



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

AUTOMATISEERITUD PARKIMISMAJA LIFTI PROJEKTEERIMINE

DEVELOPMENT OF LIFTING MECHANISM FOR AUTOMATED PARKING GARAGE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Simo Siniroht

Üliõpilaskood: 183692MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur

Tallinn, 2020

(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.

“25” mai 2020

Autor: Simo Siniroht

(allkirjastatud digitaalselt)

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“25” mai 2020

Juhendaja: Toivo Tähemaa

(allkirjastatud digitaalselt)

Kaitsmisele lubatud

“.....”202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Simo Siniroht (sünnikuupäev: 25.05.1990)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Automatiseeritud parkimismaja lifti projekteerimine,

mille juhendaja on Toivo Tähemaa

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.

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

(allkirjastatud digitaalselt)

25.05.2020

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Simo Siniroht, 183692MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/18 Tootearendus ja tootmistehnika
Juhendaja(d): teadur, Toivo Tähemaa, 620 3252

Lõputöö teema:

Automatiseeritud parkimismaja lifti projekteerimine

Development of lifting mechanism for automated parking garage

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Liftisüsteemi lahenduse väljatöötamine
2. 3D mudelite loomise ja simuleerimise oskuse arendamine
3. Oskus leida tooteid ja neid rakendada mehhanismi projekteerimisel
4. Toodete ja lahenduste väljatöötamise käigus suhtlus välisriikide spetsialistidega

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Informatsiooni kogumine liftisüsteemide kohta	01.03.20
2.	Lõputöö sisu loomine, lahenduste väljatöötamine	01.04.20
3.	Lõputöö koostamine ja vormistamine	25.05.20

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai 2020 a

Üliõpilane: Simo Siniroht (allkirjastatud digitaalselt) "25" mai 2020a

Juhendaja: ".....".....202....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....202....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....202....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

1.	SISSEJUHATUS	7
2.	AUTOMAATSE PARKIMISMAJA KONSEPTSIOON	9
2.1	Projekteeritav lift	10
3.	LIFTI ALUSKONSTRUKTSIOON	11
3.1	Töödeldud konstruktsioonielementide servad	12
3.2	Keevitus.....	13
2.1	Materjal	13
3.3	Lifti konstruktsiooni arvutused	14
3.4	Lifti mootorid	15
3.5	Trosside kinnitused.....	17
3.6	Lifti juhtrattad	18
4.	LIFTI PEAL LIIKUV PÖÖRDALUS	20
4.1	Alumine horisontaalne alus.....	21
1.1	Konstruktsiooni tugevus	22
1.2	Rattad ja veomootorid.....	22
1.3	Veomootori, veovõlli ja reduktori leidmine	23
1.4	Pöördosa abirataste tugikonstruktsioon	28
1.5	Pöördering.....	30
1.6	Pööramise mootor	32
4.2	Ülemine pöördosa	37
4.3	Ülemine ettenihkuv osa.....	38
1.1	Lineaaraktuuaator	39
1.2	Platvormi rattad	41
5.	ELEKTRIOSA	43
5.1	Lifti mootorite juhtimine.....	43
5.2	Horisontaalselt liikuva aluse juhtimine	43
5.3	Pöördosa juhtimine.....	44
5.4	Ettenihkuv platvorm	44
6.	KOMPONENTIDE KOONDTABEL	45

KOKKUVÕTE	46
SUMMARY	47
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	48
LISAD	50

1. SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida automatiseeritud parkimismaja lift.

Automatiseeritud parkimismajad on laialt levinud Euroopa, Ameerika Ühendriikide ja Aasia suurlinnades, kus kruntide hinnad on väga kõrged ja traditsioonilised parkimismajad mahutavad liiga vähe sõidukeid, või kui võimaliku loodava hoone struktuur, või geograafiline asend ei võimalda luua tavalist parkimismaja. Lisaks olukordades, kus on vajalik säilitada olemasoleva hoone konstruktsioon, kuid mis algselt pole ette nähtud parkimismajaks. Parkimiskohtade arvust sõltub ka loodava hoone tasuvus, ning kui automatiseeritud lahendusi kasutades on võimalik mahutada samale pinnale rohkem sõidukeid, on see kasulik valik. Reeglina avatud maapinnale on soodsam ehitada traditsiooniline parkimismaja samas, kui maa aluse parkimismaja puhul on mõistlikum kasutada automatiseeritud lahendust jättes maapinnale vaid vastuvõtu ruumi.

Kui tavalistes parkimismajades tuleb kliendil leida oma sõidukile ise parkimiskoht ja see parkida, siis automatiseeritud parkimismajas on kogu protsess automaatne. Kliendi hooleks jääb vaid sõiduk parkida vastuvõtu alas tähistatud kohta, ning süsteem hoolitseb kõige eest.

Automatiseeritud parkimissüsteemidel on mitmeid eeliseid:

- Ohutu sõidukite kasutajatele. Reisijad ei pea jalutama läbi parkimismaja väljapääsu suunas, ning olema ettevaatlikud teiste sõidukite suhtes.
- Turvaline sõidukitele. Autodele pole kõrvalistel isikutel ligipääsu, mis tähendab, et autodele ei teki parkimisest põhjustatud kahjustusi. Samuti on kaitstud teiste eest sõidukitesse jäetud esemed.
- Ruumi sääst. Automatiseeritud parkimismajas puuduvad sõiduteed, jalakäijate ala ning ruum, mis on ette nähtud autosse sisenemiseks ja väljumiseks.
- Keskkonnasääst. Traditsioonilistes parkimismajades tuleb parkimiskoha leidmiseks ja sinna sõitmiseks kasutada sõiduki enda energiat, mis toob kaasa väljalaskegaaside tekke. Suurema sõidukite hulga juures muutuvad heitgaasid juba inimeste tervisele ohtlikuks. Kui harilikus parkimismajas tipptunni aeg istuvad inimesed autodes pikas järjekorras oodates väljapääsu parkimismajast, siis automaatses parkimismajas ootavad kliendid mugavalt tagastusruumi fuajees istudes tekitamata sellega keskkonnale kahju.
- Kulude säästmine. Valgustuse ja ventilatsiooni osatähtsus on automatiseeritud parkimismajades kordades väiksem.
- Aja võit. Parkimiskoha otsimine on alati tüütu tegevus, mis võtab kasutajal aega. Automaatse süsteemi kasutamise juures on ajakulu minimaliseeritud nii autot parkides, kui ka selle tagastamise käigus.

Lisaks kõigele positiivsele on ka automatiseeritud süsteemis puudujääke. Peamisena võib välja tuua tehnika ja elektroonika vastupidavuse. Mistahes rikke korral on üpris keeruline sõidukit kätte saada ja reeglina tuleb oodata tehnikut, kes kõrvaldab tekkinud probleemi. Samuti on enamasti võimatu ennustada kaua probleemi kõrvaldamine aega võtab. Oskamatud kliendid võivad samuti tekitada probleeme süsteemi töös, kui unustatakse sõiduk vastuvõtus registreerida või üritatakse parkida suuremat sõidukit, kui eeskiri ette näeb.

140-kohalise parkimismaja automatiseeritud osa projekteeritakse kasutamiseks Ameerika Ühendriikides juba olemasolevasse hoonesse. Eelnevalt on kindlaks määratud hoone sisemine konstruktsioon koos mõõtudega, mis on lõplikud ja mida tuleb aluseks võtta automaatika väljatöötamisel. Kogu automatiseeritud osa projekteeritakse Eesti Vabariigis ja projektis kasutatavad materjalid on pärit Eesti kaubandusvõrgust või on tellitavad interneti vahendusel, kui pole märgitud teisiti.

Diplomitöös käsitletav lift on osa automatiseeritud lahendusest. Parkimismaja üldine konseptsioon on kliendi poolt eelnevalt paika pandud. Eraldi väljatoomist väärrib nõue, et kogu automatiseeritud süsteem kasutaks töötamiseks vaid elektrienergiat. Seega on välistatud hüdraulilised ja pneumaatilised lahendused. Parkimismaja on täisautomaatne, mis tähendab, et kogu protsessi juhivad andurid, täiturid ning arvuti. Kogu protsess hakkab toimuma järgmiselt: klient pargib sõiduki vastuvõtu ruumi, ning lahkub sõidukist. Kui klient on kinnitanud parkimise soovi, liigub sõiduk automatiseeritud mehhanismi abil liftile, ning lift tõstab sõiduki sellele korrusele, kus on lähim vaba parkimiskoht. Vajadusel liigutatakse teist sõidukit ühe koha võrra mahutamaks viimati saabunud sõiduk vabale kohale. Sõiduki tagastuseks tuleb kliendil sisestada parkimispilet, mille abil süsteem tuvastab sõiduki asukoha. Lift liigub soovitud korrusele ja soovitud parkimiskoha ette. Kui tagastatava sõiduki ees asub teine sõiduk, siis süsteem paigutab ees asuva sõiduki järgmisele vabale kohale, kusjuures süsteem salvestab ringi pargitud sõiduki uue asukoha. Seejärel liigub lift uuesti tagastatava sõiduki juurde, ning sõiduk liigutatakse liftile. Lift liigub tagastusruumi juurde, kus sõiduk liigutatakse tagastusruumi. Vajadusel pööratakse sõiduk liftil 180 kraadi ringi sõidusuunaga väljapääsu suunas. Kui andurid on tuvastanud, et sõiduk on teisaldatud liftilt, sulgub liftišahti poolne uks ning avaneb väljasõidu poolne uks mille kaudu klient pääseb auto juurde. Klient istub autosse ning lahkub parkimismajast. Esialgne sõiduki kliendile tagastamise kiirus on 1 minut. Lifti projekteerimisel kasutatakse Tallinna Tehnikaülikoolis magistriõppel omandatud teadmisi.

2. AUTOMAATSE PARKIMISMAJA KONSEPTSIOON

Loodava parkimismaja projekti järgi mahutab hoone kokku 140 sõidukit. Parkimismaja on 8-kordne ning igale korrusele mahub 20 autot. Erandiks on teine ja kolmas korrus, kus asub vastuvõtu ja tagastusala. Sõidukid on paigutatud igal korrusel kahes reas, kus tagumistele sõidukitele ligi pääsemiseks tuleb liigutada ees asuvat sõidukit. Juhul, kui kõik 140 kohta on hõivatud, paigutab süsteem eesoleva sõiduki vastuvõtu ruumi ajaks, kui soovitud sõiduk on oma kohalt teisaldatud tagastusruumi. Seejärel vastuvõturuumis asuv sõiduk tagastatakse esimesele vabale kohale, mis antud juhul on koht, kus sõiduk eelnevalt teisaldati.

Parkimismaja alumised kolm korrust erinevad ülejäänud korrustest kõrguse poolest. Kolmandale korrusele on võimalik parkida sõidukid, mille kõrgus ei ületa 1930 mm. Teisele korrusele pargitava sõiduki maksimaalne kõrgus on 2020 mm ning kõige esimesele korrusele saab parkida sõidukid kõrgusega kuni 2420 mm. Kõrguse tuvastamine toimub sõiduki vastuvõturuumis vastavate andurite abil.

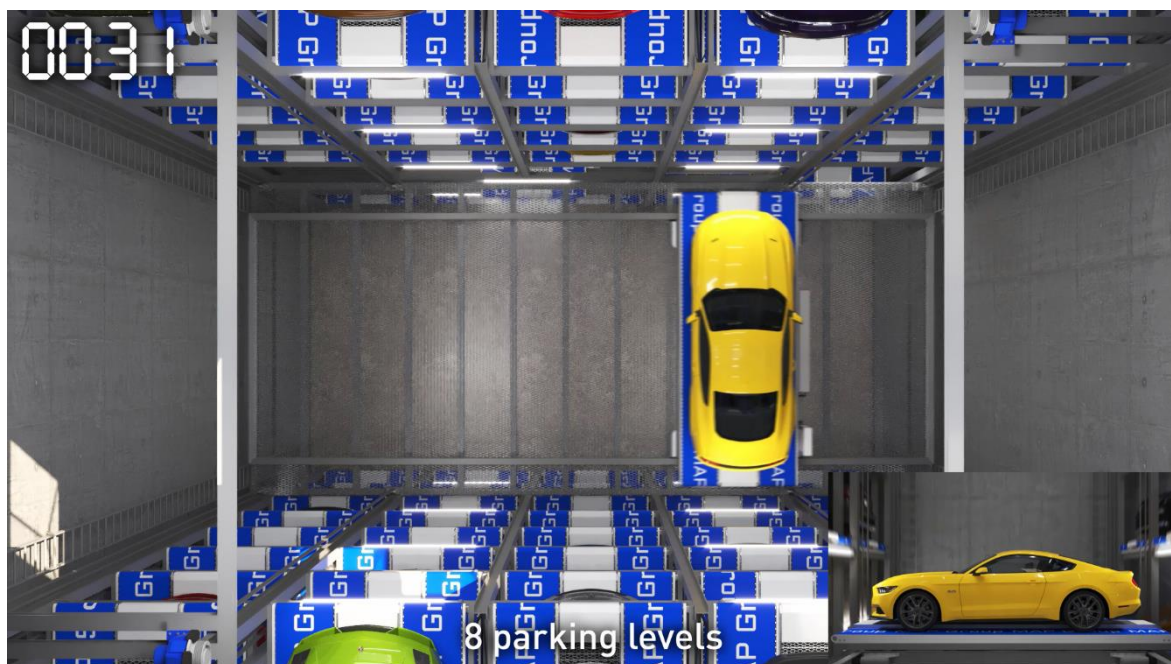
Sõidukite vastuvõturuumis asub platvorm rullikutega, kuhu klient pargib sõiduki. Parkimist abistavad andurid, mis tuvastavad sõiduki asukoha ja annavad tagasisidet juhile korrigeerimaks sõiduki asendit. Juht on kohustatud aktiveerima parkimispiduri ning sulgema kõik ukсед ja luugid. Kui juht on sõidukist lahkunud ja registreerinud parkimise, liigutavad mootoriga varustatud rullikud sõiduki liftile, kus on sarnane platvorm rullikutega. Parema ja vasaku poole rullikuid juhib üks mootor seega on välistatud võimalus, et sõiduk kaldub kõrvale. Kui andurid on tuvastanud, et sõiduk asub lifti platvormi keskel, seiskuvad platvormi rullikute mootor ja sõiduk koos platvormiga liigutatakse vastuvõtu ruumi platvormist eemale keskmisesse asendisse. Lift alustab liikumist õigele korrusele. Horisontaalse aluse mootorite abil liigub sõiduk mööda lifti aluskonstruktsiooni õige parkimiskohani. Lifti platvorm liigutatakse parkimiskoha platvormi juurde ja käivitatakse nii lifti platvormi rullikute mootor, kui ka parkimiskoha rullikute mootor. Kui sõiduk on jõudnud parkimiskohale sõiduki asendi tuvastamise andurite vaatevälja, seiskub rullikute mootor. Lifti platvorm liigub tagasi keskasendisse ning lift on valmis järgmise sõiduki teenindamiseks.

2.1 Projekteeritav lift

Projekteeritav lift asub hoone keskel ja on võimeline korraga teenindama ühte sõidukit (Sele 2.1). Lifti projekteerimisel ja esialgse kavandi loomisel tuleb lähtuda eelkõige etteantud liftišahti mõõtudest. Hoone projekt näeb ette šahti mõõtudeks 13100x6050 mm ja kogukõrguseks 19,8 meetrit. Lifti maksimaalne lubatud kõrgus on 810 mm, mis tähendab seda, et esimese korruse parkimiskoha põranda ja liftišahti põranda vahe on 810 mm, kuhu peab mahtuma kogu lifti konstruktsioon teenindamiseks sõidukeid esimesel korrusel. Lifti esialgselt paika pandud liikumiskiirus on 0,7 meetrit ühe sekundi jooksul. Lift on rippuvat tüüpi, mis tähendab, et kogu konstruktsiooni hoiavad üleval liftimootorite trossid. Lukustid ei ole vajalikud, kuna lifti mootoritel on olemas pidurdus- ja lukustusfunktsioon. Lisaks on paigaldatud juhtrullid lifti konstruktsiooni toetama, mis hoiavad lifti stabiilsena.

Töö käigus tekkis mitmeid võimalikke lahendusi nii konstruktsiooni, kasutatavate metalliprofiilide, kui ka mootorite osas. Metallkonstruktsiooni väljatöötamise käigus tulid esile mitmete lahenduste negatiivsed mõjud, nagu konstruktsiooni raskus, jäikus ja koostamiskeerukus. Üheks näiteks on esialgselt valitud 12500 mm metalltala keerukus transportimisel objektile mistõttu tuleb konstruktsioon koostada lühematest detailidest. Horontaalselt liikuva vahealuse väljatöötamisel tekkis samuti mitmeid võimalikke lahendusi. Kasutatavate rataste hulk, kasutatavate veomootorite kogus ja ülekande lahendused ning toetuspind, mida mööda vahealus liigub. Olulisel kohal oli ka koostöö erinevate ettevõtetega komponentide valikul.

Töö lõpuosas tabelis 6.1 asub nimekiri kõikidest lifti komponentidest.



Sele 2.1. Disaineri nägemus parkimismaja liftist (kuvatõmmis videost)

3. LIFTI ALUSKONSTRUKTSIOON

Lifti aluskonstruksioon on lifti põhiosa (Sele 3.1). Selle konstruktsiooni peale toetub horisontaalselt parkimiskohtade vahel liikuv pöördosaga vahealus. Aluskonstruksioon on kinnitatud kaheksast kohast trossidega lifti mootorite külge.

Lifti aluskonstruksioonile esitatavad nõuded:

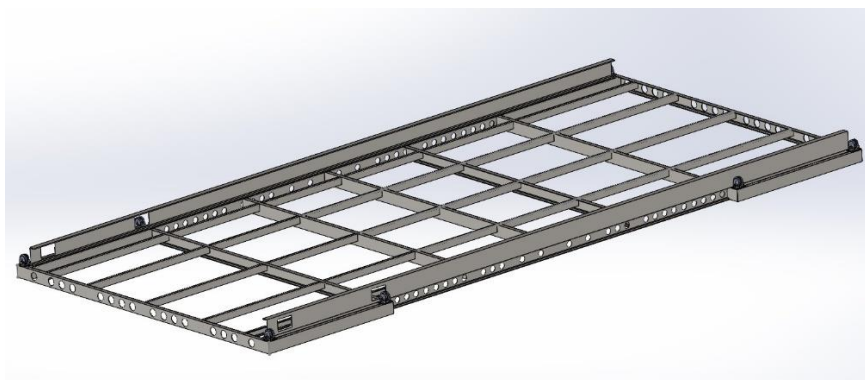
- Maksimaalsed gabariitmõõtmed 13100x6050 mm
- Konstruktsiooni orienteeruv kandevõime 6000 kg
- Võimalikult kerge konstruktsioon

Lõplikuks lahenduseks osutus koostada lifti alusraamistik U-tüüpi profiilist. Raamistiku gabariitmõõtmed on 12690x5900 mm. Põhistruktuur koosneb UPN200 profiil materjalist. Raamistiku keskele on tugevuse ja stabiilsuse eesmärgil lisatud UPN120 profiil mõõtudega 120x55. Raamistiku peale toetuvad UPN300 profiilist juhtreelsid, mis on vajalikud vahealuse horisontaalseks liigutamiseks. Allolevas tabelis 3.1 on välja toodud lifti alusraami detailid, nende mõõtmed ja kogused, mis omavahel keevisliitega ühendatakse. Kõik kasutatavad detailid on valmistatud lasertöötlemise teel, mis annab parema täpsuse. Tabeli andmete põhjal on lifti aluskonstruksiooni esialgne brutokaal 3925 kg. Alusraami koostejoonis asub lisa 11.

