolmandas variandis kasutatakse üles-alla lineaarseks liikumiseks keermestatud trapetsvõlle, mida pööratakse elektrimootori ning kettülekanedega (vt Sele 2.2).



Sele 2.3 Kolmas variant; 1 – Elektrimootor, 2 - kettülekanne, 3 - välisraam, 4 - trapetsvõll, 5 - tõsteriul.

Kolmandal lahendusel on eeliseks juhikute vajaduse puudumine. Trapetsvõllid hoiavad riuli stabiilsena töödades ise juhikutena. Probleemiks on vajadus kasutada kahte ülekandetüüpi, et oleks võimalik mõlemaid trapetsvõlle sünkroonselt pöörata.

Vastavalt püstitatud kriteeriumitele teostati hindamismatriks (vt Tabel 2.4)

Tabel 2.4 Teise lahenduse hindamismatriks

Kriteerium	Esiagne hinnang	Kaal	Lõpphinnang
Tugevus	4	4	16
Maksumus	2	3	6
Lihtsus	2	3	6
Töökindlus	3	4	12
Kriteeriumitele vastavus	5	5	25
		Kokku	65

2.4 Lõplik valik

Kõikide variantide lõpphinnangute tulemused on kajastatud tabelis (vt. Tabel 2.5).

Tabel 2.5 Variantide lõpphinnangud

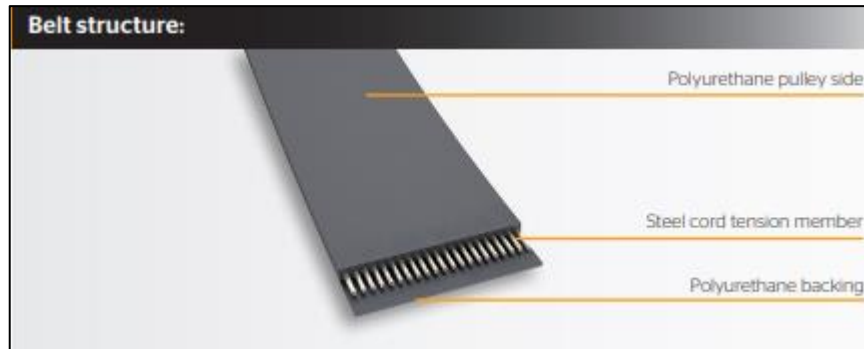
Kriteerium	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Tugevus	12	16	16
Maksumus	6	12	6
Lihtsus	8	15	6
Töökindlus	16	12	12
Kriteeriumitele vastavus	25	25	25
Lõpphinnang	67	80	65

Kõrgeima hinnangu sai variant 2. Kõrgeima hinnangu saanud variandist projekteeritakse lõplik süsteem, mis vastab kõigile püstitatud kriteeriumitele ning täidab lähteülesannet.

3. Näidisülesande lõpplahenduse projekteerimine

3.1 Rihma valik

Tõstmisel kasutatakse Continental Industry tõsterihma Polyflat XHP, mis on mõeldud erinevates tõstmissüsteemides kasutamiseks. Rihm on valmistatud polüüretaanist ning terasarmatuuriga. [2]



Sele 3.1 Rihma pilt [2]

Rihmad peavad tõstma $F = 1500 \text{ kg} = 14715 \text{ N}$ koormust. Tõstmiseks kasutatakse kahte rihma.

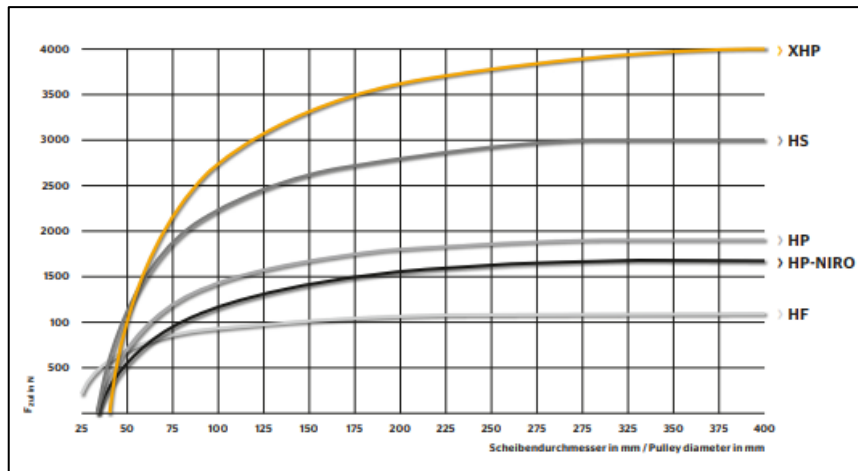
Ühe rihma koormus on:

$$F_1 = \frac{F}{2} = \frac{14715}{2} = 7357,5 \text{ N}, \quad (2)$$

kus F_1 – koormus ühele rihmale, N;

F – tõstetav kogukoormus, N.

Rihma maksimaalse koormuse vastavalt trumli läbimõõdule 10 mm laiuse rihma kohta on võimalik saada tootja graafikust (vt Sele 3.2). Polyflat XHP minimaalne trumli diameeter on 100 mm. [2]



Sele 3.2 Rihma maksimaalse koormuse ja trumli diameetri suhte graafik 10 mm laiuse rihma kohta [2]

Trumli diameeteriks valitakse $d_t = 100$ mm ning rihma laiuseks valitakse $l = 40$ mm. Graafiku järgi on rihma maksimaalne koormus:

$$F_r = F_{zul} \cdot \frac{t}{10} = 2750 \cdot \frac{40}{10} = 11000 \text{ N}, \quad (3)$$

kus F_r – rihma maksimaalne koormus, N;

F_{zul} – rihma maksimaalne koormus graafikult, N;

l – rihma laius, mm.

Varutegur saadakse tootja poolt antud rihma maksimaalne koormus jagades süsteemis ühele rihmale rakenduv koormus.

$$S = \frac{F_r}{F_1} = \frac{11000}{7357,5} \approx 1,5, \quad (4)$$

kus S – varutegur;

F_r – rihma maksimaalne koormus, N;

F_1 – koormus ühele rihmale, N.

Valitud rihmaks on F40XHP paksusega $t = 3$ mm. Trummel ning rihma kinnitused projekteeritakse vastavalt tootjapoolsetele soovitudele. [2]

3.2 Mootori valik

Mootori valik teostatakse momendi T ja pöörlemiskiirus n järgi. Moment arvutatakse trumli läbimõõdu ning tõstmiskoormuse järgi. Trumli läbimõõdu puhul arvestatakse ka peale keritavat rihma.

Pidevalt on trumli peale keritud kaks täispööret rihma:

$$d_{min} = d_t + \frac{t}{2} + 2 \cdot t = 100 + \frac{3}{2} + 2 \cdot 3 = 107,5 \text{ mm}, \quad (5)$$

kus d_{min} - minimaalne trumli diameeter koos rihmaga, mm;

d_t - trumli diameeter, mm;

t - rihma paksus, mm.

Tõstmiskäik on $k = 1500$ mm. Arvutatud pidevalt kasvav läbimõõt ning antud läbimõõdule vastav trumlile pööratud rihma pikkus on välja toodud tabelis

Tabel 3.1 Trumli läbimõõt ja rihmapikkus vastavalt täispöördele.

Pöörete arv	Trumli läbimõõt (m)	Rihma pikkus (m)
1	0,1075	0,3377
2	0,1105	0,3471
3	0,1135	0,3566
4	0,1165	0,3660
5	0,1195	0,3754
	Kokku	1,7829

Maksimaalne trumli läbimõõt d_{max} , mida arvestatakse mootori valikul:

$$d_{max} = d_{min} + 4 \cdot t = 107,5 + 4 \cdot 3 = 119,5 \text{ mm}, \quad (6)$$

kus d_{max} - max trumli diameeter koos rihmaga, mm;

d_{min} - minimaalne trumli diameeter koos rihmaga, mm;

t - rihma paksus, mm.

Mootorile mõjuv moment:

$$T = F \cdot \frac{d_{max}}{2} = 14715 \cdot \frac{0,1195}{2} = 879,2 \text{ Nm}, \quad (7)$$

kus T - pöördmoment, Nm;

F - tõstekoormus, N;

d_{max} - max trumli diameeter koos rihmaga, m.

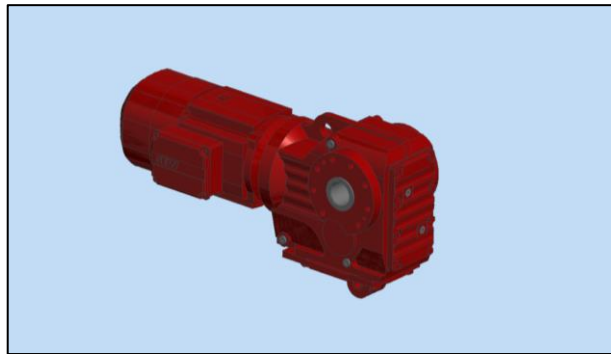
Maksimaalne tõstekiirus on $v = 0,15$ m/s, sellest saadakse maksimaalne mootori pöörlemiskiirus. Lifti käik $k = 1500$ mm läbitakse 4,25 trumpli pöördega.

$$n_{max} = \frac{4,25}{(k/v)} \cdot 60 = \frac{4,25}{(1,5/0,15)} \cdot 60 = 25,5 \text{ rpm}, \quad (8)$$

kus n_{max} – maksimaalne mootori pöörlemiskiirus, rpm;
 k – tõstmiskäik, m;
 v – maksimaalne lubatud tõstekiirus, m/s.

Mootori moment peab ületama momenti $T = 879,2$ Nm ning maksimaalne pöörlemiskiirus on $n_{max} = 25,5$ rpm. Mootor on valitud kasutades SEW-Eurodrive-i kataloogi. [3]

Valitud mootoriks on KA77DRN100LS4BE2 (vt Sele 3.3). Tegemist on nurkülekandega reduktormootor koos piduriga.



Sele 3.3 Reduktormootor KA77DRN100LS4BE2 [3]

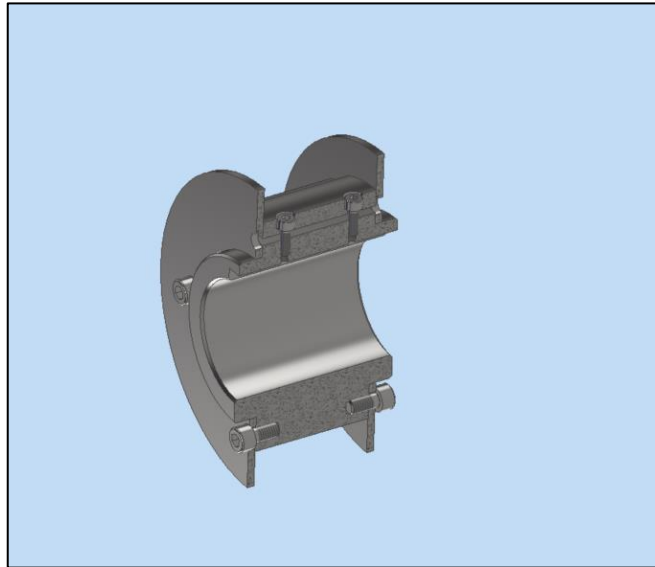
Tabel 3.2 Mootori andmed [3]

Mootor:	KA77DRN100LS4BE2
Võimsus:	2,2 kW
Moment:	930 Nm
Pöörlemiskiirus:	22 rpm
Ülekande suhe:	64,75
Hooldustegur:	1,65

3.3 Ülekanne

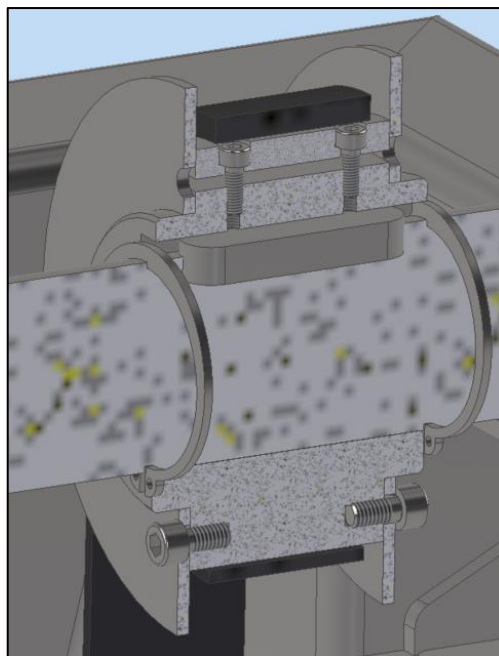
Trummel ja rihmakinnitus on projekteeritud vastavalt rihmatootja soovitudele. Trummel on toodetav detail ning koosneb kahest lõiketöödeldud detailist ja kahest

laserlõigatud lehtmetailid. Detailid on omavahel ühendatud poltliitega. Rihm on pingutatud kahe lõiketöödeldud detailide vahele. (vt Sele 3.4)



Sele 3.4 Trumli 3D mudeli lõige

Trummel on võlli peal fikseeritud kahe DIN 471 lukustusrõngaga ning DIN 6885-1 A liistuga. (vt Sele 3.5)



Sele 3.5 Trumli võlli ühendus

Trumlite ning mootori liistudele tehti kontrollarvutused muljumisele ja löikele vastavalt mehaanikainseneri käsiraamatule [4]. Lubatud muljumis- ja löikepinge arvutatakse

vastavalt materjalile S355J2. Kuna tegemist on näidisülesandega, käsitletakse seadet ohutu seadme ning kogemuslikult võetakse varuteguriks $[S] = 1,5$.

Lubatav muljumispinge:

$$[\sigma_c] = \frac{\sigma}{[S]} = \frac{355}{1,5} \approx 237 \text{ MPa}, \quad (9)$$

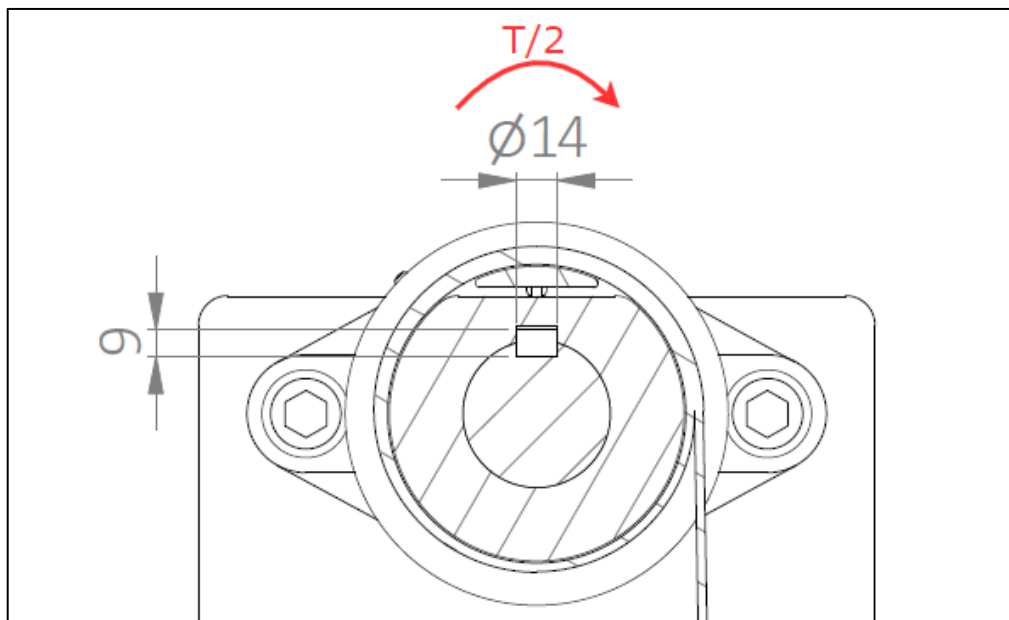
kus σ_c – lubatud muljumispinge, MPa,
 σ – materjali tõmbepinge, MPa,
 $[S]$ – varutegur.

Lubatav lõikepinge:

$$[\tau] = 0,5 \frac{\sigma}{[S]} = 0,5 \cdot \frac{355}{1,5} = 118,5 \text{ MPa}, \quad (10)$$

kus $[\tau]$ – lubatud lõikepinge, MPa,
 σ – materjali tõmbepinge, MPa,
 $[S]$ – varutegur.

Mehaanikainseneri käsiraamatu järgi võetakse völli läbimõõduga $d_v = 50 \text{ mm}$ DIN6885 liist laiusega $w_l = 14 \text{ mm}$ ning kõrgusega $h_l = 9 \text{ mm}$ (vt Sele 3.6). Trumliliistu pikkus valitakse trumli laiuse järgi $l_1 = 56 \text{ mm}$ ja mootoriliistu pikkus valitakse varasema kogemuse põhjal $l_2 = 140 \text{ mm}$. [4]



Sele 3.6 Trumliliistu ristlõike mõõtmed

Liistule mõjuv pöördemoment on võrdne mootorile mõjuva pöördmomendiga, mis jaguneb kahe trumli vahel $T/2 = 439,6 \text{ Nm}$.

Arvutatakse muljumispinge [4]:

$$\sigma_c = \frac{2(T/2)}{d_v(h - t_1)(l - w)} = \frac{2 \cdot 439,6 \cdot 1000}{50 \cdot (9 - 5,5)(56 - 14)} \approx 120 \text{ MPa} \leq [\sigma_c] = 237 \text{ MPa}, \quad (11)$$

kus σ_c – muljumispinge, MPa,

T – pöördmoment, Nm,

d_v – võlli läbimõõt, mm,

h_l – liistu kõrgus, mm,

t_1 – võlli liistusoone sügavus, mm,

l_1 – liistu pikkus, mm,

w_l – liistu laius, mm.