UPN profiilmaterjali kohta on rohkem informatsiooni lisa 1.

Tabel 3.1. Detailide tabel [2]

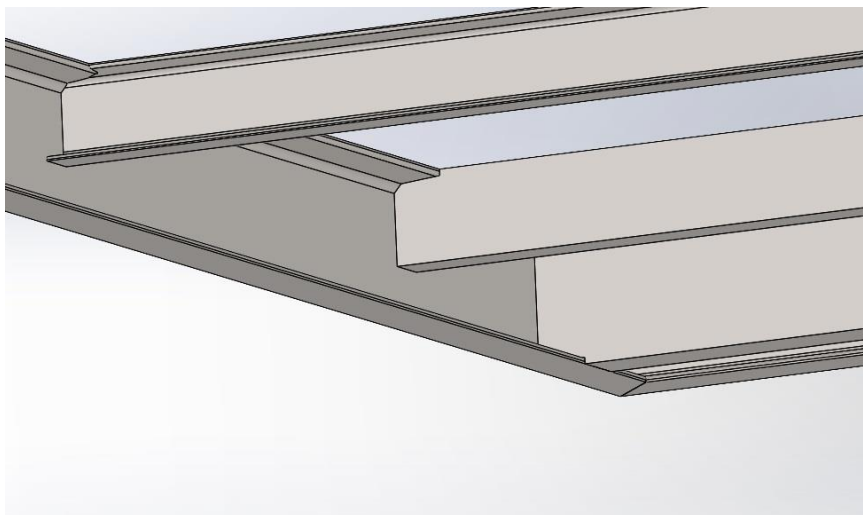
Detaili nimetus	Kaal, kg/m	Mõõdud, mm						Detaili kaal, kg	Pikkus, mm	Hulk, tk
		h	b	t _w	t _f	r ₁	r ₂			
UPN200	25,85	200	75	8,5	11,5	2	<1	69	2667	4
								68,5	2650	4
								190	7356	2
								152,5	5900	4
								140	5400	3
UPN120	13,65	120	55	7	9	2	<1	36	2650	10
								26,5	1925	10
								24	1745	5
								24	1736	5
UPE300	44,4	300	100	9,5	15	R 15		275	6200	4



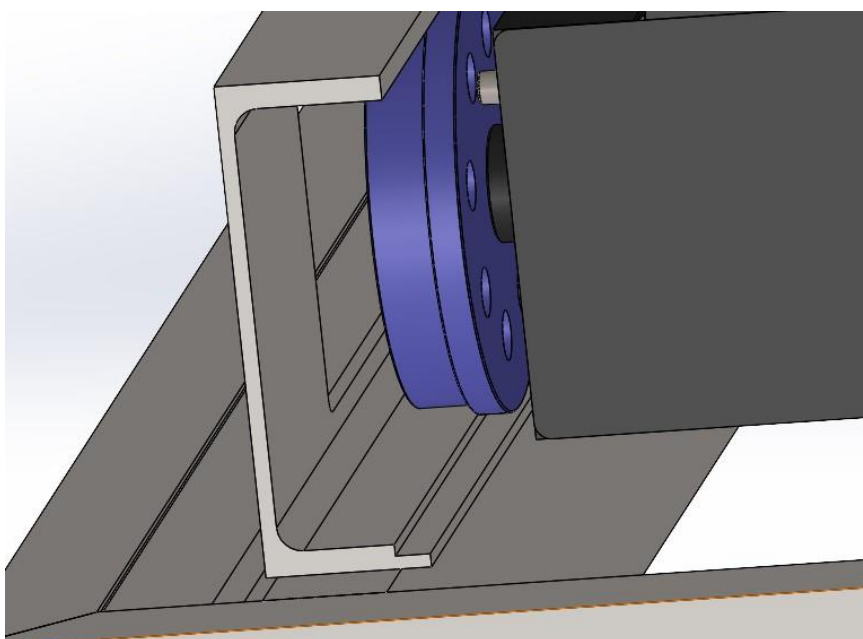
Sele 3.1. Lifti alusraam

3.1 Töödeldud konstruktsioonelementide servad

Kogu lifti konstruktsiooni koostamise eel tuleb paratamatult konstruktsiooni detaile enne töödelda. Selle eesmärk on suurendada kahe detaili vaheline ühenduspind, mis on vajalik detailide liitmisel keevisõmblusega. Üheks näiteks on on U-tala mahutamine teise U-tala sisse T-asetusega (Sele 3.2). Vahealuse juhtreelside rataste tarbeks on töödeldud faas (Sele 3.3).



Sele 3.2. T-asetus lifti konstruktsioonis



Sele 3.3. Rataste stabiliseerimiseks faasitud sooned

Kaalu säästmise eesmärgil on ka konstruktsiooni detailidesse töödeldud avad, mis ühest küljest muudavad konstruktsiooni jäigemaks, ning teisest küljest vähendavad konstruktsiooni kogukaalu.

3.2 Keevitus

Raamistiku detailide liitmisel on enim kasutatav nurkliite tehnika. Lifti alusraami detailide kokkuliitmisel kasutatakse MMA ehk käsikaarkeevituse tehnoloogiat. Tehnoloogia eelisteks on kasutusmugavus nii sise- kui ka välistingimustes, hea transporditavus ning ka hea ligipääsetavus keerulistes kohtades ja loomulikult ka õmbluse hea kvaliteet. Need on üheks eeliseks, kuna alusraam tuleb koostada objektil kohapeal. Käsikaarkeevitusel tekib räbu, mistõttu ei ole see väljanägemiselt võrreldav näiteks MiG keevisõmblusega, kuid antud konstruktsiooni koostamisel ei ole keevisõmbluse väljanägemine oluline, kuna enamik ühenduskohti on varjatud kohtades.

2.1 Materjal

Lifti konstruktsioonielementide materjaliks on valitud konstruktsiooniteras tähisega S355J2.

Konstruktsiooniterase S355J2 positiivsed omadused [1]:

- Head keevitatavuse omadused
- Materjali hind
- Keskkonnasõbralik
- Tugev ja sitke, vastupidav kulumisele

Allolevates tabelites on välja toodud S355J2 keemiline koostis (tabel 3.2) ja mehaanilised omadused (tabel 3.3).

Tabel 3.2. S355J2 keemilised omadused [1]

Keevitatavus		C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%
CEV 0.47max	Max	0.2	0.55	1.6	0.030	0.030	0.55
Pcm 0.35max							

Tabel 3.3. S355J2 mehaanilised omadused [1]

Mõõde, mm	Voolavuspiir min, MPa	Tõmbe-tugevus min, MPa	Katkeveni-vus A5, %	Kõva-dus	Löögitugevus min.
<16	355	470-630	22	140-190 HB	-20°C 27J
16<40	345		22		
40<63	335		21		
63<80	325		20		
80<100	315		20		

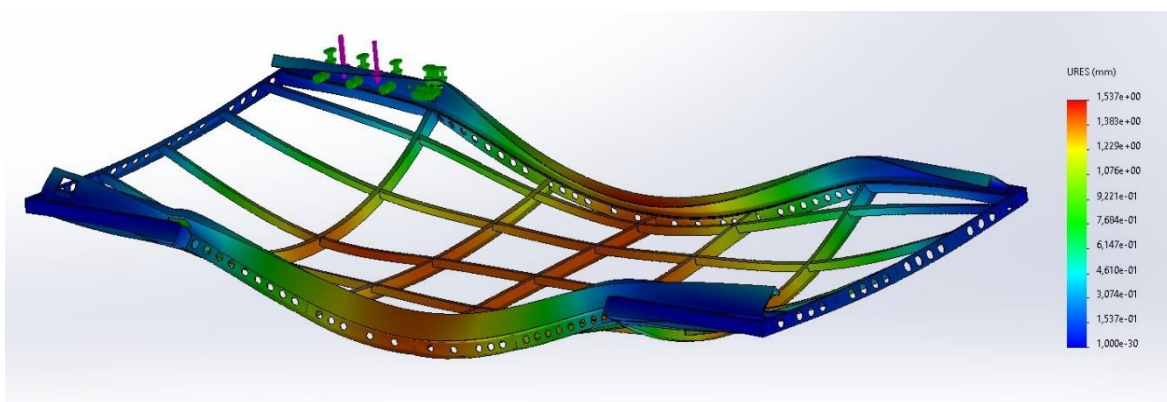
3.3 Lifti konstruktsiooni arvutused

Lifti konstruktsiooni tugevuse hindamiseks koostati programmi SolidWorks abil simulatsioon, kus fikseeriti raam lifti trosside kinnituskohadest ning koormati horisontaalaluse juhtreleid kokku 80 kN suuruse jõuga (Sele 3.4). Esiõlgel tulemusel maksimaalne hälve kogu konstruktsiooni ulatuses oli 1,459 mm. Vastavalt konstruktsiooni projekteerimise alustele (EU standard EN 1990:2002+A1) [15], tuleb lähtuda suurimast lubatud nihkeväärtusest (kuni 24 m pikkused konstruktsioonid) mis avaldub valemist:

$$\frac{l, mm}{300}$$

Antud juhul on selleks piirväärtuseks 43 mm, ehk konstruktsioon on piisavalt tugev ning seda võib optimeerida kaalu säästmise eesmärgil.

Kui lifti konstruktsiooni esialgne mass oli 3925 kg, siis simulatsioonide ja topoloogia optimeerimise tulemusena vähenes lifti aluskonstruktsiooni mass 83 kg. Seevastu hälve terve konstruktsiooni ulatuses tõusis 1,6 millimeetrit.



Sele 3.4 Aluskonstruktsiooni FEM simulatsioon

Maksimaalsed pinged kogu konstruktsiooni ulatuses on 68 Mpa, mis jäävad lubatu piiresse.

3.4 Lifti mootorid

Konstruksiooni tõstmiseks näeb esialgne kuvand ette kokku kaheksat lifti mootorit. Ettemääratud hoone konstruksiooni eripärade tõttu saab kasutada vaid 1:1 trossi suhet, mis lahtiseletatult tähendab seda, et kui lifti on vaja kümme meetrit tõsta, siis peab vastukaal liikuma sama palju alla. Vastukaalud kokku kompenseerivad 100 % lifti raskusest. Mootorite valikul on äärmiselt oluline arvestada ohutusteguriga. Kuna iseseisvalt mootorite ja lahenduse valik on aeganõudev ja keeruline rääkimata vastutuse suurusest, on mõistlik teha koostööd liftimootorite tootjatega. Üheks neist on Saksamaa ettevõtte Ziehl-Abegg SE, kelle müügidirektoriga koostöös sai üle vaadatud kogu lahendus ning kirjeldatud kõiki lifti nõudeid ja eripärasid. Valituks osutus mootor tähisega SM210.40D (Sele 3.5). Järgnevalt on välja toodud tabel tootja soovitusliku lahenduse parameetritega (Tabel 3.4). Lifti mootori joonis asub lisa 6.



Sele 3.5. SM210.40D lifti mootor

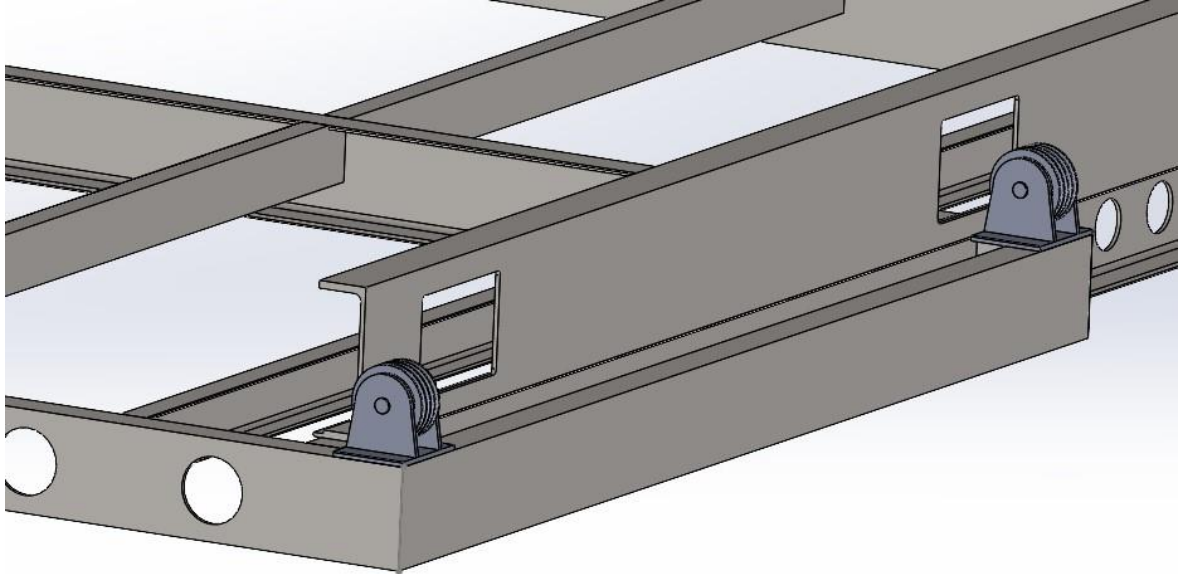
Liftisüsteemi lahendusena kasutatakse kokku kaheksat SM210.40D tüüpi mootorit, mis kokku kaaluvad 2456 kg. Üks mootor on varustatud nelja trossiga. Igal mootoril on eraldi vastukaal raskusega 1563 kg. Kaalud on välja arvestatud selliselt, et koormuseta lift on kergem, kui vastukaalude kogumass, ning täielikult koormatud lift ületab vastukaalude massi.

Tabel 3.4 Liftisüsteemi parameetrid

	Tähis	Mõõtühik	Väärtus
Nominaalkoormus (1 mootor)	Q	kg	1420
Vastukaalu mass	G	kg	1563
Tõstekiirus	v	m/s	0,7
Distantis (kõrgus)	H	m	20
Trossi suhe	is		1:1
Efektiivsus	etaS	%	82
Trossi tüüp	DRAKO 250 T [19]		
Trosside kogus	z		4
Trossi läbimõõt	ds	mm	8
Trossi mass	s	kg	21 (0,273 kg/m)
Trossi purunemiskoormus	B	N	43300
Trossiratta läbimõõt	Dtr	mm	320
Trossiratta laius		mm	122
Soone vahekaugus		mm	17
Minimaalne trossi kandepind trossirattal	min.	deg	180
Aluslöike nurk (undercut angle)		deg	70
Aluslöike laius (undercut width)	b	mm	4,59
Trossiratta soone nurk		deg	30
Min. ohutustegur trossidele			>12
Reaalne trosside ohutustegur			17,28
Mehaanilised ajami andmed			
Tootja	Ziehl-Abegg		
Mootori tüüp	SM 200.40D sünkroonmootor		
Versioon	ZAtop		
Veoratas	320/122/17/7x8/U70 mm		
Väljundvõimsus	457 Nm (max. 660)		
Staatiline telgkoormus	1808 kg (max. 3600)		
Pidurdussüsteemi andmed			
Piduri tüüp	Warner ERS VAR07 SZ800/800 2x800 Nm		
Aeglustus	1,43 m/s ²		
Mootori elektrotehnilised andmed			
Mootori võimsus	2 kW		
Käivitusvool start	12,6 A		
Kiirendades 0,4 m/s ²	15,8 A		
Kiirendades 1 m/s ²	22,4 A		
Kiirendades 0,7 m/s ²	19 A		
Keskmine jõukadu	0,42 kW (1515,55 kJ/h)		
Väljundvõlli pöörlemiskiirus	60 rpm		
Koormusmoment	457,4 Nm		
Mootori parameetrid			
Nimipinge	360 V		
Nimisagedus	16 Hz		
Nimi pöördemoment	600 Nm		
Nimikiirus	96 rpm		
Nimi väljundvõimsus	6 kW		
Nimivool	16,5 A		
Maksimaalne pöördemoment	1000 Nm		
Voolutarve max. pöördemomendil	32 A		
Mootori inertsjõud	0,310 kgm ²		
Võimalik kiirendus	1,83 m/s ²		

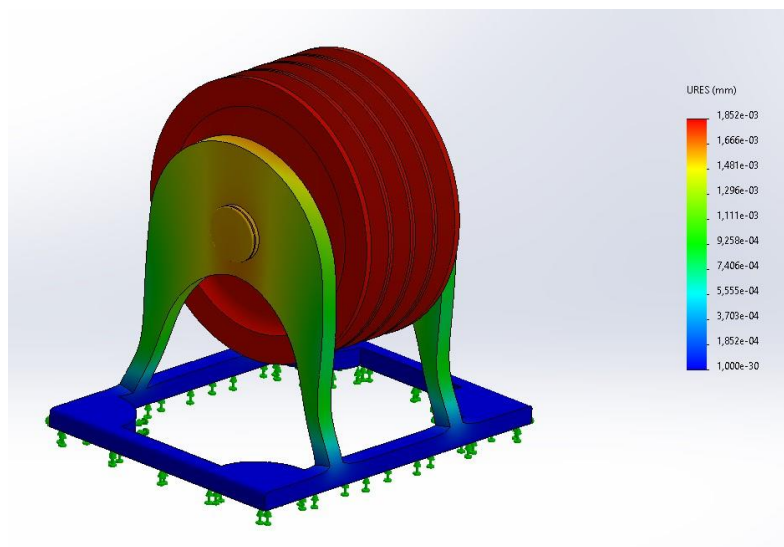
3.5 Trosside kinnitused

Liftimootorite trossid kinnituvad ühest otsast hoone konstruktsiooni külge ning teisest otsast lifti vastukaalu külge. Vahepeale jäävad lifti mootorid ja vabajooksurullid, mis kinnituvad alusraami külge (Sele 3.6).



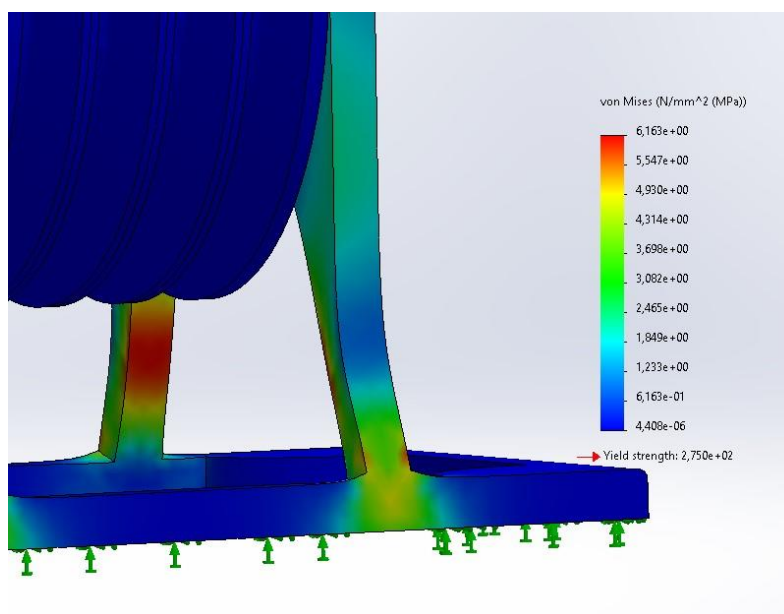
Sele 3.6. Trosside rullikud

Trosside ülekanderullikute eesmärk on ühendada lifti trossid lifti alusraamiga, seega hoida üleval kogu lifti konstruktsiooni. Igale rattale mõjub maksimaalne telgkoormus 1500 kg. Koost koosneb lifti trossirattast, kronsteinist ja võllist. Trossiratas tähisega PHP 4SPA150TB on ostutoode [16]. Ratta mõõtude joonis ja mõõtude tabel asub lisa 4. Kronsteini detailid lõigatakse valmis S355J2 terasest CNC tehnoloogia abil, ning koostatakse keevisliite abil. Kronsteini joonis asub lisa 10.



Sele 3.7. FEM simulatsioon trossiratta koostule programmis SolidWorks

SolidWorks programmi abil simuleeriti trossi ülekanderulliku koostule mõjuvaid jõudusid ja pingeid (Sele 3.7). Selleks fikseeriti kronsteini alusplaat, ning rakendati trossiratta völliile 20 kN suurune jõud, mis on 25 % suurem maksimaalsest lifti poolt trossirattale avaldatud jõust. Simulatsiooni abil oli võimalik optimeerida rulliku kinnituskronsteini kuju selliselt, et kronsteini kaal vähenes 56 % (võrdluseks Sele 3.3). Maksimaalsed nihkumised kogu koostu ulatuses toimusid peamiselt trossirattal, mis nihkus oma kohalt 0,001852 mm, mis on väga väike number. Suurimad pinged konstruktsioonis tekkisid kronsteini peenemates kohtades (Sele 3.8). Maksimaalsed pinged on 6,163 Mpa, võrdluseks antud terase voolavuspiir on 275 Mpa.

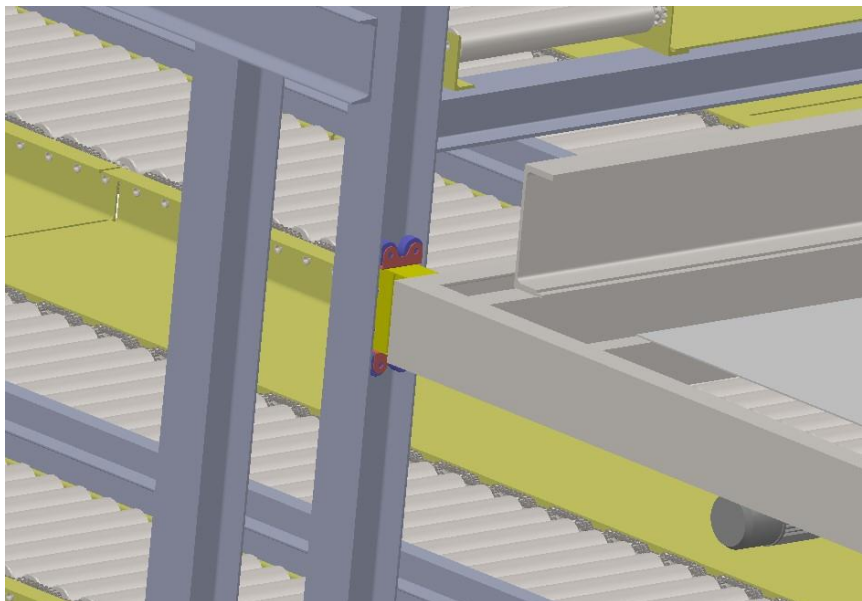


Sele 3.8. Maksimaalsed pinged trossi kanderatta koostus

3.6 Lifti juhtrattad

Lifti üles ja alla liikumisel on tähtsal kohal stabiilsus. Lift võib tööprotsessi käigus hakata ristisuunas liikuma. Selle liikumise vältimiseks on lifti raami servadele kinnitatud juhtrullikud, mis toetavad ja liiguvad mööda hoone konstruktsiooni (Sele 3.9). Rullikud on ostutooted, kuid korpused tuleb valmistada vastavalt joonistele. Kokku on igas toestuspunktis kahte tüüpi koostu. Esimese koostu rullikud takistavad lifti liikumist ristisuunas. Ühe punkti koost koosneb 50x90x194 mm karprauast, 70x96x194 mm U-profiilist mille sees on avad kahe ratta kinnitamiseks, ning kahest 96x120 lehtmetailist katetest. Koostus on kasutatud firma Blickle poolt toodetud rullikuid tähisega FPO HB 85x60/20-65K [5], ning iga rullik kannatab kuni 450 kg suurust raskust. Rullikute täpsemad andmed asuvad tabelis 3.5. Teise koostu rullikud takistavad lifti liikumist pikisuunas. Koost koosneb painutatud lehtmetailist, mille sees on avad rataste

kinnitamiseks. Rullikute tähis on FPO 60x25/15-13K [5]. Kokku kasutatakse seda koostu ühes punktis kaks (Sele 3.9).



Sele 3.9. Lifti tugirullikud

Tabel 3.5. Lifti aluskonstruktsiooni tugirullikute parameetrid [5]

Tähis	FPO 60x25/15-13	HB 85x60/20-65K
Ratta läbimõõt (D)	60 mm	85 mm
Ratta laius (T2)	25 mm	60 mm
Kandevõime	200 kg	450 kg
Telje ava (d)	15 mm	20 mm
Kinnitusosa pikkus (T5)	13 mm	65 mm
Mass, tk	0,1 kg	0,9 kg
Temperatuurikindlus	-25 kuni 80 °C	-25 kuni 70 °C
Tihend	70° Shore D	98° Shore A
Laagri tüüp	flantskinnitusega rullikud	

Lifti aluskonstruktsioonile horisontaalsuunas mõjuvad jõud on üpris minimaalsed, seega rataste kandevõime on enam kui piisav.

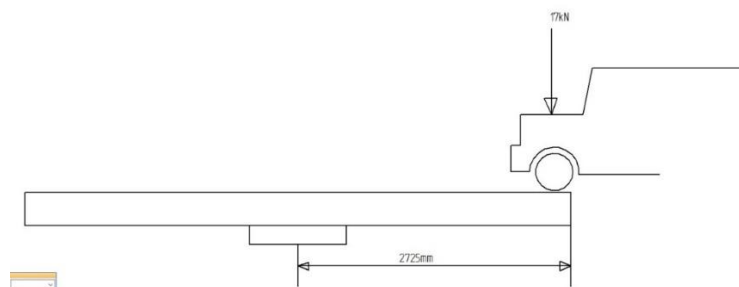
4. LIFTI PEAL LIIKUV PÖÖRDALUS

Liftisüsteemi üks keerulisemaid, ühtlasi ka kõige olulisemaid konstruktsioone on horisontaalselt liikuv vahealus, mis koosneb kolmest osast. Alumine pool, kuhu kinnituvad rattad, veomootorid ja pöördering. Keskmine osa, kuhu kinnitub pöörderingi teine pool, ning ülemine osa, mis kannab sõidukit ning mis kinnitub keskmise osa külge. Raamistiku koostamisel on suur osatähtsus mõõtude täpsusel. Sellest tulenevalt koostatakse kogu horisontaalselt liikuva pöördosa konstruktsioonid kasutades MIG-MAG tüüpi keevitustehnoloogiat. Gaasikeevitusel on suurem tootlikkus ja parem viimistlus kvaliteet, kui MMA-tüüpi keevitusel. Vahealuse raamistikud on võimalik koostada ka metallitöökojas ning need on võimalik hiljem transportida objektile. See muudab tootmisprotsessi kiiremaks, kuna samaaegselt on võimalik toota mitut konstruktsiooni. MIG-MAG keevituse kohta on rohkem informatsiooni lisa 3 all.

Vahekonstruktsioonile esitatavad nõuded:

- Maksimaalne kõrgus koos lifti alusraamiga 810 mm
- Kandevõime 4000 kg lisaks konstruktsiooni enda kaalule
- Maksimaalne pikkus (vastastikku asetseva parkimiskohtade vahe) 6046 mm

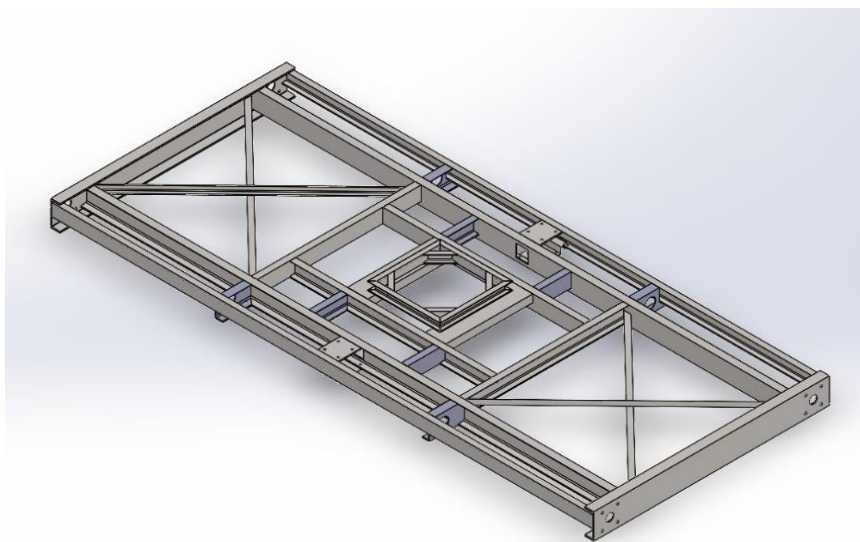
Veorataste lahendusi oli mitmeid alustades hammas- ja kettülekandest ning lõpetades igale rattale oma mootori paigaldamisega. Arutluste tulemusena osutus mõistlikumaks lahenduseks kasutada kahte mootorit ja need ühendada ratastega kasutades veovõlle. Kettülekande puudusteks on suur hulk liikuvaid ja hooldust vajavaid detaile. Nelja mootori korral on keeruline juhtimisprotsess ja mootorite sünkroniseerimine, mis tekitab lisakulu. Kahe mootori puhul ei ole üheaegne käivitus ja juhtimine keeruline. Vahealuse pöördmehhanismi väljatöötamise protsessis kujunes välja mitu lahendust. Mõistlikum on lahendus, kus kasutatakse aluse pööramiseks pöörderingi. Lisaks pöörderingile on ka vajalikud lisa tugirattad, mis toetavad ülemist osa pööramise käigus, kui sõiduki kaalujaotus on ebaühtlane, ning samuti sõiduki liftile laadimise käigus, kui lühikest aega toetub 70-80% kogu auto massist vaid pöördosale ühele servale (Sele 4.1). Pöörämist teostab reduktormootor.



Sele 4.1. Pöördosa jõudude jagunemise joonis

4.1 Alumine horisontaalne alus

Lifti horisontaalselt liikuva vahealuse alumine raamistik (Sele 4.2) on koostatud samuti U-tüüpi profiilist. Karkassi mõõdud on 5300x2300x250 mm. Alumise horisontaalse aluse servades kasutatakse kõrgema profiilimõõduga terastala, kuna seal paiknevad rattad, mis toetavad lifti aluskonstruktsioonile. Keskmine osa peab olema tänu pöördmehhanismile võimalikult madal, samas ka tugev. Siinkohal tuleb mahtuda eelnevalt mainitud 810 mm piiridesse. Kuna pöördering kannab kogu ülemise pöördosa ja sõiduki raskust, tuleb seda osa konstruktsiooni loomisel arvesse võtta. Konstruktsiooni koostamisel kasutatavate detailide nimekiri asub allolevas tabelis 4.1. Tabelist selgub ka esialgne raamistiku mass, mis on 741 kg. Konstruktsiooni montaažiks tuleb sooritada 113 keevisõmblust. Raamistiku koostejoonis asub lisa 12.



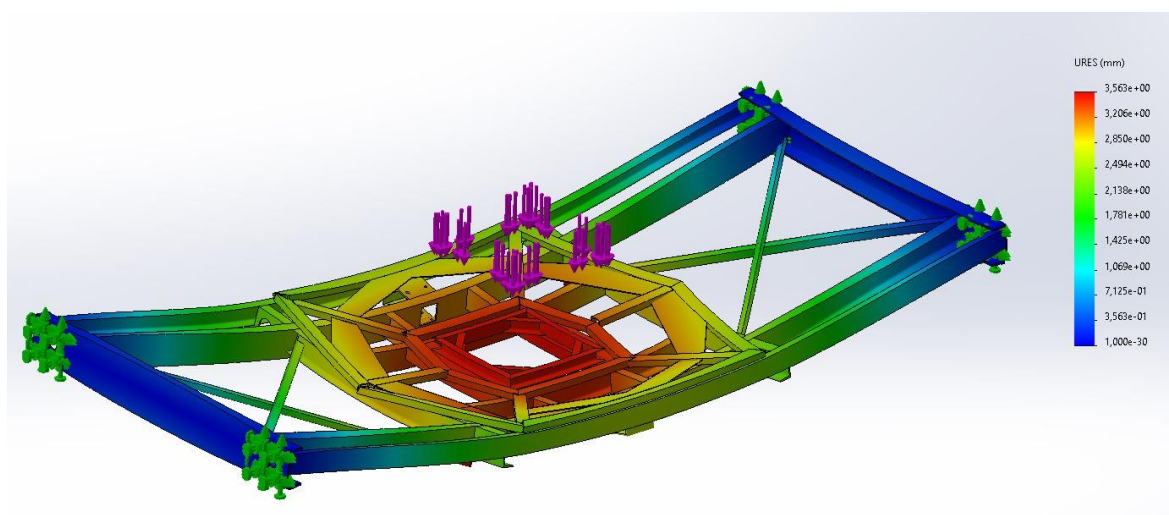
Sele 4.2. Lifti horisontaalse osa alumine raamistik

Tabel 4.1. Alumise vahealuse raamistiku detailitabel [2]

Detaili nimetus	Kaal, kg/m	Mõõdud, mm						Detaili kaal, kg	Pikkus, mm	Kogus, tk
		h	b	t _w	t _f	r ₁	r ₂			
C 250x90	34,8	250	90	9	13	2	1	80	2300	2
UPE 180	19,7	180	75	5,5	10,5	R 12		104	5282	2
								6,7	342	4
UPE 120	12,1	120	60	5,0	8,0	12		64	5282	2
UPN 140	16,08	140	60	7	10	10	5	26	1600	2
								32	1970	2
								6	368	4
UPN 200	25,85	200	75	8,5	11,5	2	<1	22	850	2
UPN 80	8,85	80	45	6	8	2	<1	6	710	4
								2	245	4
L nurk	3,8	50x50x5				7/2		9	2300	4

1.1 Konstruksiooni tugevus

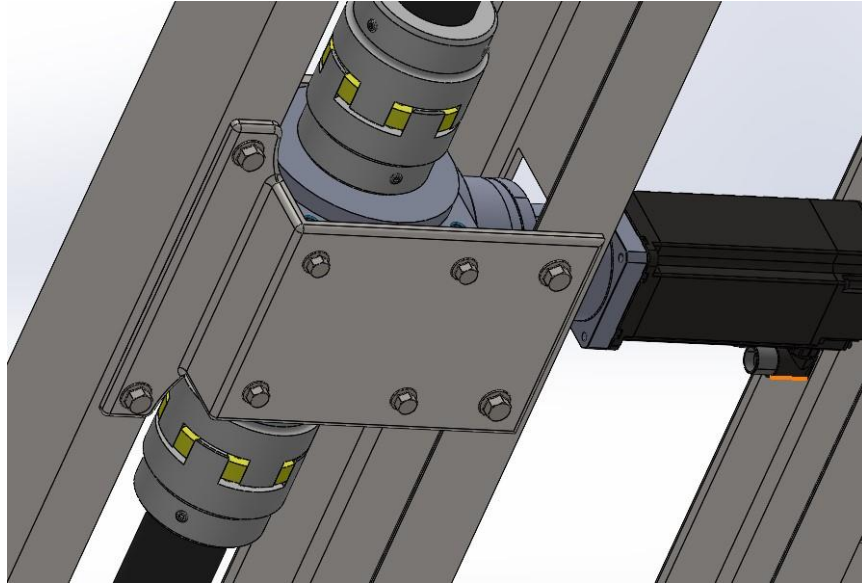
Programmi SolidWorks abil koostati alusraami mudel. Mudelile määrati materjal, ning sooritati lõplike elementide meetodi (FEM) abil konstruksioonile simulatsioon. Konstruksiooni väljatöötamise käigus sai sooritatud mitmeid simulatsioone samal ajal konstruksiooni järjepidevalt täiustades. Nagu simulatsiooni kuvatõmmiselt (Sele 4.3) selgub, siis suurimad jõud mõjuvad just pöörderingi piirkonnas. Piirkonnad, millele mõjuvad minimaalsed jõud, on võimalik kaalu säästmise eesmärgil töödelda avad. Konstruksioon fikseeriti rataste kinnituspunktidest ning 67 kN suuruse jõuga koormati ühtlaselt pöörderingi alune konstruksiooni osa. Lõpliku tulemusena moondub konstruksioon kõige enam just pöörderingi ümbruses ja suurim väärtus on 3,5 mm, mis on antud konstruksiooni ja massi juures hea näitaja. Konstruksiooni jäikuse ja tugevuse seisukohalt on oluline detail ka pöörderataste toetuskonstruksioon, mis keevitatakse raamile. Simulatsioon sooritati koos toetuskonstruksiooniga.



Sele 4.3. FEM simulatsioon vaheraamile

1.2 Rattad ja veomootorid

Konstruksiooni liigutamiseks on ette nähtud kaks vahelduvvoolu mootorit. Üks mootor ajab ringi kahte ratast mistõttu tuleb lisaks mootorile kasutada reduktorit (Sele 4.4), mille külge kinnituvad veovõllid. Vedavad võllid kinnituvad ühest otsast läbi siduri reduktori külge, ning teisest otsast flantskorpuse külge, mille sees on laager. Horisontaalselt liikuva vaheraami maksimaalne liikumiskiirus ei tohiks ületada 1 m/s. Ette on nähtud keskmiseks liikumiskiiruseks 0,5 meetrit sekundis, mis vähendab võimalikke tekkivaid inertsjõude. Aluse liikuma panek ja pidurdamine toimub sujuvalt, mis veelgi vähendab tekkivaid inertsjõudusid.



Sele 4.4. Reduktor ja selle kinnitus

1.3 Veomootori, veovõlli ja reduktori leidmine

Sobivate komponentide valiku eelduseks on piirväärtused, nagu minimaalne võlli jämedus või ratta diameeter. Selleks on vajalik teada eeldatav raskusjõud, mis mõjub aluskonstruktsioonile. Kogukaalu moodustavad raami konstruktsioon, pöördosa konstruktsioon, mootorite ja rataste massid, rullikutega platvorm sõidukile ning sõiduki enda maksimaalne lubatud mass. Kõik kokku moodustab see ligikaudu 7300 kg, mis jaguneb nelja ratta vahel. Seega on nõutud minimaalne koormustaluvus ühele rattale 1825 kg. Sama jõud mõjub ühtlasi ka ratta kõrval asuvalle flantslaagrile, ning nende vahel mõjuvad veovõllile löike- ja paindejõud. Nimetatud jõudude arvutamise teel on võimalik määrata minimaalsed dimensioonid võllidele ja ratastele. Ning sealt edasi ka reduktorile ja mootorile.

Paindemomendi määramine võllile (4.1):

$$M_{\tau} = F \times AB = 18 \times 0,042 = 0,756 \text{ kNm} \quad (4.1)$$

kus F = rattale mõjuv jõud, kN

AB = distant ratta ja võlli toetuspinna (laagri) vahel

Kuna ratta ja laagri vaheline võlli osa on üpris lühike, ei teki seal suurt paindemomenti. Järgmiseks tuleb leida ristlõike tugevusmoment kasutades valemit (4.2):

$$W = \frac{M_{\tau}}{\sigma_y} [S] = \frac{0,756 \times 10^3}{235 \times 10^6} \times 1,6 = 5,147 \text{ cm}^3 \quad (4.2)$$

kus σ_y - materjali voolepiir (S235)

S - varutegur, 1,5...2

Ristlõike läbimõõt tuleneb valemist (4.3):

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32[W]}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 5,15}{\pi}} = 3,74 \text{ cm} \approx 40 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Arvutuste tulemusena selgub, et võlli minimaalne lubatud läbimõõt on 40 mm.