Tugevuskontroll lõikele [4]:

$$\tau = \frac{2(T/2)}{d_v \cdot w(l - w)} = \frac{2 \cdot 439,6 \cdot 1000}{50 \cdot 14(56 - 14)} \approx 30 \text{ MPa} \leq [\tau] = 118,5 \text{ MPa}, \quad (12)$$

kus τ – lõikepinge, MPa,

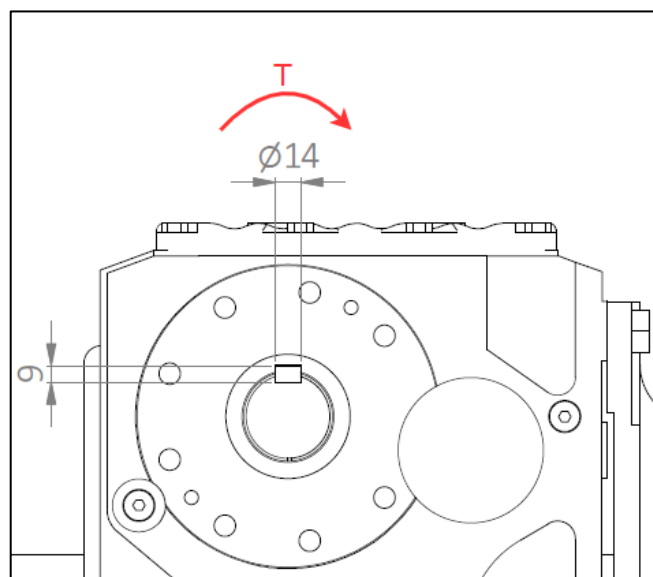
T – pöördmoment, Nm,

d_v – võlli läbimõõt, mm,

l_1 – liistu pikkus, mm,

w_l – liistu laius, mm.

Mootorile mõjub pöördmoment $T = 879,2 \text{ Nm}$. Mootori liistu mõõtmed on samad, mis trumlil väljaarvatud pikkus $l_2 = 140 \text{ mm}$.



Sele 3.7 Mootoriliistu ristlõike mõõtmed

Arvutatakse muljumispinge [4]:

$$\sigma_c = \frac{2T}{d_v(h_l - t_1)(l_2 - w_l)} = \frac{2 \cdot 879,2 \cdot 1000}{50 \cdot (9 - 5,5)(140 - 14)} \approx 80 \text{ MPa} \leq [\sigma_c] = 237 \text{ MPa}, \quad (11)$$

kus σ_c – muljumispinge, MPa,

T – pöördmoment, Nm,

d_v – võlli läbimõõt, mm,

h_l – liistu kõrgus, mm,

t_1 – võlli liistusoone sügavus, mm,

l_2 – liistu pikkus, mm,

w_l – liistu laius, mm.

Tugevuskontroll lõikele [4]:

$$\tau = \frac{2T}{d_v \cdot w_l(l_2 - w_l)} = \frac{2 \cdot 879,2 \cdot 1000}{50 \cdot 14(140 - 14)} \approx 20 \text{ MPa} \leq [\tau] = 118,5 \text{ MPa}, \quad (12)$$

kus τ – lõikepinge, MPa,

T – pöördmoment, Nm,

d_v – võlli läbimõõt, mm,

l_2 – liistu pikkus, mm,

w_l – liistu laius, mm.

Mootori- ja trumliliistud vastavad ootustele ning on piisvalt tugevad nii muljumispingele kui ka lõikepingele. Varutegur on kontrollarvutuste põhjal tagatud.

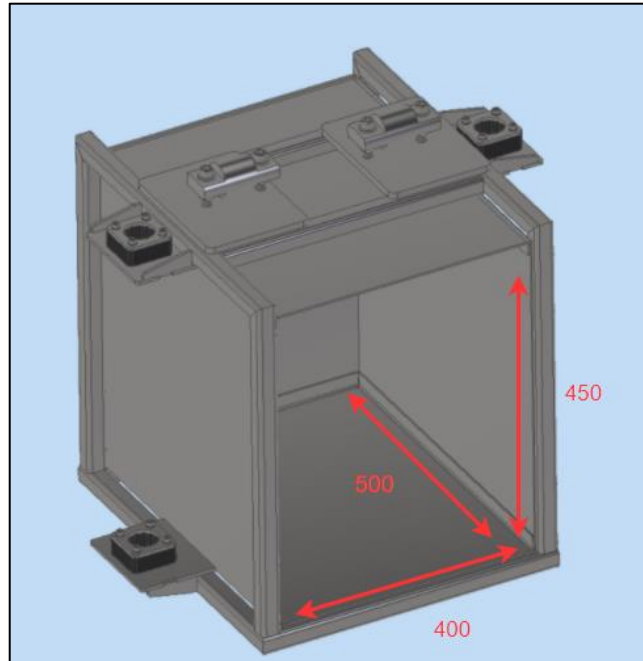
Laagritena kasutakse ettevõtte Mädler laagrikoostu UCFL 210. Tegemist on kuullaagriga, millel on malmist laagripukk. Laager peab vastu suurtele dünaamilistele ($F_{dyn} = 27,1 \text{ kN}$) ning staatilistele koormustele ($F_{stat} = 19,7 \text{ kN}$). Näiteülesandes ei ole täpsustatud seadme kasutussagedus. [5]



Sele 3.8 UCFL 210 kuullaager

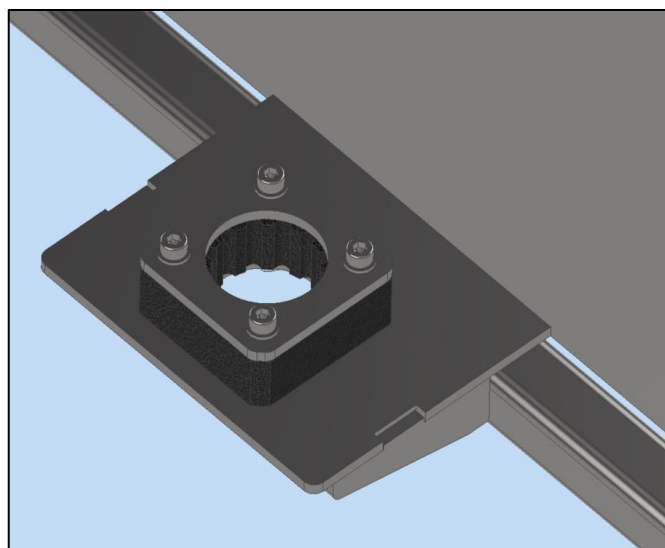
3.4 Tõstetav kaubaala

Töö autori poolt projekteeritud kaubaala koosneb nelikanttorudes raamist ning lehtmetailist seintest, mis on keevitatud. Sisemised mõõtmed on valitud vastavalt näiteülesandes nõutud mõõtmetele. (Vt Sele 3.9)



Sele 3.9 Kaubaala sisemõõtmed

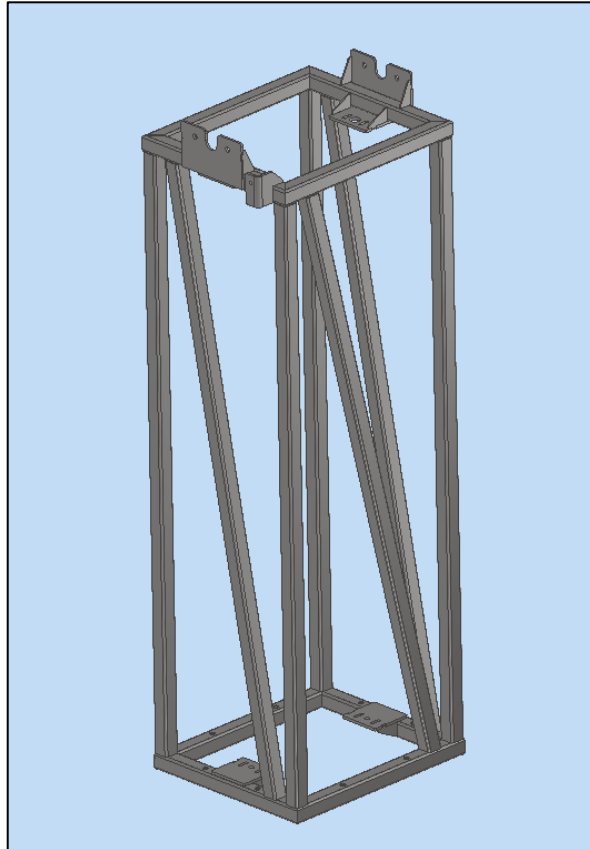
Riuli külgedel on 4 freesitud plastikust liugpuksi, mis on polditud lehtmetailist koostu külge. Liugpuksid hoiavad koos juhikutega tõstmisel tõsteriuli stabiilsena.



Sele 3.10 Juhiku liugpuksid

3.5 Välisraam

Välimine raam on keevitatud kokku EN 10219 – 60 x 60 x 4 torudest. Mootori, juhikute ning laagripukkide kinnitusdetailid on valmistatud lehtmetailist ning keevitatakse profiilide külge. Antud raamile projekteeritakse vastavalt nõuetele (vt ptk 1.2) polditav versioon, mida oleks võimalik kasutada raami asemel.



Sele 3.11 Välisraami mudel

Alumistele profiilidele on töödeldud avad, mis on mõeldud vajadusel raami poltimiseks, kas konstruktsiooni külge või ankurdada betoonpõranda külge.

4. Välisraami tugevusanalüüs

Välisraamile teostati tugevusanalüüs kasutades Autodesk Nastran programmi. Analüüsi eesmärk oli vaadelda välisraami tugevust kui tõstemehhanism on maksimaalselt koormatud.

4.1 Analüüsi mudel

Analüüsimudeliks on kogu välisraami mudel ilma lihtsustamisi tegemata (vt Sele 3.11). Välisraami mudel koosneb standardprofiilidest ning lehtmetailidest. Välisraami kõikide detailide materjaliks on teras S355J2 (vt Sele 4.1).

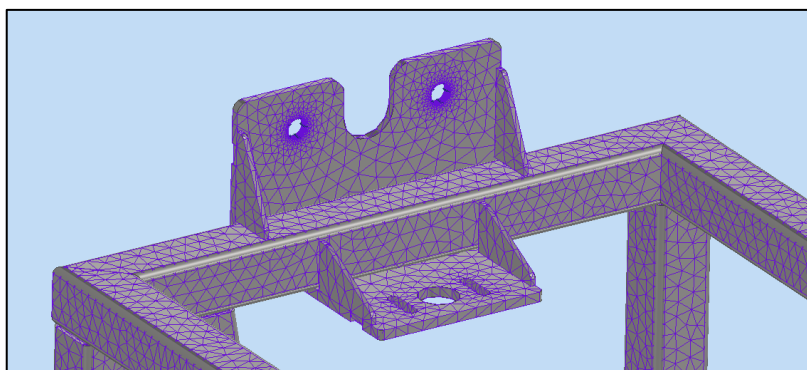
Material	Young'i moodul E (GPa)	Tõmbetugevus R_e (MPa)	Tihedus ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
S355J2 (1.0577)	210	355	7850

Sele 4.1 Materjali S355J2 omadused

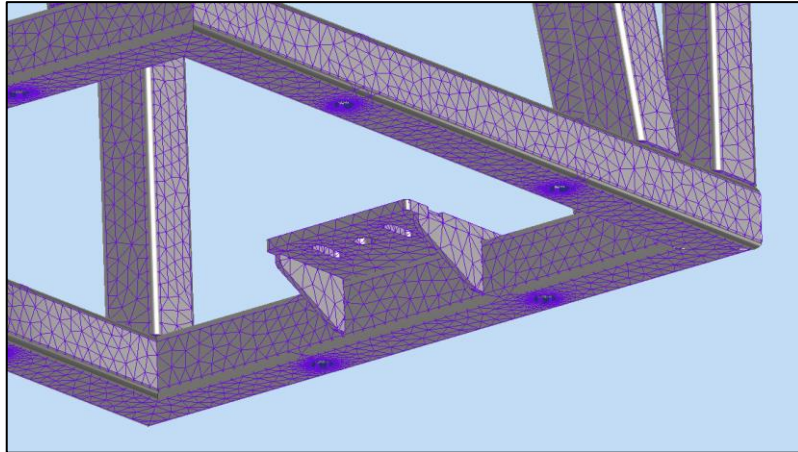
Analüüsimudeli erinevate kehade omavaheliste sidemete tüübina kasutati *bonded* sidet.

4.2 Analüüsi võrgustik

LEM analüüsiks genereeriti elementide võrgustik (ingl k *mesh*). Üldiselt on elemendite suuruseks on 20 mm, kuid võrku tihendatakse avade juures, mida kasutatakse mudeli fikseerimiseks ning koormuse kandmiseks mudelile. Avade juures on elementide suurus 1 mm ning sellest tulenevalt on kogu mudeli elementide kogus 262267 (vt Sele 4.2 ja Sele 4.3).



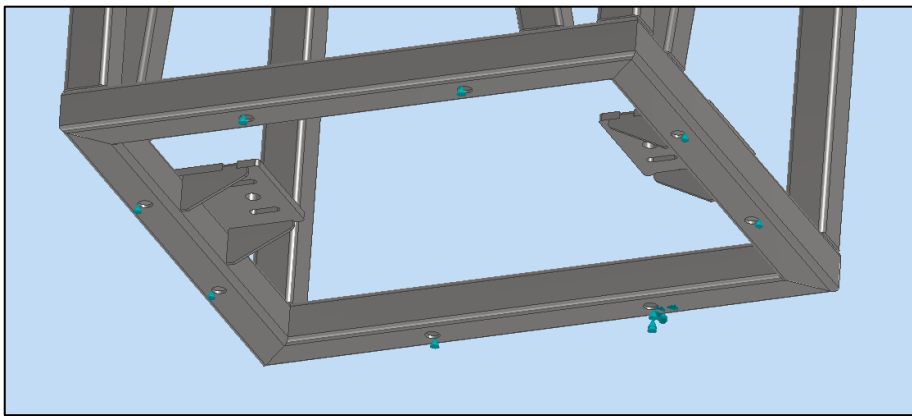
Sele 4.2 Välisraami ülemise osa võrgustik



Sele 4.3 Välisraami alumise osa võrgustik

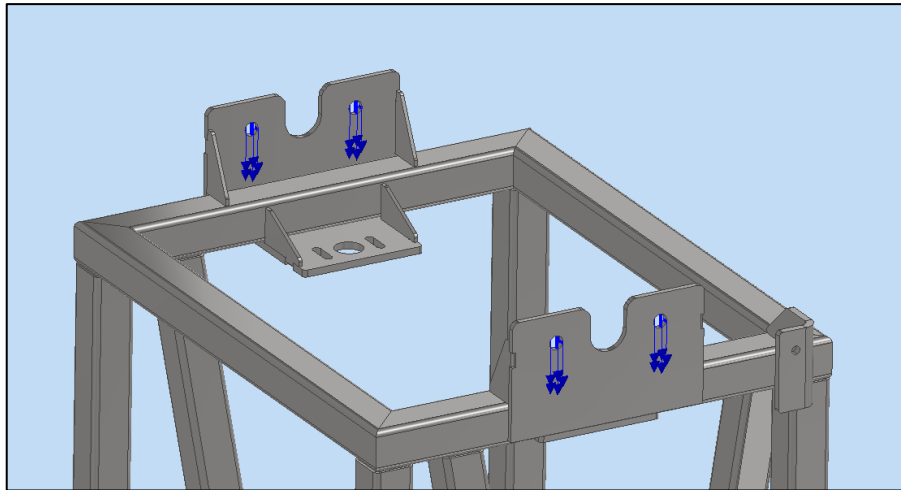
4.3 Rajatingimused

Analüüsimudeli vabadusastmed kinnitati kasutades alumistes profiilides olevaid avasid. Kasutatakse kahte erinevat kinnitust. Üks ava pannakse jäigalt kinni (ingl k fixed constraint) ehk sirglikumine ja pöördliikumine kõikide telgede on kinni. Ülejäänud 7 ava puhul piiratakse ära z-telje suunaline sirglikumine (vt Sele 4.4).



Sele 4.4 Rajapiirangud

Kogu konstruktsioonile rakendati jõud gravitatsiooni poolt ja laagrite kinnitusavadele määrati seadme maksimaalne tõstekoormus (vt Sele 1.1Sele 4.5). Koormus on jagatud kõikide avade vahel võrdselt.



Sele 4.5 LEM tõstekoormus

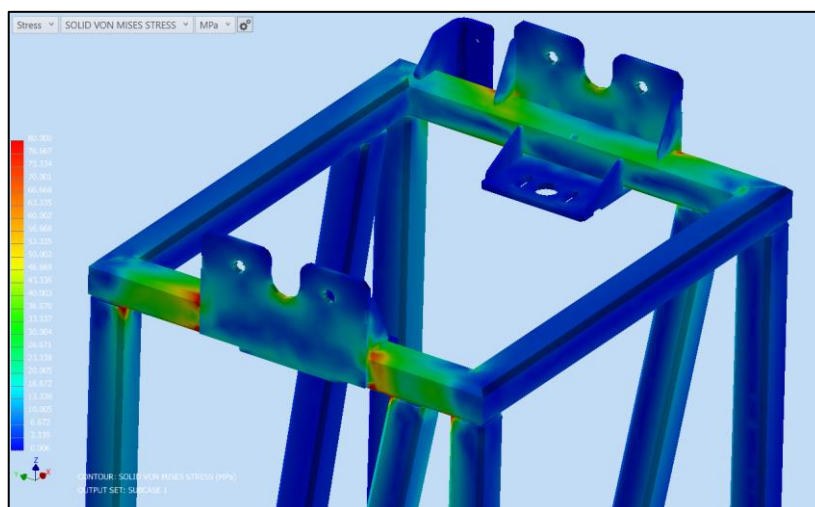
LEM analüüs teostati varuteguriga koormustega ehk kõik koormused võeti 1,35 korda suuremad.