Suurima paindepinge arvutamine (4.4):

$$\sigma_{max} = \frac{M_{\tau}}{W} = \frac{32M}{\pi D^3} = \frac{32 \times 0,756 \times 10^3}{\pi \times 0,04^3} = 120,3 \times 10^6 \approx 121 \text{ MPa} \quad (4.4)$$

Tugevuse kontroll (4.5):

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{235}{121} = 1,94 \geq [S] = 2 \quad (4.5)$$

Ühtlase võlli tugevus paindele on tagatud.

Suurima lõikepinge arvutamine kasutades valemit (4.6):

$$\tau_{max} = \frac{4Q}{3A} = \frac{16Q}{3\pi D^2} = \frac{16 \times 18 \times 10^3}{3 \times \pi \times 0,04^2} = 19 \times 10^6 = 19 \text{ MPa} \quad (4.6)$$

Arvutuse tulemusena selgub, et lõikepinge on võrreldes paindepingega mitu korda väiksem: $\tau_{max} = 19 \text{ MPa} < \sigma_{max} = 121 \text{ MPa}$

Kokkuvõtteks selgus arvutuste tulemusena, et veovõlli läbimõõduga 40 mm on piisav koormuse kandmiseks. Kuna lisaks koormusele kasutatakse võlli ka veojõu ülekandmiseks, tuleb valida võlli läbimõõt 1,75 varuga: $D_s = 1,75 \times D = 1,75 \times 40 = 70 \text{ mm}$. Ratta väikseim läbimõõt on reeglina 1,5 korda võlli läbimõõt, seega $D_w = 1,5 \times D_s = 105 \text{ mm}$. Antud konstruktsiooni juures kasutatakse ratas läbimõõduga 260 mm.

Horisontaalselt liikuva vahealuse liikumiskiirus on keskmiselt 0,7 meetrit sekundis. Selle aja jooksul teeb 260 mm läbimõõduga ratas 0,85 pööret, mis kokku on 51 pööret minutis. Seega peab reduktori väljundvõll tegema 51 pööret minutis. Mootori ja reduktori sobitamisel on valikus mitmeid kombinatsioone.

Vajalik pöördemoment horisontaalaluse liikuma panekuks avaldub valemist (4.7):

$$\tau_{start} = \frac{M \times G}{4} \times \frac{D_s}{2} = \frac{7200 \times 9,81}{4} \times \frac{70}{2} = 618 \text{ Nm} \quad (4.7)$$

kus M - konstruktsiooni mass

G - gravitatsioon

4 - vedavate rataste arv

2 - vedavate rataste arv ühe mootori järel

Aluse liikuma panekuks on vaja tekitada 618 Nm suurust pöördemomenti.

Redukti ülekandearvu määramiseks (valem 4.8) on vajalik teada ligikaudne mootori pöörlemiskiirus, mille väärtuseks on valitud esialgu 1800 rpm.

$$u = \frac{1800}{51} = 35 \quad (4.8)$$

Mootori vajaliku pöördemomendi arvutamine (4.9):

$$\tau_m = \frac{618}{35} = 17,6 \text{ Nm} \quad (4.9)$$

Arvutustest selgub, et horisontaalaluse liikuma panekuks on vajalik mootoril rakendada hetkeliselt 17,6 Nm suurust pöördemomenti. Toetudes nendele näitajatele on võimalik välja valida kasutatav reduktor ja mootor.

Kasutatavaks mootoriks on firma ABB poolt pakutav 8LSA44 tähistusega kolmefaasiline sünkroonmootor (Sele 4.5.) [6]. Mootori parameetrid asuvad järgnevas tabelis (Tabel 4.2.). Eraldi väljatoomist väärib asjaolu, et mootori nominaalne pöörlemiskiirus on suurem, mis tähendab, et vahealuse liikumiskiirust on võimalik vajadusel tõsta. Mootori joonis asub lisa 7.

Tabel 4.2 Mootori 8LSA44.ee022ffgg-3 parameetrid [6]

Nominaalkiirus	2200 rpm
Pooluspaaride arv	5
Nimi pöördemoment	5,2 Nm
Nimivõimsus	1198 W
Nimivool	2,3 A
Seiskamise pöördemoment (Stall torque)	6 Nm
Seiskamise vool (Stall current)	2,7 A
Maksimaalne pöördemoment	22,8 Nm
Maksimaalne tarbitav vool	16,1 A
Maksimaalne kiirus	12000 rpm
Pöördemomendi konstant	2,22 Nm/A
Pingekonstant	134,04 V/1000 rpm
Inertsmoment	2,73 kg/cm ²
Mass	5,4 kg

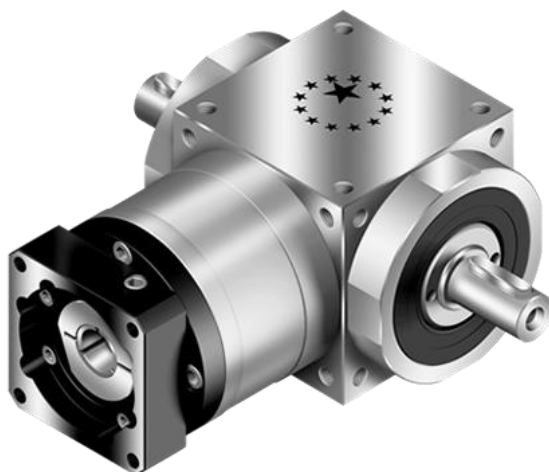


Sele 4.5 8LSA46 mootor [14]

Valitud reduktoriks osutus Apex Dynamics poolt pakutav AT-FL 170 seeria 2 stage reduktor (Sele 4.6) [7]. Reduktori täpsemad parameetrid asuvad allolevas tabelis 4.3. Reduktori joonis asub lisa 8.

Tabel 4.3 Reduktori näitajad [7]

Ülekandearv	35:1
Nominaal pöördemoment väljundvõllil	320 Nm
Maksimaalne pöördemoment kiirendusel	480 Nm
Inertsjõud	2,79 kg/cm ²
Maksimaalne sisendvõlli kiirus	6000 rpm
Maksimaalne telgjõud väljundvõllil	3300 N
Maksimaalne radiaaljõud väljundvõllil	6600 N
Efektviisus	>94 %
Mass	38,5 kg
Töötemperatuur	-10 - + 90 °C
Kaitseklass	IP65
Müra	<79 dB
Tööiga	20000 h



Sele 4.6 AT170FL reduktor

Ülekandesüsteemis kasutatakse löökide ja vibratsiooni vähendamise ja elastsuse eesmärgil elastse siduri lahendust (Sele 4.4). Sidur on valmistatud terasest ja ülekande elastsemaks muutmiseks kasutatakse polüuretaani. Siduri tüüp on WKEG 55 38 44, mis on ostutoode [8].

Tabel 4.4. Elastsussiduri parameetrid [8]

Mõõt	Nm	Max kiirus	Maksimaalsed nihkumised			
			Telgsuuna- line ΔK_a , mm	Radiaal- suunaline ΔK_r , mm	Nurksuunaline K_w°	Max. kandev raskus
55	685	4000 rpm	2,2 mm	0,17 mm	0,9	1018 kg

Veovõllid valmistatakse S235JR tüüpi terasest ning need on võimalik valmistada ümarmaterjalist treimise teel. Võlli sisse on töödeldud kiilusoon, mis fikseerib ratta.

Ratas kinnitub stopperrõnga abil. Materjali keemilise koostise iseloomustus asub tabelis 4.5.

Tabel 4.5. EN 1.0038 S235JR terase keemiline koostis [9]

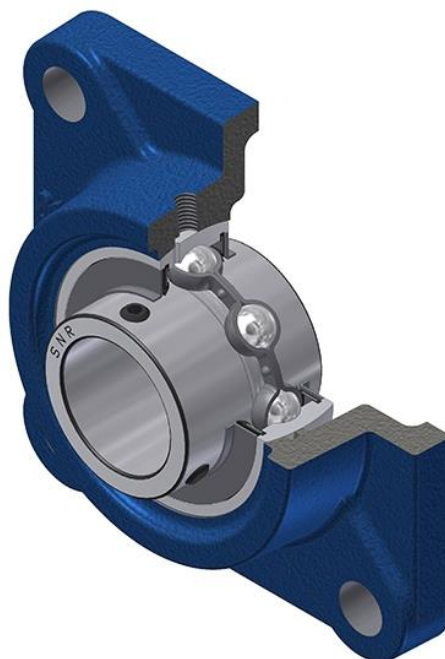
C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%	N
0.17	-	1.4	0.035	0.035	0.55	0.012

Veovõllide valmistamise materjali mehaanilised omadused asuvad tabelis 4.6.

Tabel 4.6. EN 1.0038 S235JR terase parameetrid [9]

Mõõde, mm	Voolavuspiir min, MPa	Tõmbetugevus min, MPa	Katkevenivus A5, %	Kõvadus	Löögitugevus min.
<16	235	360-510	26	120 HB	-20°C 27J
16<40	225				
40<100	215				
100<150	195	350-500	22		
150<200	185	340-490	21		

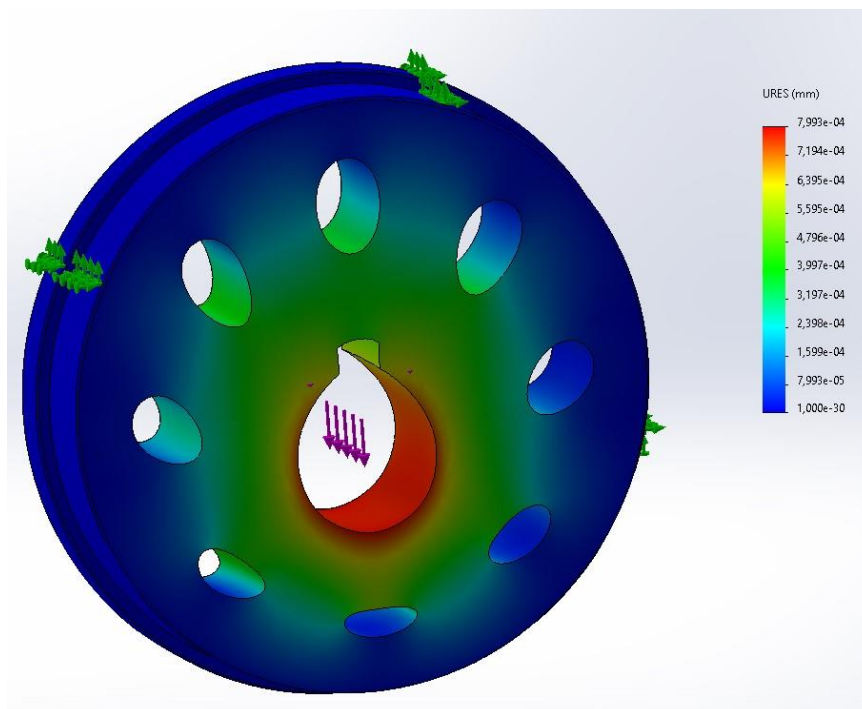
Võllide kinnitamiseks ja raami suhtes pöörlemise võimaldamiseks kasutatakse UCF.214 tüüpi flantsiga laagrit (Sele 4.7) [10]. Detail on ostutoode, mis saadaval ka teiste mõõtudega. Flantslaagrit on mugav kasutada kuna laager on tehases paigaldatud juba korpusesse ja koostamisel on vajalik vaid ühendada flants poltliitega. Kasutatava laagrikoostu mõõdud ja teised iseloomustavad parameetrid asuvad lisa 5.



Sele 4.7. UCF214 laagrikorpus [10]

Veovõllide külge kinnituvad rattad läbimõõduga 105 mm. Rataste materjaliks on S355JR teras. Rattad tuleb valmistada üksikkorras, mis tähendab, et soovitud kuju ja mõõduga rattaid pole võimalik osta ostutootena. Detaili joonis asub lisa 13 all.

Rataste vastupidavuse kontrolliks tuleb koostada simulatsioon (Sele 4.8).

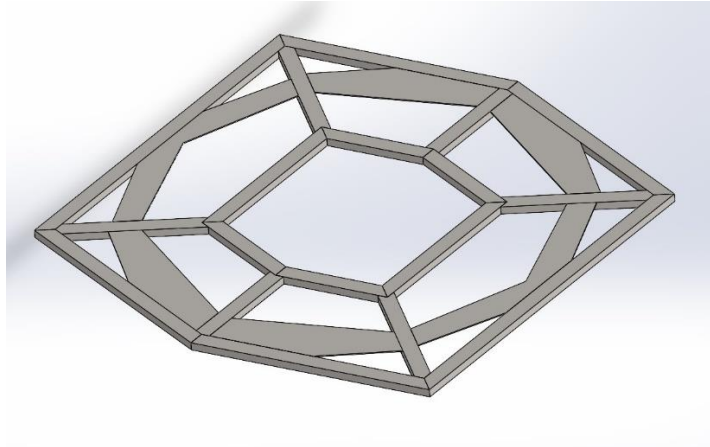


Sele 4.8 Vahealuse ratta simulatsioon

Simulatsiooni tarbeks fikseeriti ratas paika ja võlli kinnituskohale avaldati 20 kN suurust jõudu. Arvutuste tulemusena selgusid maksimaalsed nihkumised materjali ulatuses, mis ulatusid $7,993 \times 10^{-4}$ mm, ehk 0,7993 mikromeetriini mis on antud projektis väga väike suurus. Maksimaalsed pinged ratta materjalis ei ületa 3,5 Mpa.

1.4 Pöördosa abirataste tugikonstruktsioon

Alumise horisontaalaluse peal keskele paigutatuna asub pöörderataste tugikonstruktsioon (Sele 4.9). Antud konstruktsioonil on kaks peamist eesmärki. Esiteks moodustab raamistik sileda aluse, mida mööda pöörderingi lisa tugirattad veerevad. Teiseks eesmärgiks lisab tugikonstruktsioon stabiilsust ja tugevust horisontaalsele alusele, mille osatähtsus on lahti seletatud horisontaalaluse raami tugevusanalüüsi osas. Konstruktsioon koosneb 75x40 C-profiilist [21] ning 5 mm paksusest lehtteras plaatidest, mis lõigatakse välja CNC pingis vastavalt etteantud mõõtudele. Nimekiri konstruktsiooni detailidest asub tabelis 4.7. Tugikonstruktsioon koostatakse kasutades MIG-MAG keevitustehnoloogiat. Konstruktsioon kinnitatakse alusraamile kasutades samuti keevitustehnikat. Konstruktsiooni brutokaal on 190 kg, ning koostamiseks tuleb teostada 142 keevisõmblust. Pöördosa tugikonstruktsiooni koostejoonis asub lisa 14.

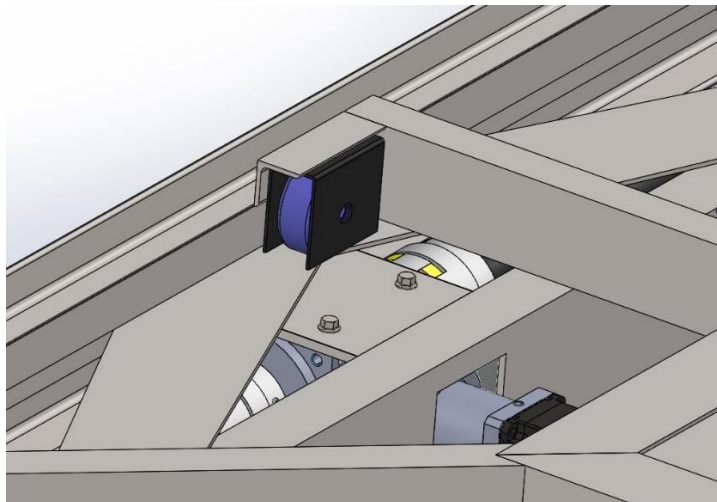


Sele 4.9. Pöördosa tugikonstruktsioon

Detaili nimetus	Kaal, kg/m	Mõõdud, mm						Detaili kaal,kg	Pikkus, mm	Kogus, tk
		h	b	t _w	t _f	r ₁	r ₂			
JIS 75	6,92	75	40	5	7	8	4	12,5	1800	2
								8	1170	4
								4,8	691	4
								6	877	2
								3,8	549	4
								3,8	553	2
Lehtmets	39,25	1000x1000x5						78,5	eri	2

Tabel 4.7. Pöördosa tugikonstruktsiooni materjalitabel [21]

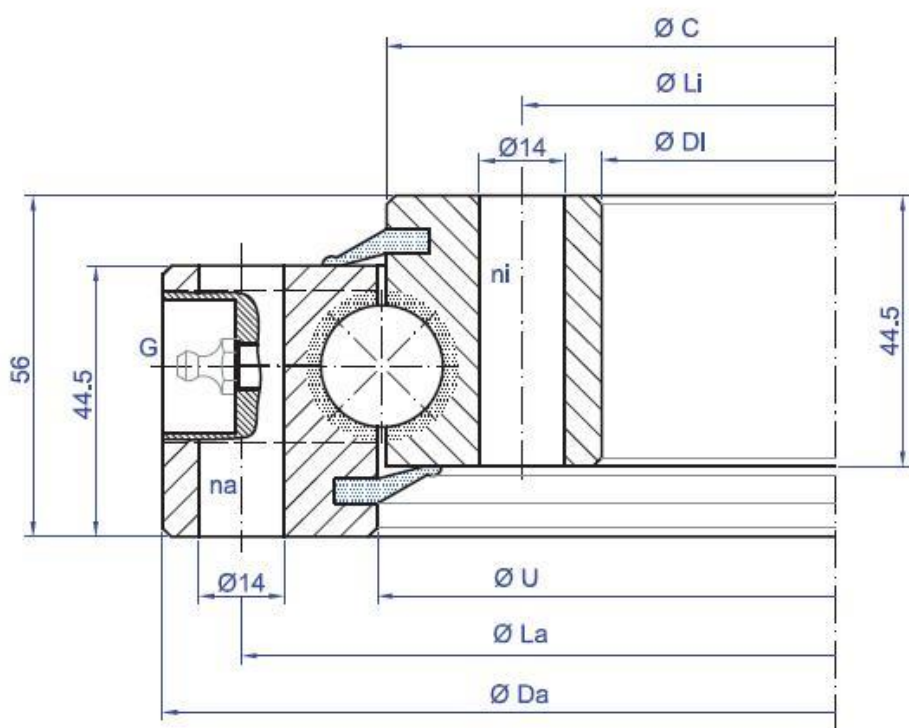
Abirattad (Sele 4.10.), mis vähendavad pöörderingile mõjuvat kallutusmomenti, on ostutooted. Abiratastena kasutatakse VSTH 100x40/20-44K markeeringuga rattaid [11]. Lisainfo rataste kohta asub lisa 9. Ratastele tuleb valmistada lehtmetsalist kronsteinid, mille abil kinnituvad rattad ülemise pöördosa külge.



Sele 4.10. Pöördosa tugirattad (fotol osad detailid peidetud)

1.5 Pöördering

Ülemise pöördosa liigutamiseks on parim lahendus kasutada pöörderingi. Selle eeliseks on suur kandevõime, stabiilsus ja pikaealised ning töökindlad laagrid. Lisaks on pöörderingi võimalik tellida koos hammasvööga, mis on vajalik pöörderingi motoriseerimiseks. Lifti pöördosa konstruktsiooni juures osutus nii mõttudelt, maksumuselt kui ka lahenduselt parimaks SD.716.20.00.B markeeringuga pöördering, mis on ostutoode (Sele 4.13). Pöörderingi komponendid on valmistatud 42CrMo4QT tüüpi terasest [3].



Sele 4.11. Pöörderingi mõõtude joonis [3]

Tabel 4.8 Pöörderingi mõõdud

ID	OD	U	C	La	na	Li	ni	M
572 mm	716 mm	645,5 mm	642,5 mm	690 mm	36	598 mm	36	44 kg

Pöörderinge on erineva läbimõõduga. Antud konstruktsioonis kasutatakse pöörderingi läbimõõduga 645 mm, mis on üks väiksemaid (Sele 4.11). Põhjuseks on eelkõige hind ja mass, kuna ka kõige väiksemal pöörderingil on piisav tugevusvaru. Lisaks kasutatakse konstruktsioonis veel abirattaid, mis vähendavad pöörderingi kallutusmomenti. Teada on pöörderingile kinnituvate konstruktsioonide kogukaal, mis on 2200 kg, ning suurim lubatud sõiduki mass koos varuteguriga on 4000 kg. Pöörderingi piirkoormuste graafiku abil (Sele 4.12) on võimalik leida valitud pöörderingi piirkoormus ning koormusteguri tabelist vastav koormustegur (Sele 4.14).

Maksimaalne mass, mis mõjub pöördosale: 6200kg (60,8kN)

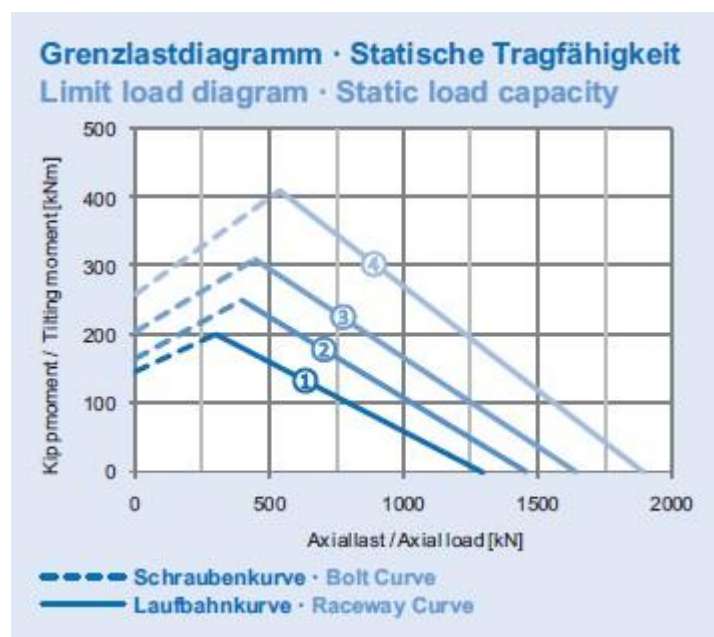
Pöörderingile mõjuv staatiline mass avaldub valemist (4.10):

$$F'_a = F_a \times f_{stat} = 60,8 \times 1,1 = 66,88 \text{ kN} \quad (4.10)$$

kus F_a - aksiaalkoormus

F_{stat} - staatilise kaalu faktor

Opereerimispunkti saab lugeda koormuspiirikõvera diagrammist. Staatilise massi väärtus 66,88 kN asub nr.1 tüübi kõvera alumises piirkonnas ja seetõttu saab seda kasutada.



Sele 4.12. Pöörderingi koormuse diagramm [4]



Sele 4.12. SD.716.20.00.B pöördering [22]

Lastfaktoren · Load factors

Anwendung	Application	f_{stat}	f_{dyn}
Bandausleger	Conveyor crane	1,1	
Bordkran	Ship crane	1,1	1,0
Mobilkran (Stückgut)	Mobile crane (LCL freight)	1,1	1,0
Haldenschüttgerät	Stocker	1,1	1,0
Drehleiter	Turntable ladder	1,1	1,15
Schwimmkran (Stückgut)	Floating crane (LCL freight)	1,1	1,0
	(Greifer) (Grabber)	1,45	1,75
Absetzer (Schaufelradbagger)	Excavator (bucket-wheel excavator)	1,15	
Werftkran	Shipyards crane	1,25	1,25
Schiffsbe- und entlader	Shiploader / unloader	1,4	1,3
Turmdrehkran	Tower crane	1,35	1,25
Drehkran (Greifer / Magnet)	Revolving crane (grabber / magnet)	1,5	1,8
Maschinen allgemein	General machinery	1,1	
Handlingsysteme	Handlingsystem	1,25	
Verladebrücken	Container bridge	1,5	1,8
Drehlaufkatze	Crane trolley	1,5	1,8
Fahrzeugkran (Greifer)	Mobile crane (grabber)	1,5	1,8
Hydraulikbagger	Hydraulic excavator ≤ 1,5 m ³	1,45	
	> 1,5 m ³	1,75	
Messtechnik	Instrumentation	2,0	
Windkraftanlage	Wind turbine	2,0	

Sele 4.14. Masinate koormustegurid [4]

1.6 Pööramise mootor

Ülemise vahealuse 180 kraadi ulatuses pööramiseks on vajalik lisada mootor. Kuna pööramine peab toimuma suhteliselt madala kiiruse juures, on vajalik arvutuste käigus välja selgitada mootori vajalik võimsus ja pöörlemiskiirus ning projekteerida sobilik ülekanne. Vajalik on teada ka aluse pööramiseks vajalikku jõudu. Tühi alus on pöörderingil koormatud ühtlaselt, kuid kui sõiduk asetatakse liftile, on vastavalt sõiduki kaalujaotusele koormus jaotatud erinevalt. Enamike sõidukite kaalujaotus on 60:40.

Koormamata pöördaluse inertsmassi arvutamine (4.11):

$$I = \frac{m(a^2+b^2)}{12} = \frac{2200(2,25^2+5,3^2)}{12} = 6077,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (4.11)$$

Täielikult koormatud pöördaluse inertsmass (4.12):

$$I = \frac{6200(2,25^2+5,3^2)}{12} = 17128,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (4.12)$$

Pöörderingi käivitusmoment (C_{rc}) (4.13):

$$C_{rc} = \left[\left(\frac{13,11 \times MT}{OD} \right) + 3F_A + 11,34F_R \right] \times OD = \left[\left(\frac{13,11 \times 63,02}{0,716} \right) + 3 \times 66,88 + 11,34 \times 0 \right] \times 0,716 = 9,7 \text{ kNm} \quad (4.13)$$

kus MT – tuletatud momentjõud, kNm
 OD – pöörderingi välis läbimõõt, m
 F_A – aksiaalkoormus, kN
 F_B – radiaalkoormus, kN

Tuletatud momentjõud selgub valemist (4.14):

$$MT = F_p \times l_c = 27,4 \times 2,3 = 63,02 \text{ kNm} \quad (4.14)$$

kus F_p – aksiaalkoormus, kN
 l_c – kaugeim koormatud punkt pöörde tsentrist, m

Kuna enamike sõidukite kaalujaotus ei ole ühtlane kasutatakse arvutuste käigus äärmuslikku kaalujaotust 70:30, millest tulenevalt on F_p väärtus (4.15):

$$F_p = 0,7 \times m_c = 0,7 \times 39,23 = 27,4 \text{ kN} \quad (4.15)$$

kus m_c – sõiduki maksimaalne kaal

Pöörderingi kiirendusmomendi arvutamine (C_a) (4.16):

$$C_a = \left[\frac{(\pi \times n \times l)}{30 \times t} \right] \times 10^{-3} = \left[\frac{\pi \times 3 \times 17129}{30 \times 10} \right] \times 10^{-3} = 0,538 \text{ kNm} \quad (4.16)$$

Pöörderingile mõjuv pöördemomentide kogusumma (C_g) (4.17):

$$C_g = C_{rc} + C_a = 9,7 + 0,538 = 10,24 \text{ kNm} \quad (4.17)$$

Kuna enamlevinud kasutatavate mootorite pöörlemiskiirus on mitmeid kordi suurem, kui on vajalik pöörderingi pööramiseks, tuleb kasutada nurkreduktorit. Teada on, et pöörälvuse liikuma panekuks on vajalik jõud 538 Nm. Sellest lähtuvalt tuleb leida sobiv nurkreduktori ja mootori kombinatsioon ostutoodetena, ning projekteerida sobiva läbimõõduga ülekande hammasratas.

Sobivate reduktorite valik on üpris piiratud, kuna pöörderingi liigutamiseks on vajalik suur ülekandearv ja ülekantav jõumoment mootorilt pöörderingile. Valituks osutus B&R Automation poolt pakutav hooldusvaba nurkreduktor tähisega 8GA60-142hh100klmm (Sele 4.15) [12]. Planetaarreduktiiri parameetrid asuvad allolevas tabelis (Tabel 4.9).

Tabel 4.9. Planetaarredukti andmed [12]

Ülekandearv	100:1
Nominaal pöördemoment väljundvõllil	305 Nm
Maksimaalne pöördemoment	488 Nm
Inertsjõud	4,892 kg/cm ²
Maksimaalne sisendvõlli kiirus	9500 rpm
Maksimaalne telgjõud väljundvõllil	15000 N
Maksimaalne radiaaljõud väljundvõllil	12500 N
Efektiivsus	>94 %
Mass	21,5 kg
Töötemperatuur	-25 - + 90 °C
Kaitseklass	IP65
Müra	<70 dB
Tööiga	20000 hr



Sele 4.15. 8GA60 planetaarreduktor [12]

Mootori valikul tuleb lisaks pöörlemiskiirusele arvestada ka vajamineva võimsuse hulka. Valitud nurkreduktoriga koos kasutamiseks sobivad vaid tootja poolt ettenähtud mootorid (Sele 4.17). See tähendab, et antud konstruktsioonis tuleb valida etteantud mootoritest väikseima pöörlemiskiirusega mootor, milleks on 1500 pööret minutis. Nii on võimalik kasutada väljundvõllil optimaalset hammasratas. Pöörlemiskiirus sõltub hammasratta suuruselt, ehk mida suurem on hammasratas, seda aeglasemalt tuleb seda mootoril pöörata. Teisalt on suurema hammasratta pööramiseks vaja rohkem jõudu, ehk mootori võimsust.

Redukti väljundvõlli pöörlemiskiirus mootori nominaalpöõretel:

$$\frac{1500}{100} = 15 \text{ rpm}$$

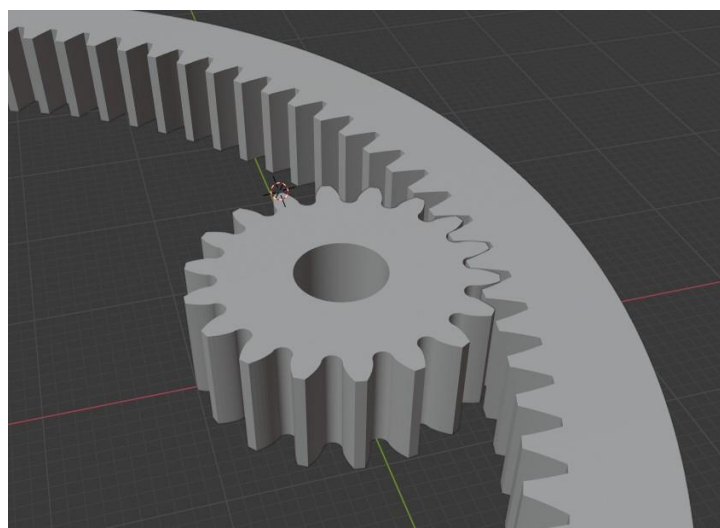
Teadu on pöörderingi nõutav liikumiskiirus, mis on 3 pööret minutis:

$$\frac{15}{3} = 5$$

Redukti vältjundvõlli hammasratta hammaste arv peab seega olema 5 korda võiksem:

$$\frac{93}{5} = 18,6$$

Programmi „Blender“ kalkulaatori [13] abil arvatati välja sobiva hamba kujuga hammasrattas (Sele 4.16). Vajalik on sisestada vaid välimise ja sisemise hammasratta hammaste arv ning kalkulaator arvutab välja sobiva ühenduse.



Sele 4.16. Programmi "Blender" abil välja töötatud hammasrattas

Hammasrattas valmistatakse S235J2 terasest ning hammaste puutepinnad gaasnitreeritakse vähendamaks kulumist. Hammasratta joonis koos mõõtudega asub lisa 15. Hammasülekande kulumise vähendamiseks tuleb hoolduse käigus määrada nii hammasülekannet kui ka pöörderingi määrimispunkte.

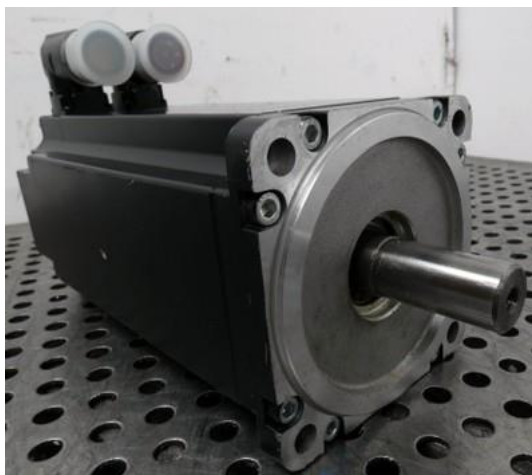
Size	8LSA			8LSA/8LSC								8JS							8SLN	80M			
	L2	J3	L3	L4	L5	O5	L6	L7	Q7	L8	M8	V2	V3	J2	J3	J4	J5	J6	J7	N4	N5	PH	
Length	*	*	*	3-4	5-6	3-6	7/A	B	C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	max
Gearbox type/ratio																							
8GP60	070	X	X	X									X	X	X	X	X						X
	090		X	X	X	X							X	X	X	X	X						X
	115		X	X	X	X	X	X	C				X			X	X	X				X	X
	142			X	X	X	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X
	190					X	X	X	X	X	X	X	C	O				X	X	X			X
8GP70	070	X	X	X									X	X	X	X	X						X
	090 ¹⁾	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X					X	X
	090 ²⁾	X	X	X	X	C							X	X	X	X	X					6	X
	115 ¹⁾		X	X	X	X	X	X	C				X	X		X	X	X	X			X	X
	115 ²⁾		X	X	X	X	X	X	C				X	X		X	X	X	X			X	8
	142 ¹⁾		X	X	X	X	X	X	C	X	X			X			X	X	X	X			X
8GA60	070	X	X	X									X	X	X	X	X						X
	090 ¹⁾	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X					X	X
	090 ²⁾	X	X	X	C	O							X	X	X	X	X					4	X
	115 ¹⁾		X	X	X	X	X	O	O					X	X	X	X	X				X	X
	115 ²⁾		X	X	X	X	C	O					X	X		X	X	X				X	6
142 ¹⁾		X	X	X	X	X	X	X	X	8						X	X	X	X	X	X	X	X
142 ²⁾		X	X	X	X	X	X	C	X	X			X		X	X	X				X	X	X

Sele 4.17. Nurkreduktioriga sobivate mootorite tabel (8GA60-142 sobivad mootorid välja toodud)

Valitud mootoriks osutus firma B&R Automation poolt pakutav sünkroonmootor tähisega 8LSA76.ee015ffgg-3 (Sele 4.18). Valitud nominaalpöõretega mootorite hulgast on antud mootoril kõige suurem pöõrdemoment. Mootori parameetrid on allolevas tabelis 4.10.

Tabel 4.10. Mootori 8LSA76 näitajad

Nominaalkiirus	1500 rpm
Pooluspaaride arv	5
Nimi pöõrdemoment	48,5 Nm
Nimivõimsus	7618 W
Nimivool	14,88 A
Seiskamise pöõrdemoment (Stall torque)	60 Nm
Seiskamise vool (Stall current)	18,4 A
Maksimaalne pöõrdemoment	230 Nm
Maksimaalne tarbitav vool	92,5 A
Maksimaalne kiirus	4500 rpm
Pöõrdemomendi konstant	3,26 Nm/A
Pingekonstant	196,87 V/1000 rpm
Inertsmoment	102 kg/cm ²
Mass	36 kg

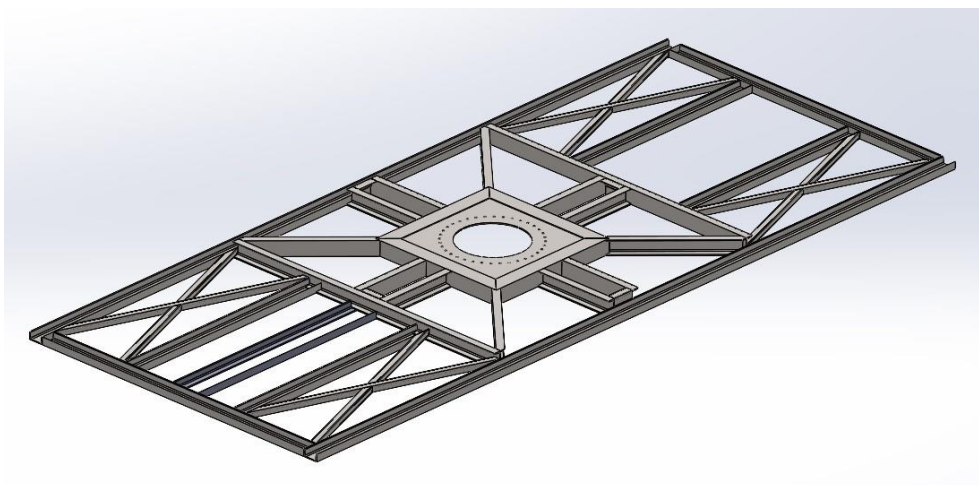


Sele 4.18. 8LSA76 sünkroonmootor [14]

Lõpetuseks on vajalik kontrollida kõikide valitud komponentide sobivust. Lifti pöõrdosa on vajalik pöõrata vaid 180 kraadi kümne sekundi jooksul, mis tähendab, et pöõrdering teeb vaid pool pöõret, ehk liigub 46,5 hamba võõra. Seega 18 hambaga projekteeritud vedav hammasratas peab antud aja jooksul tegema 2,58 pöõret. Valitud nurkreduktiõri õlekandetegur on 1:100le, mis tähendab, et mootor teeb kümne sekundi jooksul 258 pöõret. Seega õhe minuti jooksul 1548 pöõret, mis on mootori nominaalkiirus. Võõimalik on ka mootori pöõrlemiskiirust tõõsta kuni 4500 pöõrdeni minutis, mis tähendab, et sõõiduki ringi pöõramise aega saab vajadusel vāhendada.

4.2 Ülemine pöördosa

Võrreldes alumise sõrestikuga on ülemine pöördosa (Sele 4.19) kergem. Põhiline koormus koondub pöörderingi kinnituskohata läbi servades asuvate U-talade, kuhu toetub ülemine platvorm. Raami keskel asuvad abirattad, mis vähendavad pöörderingile mõjuvat kallutusmomenti. Raamistik koosneb UPN 100 profiilist. Pöörderingi toetusosa on koostatud neljast võrdsest L-profiilist moodustades nelinurga. Profiili servad on lõigatud 45° nurga all. Oluline on hoida raamistiku kõrgus minimaalsena. Raami koostamiseks tuleb sooritada 141 keevisõmblust. Ülemise pöördosa raamistiku esialgne brutokaal on 446 kg. Koostejoonis asub lisa 16.