Tabel 4.1 LEM arvutuse koormused

Koormuse tüüp	Baaskoormus	Varutegur	Maksimaalne koormus
Tõstekoormus	14715 N	1,35	19865,25 N
Gravitasioon	9810 mm/s ²	1,35	13243,5 mm/s ²

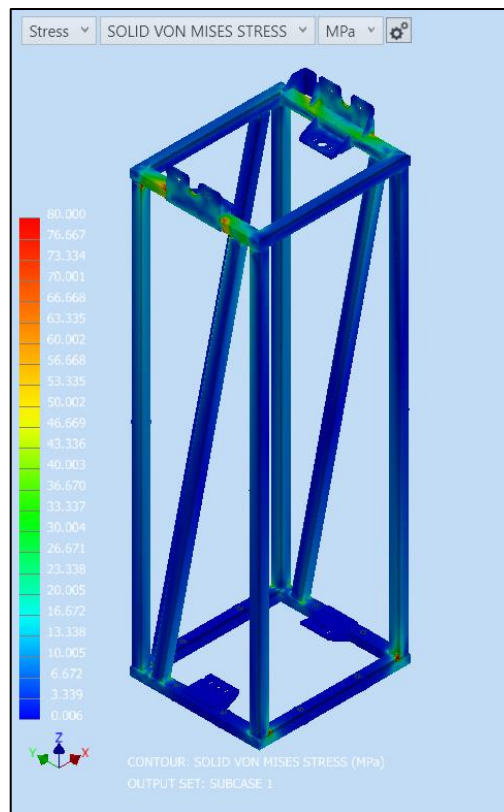
4.1 LEM analüüsi tulemused

Pingeid vaadeldi vahemikus 0 – 80 MPa, et saada parem ülevaade profiilide pingetest. Profiilidele maksimaalne pinge jääb vahemiku 75 -80 MPa. (vt Sele 4.6)



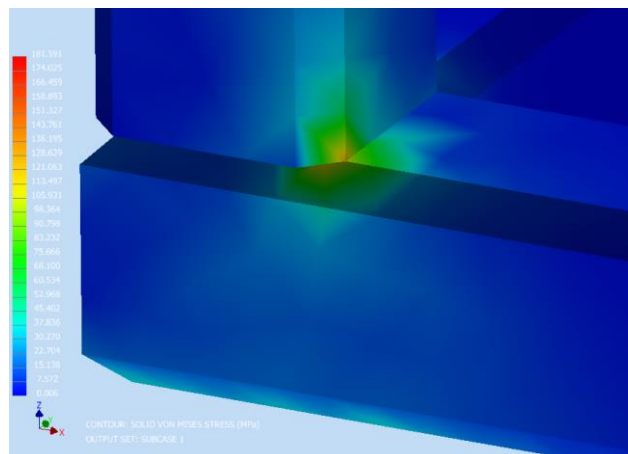
Sele 4.6 Välisraami ülemise osa pingete lähivaade

Suuremad pinged on profiilidel, mille küljes on laagrite kinnitusdetailid. Lisaks on näha, et pinged tõusevad vertikaalsete tugede ja diagonaalide liitumiskohtades teiste profiilidega. (Vt Sele 4.7)



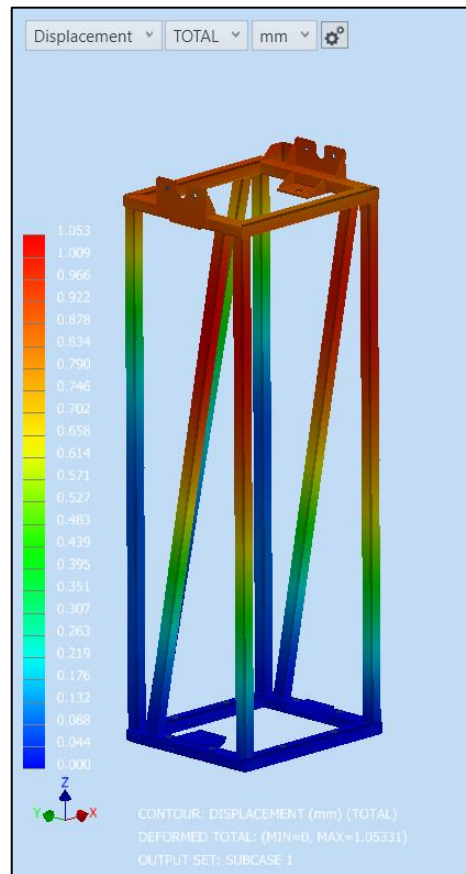
Sele 4.7 Terve välisraami pinged

Mudelis esinesid kohad, kus pinged tõusid kuni 181,6 MPa, aga neid saab lugeda pingekonsentraatoriteks (vt Sele 4.8), mis tekivad analüüsi eripäradest. Näiteks sellest, et keeviliited ei ole mudelisse modelleeritud. Konstruktsiooni tugevus on pingete pooldest tagatud.



Sele 4.8 Pingekonsentraator

Välisraami maksimaalseks deformatsiooniks tulenes 1 mm. Maksimaalne deformatsioon on konstruktsiooni ülemises osas (vt Sele 4.9). Deformatsioon on välisraami mõõtmetega võrreldes väike ning ei tekita edasisi probleeme.



Sele 4.9 Välisraami deformatsioon

Lisaks teostati välisraami mudelile lineaarne nõtkete analüüs, mis näitas, et nõtketest tulenevaid probleeme konstruktsioonil ei esine. Nõtkete varutegurid jäid vahemiku 59 – 86.

5. Torulaseris tulenevad võimalused ning piirangud

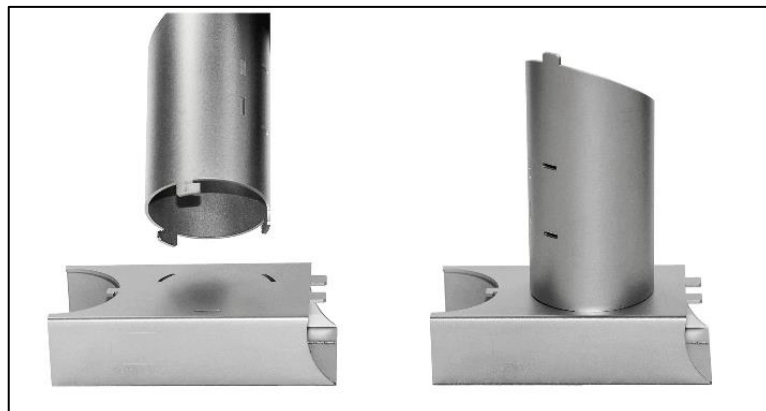
Ettevõtte kogemuse põhjal viiakse tihti erinevad torud ja profiilid laserlõikusesse, et vähendada tootmisele kuluvat aega ning maksumust. Torulaser võimaldab samaaegselt lõigata profiilid õigesse mõõtu ja lõigata välja vajalikud avad. Torulaserist tulenevadujud ning võimalused on väga laialdased, kuid neid ei kasutata tihti ära. [6] [7]

Kasutades torulaserit on võimalik väga lihtsalt luua painutatud liiteid (vt Sele 5.1), mis võimaldavad peamiselt hoida kokku aega, detailide arvu ning lihtsustada koostamist. Ettevõtte Trumpf GmbH andmetel on võimalik säästa ajaliselt 49% ning hinnas 31%. [6]



Sele 5.1 Painutatud ühendus [6]

Lisaks painutatud ühendustele kasutatakse torulaser profiilide puhul erinevaid tappühendusi (vt Sele 5.2), mis fikseerivad detailid omavahel või lihtsustavad hilisemat koostamist.



Sele 5.2 Tappühendus [6]

Eestis on mitmeid erinevaid tööstusettevõtteid, kes pakuvad teenusena torulaseri lõikust. 2019. aastal soetas endale Riigihangete Registri andmete põhjal Euroopa Regionaalarengu Fondi toetusega kaks Eesti ettevõtet torulaserid: Arco Metal OÜ ja Universal Industries OÜ. [8] [9]

Lõputöö raames projekteeritav näidisraam peaks olema võimalikult hästi toodetav Eestis. Selleks kaardistati erinevate torulaseri teenuse pakkujate tehniline võimekus (vt Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Torulaseri teenuse pakkujate tehniline võimekus [10] [11] [12] [13] [14]

Ettevõtte	Arco Metal OÜ	Fractory Solutions OÜ	Finest Steel AS	Universal Industries OÜ	Danival MW OÜ
Maksimaalne pikkus	6500 mm	12500 mm	6500 mm	6500 mm	6000 mm
Nelikanttoru mõõtmed	12x12 mm – 150x150 mm	12x12 mm – 254x254 mm	15x15 mm – 250x250 mm	12x12 mm – 150x150 mm	20x20 mm – 120x120 mm
Maksimaalne mass	23 kg/m	-	37 kg/m	-	-
Maksimaalne seinapaksus	12 mm	8 mm	-	12 mm	8 mm
Kallutatav lõikepea	Olemas 45°	Olemas	-	Olemas 45°	-

6. Polditava välisraami projekteerimine

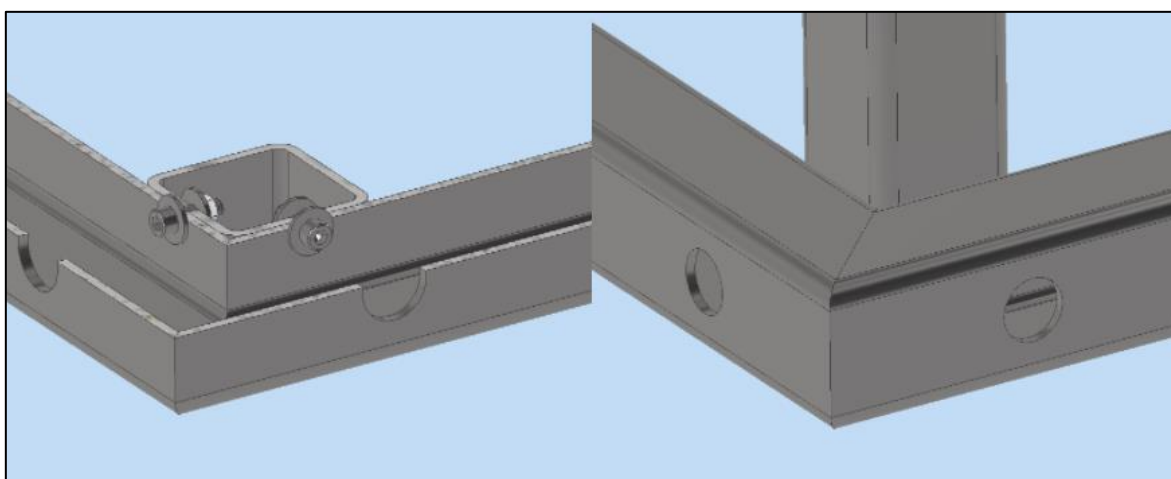
Näidisseadme välisraami põhjal projekteeriti uus polditav välisraam, kus on kasutatud torulaserit profiilide lõikamiseks. Polditava raami puhul järgiti varasemalt püstitatud kriteeriume (vt ptk 1).

Torulaserist lisakriteeriume ei tulnud, kuna varasemalt projekteeritud välisraami profiilid vastasid torulaseri tehnilisele võimekusele (vt Tabel 5.1). Lehtmetailist kinnitused jäetakse samaks ning neid ei projekteerita ümber polditavaks.

6.1 Välisraami nurga liide

Esmalt oli vaja lahendada välisraami nurkliide, kus varasemalt kolm profiili omavahel kokku keevitati.

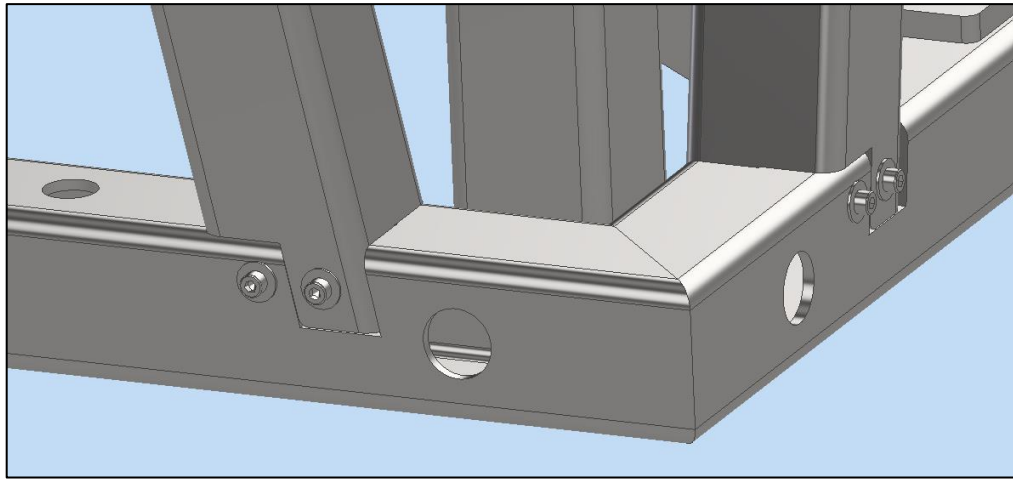
Vertikaalne profiil toodi raami sisse ning kasutades poltliidet kinnitati horisontaalsed profiilid vertikaalsete profiilide külge. (vt Sele 6.1)



Sele 6.1 Polditud nurkliide

6.1 Diagonaalprofiilid

Diagonaalprofiilide positsiooni nihutati 20 mm ning sellest tulenevalt muutus profiilide pikkus ning asetus. Diagonaalprofiilid kinnitati mõlemast otsast kahe poltliitega horisontaalsete profiilide külge. (vt Sele 6.2)



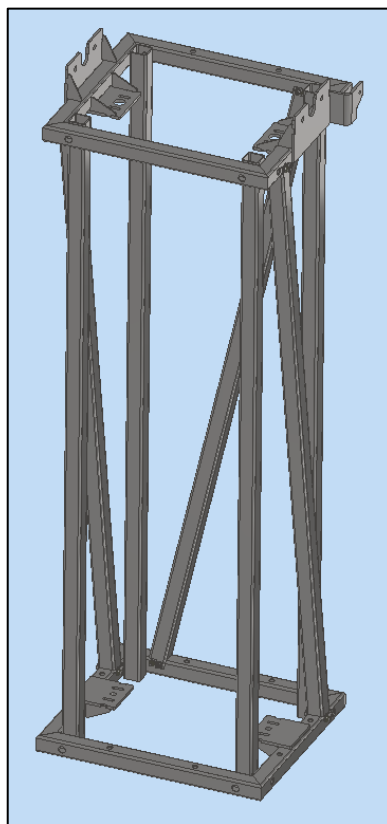
Sele 6.2 Diagonaalprofiilide pottliide

7. Polditava välisraami tugevusanalüüs

Polditavale välisraamile teostati sarnaselt keevitatavale raamile tugevusanalüüs. Analüüsi eesmärk on vaadelda polditava välisraami tugevust kui tõstemehhanism on maksimaalselt koormatud ning leida probleemsed kohad polditava raami puhul.

7.1 Analüüsi mudel

Analüüsimudeliks on polditava välisraami mudel kust on eemaldatud kõik kinnitusvahendid (vt Sele 7.1). Välisraami mudel koosneb standardprofiilidest ning lehtmetailidest kinnitusdetailides.



Sele 7.1 Polditava välisraami analüüsi mudel

Välisraami kõikide detailide materjaliks on teras S355J2 (vt Sele 4.1).

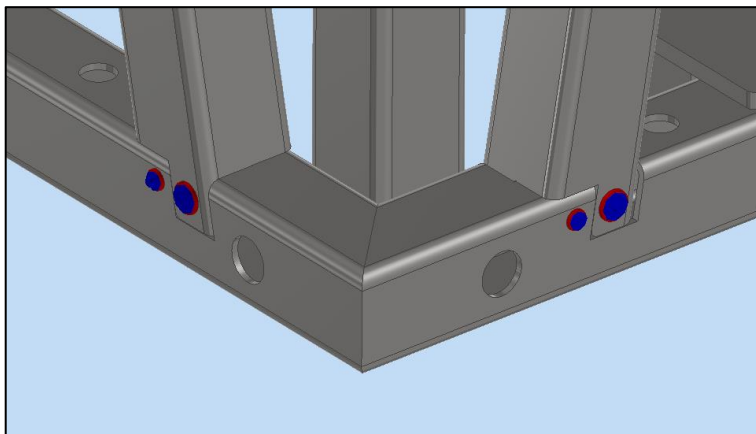
Material	Young'i moodul E (GPa)	Tõmbetugevus R_e (MPa)	Tihedus ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
S355J2 (1.0577)	210	355	7850

Sele 7.2 Materjali S355J2 omadused

Analüüsimudel erinevate kehade omavaheliste sidemete tüübina kasutati *bonded* sidet. Sidemed määrati automaatselt keeviskoostude vahel, kus profiilid ja kinnituslehed olid omavahel keevitatud.