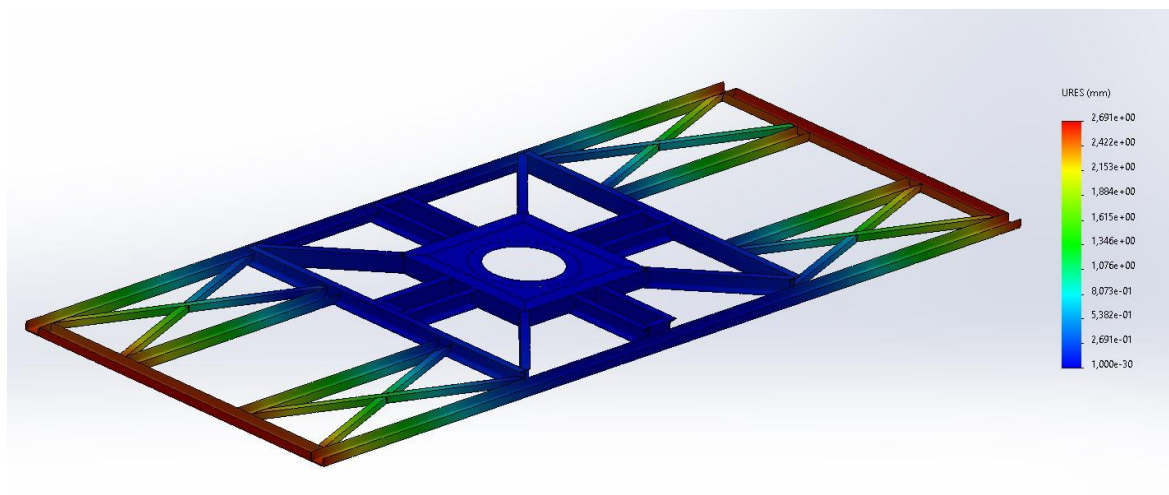
Sele 4.19. Ülemise pöördosa raamistik

Tabel 4.4. Ülemise pöördosa raamistiku detailitabel [2]

Detaili nimetus	Kaal, kg/m	Mõõdud, mm						Detaili kaal, kg	Pikkus, mm	Kogus, tk	
		h	b	tw	tf	r1	r2				
UPN 100	10,61	100	50	6	8,5	8,5	4,5	56	5300	2	
								22	2040	4	
								16	1524	4	
								8,5	800	4	
								6	550	8	
L nurk	3,8	50x50x5				7/2		5	1480	2	
		15,2	100x100x10				12/2		0,5	150	4
	2,42		40x40x4						14	940	4
									4	1620	4
								2	810	4	
							2	800	4		

Nii, nagu teistele konstruktsioonelementidele, tuleb ka ülemise pöördosa raamistikule teha LEM simulatsioon. Selleks fikseeritakse konstruktsioon pöörderingi kinnituskohast ja pöördrataste kinnituskohadest, ning ülemise platvormi rataste toetuspunktidesse avaldatakse 55 kN suurust jõudu. Simulatsiooni tulemusena esialgse raami läbipaine oli liiga suur. Selle vähendamiseks valmistati L-profiilist diagonaalid, mis parandasid struktuuri jäikust ning vähendasid läbipainet. Suurimad pinged tekivad konstruktsiooni

pikimates U-profiil talades, mis on 50 Mpa. Kogu konstruktsiooni ulatuses toimub nihkumine 2,7 mm mis on konstruktsiooni suurust arvestades lubatud (Sele 4.20).

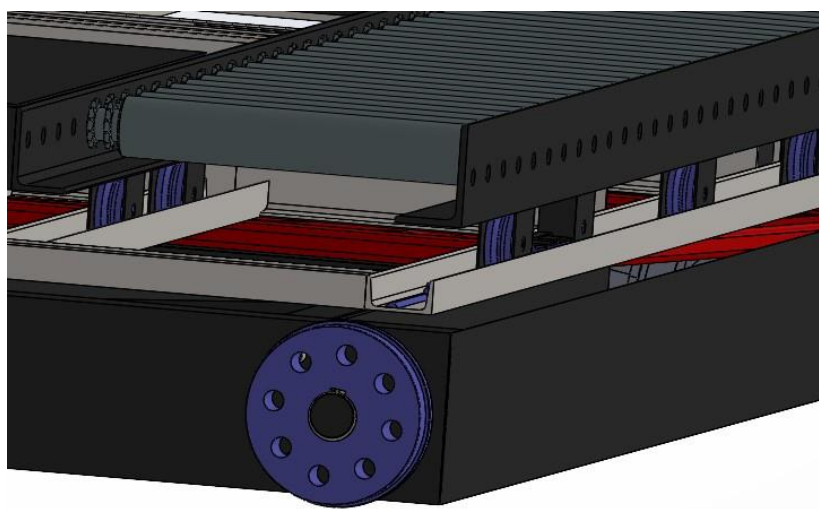


Sele 4.20. LEM analüüs ülemise pöördoosa raamistikule

Ülemise pöördoosa raamistiku metallkarkassi koostamiseks tuleb teha 141 keevisõmblust.

4.3 Ülemine ettenihkuv osa

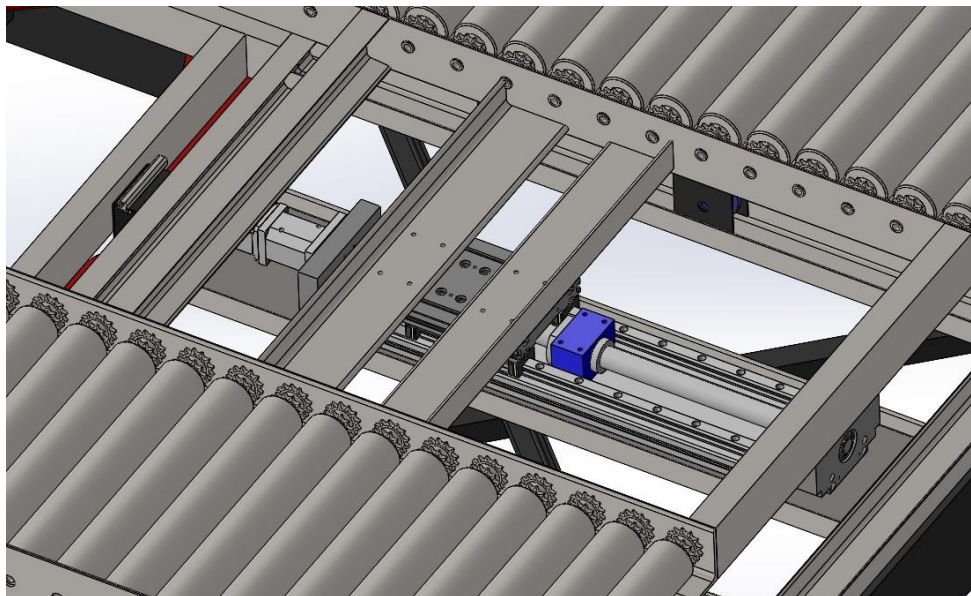
Parkimiskoha ja lifti vahel on 310 mm vahe, mis on takistuseks sõiduki liftile liikumisel. Lahenduseks on sõiduki aluse ehk platvormi nihutamine parkimiskohale lähemale. Selleks on ülemise pöördoosa ja platvormi vahel lisarullikud (Sele 4.21) ning lineaaraktuaator, mis on programmeeritud liigutama platvormi 300 mm ühes või teises suunas. Ülemine rullikutega platvorm, nagu ka parkimismaja teised lahendused on osa kaastudengi diplomitööst.



Sele 4.21. Ülemise platvormi toetus pöördosale (mõned komponendid eemaldatud)

1.1 Lineaaraktuaator

Platvormi liigutamiseks kasutatakse lineaaraktuaatorit, mis kinnitub ülemise pöördosa külge (Sele 4.22).



Sele 4.22. Lineaaraktuaatori paigutus (mõned komponendid eemaldatud)

Lineaaraktuaator pärineb ettevõtte AluFlex tootevalikust [18]. Valitud mudeli tähis on FlexiCarrier fkk40-220 (Sele 4.23). Aktuaator on võimeline kandma vertikaalsuunalist raskust kuni 750 kg. Platvorm, mille liigutamiseks aktuaatorit kasutatakse toetub ratastele mistõttu aktuaatorile mõjuvad vertikaalsed jõud on minimaliseeritud. Aktuaator kinnitub ülemisele pöördosale keevitatud 50x50x5 L-profiil nurkraust valmistatud kinnituskohale. Liigutatav pool kinnitub kaheksa M16 poldiga ülemise platvormi L-profiilnurkraua külge. Platvormi on vajalik liigutada mõlemas suunas 300 mm, seega aktuaatori töö käik kokku on 600 mm. Kuna platvorm toetub ratastele ning veereb laagrite peal ei ole platvormi liikuma panekuks vajalik rakendada suurt jõudu.



Sele 4.23. Flexicarrier FKK40 [18]

Aktuaatori käitamiseks näeb tootja ette mootorit tähistusega HF-KP73, kuid antud mootorit enam ei toodeta. Asendusena pakutakse firma Mitsubishi poolt toodetud mootorit tähistega HG-KR73 (Sele 4.24) [20]. Allolevas tabelis 4.5 on mootori põhilised tooteandmed.

Tabel 4.5. Mootori HG-KR73 parameetrid [20]

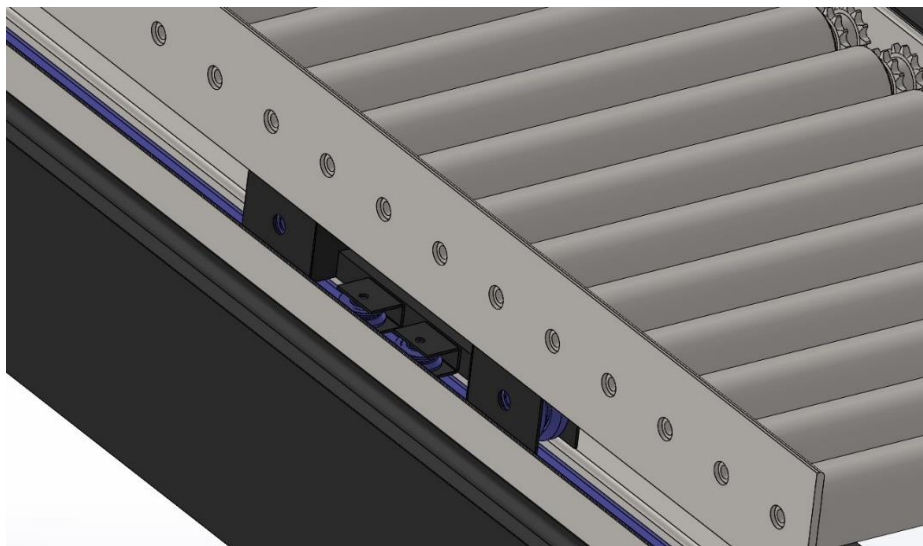
Nominaalvõimsus, kW	0,75
Nominaal pöördemoment, Nm	2,4
Maksimaalne pöördemoment, Nm	8,4
Nominaalkiirus, rpm	3000
Maksimaalne kiirus, rpm	6000
Inertsjõud, kg cm ²	1,26
Võlli tüüp	Sirge võll
Kaitseklass	IP65
Toitepinge, V	200
Mootori tüüp	AC
Enkooderi tüüp	Absoluut/astmeline
Enkooderi resolutsioon (p/rev)	4194304
Laius, mm	80
Kõrgus, mm	97,1
Sügavus, mm	112
Mass, kg	2,8



Sele 4.24. HG-KR73 mootor [20]

1.2 Platvormi rattad

Ülemise platvormi kergeks liigutamiseks kasutatakse kahte tüüpi rattaid. Platvormi keskel ja otstes asuvad rataste koostud. Üks koost koosneb kahest toetavast suuremast rattast, ning kahest väiksemast rattast, mis takistavad platvormi liikumist ristisuunas (Sele 4.25).



Sele 4.25. Sõiduki platvormi alusrataste koost (osad detailid eemaldatud)

Sellest tulenevalt on platvormil vaid üks vabadusaste. Rataste trajektoori muutuse vältimiseks kasutatakse U-profili sees spetsiaalseid rööpaid, mis hoiavad ratast õigel trajektooriga (Sele 4.26).



Sele 4.26. Rataste juhtkiilud (osad detailid eemaldatud)

Koostus kasutatakse Blicke poolt pakutavaid treitud ja kuumtöödeldud terasest rattaid tähistusega DSPK 101K [17]. Rataste kinnitamiseks platvormi külge kasutatakse sama kinnituskronsteini, nagu pöördosa tugirataste tarbeks (Sele 4.10).

Külgsuunas liikumise takistamiseks kasutatakse Blickle tootevalikust rattaid tähistusega DSPK 50K [17]. Ratastel on äärmiselt väike veeretakistus, hea kulumiskindlus ning suur kandevõime. Rattad kinnitatakse sarnase, kuid mõõtudelt väiksema kinnituskronsteini külge, nagu on suured rattad. Rataste kronsteinid kinnituvad 30x20x4 mõõtudega nelikant toru külge, mis on ühendatud suurte rataste kronsteinidega. Kokku toetavad platvormi kuus rattakoostu ning kaksteist eraldi kinnituvat ratast. Mõlema ratta iseloomustavad parameetrid asuvad tabel 4.5.

Tabel 4.5. Lifti platvormi kanderataste parameetrid [17]

Tähis	DSPK 50K	DSPK 101K
Ratta läbimõõt (D)	50 mm	100 mm
Ratta laius (T2)	18 mm	40 mm
Soone laius (B)	12 mm	20 mm
Kandevõime	120 kg	600 kg
Telje ava (d)	10 mm	15 mm
Rummu soon (T1)	18 mm	40 mm
Mass, tk	0,2 kg	2 kg
Temperatuurikindlus	-25 kuni 120 °C	
Tihendi tüüp	190 – 230 HB	
Laagri tüüp	flantskinnitusega rullikud	

Nagu tabelist selgub, siis kõikide rataste maksimaalne kandevõime kokku on 14400 kg, mis ületab platvormi maksimaalset kaalu kahe ja poole kordselt. Rataste juhtsooned ehk rööpad valmistatakse terasest CNC pingis metalli töötluse teel. Kulumise vältimiseks tuleb rattaid ja juhtrööpaid hoolduse käigus määrada.

5. ELEKTRIOSA

Lifti juhtimise elektroonikaosa on väga töömahukas mistõttu pole veel lõplikku süsteemi välja töötatud. Kogu lifti projekteerimise järg on jõudnud elektrisüsteemideni, ning hetkel on olemas vaid konseptsioon kuidas üldiselt süsteem toimima peaks. Enamike mootorite käitamiseks on vajalik kolmefaasiline tööstusvool. Kuna parkimismaja asub Ameerika Ühendriikides, on oluline jälgida selle piirkonna võrgupingeid. Andurite ja madalvoolutäiturite toitepinge on reeglina 24 volti alalisvool. Alljärgnevalt on lahti kirjeldatud esialgne elektriosa ning kasutatavad elektriseadmed.

5.1 Lifti mootorite juhtimine

Lifti mootorite töötamisel on nõue, et mootorid töötaksid alati sünkroonis. Selleks tuleb kasutada enkoodereid, mis jälgivad liftimootorite rihmarataste või mootori völliide pöörlemist väga täpselt. Enkooderitelt saadav info edastatakse signaali vastuvõtjasse, mis konverteerib signaali ümber võrgusignaaliks. Võrgukaablit kasutades on võimalik signaal edastada kas sagedusmuundurile, või keskarvutisse. Juhul, kui üks lifti mootor peaks teistest aeglasemalt pöörlema, tõstab vastav sagedusmuundur lifti pöörlemiskiirust. Korruste valikul edastab keskarvuti liftimootoritele signaali käivitamiseks vastavalt kas tõsta, või langetada. Hoone konstruktsiooni küljes asuvad igal koorusel erineva koodiga andurid, mis annavad keskarvutile teada korruse numbrist. Kui lift peab liikuma kuuendale korrusele, siis kui keskarvuti saab signaali viienda korruse andurilt, on vajalik aeglustada lifti liikumist. Oluline on saavutada täpne kõrgus, mida registreerib korruse andur. Kui kõrgus pole saavutatud, tuleb seda lifti mootoritel korrigeerida. Lifti mootorite käivitamiseks tuleb eelnevalt täita mitmed ohutusnõuded. Lifti asend peab olema horisontaalne. Andurid peavad edastama keskarvutile signaali, et sõiduki paigutus liftil on aktsepteeritav ning sõidukil ei oleks ukсед või luugid avatud. Samuti peab olema vastuvõturuumi uks suletud.

5.2 Horisontaalselt liikuva aluse juhtimine

Horisontaalalus üldjuhul liigub lifti üles-alla liikumisel. Lifti aluskonstruktsiooni küljes asuvad induktiivandurid, mis informeerivad horisontaalaluse jaoks parkimiskohtade asukohti. See on vajalik toiminguks, kui horisontaalalus liigub parkimiskohtade vahel ja on vajalik teada, mis asendis tuleb horisontaalalus peatada. Veomootoreid juhib üks sagedusmuundur, mille eeliseks on üheaegne käivitus ja lihtsustatud juhtimine. Sagedusmuunduri abil on võimalik mootoreid sujuvalt käivitada ja pidurdada mis vähendab ohtlike inertsjõudude tekkeohtu. Ohutuse seisukohalt on tähtis mitte alustada horisontaalaluse liikumist, kui ettenihkuv platvorm on tagasi algasendis. Lisaks

horisontaalselt asetsevate parkimiskohtade vahel liikumisel on esimese parkimiskoha alguses ja viimase parkimiskoha lõpus andurid, mis signaali andes seiskavad aluse mootorid. See välistab olukorra kui horisontaalalus teadmata põhjusel liiga kaugele sõidab.

5.3 Pöördosa juhtimine

Lifti pöördosa töötab vaid lifti üles-alla liikumisel või horisontaalaluse liikumisel parkimiskohtade vahel. Pöördosa käivitamiseks on üheks tingimuseks sõiduki parkimisasend. Kui reeglina kõiki sõidukeid tuleb peale vastuvõttu pöörata, siis tagastamisel on sõidukid juba ringi pööratud, ning täiendav pööramine pole vajalik. Seega on võimalik süsteem programmeerida selliselt, et kõik autod pööratakse peale vastuvõtmist enne parkimiskohale paigutamist. Pöördosa käivitamiseks tuleb täita ohtutusnõuded. Pöördosa ei käivitu järgmistel juhtudel:

- kui ettenihkiva platvormi algasend ei ole saavutatud
- platvormil pole sõidukit
- sõiduki ringi paigutamisel ühelt parkimiskohalt teisele, kui vajalik tagumine sõiduk tagastada
- Lift ei tõsta/langeta ja horisontaalalus ei liigu

Pöördosa pööramine on vajalik registreerida, mis tähendab, et keskarvutil peab olema tagasiside pöördosa asendist. Üldjuhul on alg- ja lõppasendi andurid. Sagedusmuundurit on võimalik programmeerida töötama ajaliselt, mis tähendab, et kui pööramise aeg on 0,7 sekundit, siis nii kaua ka pöörosa liigub. Samuti on vajalik sujuv kiirendus ja aeglustus.

5.4 Ettenihkuv platvorm

Rullikutega platvorm, mis asub pöördosal, on vajalik liigutada parkimiskohale lähemale 300 mm. Süsteem on konstrueeritud selliselt, et maksimaalne asend on 300 mm. Seega ei teki olukorda, kus mingil põhjusel platvorm liigub lubatust enam. Platvorm liigub järgmistel juhtudel:

- Lift on õigel kõrgusel ja seisab
- Horisontaalalus asub parkimiskoha ees ja seisab
- Pöördosa on alg- või lõppasendis
- Platvormi rullikud ei ole aktiveeritud

Platvormi aktiveerimisel on äärmiselt tähtis suund. Selleks peab keskarvuti saatma vastava signaali kumbal pool asub tagastatav sõiduk, või sõiduki parkimiseks vaba koht.

6. KOMPONENTIDE KOONDTABEL

Allolevasse tabelisse 6.1 on koondatud kõik ostutooted, mida käesolevas projektis kasutatakse.

Tabel 6.1. Komponentide koondtabel

Nimetus	Kirjeldus	Kaal tk, kg	Kogus, tk	Ekspluatatsiooni eesmärk	Hind km-ta, €
SM 200.40D	Lifti mootor	307	8	Lifti tõstmine	4700,00
DRAKO 250T	Lifti trossid	21	32	Lifti tõstmine	
4SPA150TB	Trossiratas	4,2	8	Lifti kandmine	64,88
FPO HB 85x60/20-65K	Lifti aluskonstruksiooni juhtratas	0,9	8	Lifti stabiliseerimine	41,22
FPO 60x25/15-13K	Lifti aluskonstruksiooni juhtratas	0,1	16		12,44
8LSA44	Horisontaalaluse mootor	5,4	2	Horisontaalaluse liigutamine	105,00
AT170FL	Horisontaalaluse reduktor	38,5	2	Jõudude ülekandmine	273,00
WKEG 55 38 44	Veoülekande sidur	10	4	Ülekande löökide summutamine	54,00
UCF.214	Flantslaager	6,25	4	Võllide ühendus horisontaalalusega	38,87
VSTH 100x40/20-44K	Pöördosa rattad	0,9	4	Pöördosa toestamine	60,71
SD.716.20.00. B	Pöördering	44	1	Aluse pööramine	178,00
8GA60-142	Nurkreduktor	21,5	1	Jõu ülekandmine	4257,00
8LSA76	Pöördosa mootor	36	1	Aluse pööramine	1095,00
FKK40-220	Lineaaraktuaator	34	1	Platvormi nihutamine	744,00
HG-KR73	Lineaaraktuaatori mootor	2,8	1	Aktuaatori opereerimine	665,00
DSPK 101K	Platvormi rattad	2	24	Platvormi toetus	83,84
DSPK 50K		0,2	12	Platvormi fikseerimine	28,46

Tabelist lähtub ostukomponentide ligikaudne kogusumma, mis on 49 310,84 eurot. Ostutoodete kogukaal on 3557 kg.

KOKKUVÕTE

Lõputöö projekti eesmärgiks oli koostada olemasolevasse hoonesse automatiseeritud parkimismaja tarbeks sõiduki lift. Projekteerimisel tuli järgida kliendi poolt etteantud nõudeid. Kogu liftisüsteemi toimimiseks kasutatakse vaid elektrienergiat, mis oli üks kliendi nõuetest.

Projekti käigus töötati välja lifti alusraami optimaalseim konstruktsioon ning teostati simulatsioon veendumaks konstruktsiooni tugevuses ja vastupidavuses. Alusraami lifti mootoritega ühendamiseks kasutatakse kokku 32 trossi, mida liigutatakse kokku 8 liftimootori abil. Trosside kinnitamiseks projekteeriti vastavad kinnituskronsteinid trossirullikute tarbeks. Lifti aluskonstruktsiooni stabiliseerimiseks konstrueeriti raami nurkadesse vastavad rattad, mis liiguvad mööda hoone konstruktsiooni.

Horisontaalselt parkimiskohtade vahel liikumiseks projekteeriti eraldi alus, mis liigub nelja ratta peal mööda lifti alusraami paigaldatud rööpaid. Aluse liigutamiseks on ette nähtud kaks reduktorit koos mootoritega ning liikumiskiiruseks on esialgu määratud 0,7 meetrit sekundis. Alus on võimeline sõidukit pöörama 180 kraadi, mis on vajalik sõiduki tagastamisel kliendile mugavaks väljasõiduks parkimismajast. Pöördosa koosneb metallkarkassist, mis toetub pöörderingile. Alust pööratakse mootori abil läbi nurkreduktori. Esialgne pöörämiskiirus on kümme sekundit, kuid seda aega on võimalik mootori pöörlemiskiiruse reguleerimisega muuta.

Rullidega platvorm, millel asub sõiduk, on vajalik liigutada parkimiskohale lähemale. Selleks paikneb rullidega platvorm ratastel ning liigutamise jaoks kasutatakse lineaaraktuaatorit, mis võimaldab alust liigutada kuni 300 millimeetrit.

Lifti projekteerimise käigus oli suureks abiks koostöö erinevate tootjatega, kes omalt poolt pakkusid välja erinevaid lahendusi ning leidsid sobivad seadmed vastavalt ettemääratud parameetritele. Seetõttu vähenes mõneti projekteerimise töö ajakulu ning koormus. Lahenduse väljatöötamise ajamahukaim osa oli 3D mudelite projekteerimine ja valmistamine. Lifti eeldatav kogukaal on 6300 kg ning maksimaalne lubatud kandevõime 4000 kg. Kuna projekt on veel väljatöötamise faasis võivad käesolevas lõputöös leitud lahendused veel muutuda.

SUMMARY

The aim of the diplom project was to build a vehicle lift for an automated parking garage considering an existing building structure. The design had to follow the requirements set by the customer. Only electricity is used for the operation of the entire elevator system, which was one of the customer's requirements.

During the project, the most optimal construction of the elevator base frame was developed and a FEM simulation was performed to verify the strength and durability of the construction. A total of 32 ropes are used to connect the base frame to the elevator motors, which are moved by a total of 8 elevator motors. To fasten the ropes, the corresponding fastening brackets were designed for the rope sheaves. In order to stabilize the basic structure of the elevator, corresponding wheels were constructed in the corners of the frame, which moves along the structure of the building.

To move a vehicle horizontally between the parking spaces, a separate platform was designed, which moves on four wheels along the rails mounted on the elevator frame. Two gearbox with motors are provided to move the base, and the speed is initially set at 0.7 meters per second. The base platform is able to turn the vehicle 180 degrees, which is necessary when returning the vehicle to the customer for a comfortable departure from the parking garage. The swivel part consists of a metal frame that rests on a swivel ring. The base is rotated by the motor through the bevel gear. The initial speed is 10 seconds, but this time can be changed by adjusting the engine rotating speed.

It is necessary to move the roller platform closer to the parking space which the vehicle is located. For this purpose, the platform with rollers is located on wheels and a linear actuator is used to perform the movement, which allows the base to be moved up to 300 millimeters.

During the design of the elevator, it was a great help to cooperate with various manufacturers, who in turn offered different solutions and found suitable equipment according to predetermined parameters. Therefore, the time and load of design work was somewhat reduced. The most time-consuming part of developing the solution was designing and manufacturing 3D models. The estimated total weight of the lift is 6300 kg and the maximum permissible load capacity is 4000 kg. As the project is still in the development phase, the solutions found in this dissertation may still change.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Konstruksiooniterase S355J2 üldine teave. [Online]
<https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/s355j2/> (28.04.2020)
2. Konstruksioonimaterjali valik. [Online]
<http://www.b2bmetal.eu/upe-european-standard-u-channels-u-profile-with-parallel-flanges--upe-steel-beam-specifications-dimensions-properties>
(28.04.2020)
<https://www.metall24.ee/tooted/karp-unp> (30.04.2020)
<https://www.stainless-structurals.com/download/Data-Sheet-Standard-Channels-Asia.pdf> (01.05.2020)
3. Pöörderingi valik. [Online]
<https://en.tradebearings.com/SD.716.20.00.B-193098.html> (02.05.2020)
4. Pöörderingi arvutused. [Online]
<https://kavial.ee/wp-content/uploads/2019/10/kavial-slewing-rings-dv-b.pdf>
(23.04.2020)
<http://www.rollix.com/324-4358-5048-5086-5095/Slewing-torque.htm>
(08.05.2020)
5. Lifti aluskonstruksiooni tugirullikute valik. [Online]
<https://www.blickle.com/product/FPO-60x25-15-13K-761495> (11.05.2020)
<https://www.blickle.com/product/HB-85x60-20-65K-755685> (11.05.2020)
6. Veomootori valik reduktori tarbeks. [Online]
<https://www.br-automation.com/en/products/motion-control/8ls-synchronous-motors/cooling-type-a/size-4/8lsa44ee022ffgg-3/> (23.04.2020)
7. Reduktori valik. [Online]
https://www.apexrobot.com/AT-FL_pro.aspx (23.04.2020)
<https://www.eegholm.dk/webshop/wp-content/uploads/2017/07/APEX-GEARBOXES-AT170FL.pdf> (24.04.2020)
8. Elastse siduri valik. [Online]
<https://www.mekanex.ee/tooted/komponendid/sidurid-vollidele/elastsed-sidurid/> (24.04.2020)
9. Konstruksiooniterase S235J2 üldine teave. [Online]
<https://www.theworldmaterial.com/1-0038-steel-s235jr-material/> (27.04.2020)
10. Veovõllide laagrite valik. [Online]
<https://eshop.ntn-snr.com/en/UCF-214-2246976.html> (27.04.2020)
11. Pöördosa tugirataste valik. [Online]
<https://www.blickle.ee/toode/VSTH-100x40-20-44K-469882> (12.05.2020)
12. Pöördosa reduktorülekanne valik. [Online]
<https://www.br-automation.com/en/products/motion-control/8g-premium-planetary-gearbox/angular-planetary-gearboxes-8ga/8ga60-142hh100klmm/>
(19.05.2020)
13. Hammasratta kalkulaator. [Online]
<http://www.otvinta.com/instantinternal.html> (20.05.2020)
14. 8LSA mootori illustatsioonid. [Online]
<https://www.maaslos-guenstig.de/b-r-automation-8lsa-46-e3030d000-0-servomotor-used/a-74839/> (20.05.2020)
15. Euroopa direktiiv ehituskonstruksioonide kohta (Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC). [Online]
<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf>
(14.05.2020)
16. Lifti trossiratta valik. [Online]

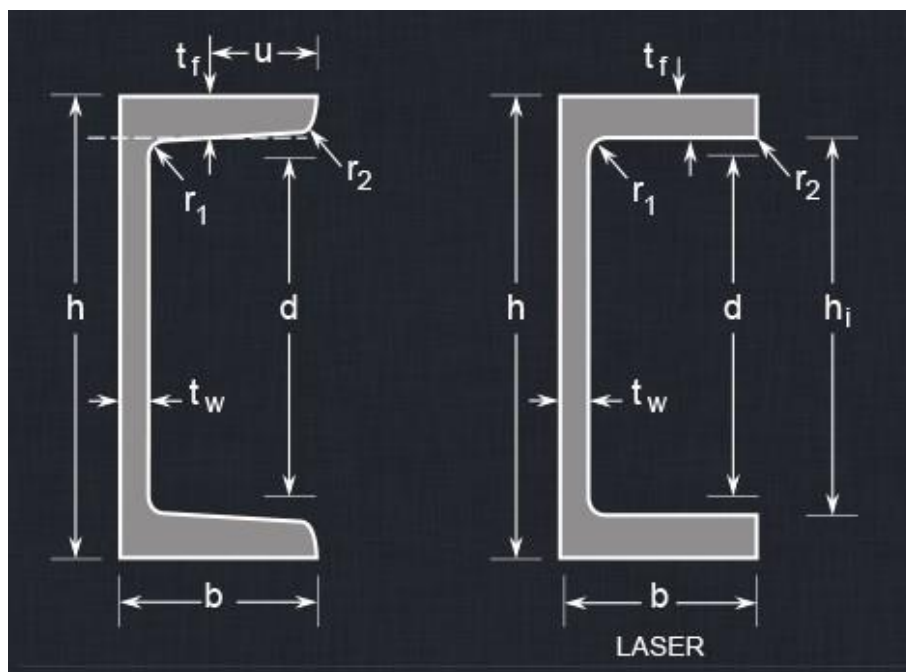
- <http://www.bearing.net.au/wp-content/uploads/2014/07/SKF-Pulley-Catalogue.pdf> (21.05.2020)
17. Platvormi alusrataste valik. [Online]
<https://www.blickle.ee/toode/DSPK-101K-268359> (22.05.2020)
<https://www.blickle.ee/toode/DSPK-50K-755325> (22.05.2020)
 18. Lineaaraktuaatori valik. [Online]
https://www.aluflex.com/sida49_en.html (19.05.2020)
 19. Lifti trosside valik. [Online]
https://www.pfeifer.info/out/assets/PFEIFER-DRAKO_ELEVATOR-PRODUCTS_BROCHURE_EN.PDF (12.05.2020)
 20. Lineaaraktuaatori mootor. [Online]
https://mitsubishi-electric-eshop.mee.com/mee/FA_IA/en/EUR/Catalogue/Servo/Servo-Motor/HG-KR73/p/000000000000248655 (23.05.2020)
 21. Pöördosa tugikonstruktsiooni materjal. [Online]
<http://www.dsssteel.com/products/long/pdf/jis-channels.pdf> (13.05.2020)
 22. Pöörderingi fotomaterjal. [Online]
<http://www.86bearings.com/slewing-bearing/torriani-gianni-slewing-bearing.html> (22.05.2020)

LISAD

Lisa 1 U-profiil

UPN or UNP is the short form for standardized channel sections according to EN 10365 with tolerances according to EN 10279: 2000. UPN in stainless steel are used in all kind of industrial applications, machinery and equipment building. The use of stainless steel profiles is characterized by high design flexibility and by fast and cost effective construction (through the possibility of prefabrication in the steel production).

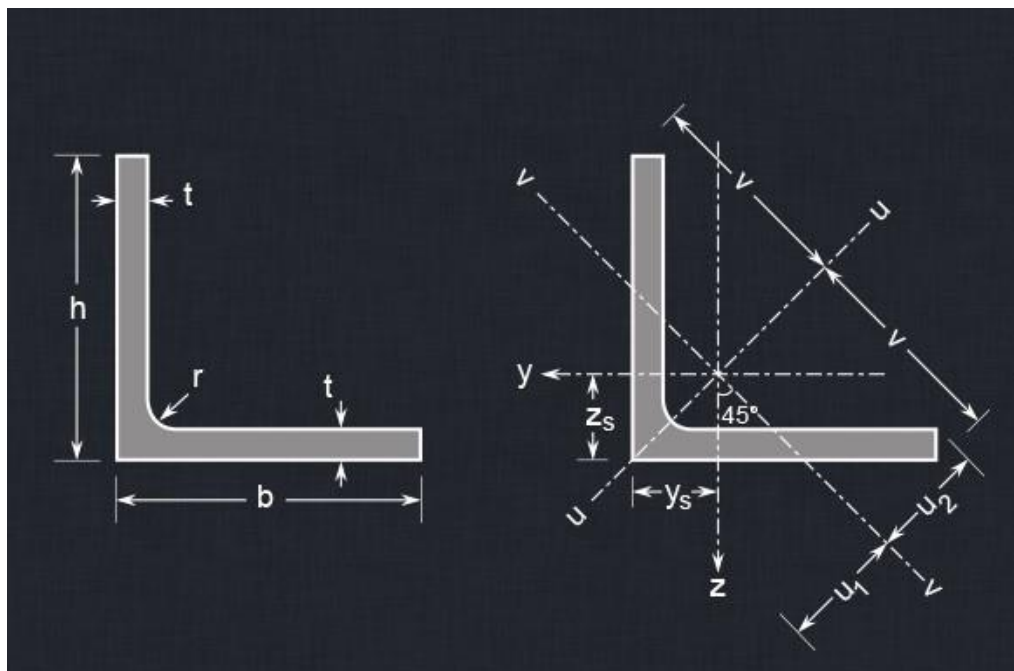
Stainless steel profiles are produced mainly from scrap and can be recycled again after utilization so new resources can be conserved. According to EN 10088-3: 1D the following austenitic grades are predominantly used for stainless steel structurals: 1.4301 (304), 1.4307 (304L), 1.4401 (316), 1.4404 (316L) and 1.4571. [2]



Sele 1.1. UPN profiil [2]

Lisa 2 L-nurk profiil

Equal angle bars which are dimensionally standardized according to EN 10056-1 (1998), have parallel legs and their tolerances are defined with EN 10056-2 (1993) represent a broad product line of bar-shaped building elements. Generally angle bars in stainless steel are used in commerce and industry but also in machinery and equipment building. The use of stainless steel profiles is characterized by a high flexibility of composition and a fast and cost reduced construction (through the possibility of prefabrication in the steel production). Stainless steel profiles are produced mainly from scrap and can be recycled again after utilization so new resources can be conserved. According to EN 10088-3: 1D the following austenitic grades are predominantly used for stainless steel structurals: 1.4301 (304), 1.4307 (304L) , 1.4401 (316) , 1.4404 (316L) and 1.4571. [2]



Sele 2.1. Võrdkülgne L-profiil [2]

Lisa 3 MIG-MAG keevitus

Keevituse tunnusnumber 131. Keevitusel kasutatakse kaitsegaasina argooni ja süsihappegaasi segu.