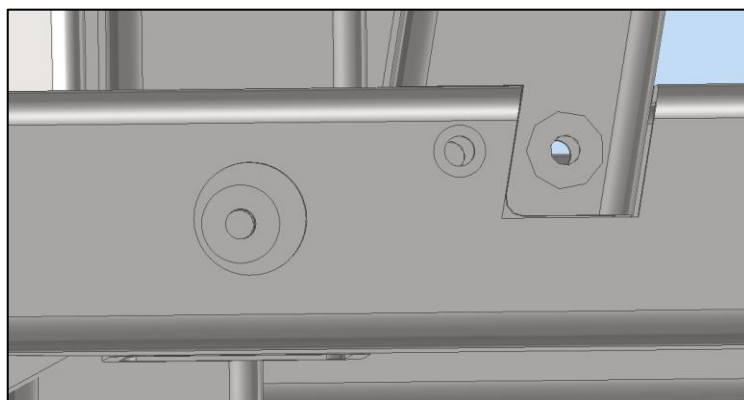
Lisaks lisati eraldussidemed (ingl k *separation constraint*) profiilide pindade vahele, mis on omavahel kokku puutuvad, kuid ei ole keevitatud.

Poltliidetest tulenevate sidemete määramiseks kasutati kinnitust *bolted-connection* (vt Sele 7.3).



Sele 7.3 *bolted-connection* kinnitus

Bolted-connection kinnituse kasutamiseks modeleeriti analüüsimudelisse poltliite seibide pinnad, kuhu rakendub poltide pingutusmoment (vt Sele 7.4). Pingutusmomentid on võetud M5 poltidel ettevõtte Würth tooteinfost 5,7 Nm [15] ning M6 poltidel ettevõtte juhendist 11 Nm.

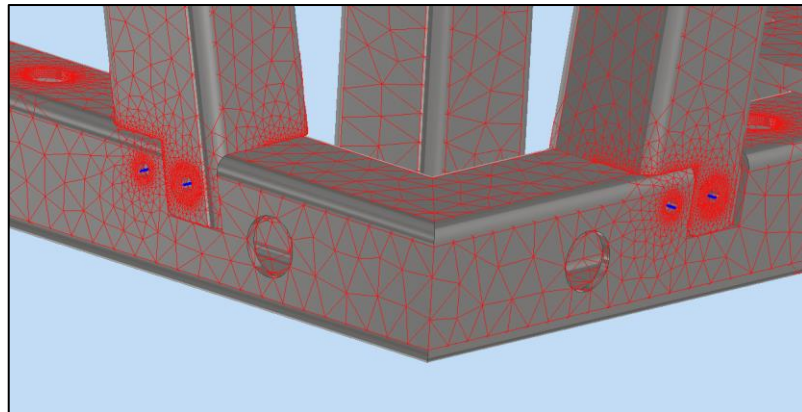


Sele 7.4 Modelleeritud seibide pinnad

7.2 Analüüsi võrgustik

LEM analüüsiks genereeritud võrgustiku (ingl k *mesh*) üldiseks elemendi suuruseks on 20 mm, võrgustiku tihendati poltliidete juures, kus elemendi suuruseks on 1 mm.

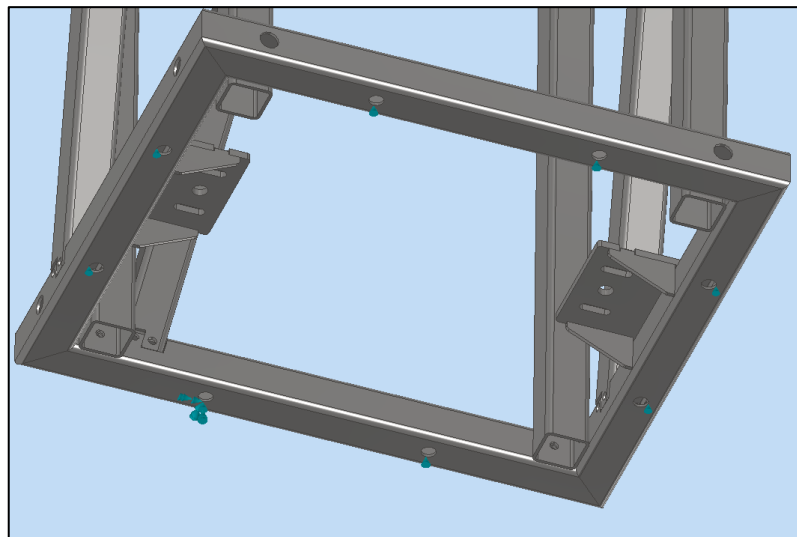
Elementide kogus on 455955 ning võrgustik on erinevate kehade puhul omavahel seotud. (vt Sele 4.2)



Sele 7.5 Polditud välisraami võrgustik

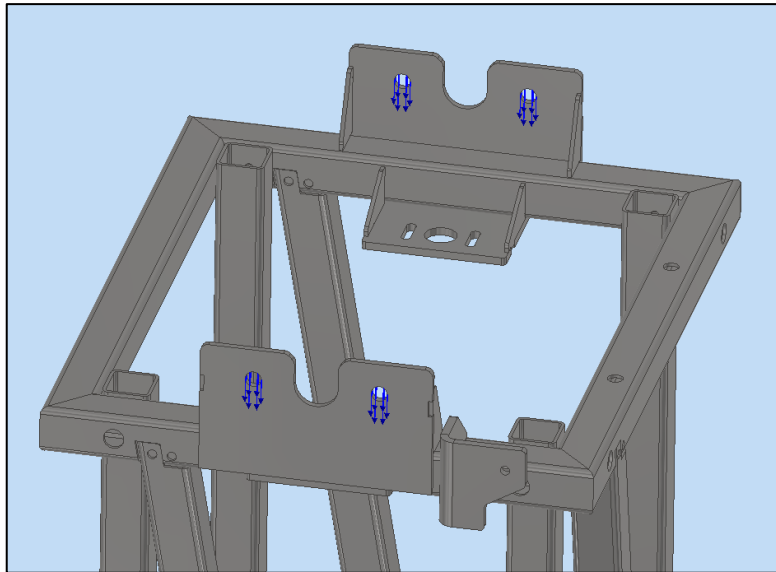
7.3 Rajatingimused

Analüüsimudeli vabadusastmed pannakse kinni kasutades alumistes profiilides olevaid avasid. Kasutatakse kahte erinevat kinnitust. Üks ava pannakse jäigalt kinni (ingl k *fixed constraint*) ehk sirgliikumine ja pöördliikumine kõikide telgedele on kinni. Ülejäänud 7 ava puhul piiratakse ära z-telje suunaline sirgliikumine (vt Sele 7.6).



Sele 7.6 Polditava välisraami rajapiirangud

Kogu konstruktsioonile rakendati jõud gravitatsiooni poolt ja laagrite kinnitusavadele määrati seadme maksimaalne tõstekoormus (vt Sele 1.1Sele 7.7). Koormus on jagatud kõikide avade vahel võrdselt.



Sele 7.7 LEM tõstekoormus polditavale välisraamile

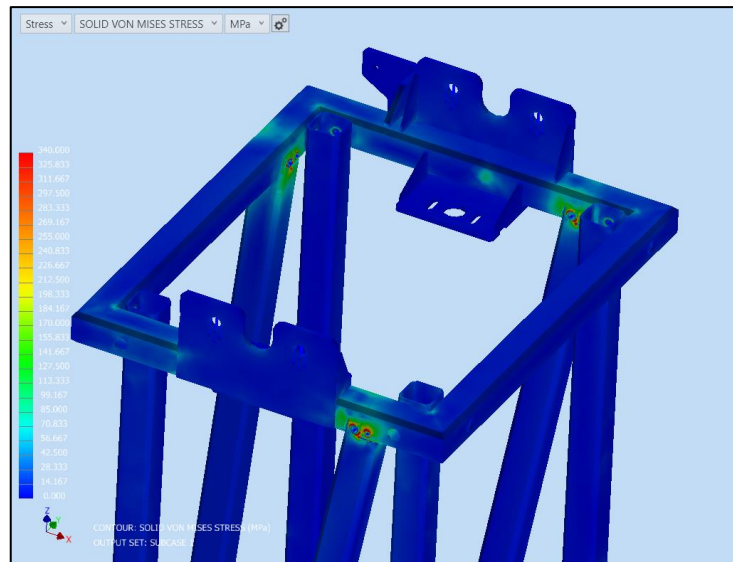
LEM analüüs teostati varuteguriga koormustega ehk kõik koormused võeti 1,35 korda suuremad.

Tabel 7.1 LEM arvutuse koormused polditavale tõsteraamile

Koormuse tüüp	Baaskoormus	Varutegur	Maksimaalne koormus
Tõstekoormus	14715 N	1,35	19865,25 N
Gravitasioon	9810 mm/s ²	1,35	13243,5 mm/s ²

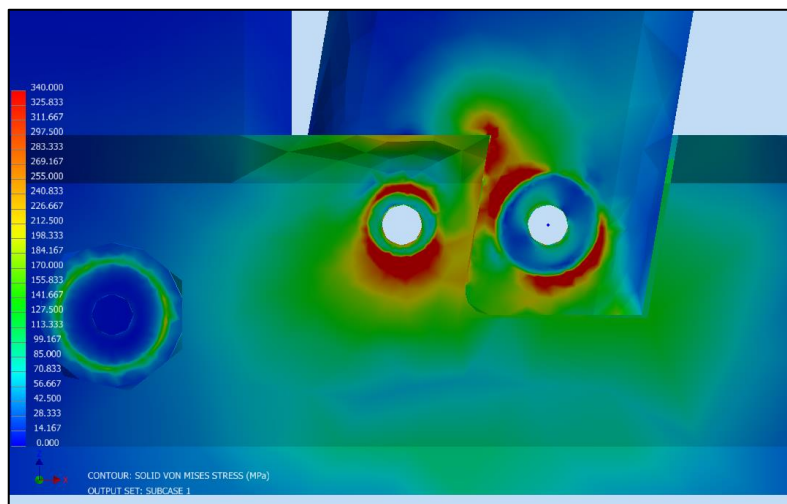
7.4 LEM tulemused

Pingeid vaadeldakse vahemikus 0 – 340 MPa, et saada parem ülevaade profiilide ning poltliite avade pingetest. Suurimad pinged tekivad diagonaalide liitumiskohades teiste profiilidega. (Vt Sele 7.8)



Sele 7.8 Polditava välisraami ülemise osa pingete lähivaade

Profiilidel jäävad üldiselt maksimaalsed pinged vahemiku 170 – 180 Mpa, kuid profiilide poltimisavade ümbruses tõuseb maksimaalne pinge ligikaudu 340 MPa (Vt Sele 7.9).

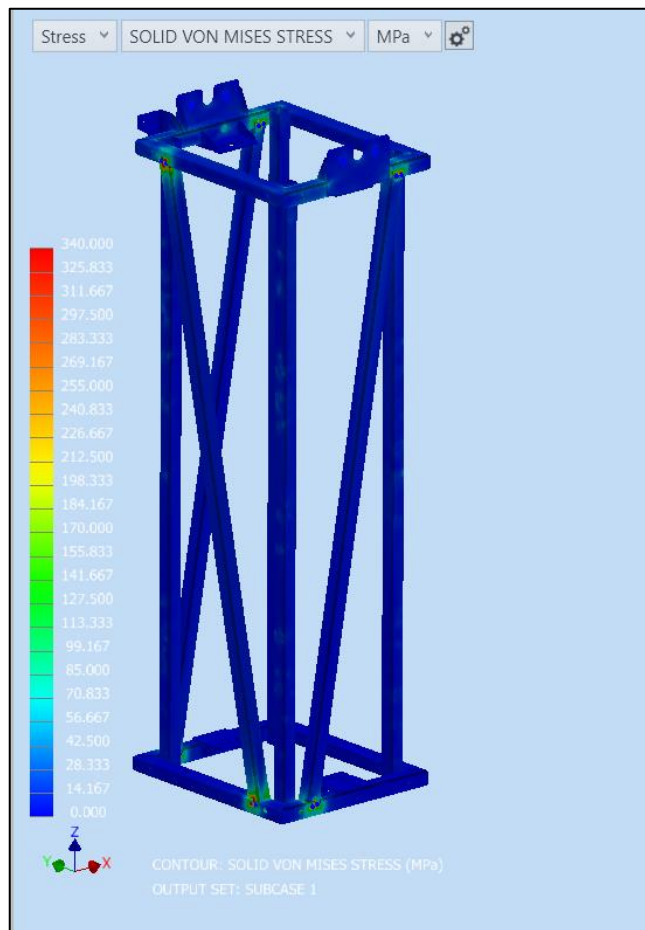


Sele 7.9 Polditava välisraami maksimaalne pinge

Maksimaalne pinge tuleb eelkõige poltide pingutusmomendi poolt tekkivast muljumispingest. Vertikaalsetel profiilidel pingutusmoment probleemseks ei osutu, kuid probleem tekib diagonaalprofiilidel.

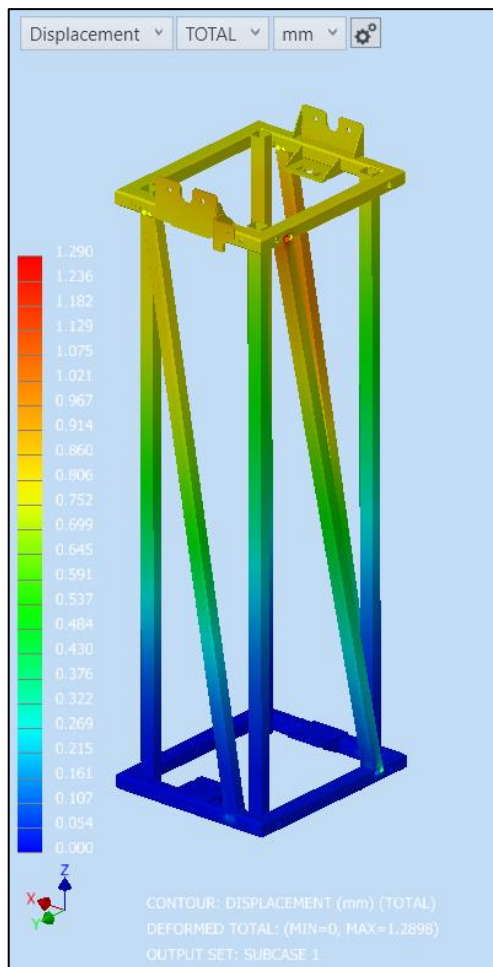
Tugevuse võib lugeda konstruktsiooniliselt pingetele vastavaks (vt Sele 7.10), kuid on näha, et diagonaalprofiilidele sarnase ühenduse kasutamisel võib tekkida tugevuse osas probleeme profiilide pindadel.

Soovitav oleks kasutada poltimisel lehtmetailist painutatud lisadetaile ning vältida torude lõikamist sarnaselt diagonaalidel esinevale lahendusele.



Sele 7.10 Terve polditava välisraami LEM

Välisraami maksimaalseks deformatsiooniks tulenes 1,29 mm. Maksimaalne deformatsioon on konstruktsiooni ülemises osas (vt Sele 7.11Sele 4.9).

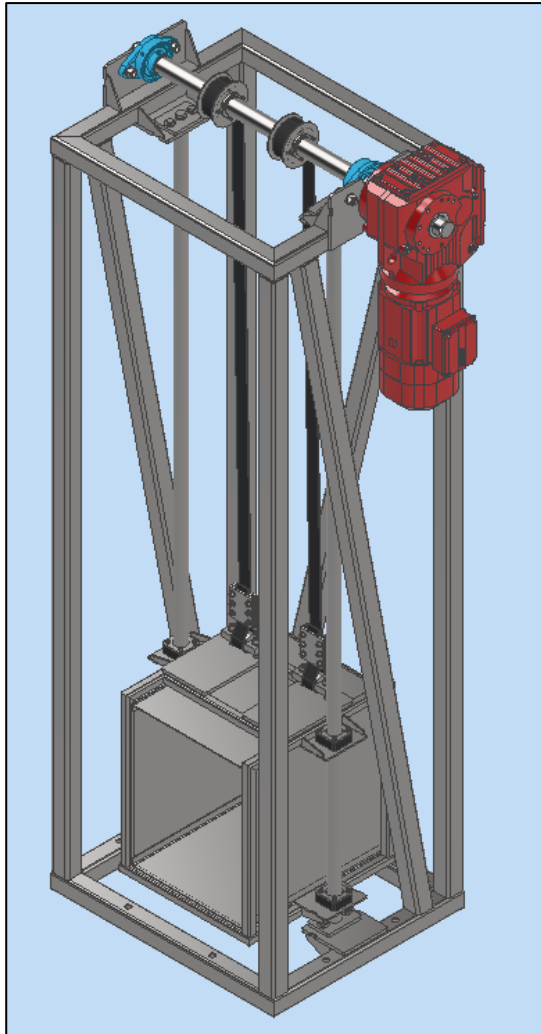


Sele 7.11 Välisraami deformatsioon

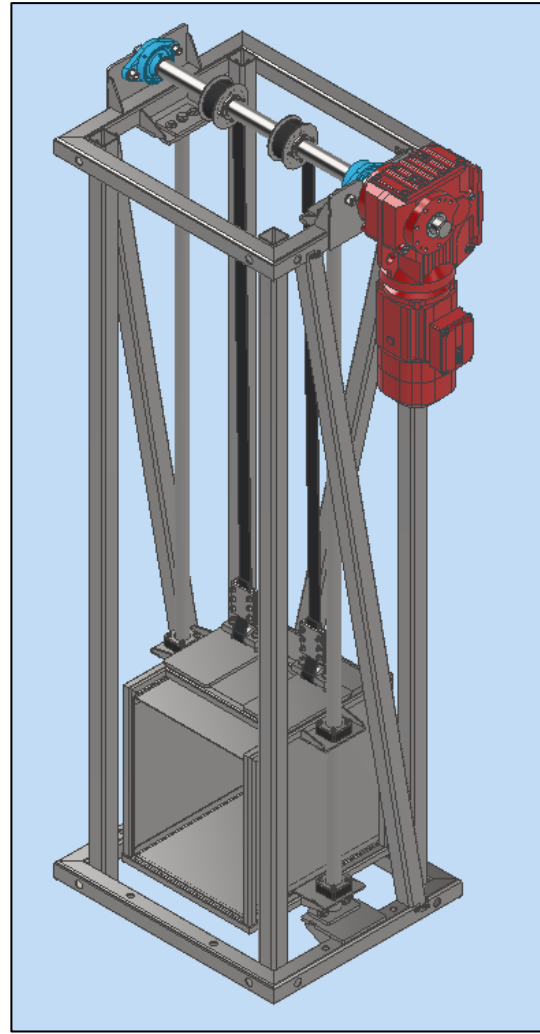
Lisaks teostati välisraami mudelile lineaarne nõtkete analüüs, mis näitas, et nõtketest tulenevaid probleeme konstruktsioonil ei esine. Nõtkete varutegurid jäid vahemiku 40 - 54.

8. Välisraamide maksumuse analüüs

Maksumuse analüüsi puhul vaadeldi ainult välisraame ning nendega seotud detaile, sest ülejäänud detailid ning ostutooted on mõlemal tösteseadmel samad (vt Sele 8.1 ja Sele 8.2).



Sele 8.1 Keevitatava välisraamiga
tõstemehhanism



Sele 8.2 Polditava välisraamiga
tõstemehhanism

Mõlemal puhul arvestatakse, et profiilid lõigatakse torulaseris. Laseris lõigatud detailide maksumused saadi kasutades ettevõtte Fractory veebirakendust [12].

Polditava välisraami kinnitusvahendite maksumused võetakse Baltic Bolt-i kodulehelt. [16]

Keevitus ja koostamishinnad on ligikaudsed ning tulenevad ettevõtte eelnevatest projektidest ning kogemusest. Maksumused on ilma käibemaksuta.

Mõlema raami detailid on mõõtmelst sarnased ning nende väike maksumuse erinevus tuleneb eelkõige laserlõikuse erinevusest. Võrreldes mõlemat välisraami on näha, et maksumus on samas suurusjärgus.

Keevitatava välisraami maksumuse puhul on koostamine tunduvalt kallim kuna keevitusmahud on suuremad. Odavam on võrreldes polditava raamiga projekteerimise maksumus, kuna detailid modelleerimine ja LEM tugevusanalüüs on lihtsam ning jooniste arv on väiksem. (Vt Tabel 8.1)

Tabel 8.1 Keevitatava välisraami maksumus

	Maksumus
Laserlõikus nelikanttorud	262,87 €
Laserlõikus lehtmetailid	55,16 €
Välisraami ja lehtmetailide keeviskoostamine	240,00 €
Välisraami projekteerimine (Modelleerimine, jooniste koostamine,	250,00 €
Kokku	808,03 €

Vaadeldes polditavat raami on näha, et koostamine on tunduvalt odavam, kui keevitataval raamil. Ligikaudu poole maksumusest moodustab projekteerimine kuna profiilidele tuleb teha poltimisavad ning keerulisemad lõiked. Samuti on keerulisem ja aeganõudvam tugevusanalüüs. (Vt Tabel 8.2)

Tabel 8.2 Polditava välisraami maksumus

	Maksumus
Laserlõikus nelikanttorud	280,86 €
Laserlõikus lehtmetailid	54,52 €
Lehtmetailide keeviskoostamine	90,00 €
Kinnitusvahendid (Poldid, Seibid, Mutrid)	7,28 €
Koostamine	60 €
Välisraami projekteerimine (Modelleerimine, jooniste koostamine,	400 €
Kokku	892,66 €

Võrreldes mõlema välisraami maksumusi on näha, et polditav välisraam on 84,63 € kallim. Hetkel vaadeldi maksumust ühe välisraami raames, seega kui toota mitu raami väheneb projekteerimise maksumuse osa kogumaksumuses ning polditava raami maksumus langeb tunduvalt.

Näiteülesande näitel on näha, et maksumus ei mängi antud olukorras suuremat rolli ning pigem tuleks lähtuda valikul tugevusanalüüsist.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärk oli projekteerida ettevõtte Revismo OÜ poolt antud näidisülesande põhjal tõsteseade, mille põhjal vaadelda, kuidas asendada keevisliiteid keeviskonstruktsioonides, mis on valmistatud torulaseris lõigatud nelinurksetest standardprofiilidest.

Kriteeriumite ning näiteülesande kirjelduse põhjal genereeriti 3 erinevat lahendust tõsteseadmele. Erinevate lahenduste vahel valiti hindamistabeli abil välja parim variant, mille põhjal projekteeriti tõsteseade ning lisaks polditav välisraam.

Projekteerimise käigus teostati vajalikud inseneriarvutused, mille põhjal valiti mootor ning ülekandes vajalikud ostukomponendid. Modelleeriti tõsteseadme kõik vajalikud detailid ning koostud. Tõsteseadme keevitatavale välisraamile teostati tugevusanalüüs, mis näitas et keevitatav raam peab vastu koormusolukorrale.

Keevitatava välisraami põhjal projekteeriti ja modelleeriti polditav välisraam, mida oleks võimalik kasutada tõsteseadme ehituses. Polditavale välisraamile teostati tugevusanalüüs, mis näitas, et konstruktsiooniline tugevus on küll tagatud, kuid poltliite pingutusmomendist tulenevad pinged võivad tekitada probleeme kohtades, kus on profiile lõigatud.

Mõlemale välisraamile teostati maksumuse analüüs, mille põhjal saadi tulemuseks, et mõlemad raamid on sarnase maksumusega ning lahenduse valikul peaks eelkõige lähtuma tugevusanalüüsist.

Magistritöö täitis oma eesmärgi, sest projekteeriti näidisülesandele vastav lahendus ja modelleeriti selle tootmiseks vajalikud mudelid ja joonised. Lisaks toodi välja probleemset kohad, mis võivad tekitada probleeme polditava ühenduse puhul.

SUMMARY

The aim of the master's thesis was to design a lifting device based on the sample task given by the company Revismo OÜ, on the basis of which it would be possible to consider how to replace welded joints in welded structures made of standard rectangular profiles cut in a tube laser.

Based on the criteria and the description of the example problem, 3 different solutions for the lifting device were generated. The best option was selected between the different solutions using the evaluation table, on the basis of which the lifting device and bolted outer frame was designed.

During the design necessary engineering calculations were performed, on the basis of which the motor and the necessary purchase components for the transmission were selected. All the necessary details and assemblies of the lifting device were modeled. The welded outer frame of the lifting device was subjected to a strength analysis, which showed that the welded frame withstands the load situation.

Based on the welded outer frame, a bolted outer frame was designed and modeled, which could be used in the construction of the lifting device. A strength analysis was performed on the bolted outer frame, which showed that the structural strength is guaranteed, but the stresses due to the tightening torque of the bolted joint can cause problems in places where the profiles have been cut.

A cost analysis was performed for both outer frames, on the basis of which it was concluded that both frames have a similar cost and the choice of the solution should be based primarily on the strength analysis.

The master's thesis fulfilled its purpose, because a solution corresponding to the sample task was designed and the models and drawings necessary for its production were modeled. In addition, problem areas were identified that could cause problems with the bolted connection.

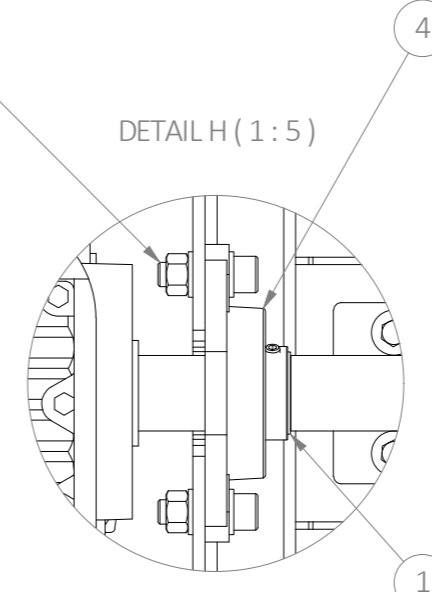
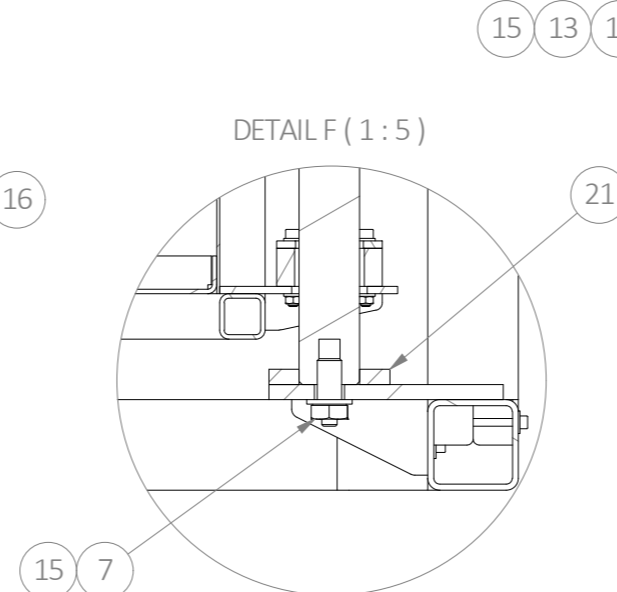
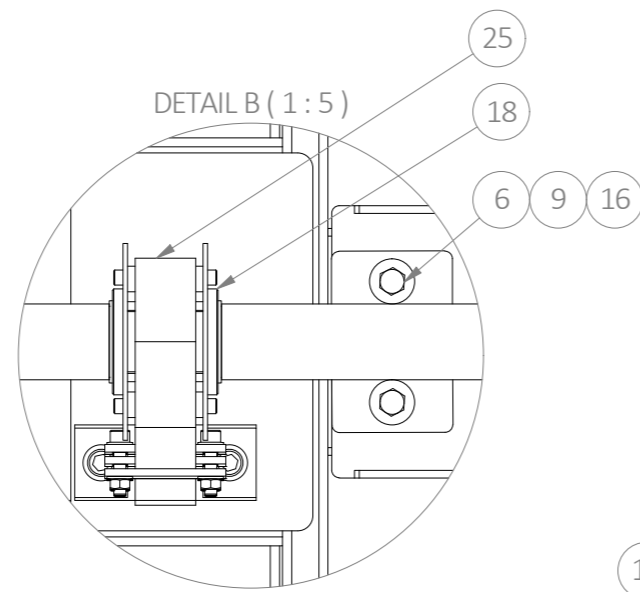
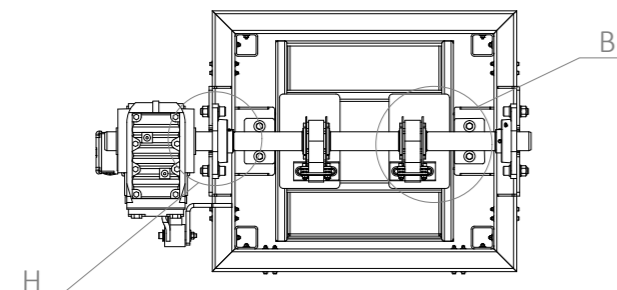
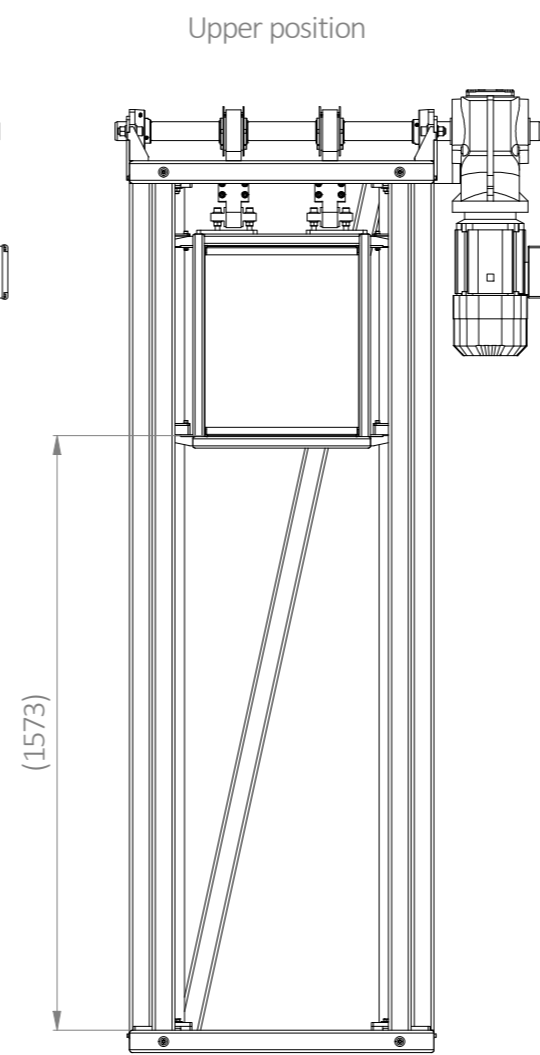
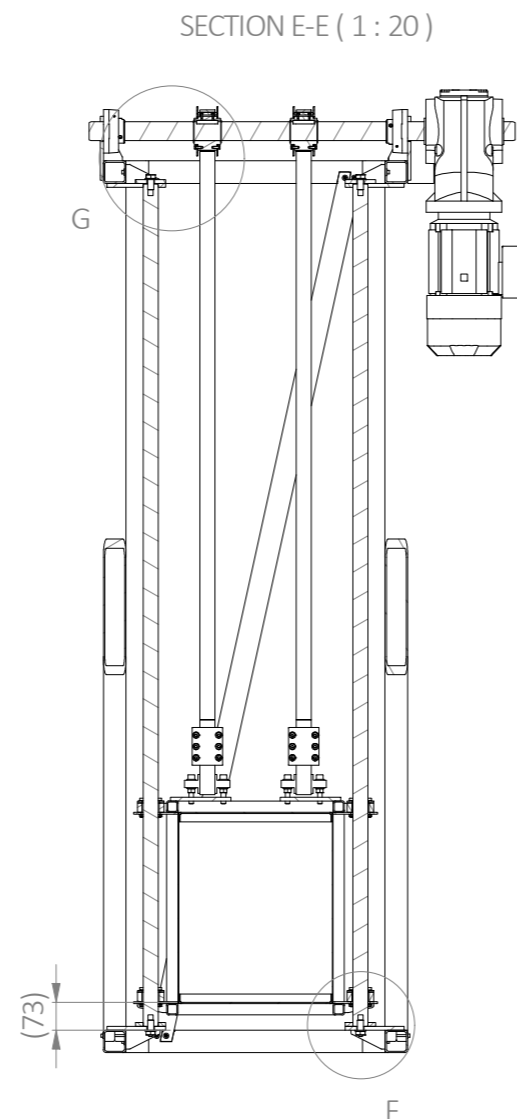
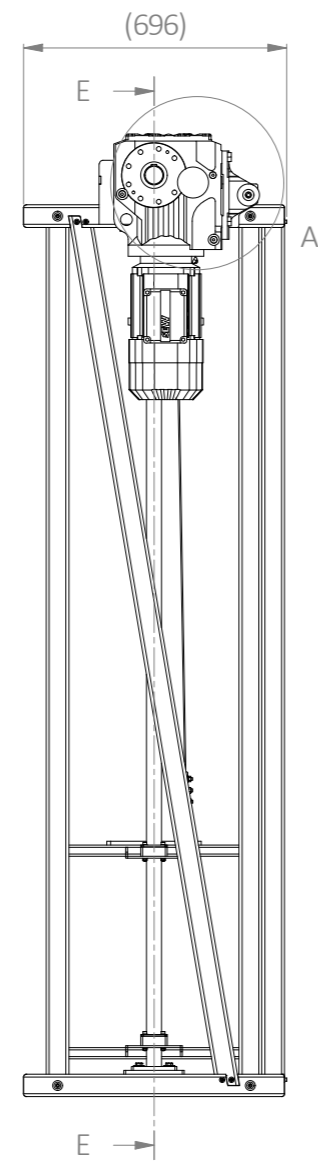
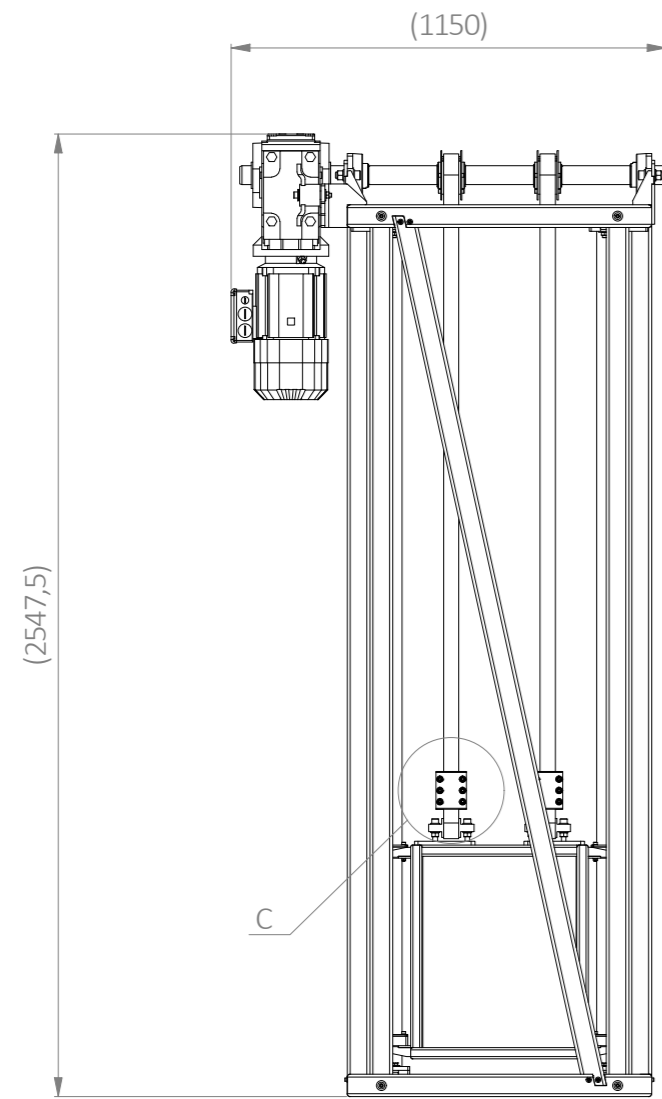
KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Revismo OÜ, „Revismo OÜ ettevõtte tutvustus,” Revismo OÜ, 07 03 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://revismo.com/>. [Kasutatud 07 03 2020].
- [2] Continental-Industry, „Continental-Industry Polyflat Belt Datasheet,” 20 11 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.continental-industry.com/en/solutions/power-transmission/industrial-applications/drive-belts/flat-belts/products/product-range/conti-polyflat>. [Kasutatud 20 11 2020].
- [3] SEW-Eurodrive, „SEW-Eurodrive Drive Configurator,” 22 11 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.sew-eurodrive.de/os/catalog/products/drives/acgearmotor/default.aspx?language=en_us&country=DE. [Kasutatud 22 11 2020].
- [4] P. K. j. E. Hendre, Mehaanikainseneri käsiraamat, 2015.
- [5] Mädler GmbH, „Mädler Ball Flange Bearing Datasheet,” 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.maedler.de/product/1643/1629/2184/kugel-flanschlager-ucfl-grauguss>. [Kasutatud 10 12 2020].
- [6] TRUMPF GmbH + Co. KG., „Trumpf laser tube cutting,” TRUMPF GmbH + Co. KG., 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.trumpf.com/en_INT/products/machines-systems/laser-tube-cutting-machines/laser-tube-cutting-web-special/novices/?q=tube%20laser. [Kasutatud 11 11 2020].
- [7] BLM Group, „BLM Group Lasertube,” BLM S.P.A, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.blmgroup.com/en/lasertube>. [Kasutatud 07 11 2020].
- [8] Eesti Riigihangete Register, „Universal Industries Laser Tube Cutting machine tender,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://riigihanked.riik.ee/rhr-web/#/procurement/1582693/general-info>. [Kasutatud 07 11 2020].
- [9] Eesti Riigihangete Register, „Arco Metal OÜ Fiber Laser Tube Cutting machine tender,” 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://riigihanked.riik.ee/rhr-web/#/procurement/1606292/notices/notice/1668531/general-info>. [Kasutatud 07 04 2020].
- [10] Arco Metal OÜ, „Arco Metal OÜ torulaser,” Arco Metal OÜ, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <http://arcometal.ee/et/torulaser/>. [Kasutatud 07 11 2020].

- [11] Danival MW OÜ, „Danival MW OÜ tube laser cutting,“ Danival MW OÜ, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.danival.ee/en/tube-laser-cutting/>. [Kasutatud 07 04 2020].
- [12] Fractory Solutions OÜ, „Fractory Solutions OÜ toru-laserlõikus,“ Fractory Solutions OÜ, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://fractory.com/et/toru-laserloikus/>. [Kasutatud 31 12 2020].
- [13] Finest Steel AS, „Finest Steel torulõikus,“ Finest Steel AS, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://fineststeel.ee/teenused/toruloikus/>. [Kasutatud 07 11 2020].
- [14] Universal Industries OÜ, „Universal Industries OÜ tube and wire processing,“ Universal Industries OÜ, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.universal.ee/tube-and-wire-processing.html>. [Kasutatud 07 11 2020].
- [15] Würth Group, „Teraspoltide pingutusmomendid,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://wuerth.ee/public/files/Teraspoltide%20pingutusmomendid.pdf>. [Kasutatud 01 01 2021].
- [16] Baltic Bolt OÜ, „<https://www.balticbolt.ee/>,“ 2021. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 01 2021].

JOONISED

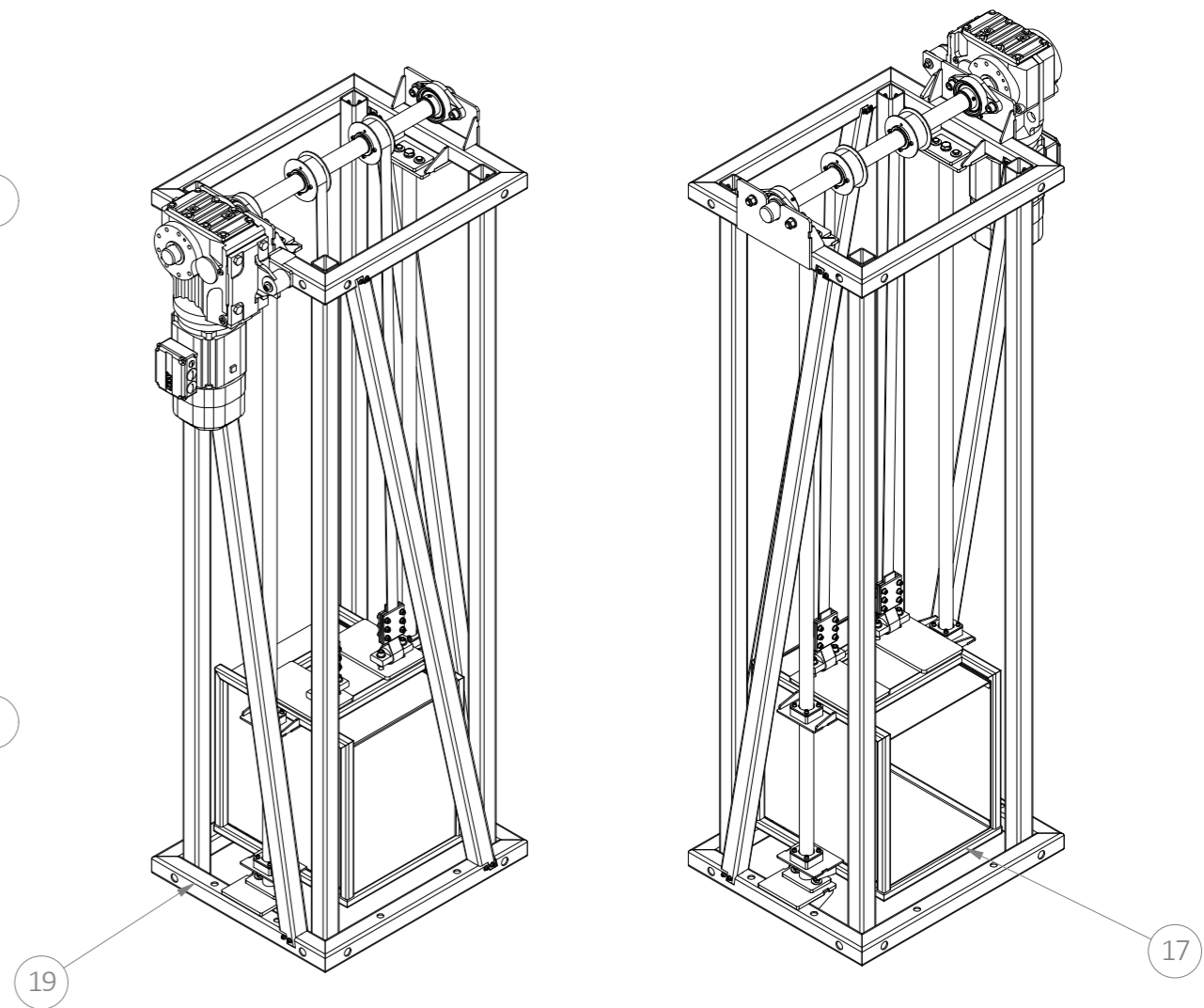
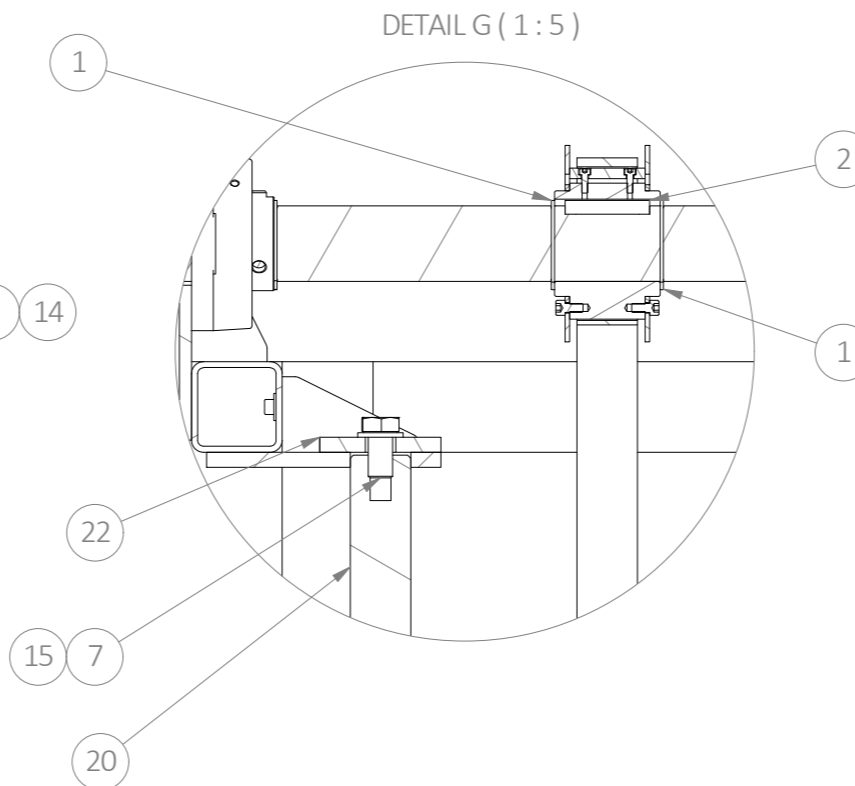
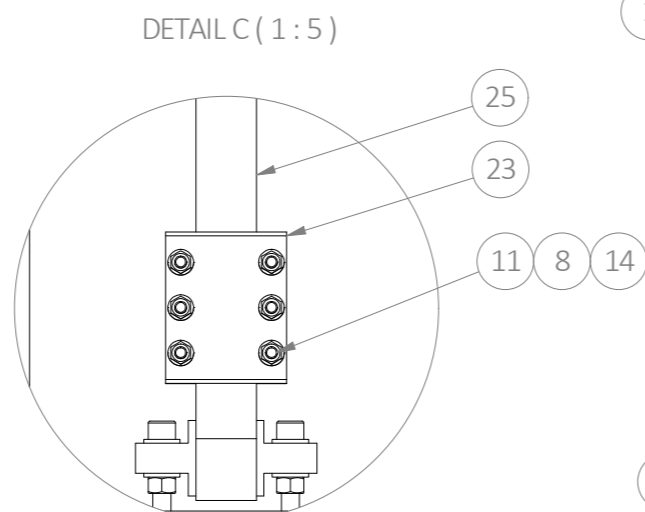
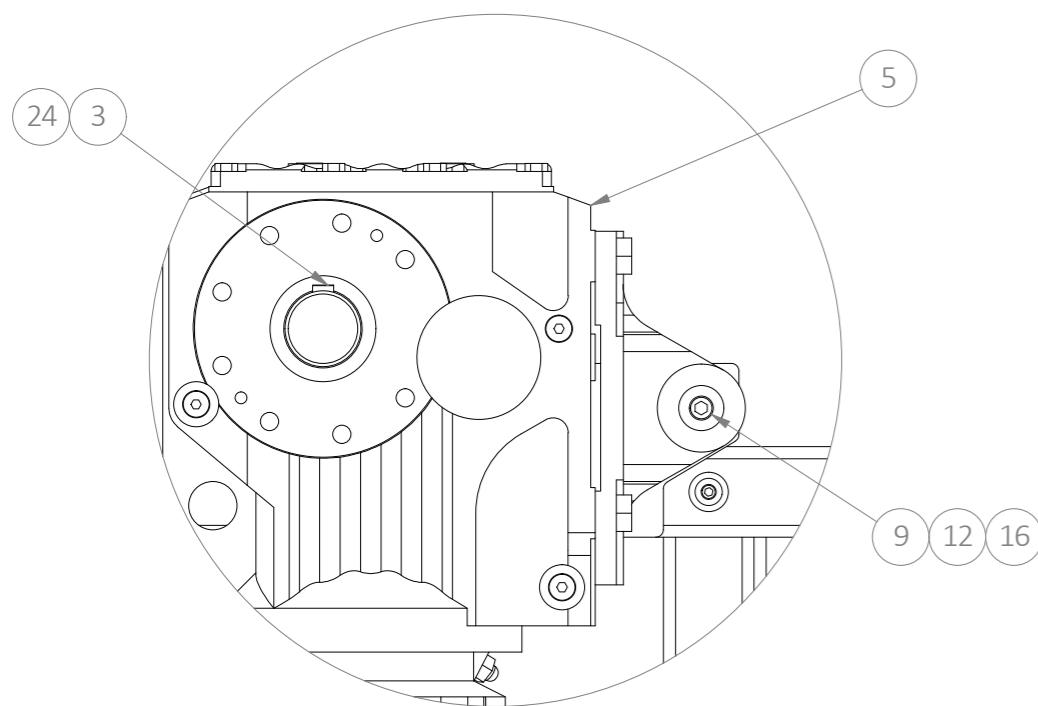
1. Peakkoost - JJ.01 – A000
2. Polditava välisraami koost – JJ.01 – A003
3. Polditava profiili keeviskoost – JJ.01 – A005
4. Võll - JJ.01 – P005
5. Trumli detail – JJ.01 – P013



DETAIL A (1:5)

DETAIL C (1:5)

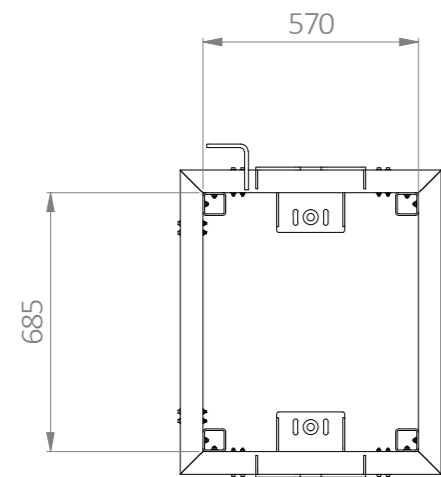
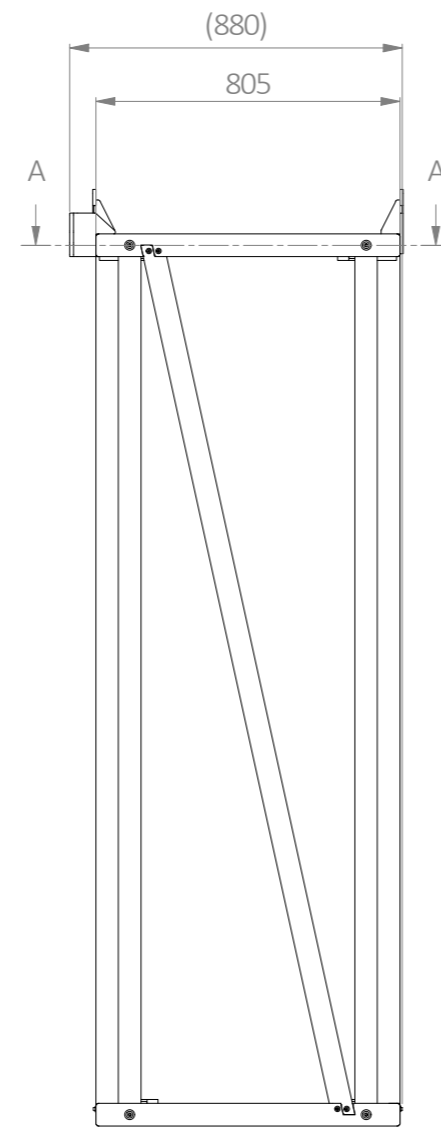
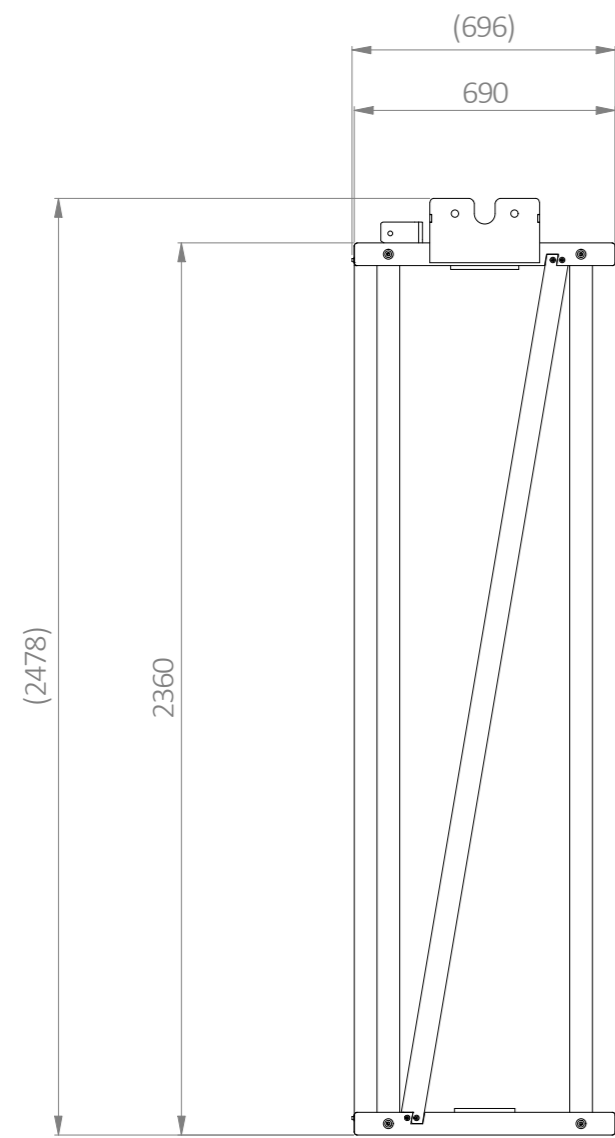
DETAIL G (1:5)



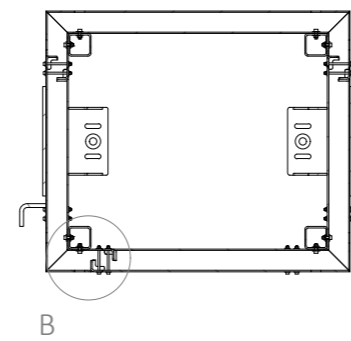
Pos.	Detail nr.	Description	Weight, kg	Quantity
1	DIN 471 - 50x2	Retaining rings for shaft	0,0	6
2	DIN 6885 - A 14 x 9 x 56	Parallel Key	0,1	2
3	DIN 6885 - A 14 x 9 x 140	Parallel Key	0,1	1
4	Flange bearing (Mädler 62615000)	Purchased part (Alas-Kuul)	1,6	2
5	Gearmotor with brake (SEW-Eurodrive KA77DRN100LS4BE2)	Purchased part (Alas-Kuul)	46,0	1
6	ISO 4017 - M10 x 40 (8.8; Hot Zn)	Hex-Head Bolt	0,0	8
7	ISO 4017 - M16 x 30 (8.8; Hot Zn)	Hex-Head Bolt	0,1	4
8	ISO 4032 - M8 (8; Hot Zn)	Hex Nut	0,0	12
9	ISO 4032 - M10 (8; Hot Zn)	Hex Nut	0,0	9
10	ISO 4032 - M16 (8; Hot Zn)	Hex Nut	0,0	4
11	ISO 4762 - M8 x 35 (8.8; Zn)	Hexagon Socket Head Cap Screw	0,0	12
12	ISO 4762 - M10 x 90 (8.8; Zn)	Hexagon Socket Head Cap Screw	0,1	1
13	ISO 4762 - M16 x 50 (8.8; Zn)	Hexagon Socket Head Cap Screw	0,1	4
14	ISO 7089 - 8	Washer	0,0	24
15	ISO 7089 - 16	Washer	0,0	12
16	ISO 7093 - 10	Large washer	0,0	18
17	JJ.01 - A001	Welded assembly	53,7	1
18	JJ.01 - A002	Assembly	3,0	2
19	JJ.01 - A003	Assembly	162,3	1
20	JJ.01 - P001	Round bar D40; L=2228 mm	21,9	2
21	JJ.01 - P002	Flat sheet; T=10	0,6	2
22	JJ.01 - P003	Flat sheet; T=10	0,7	2
23	JJ.01 - P004	Flat sheet; T=5	0,3	6
24	JJ.01 - P005	Machined part	17,2	1
25	Polyflat belt L=2640 mm (Continental F40XHP)	Purchased part (Alas-Kuul)	2,3	2

- Technical information:
- Lifting stroke: 1500 mm
 - Lifting weight: 1500 kg (including lifting assembly)

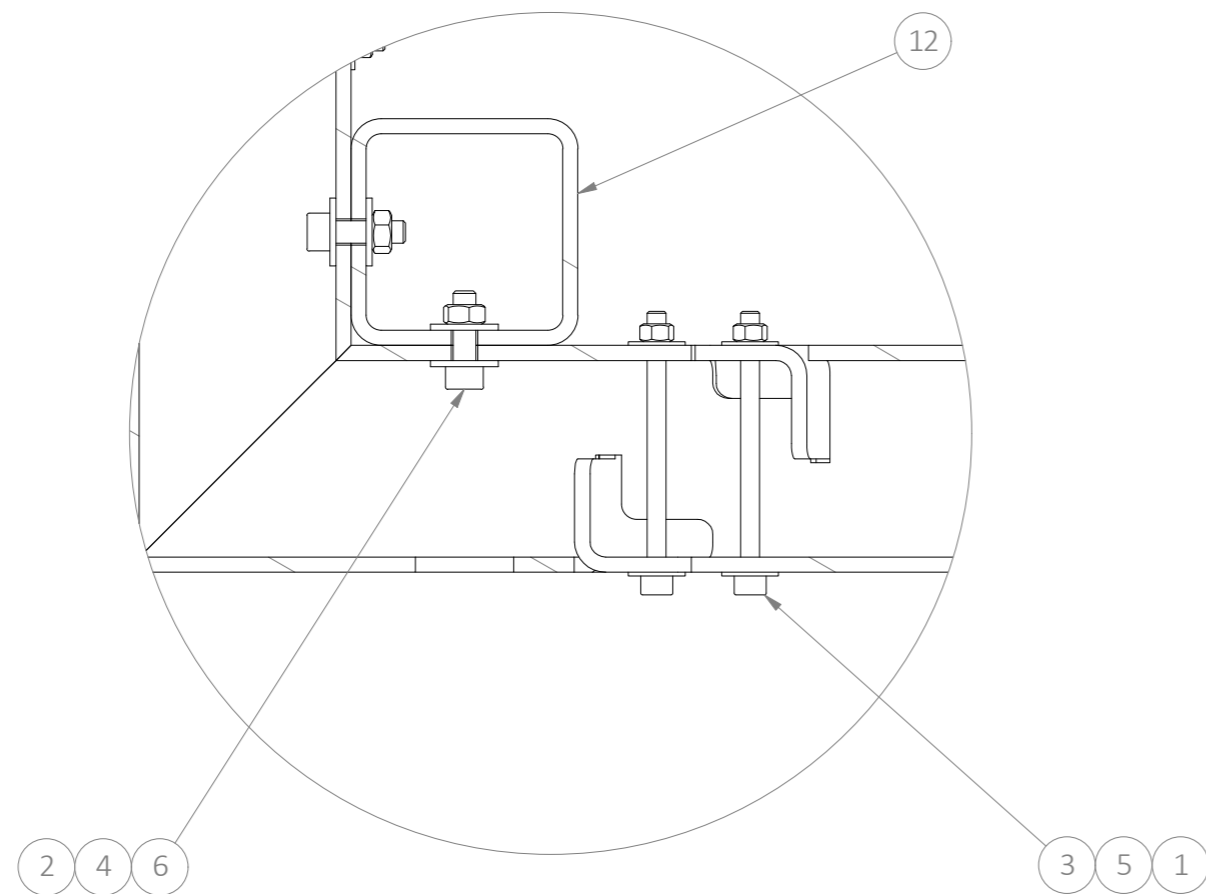
Steel weldings according to ISO 5817-C	Thread size	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30		
Alum. weldings according to ISO 10042-C	Torque	11 Nm	27 Nm	53 Nm	91 Nm	222 Nm	434 Nm	750 Nm	1480 Nm		
	Strength class	8.8									
All unindicated unmachined surfaces: maximum Ra 12.5	Length dimensions	> 0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 315	> 315 ... 1000	> 1000 ... 2000	> 2000 ... 4000	> 4000 ... 8000	> 8000
All unindicated machined surfaces: maximum Ra 6.3	Machinings	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1	± 2	± 3	± 4		
	Chamfers and radii	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5			
Surface treatment	Bending	± 0.5	± 1.2	± 2	± 3	± 4	± 5				
	Cutting	± 1	± 0.5	± 1	± 1.5	± 2					
	Welded structures	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5					
	Designed by	J. Jaansoo	03.01.2021	Material		Weight	Sheet	Scale	Size	Rev.	
	Checked by	J. Jaansoo	03.01.2021	Project		343.7 kg	1/1	1:20	A2	00	
	Approved by		03.01.2021	Description		JJ.01					
Drawing nr.		JJ.01 - A000		Main assembly							
General guidelines (drawing Guidelines) must be followed during production						Engineered by Revismo Engineering [www.revismo.com]					



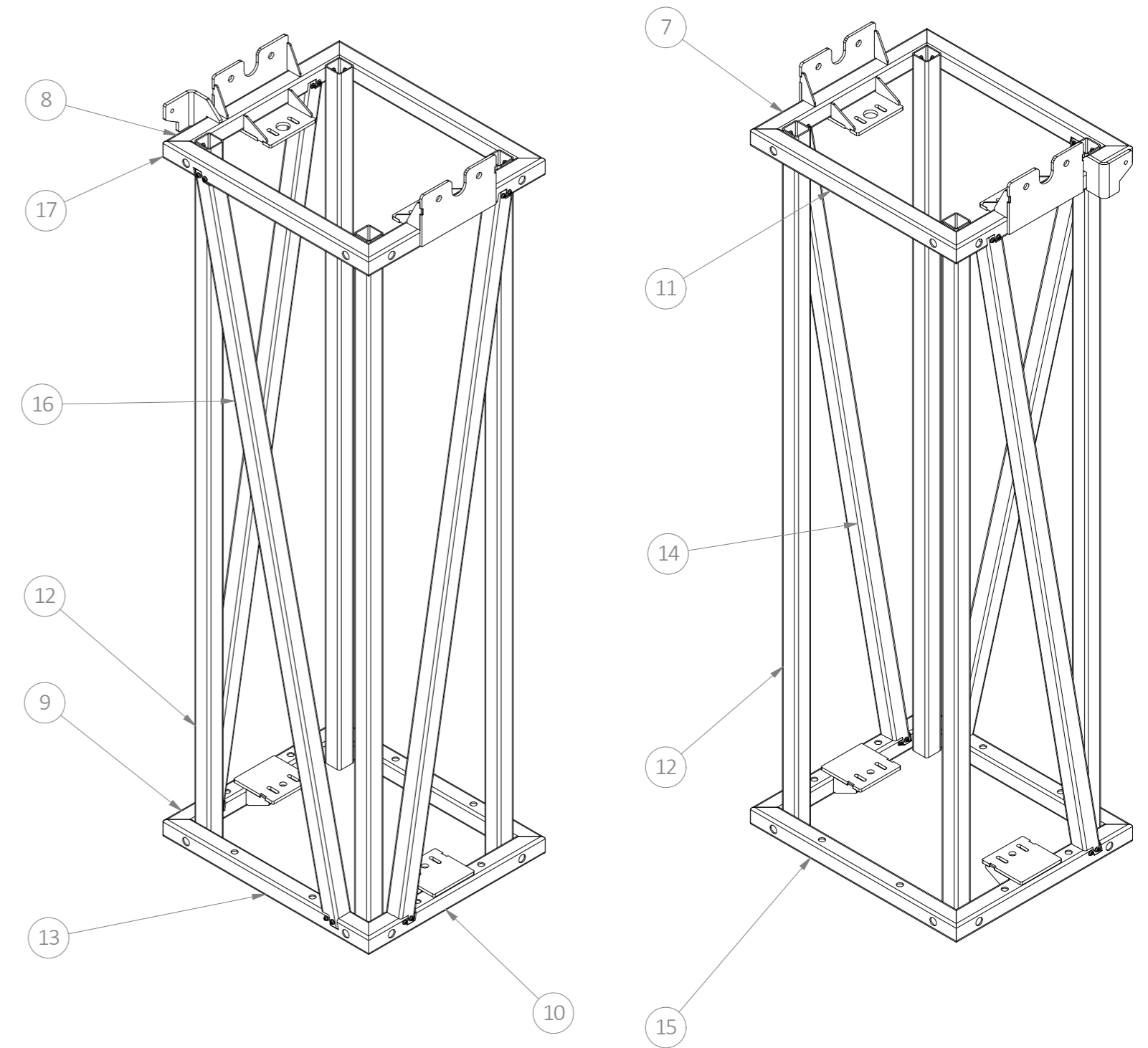
SECTION A-A (1 : 20)



DETAIL B (1 : 2)

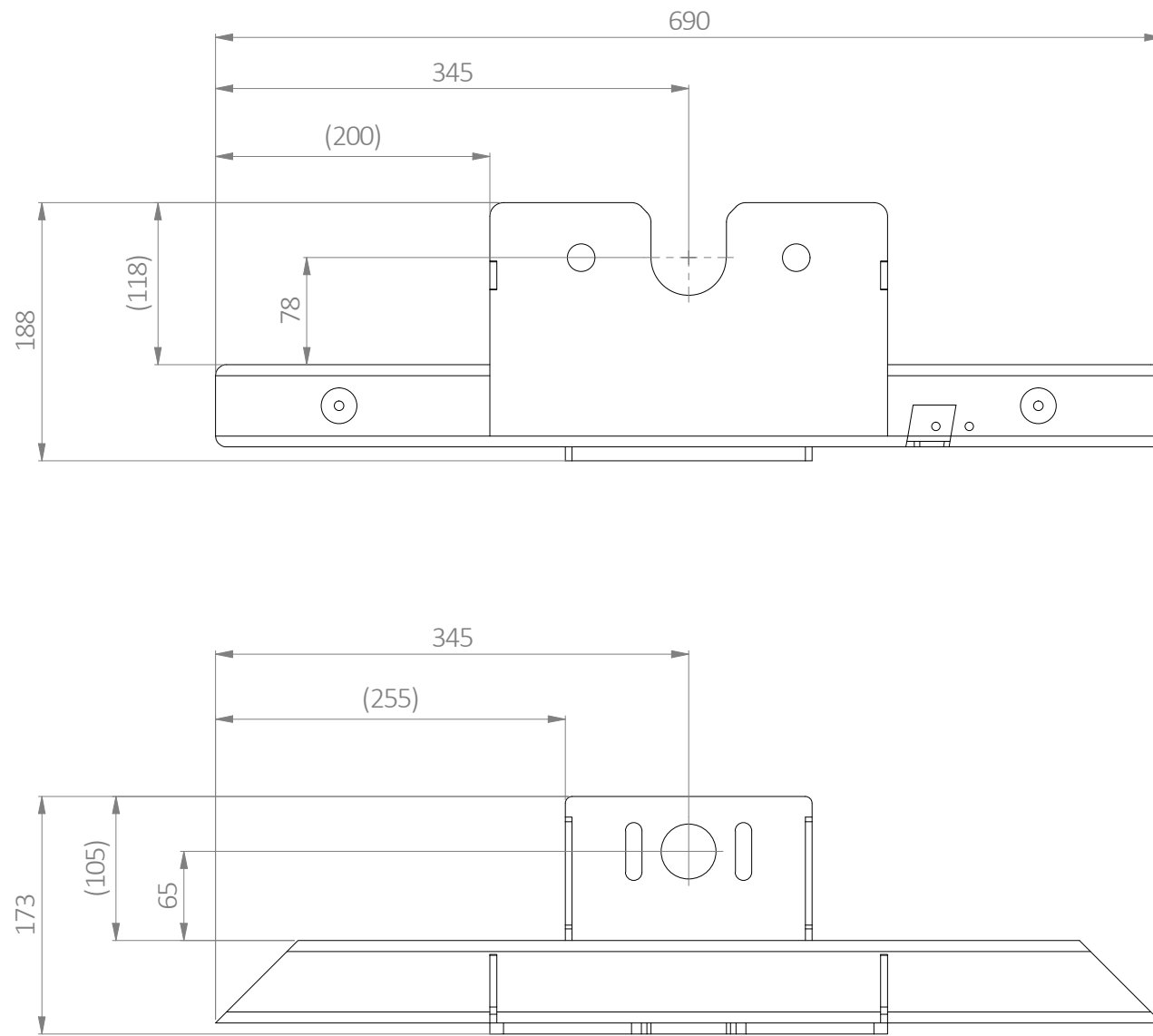


Pos.	Detail nr.	Description	Weight, kg	Quantity
1	ISO 4032 - M5 (8; Hot Zn)	Hex Nut	0,0	12
2	ISO 4032 - M6 (8; Hot Zn)	Hex Nut	0,0	16
3	ISO 4762 - M5 x 70 (8.8; Zn)	Hexagon Socket Head Cap Screw	0,0	12
4	ISO 4762 - M6 x 20 (8.8; Zn)	Hexagon Socket Head Cap Screw	0,0	16
5	ISO 7093 - 5	Large washer	0,0	24
6	ISO 7093 - 6	Large washer	0,0	32
7	JJ.01 - A005	Welded assembly	9,4	1
8	JJ.01 - A006	Welded assembly	10,8	1
9	JJ.01 - A007	Welded assembly	6,1	1
10	JJ.01 - A008	Welded assembly	6,1	1
11	JJ.01 - P016	Square tube 60 x 60 x 4; L=805 mm	5,0	1
12	JJ.01 - P017	Square tube 60 x 60 x 4; L=2360 mm	15,8	4
13	JJ.01 - P018	Square tube 60 x 60 x 4; L=805 mm	4,8	1
14	JJ.01 - P019	Square tube 60 x 60 x 4; L=2404 mm	15,4	2
15	JJ.01 - P020	Square tube 60 x 60 x 4; L=805 mm	4,9	1
16	JJ.01 - P021	Square tube 60 x 60 x 4; L=2429 mm	15,6	1
17	JJ.01 - P022	Square tube 60 x 60 x 4; L=805 mm	4,9	1

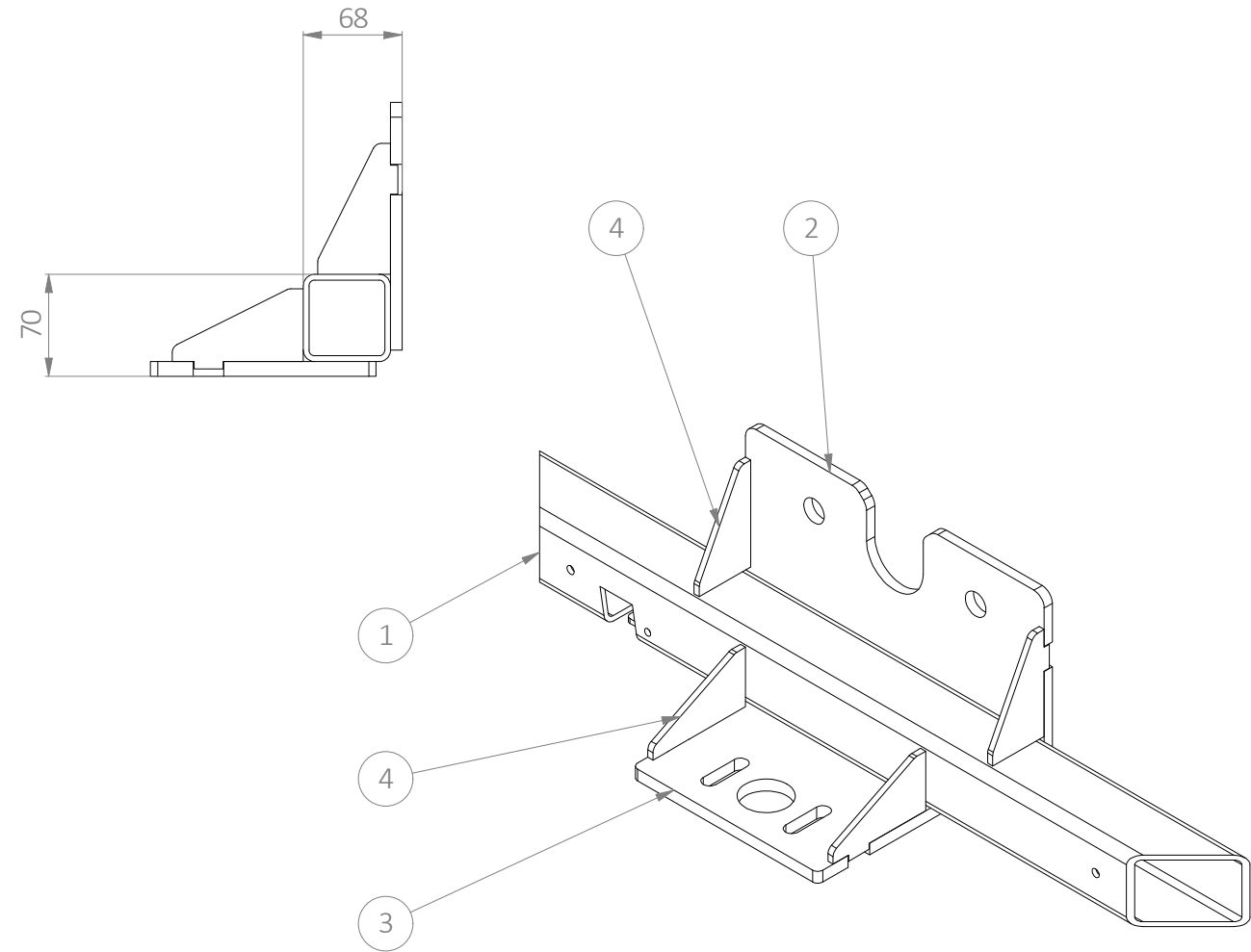


Torque for M5 bolts is 5,7 Nm.

Thread size	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30			
Torque	11 Nm	27 Nm	53 Nm	91 Nm	222 Nm	434 Nm	750 Nm	1480 Nm			
Strength class	8.8										
All unindicated unmachined surfaces: maximum Ra 12.5	Length	> 0.5	> 3	> 6	> 30	> 120	> 315	> 1000	> 2000	> 4000	> 8000
	Dimensions	... 3	... 6	... 30	... 120	... 315	... 1000	... 2000	... 4000	... 8000	...
All unindicated machined surfaces: maximum Ra 6.3	Machinings	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	
	Chamfers and radii	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	
Surface treatment	Bending	± 0.5	± 1.2	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6			
	Cutting	± 0.5	± 1	± 1.5	± 2	± 3	± 4	± 5			
Welded structures	± 1		± 2		± 3	± 4	± 5				
	Designed by	J. Jaansoo	03.01.2021	Material		Weight	Sheet	Scale	Size	Rev.	
	Checked by	J. Jaansoo	03.01.2021	Project		162.3 kg	1/1	1 : 20	A2	00	
	Approved by		03.01.2021	Project		JJ.01					
Drawing nr.		JJ.01 - A003		Description		Assembly					
General guidelines (drawing Guidelines) must be followed during production				Engineered by Revismo Engineering [www.revismo.com]							



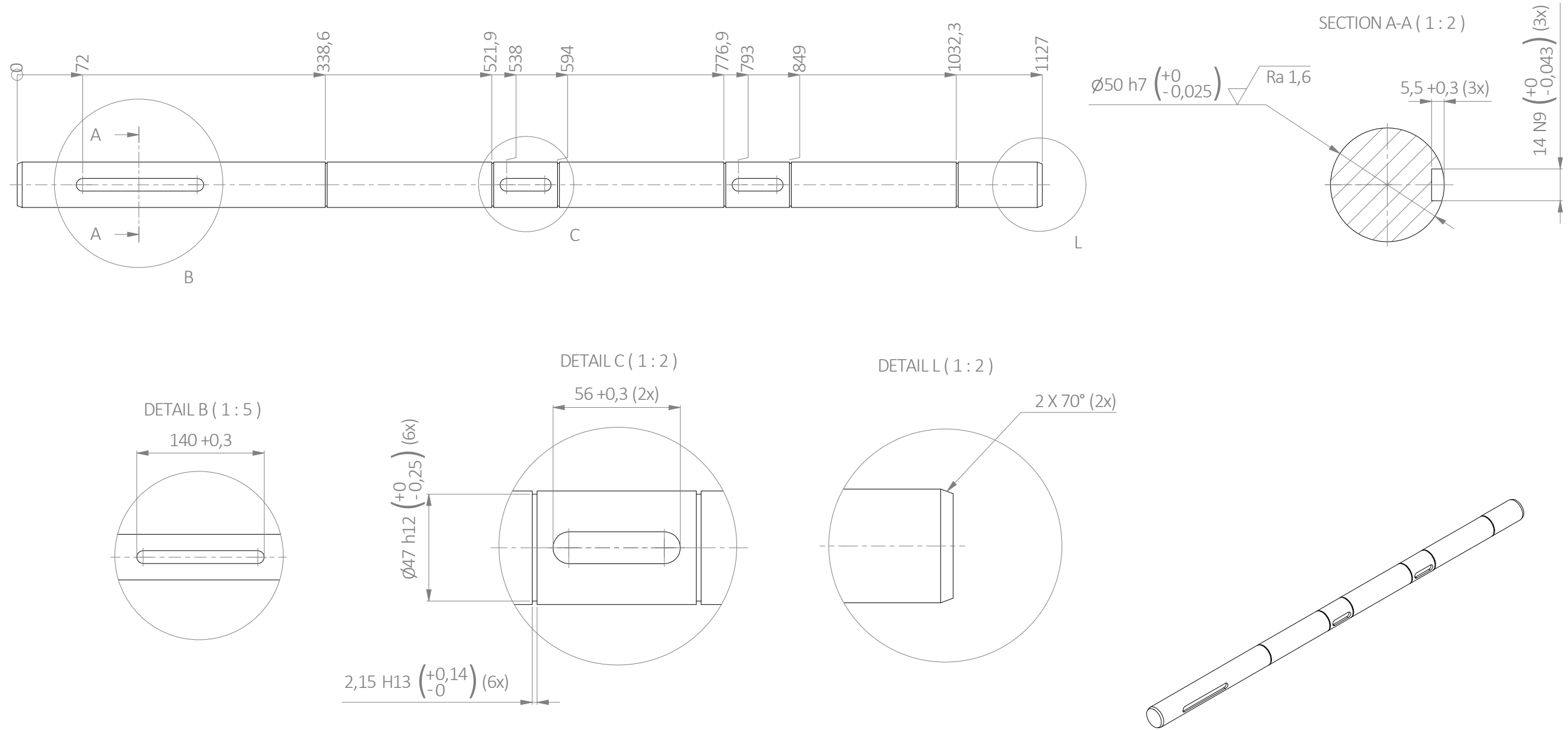
Pos.	Detail nr.	Description	Weight, kg	Quantity
1	JJ.01 - P030	Square tube 60 x 60 x 4; L=690 mm	4,1	1
2	JJ.01 - P031	Flat sheet; T=8	2,8	1
3	JJ.01 - P032	Flat sheet; T=10	2,0	1
4	JJ.01 - P033	Flat sheet; T=5	0,1	4



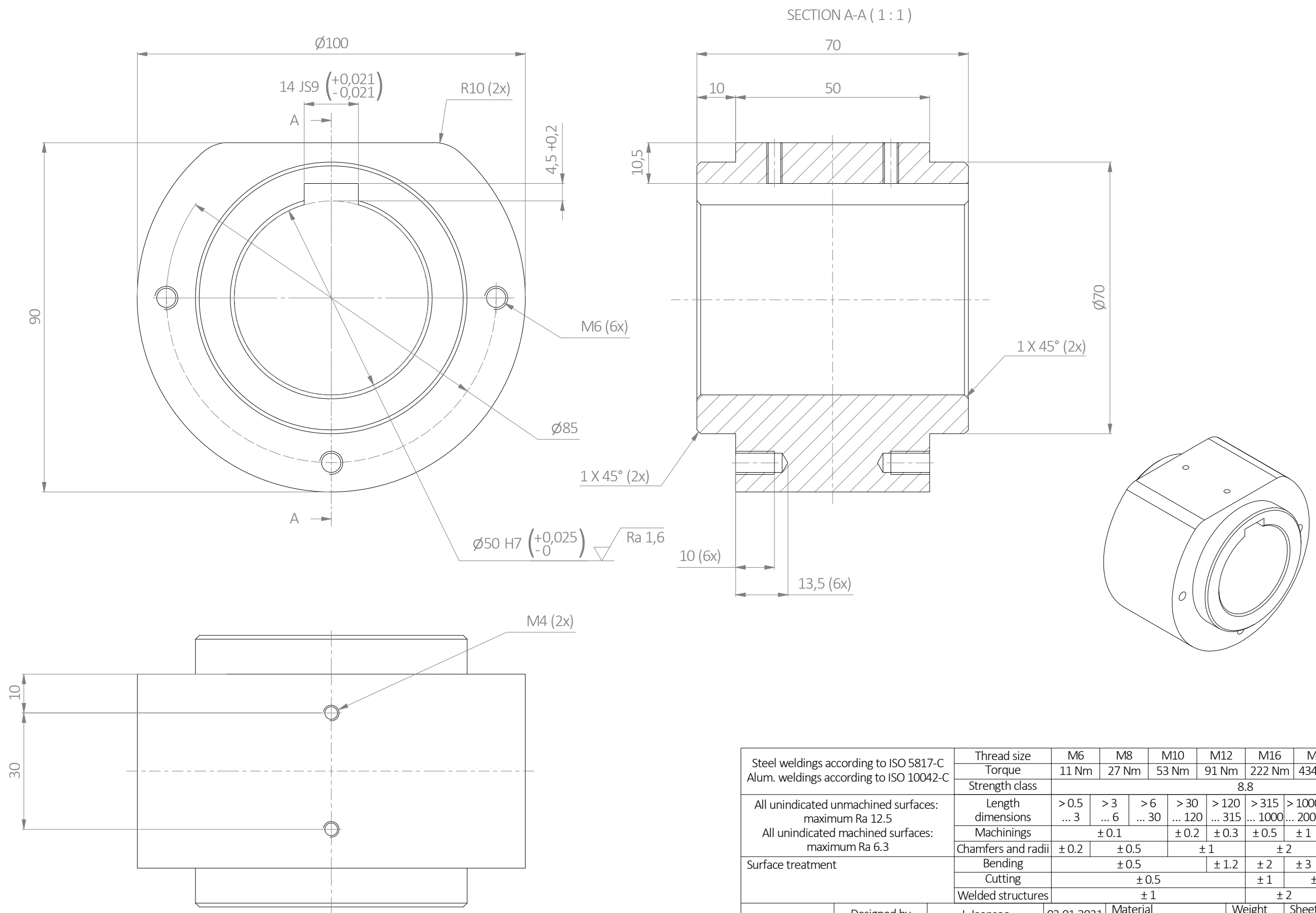
Welding information:

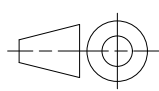
- All unindicated contours must be welded.
- Welding size has to be taken according to thinner material of the joint.
- The mechanical properties of the welding must be at least equivalent to those of the weaker material.

Steel weldings according to ISO 5817-C Alum. weldings according to ISO 10042-C	Thread size	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	
	Torque	11 Nm	27 Nm	53 Nm	91 Nm	222 Nm	434 Nm	750 Nm	1480 Nm	
Strength class	8.8									
All unindicated unmachined surfaces: maximum Ra 12.5 All unindicated machined surfaces: maximum Ra 6.3	Length dimensions	>0.5 ... 3	>3 ... 6	>6 ... 30	>30 ... 120	>120 ... 315	>315 ... 1000	>1000 ... 2000	>2000 ... 4000	>4000 ... 8000
	Machinings	±0.1		±0.2	±0.3	±0.5	±1	±2	±3	±4
Surface treatment	Chamfers and radii	±0.2	±0.5	±1	±2	±4	±5			
	Bending	±0.5		±1.2	±2	±3	±4	±5		
	Cutting	±0.5		±1	±1.5	±2				
Welded structures	±1		±2	±3	±4	±5				
	Designed by	J. Jaansoo	03.01.2021	Material -	Weight 9.4 kg	Sheet 1/1	Scale 1:5	Size A3	Rev. 00	
	Checked by	J. Jaansoo	03.01.2021							
	Approved by		03.01.2021							
Drawing nr. JJ.01 - A005				Project JJ.01						
Description Welded assembly				General guidelines (drawing Guidelines) must be followed during production						
Engineered by Revismo Engineering [www.revismo.com]										



Steel weldings according to ISO 5817-C Alum. weldings according to ISO 10042-C	Thread size	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	
	Torque	11 Nm	27 Nm	53 Nm	91 Nm	222 Nm	434 Nm	750 Nm	1480 Nm	
	Strength class	8.8								
All unindicated unmachined surfaces: maximum Ra 12.5 All unindicated machined surfaces: maximum Ra 6.3	Length dimensions	> 0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 315	> 315 ... 1000	> 1000 ... 2000	> 2000 ... 4000	> 4000 ... 8000
	Machinings	± 0.1		± 0.2		± 0.3		± 0.5		± 1
Surface treatment	Chamfers and radii	± 0.2	± 0.5		± 1		± 2		± 4	
	Bending	± 0.5			± 1.2		± 2	± 3	± 4	± 5
	Cutting	± 0.5				± 1		± 1.5		± 2
	Welded structures	± 1				± 2		± 3	± 4	± 5
	Designed by	J. Jaansoo	03.01.2021	Material		Weight	Sheet	Scale	Size	Rev.
	Checked by	J. Jaansoo	03.01.2021	Steel, C45E		17.2 kg	1/1	1:5	A3	00
	Approved by		03.01.2021	Project						
	Drawing nr.	JJ.01 - P005			Description					
					Machined part					
General guidelines (drawing Guidelines) must be followed during production				Engineered by Revismo Engineering [www.revismo.com]						



Steel weldings according to ISO 5817-C Alum. weldings according to ISO 10042-C	Thread size	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	
	Torque	11 Nm	27 Nm	53 Nm	91 Nm	222 Nm	434 Nm	750 Nm	1480 Nm	
	Strength class	8.8								
All unindicated unmachined surfaces: maximum Ra 12.5 All unindicated machined surfaces: maximum Ra 6.3	Length dimensions	> 0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 315	> 315 ... 1000	> 1000 ... 2000	> 2000 ... 4000	> 4000 ... 8000
	Machinings	± 0.1		± 0.2		± 0.3		± 0.5		± 1
Surface treatment	Chamfers and radii	± 0.2	± 0.5		± 1		± 2		± 4	
	Bending	± 0.5			± 1.2		± 2	± 3	± 4	± 5
	Cutting	± 0.5				± 1	± 1.5		± 2	
	Welded structures	± 1				± 2		± 3	± 4	± 5
	Designed by	J. Jaansoo	03.01.2021	Material Steel; C45E	Weight 2.4 kg	Sheet 1/1	Scale 1 : 1	Size A3	Rev. 00	
	Checked by	J. Jaansoo	03.01.2021							
	Approved by		03.01.2021	Project JJ.01						
Drawing nr. JJ.01 - P013				Description Machined part						
General guidelines (drawing Guidelines) must be followed during production				Engineered by Revismo Engineering [www.revismo.com]						