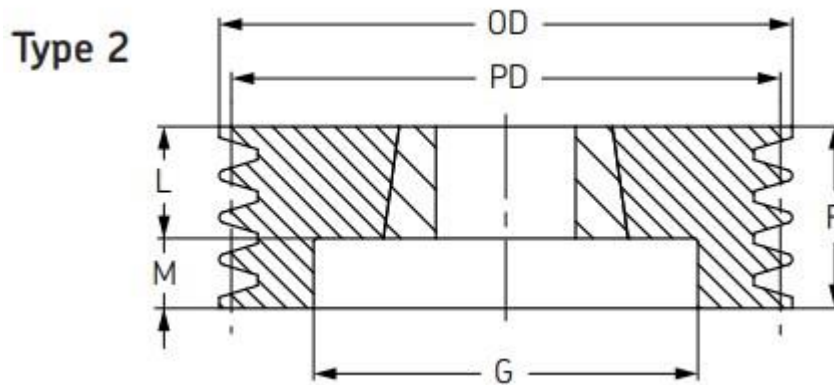
MIG-MAG eelised:

- Parem õmbluse kvaliteet kuna ei kasutata elektroodi
- Keevituskiiirus
- Keevitusasendid
- Suur tootlikkus, 1,2 kuni 7 kg tunnis
- Keevitamisel ei teki räbu – parem kvaliteet
- Keevitusprotsess on lihtne mistõttu ei võta väljaõpe aega
- Keevitaja näeb visuaalselt õmblust mis omakorda parandab kvaliteeti
- Kerge automatiseerida kasutades roboteid

MIG-MAG puudused:

- Kaitsegaasi tõttu ei sobi hästi kasutamiseks välitingimustesse
- Keevitusparameetrite paika sättimine on aeganõudev ja valede seadete tõttu tekib palju pritsmeid ning kvaliteet ei ole hea
- Väike keevitustraatide valik

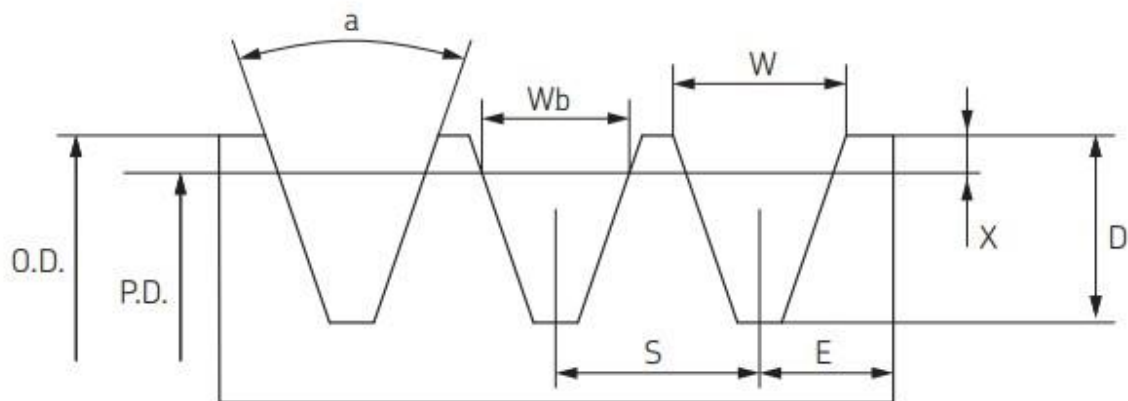
Lisa 4 lifti trossiratta PHP 4SPA150TB joonis



Sele 4.1. Tüüp 2 trossiratas [16]

Tabel 4.1. Trossiratta mõõdud [16]

Sammu läbimõõt	OD	Ratta tüüp	Puksi nr.	Võlli ava		F	G	L	M	Kaal kg
				Min.	Max.					
150	155,5	2	2517	16	60	65	116	45	20	4,2

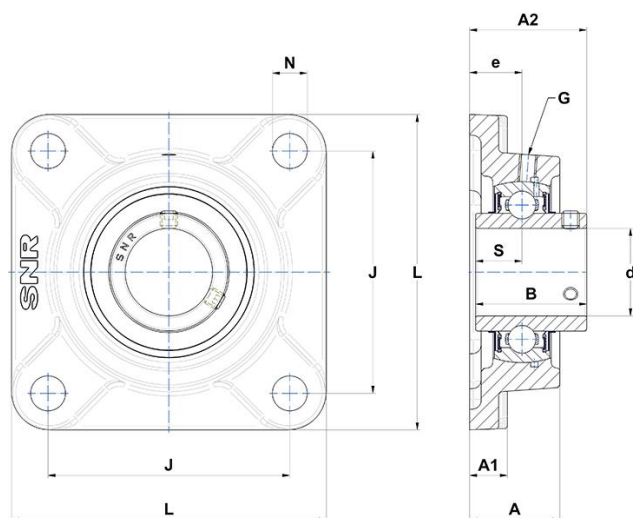


Sele 4.2. Trossiratta mõõdud [16]

Tabel 4.2. Trossiratta soonte mõõdud [16]

Seeria	Soone nurk	Mõõdud						
		a	W	Wb	D	X	S	E
		mm						
SPA	38	12,7	11	13,8	2,75	15	10	

Lisa 5 UCF214 mõõdud

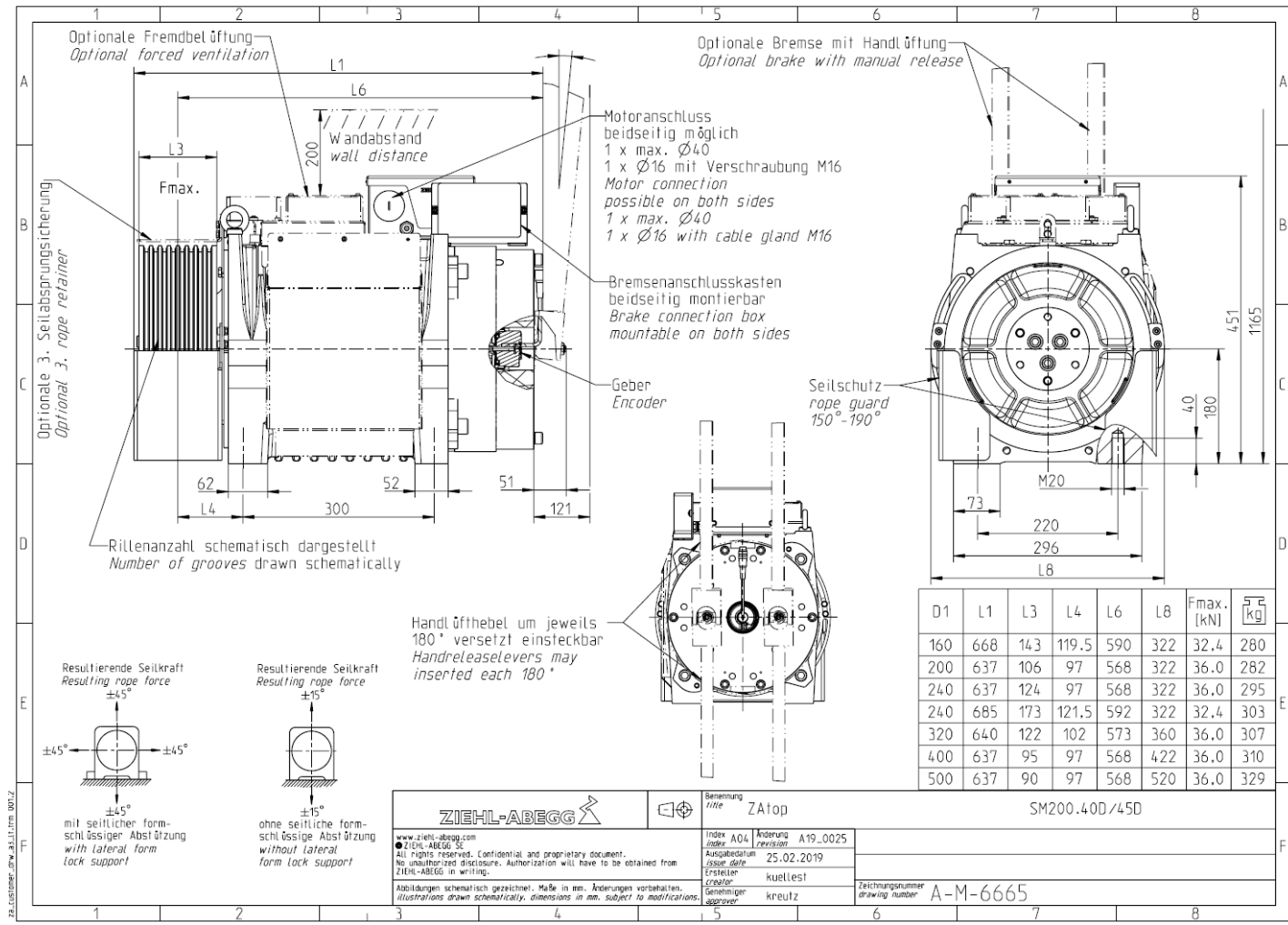


Sele 5.1. UCF.214 laagri mõõtude joonis [10]

Tabel 5.1. UCF.214 mõõdud [10]

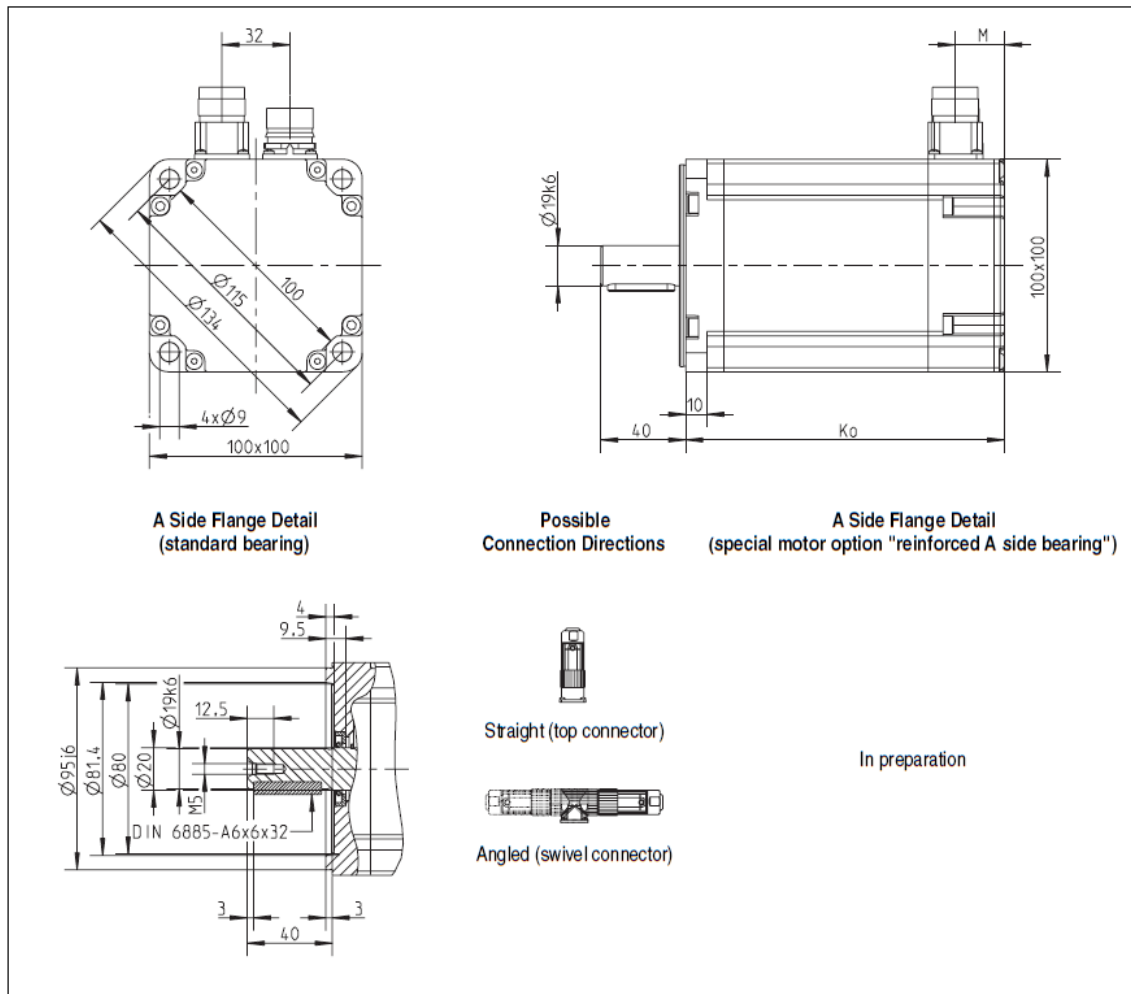
B, mm	74,6
A, mm	54
A1, mm	22
A2, mm	75,4
d, mm	70
e, mm	31
G	M10x1
J, mm	152
L, mm	193
N, mm	19
s1, mm	37,3
S, mm	30,2
C	62kN
C0	45kN
T min.	-20 °C
T max.	100 °C
Mass, kg	6,25
Soovitatud poltide kinnitusemoment, Nm	33

Lisa 6 SM200.40D lifti mootori joonis



Sele 6.1. SM200.40D/45D joonis

Lisa 7 8LSA mootori joonis

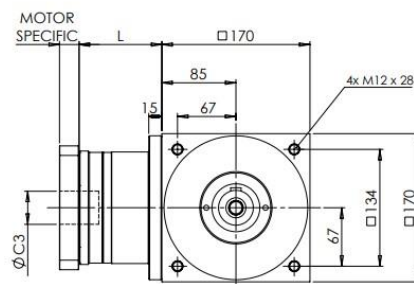
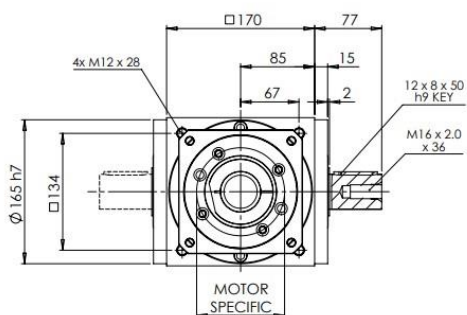


EnDat Feedback Model number	K ₀	M	Resolver Feedback		Extension of K ₀ depending on the Motor Option [mm]				
			Model number	K ₀	Holding brake	Oil seal	Reinforced A side bearing		
8LSA43.Exnnnfgg-0	185	58	8LSA43.R0nnnfgg-0	150	23	32	--	---	
8LSA44.Exnnnfgg-0	205		8LSA44.R0nnnfgg-0	170					
8LSA45.Exnnnfgg-0	227		8LSA45.R0nnnfgg-0	192					
8LSA46.Exnnnfgg-0	249		8LSA46.R0nnnfgg-0	214					

Table 21: 8LSA4 dimensions

Sele 7.1. 8LSA mootori m  dud [6]

Lisa 8 AT170F reduktori joonis



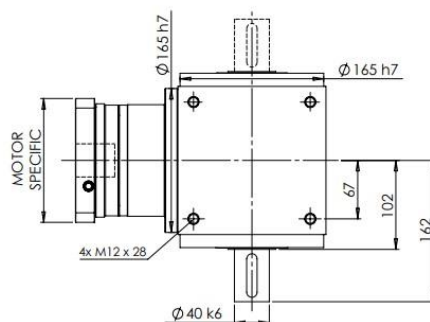
DIM L Single Stage = 95.0 mm
DIM L Double Stage = 157.5 mm
DIM L Triple Stage = 183.5 mm

AT = Stainless steel
ATB = Blackened carbon steel

Dimensions and ratings of **AT** &
ATB series are identical

NOTE: Example gearbox shown with S2 shaft option

AT170FL = 1 Input, 2 Output
AT170FL1 = 1 Input, 1 Output (Clockwise / Anti-clockwise)
AT170FR1 = 1 Input, 1 Output (Clockwise / Clockwise)

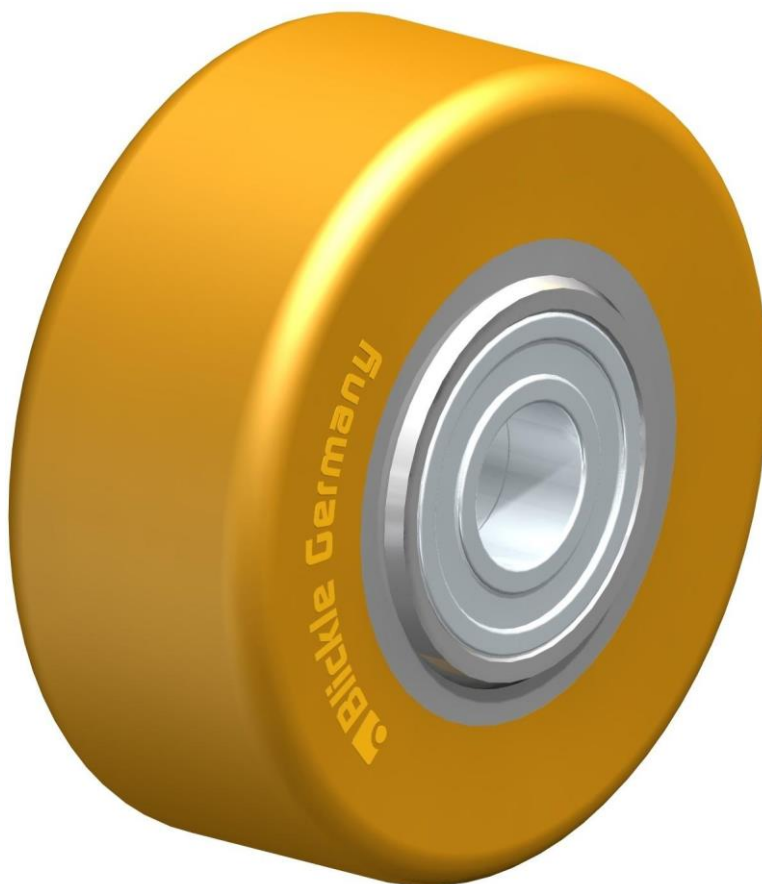


Sele 8.1 AT170F joonis [7]

Lisa 9 VSTH 100x40/20-44K Pöördosa tugirataste parameetrid

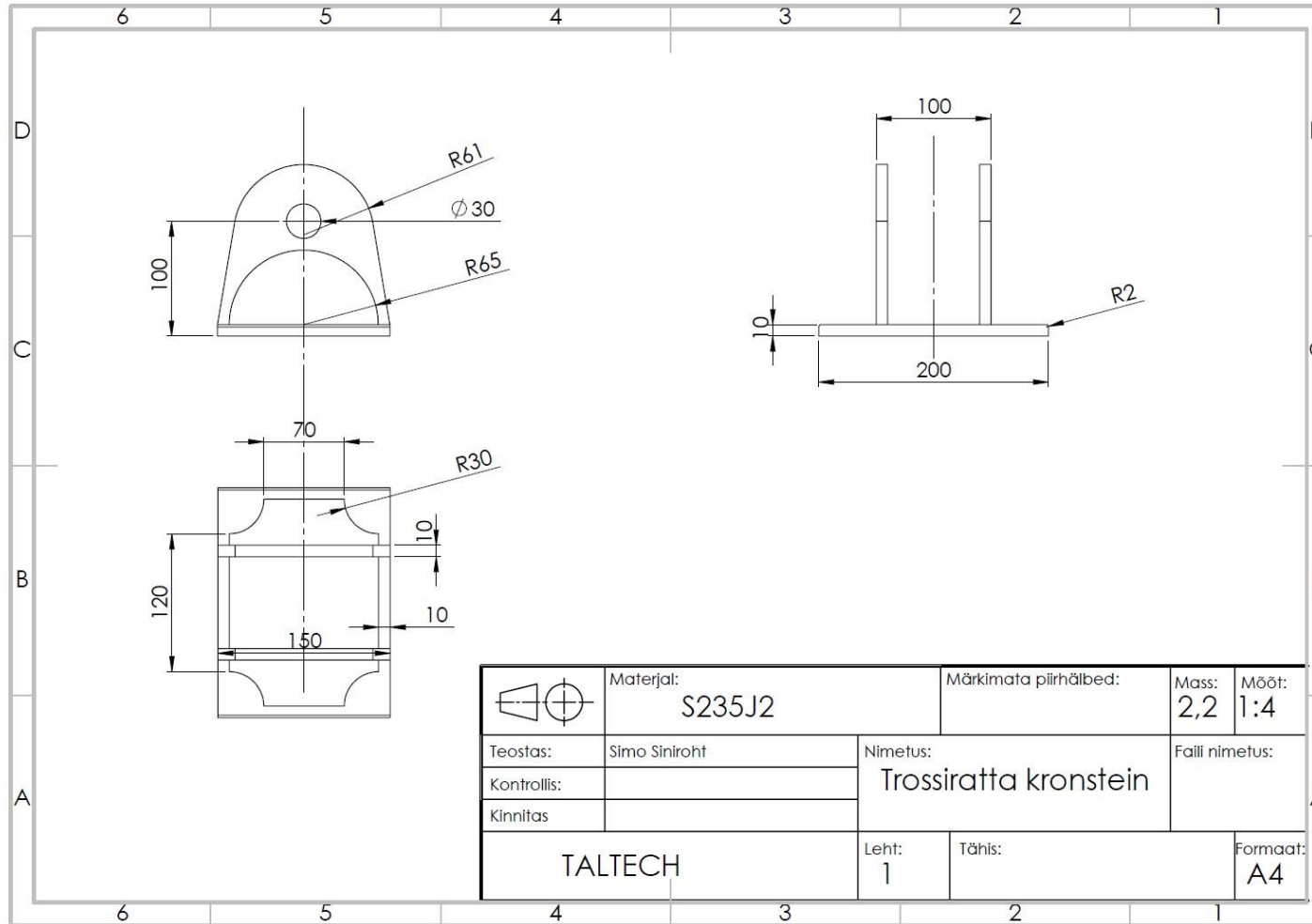
Tabel 9.1 VSTH 100x40/20-44K parameetrid [11]

Ratta läbimõõt (D)	100 mm
Ratta laius (T2)	40 mm
Kandevõime	360 kg
Telje ava (d)	20 mm
Kinnitusosa pikkus (T5)	44 mm
Rummu soon (T1)	44 mm
Mass, tk	0,9 kg
Temperatuurikindlus	-25 – 70 °C
Tihendi tüüp	92° Shore A
Laagri tüüp	flantskinnitusega rullikud

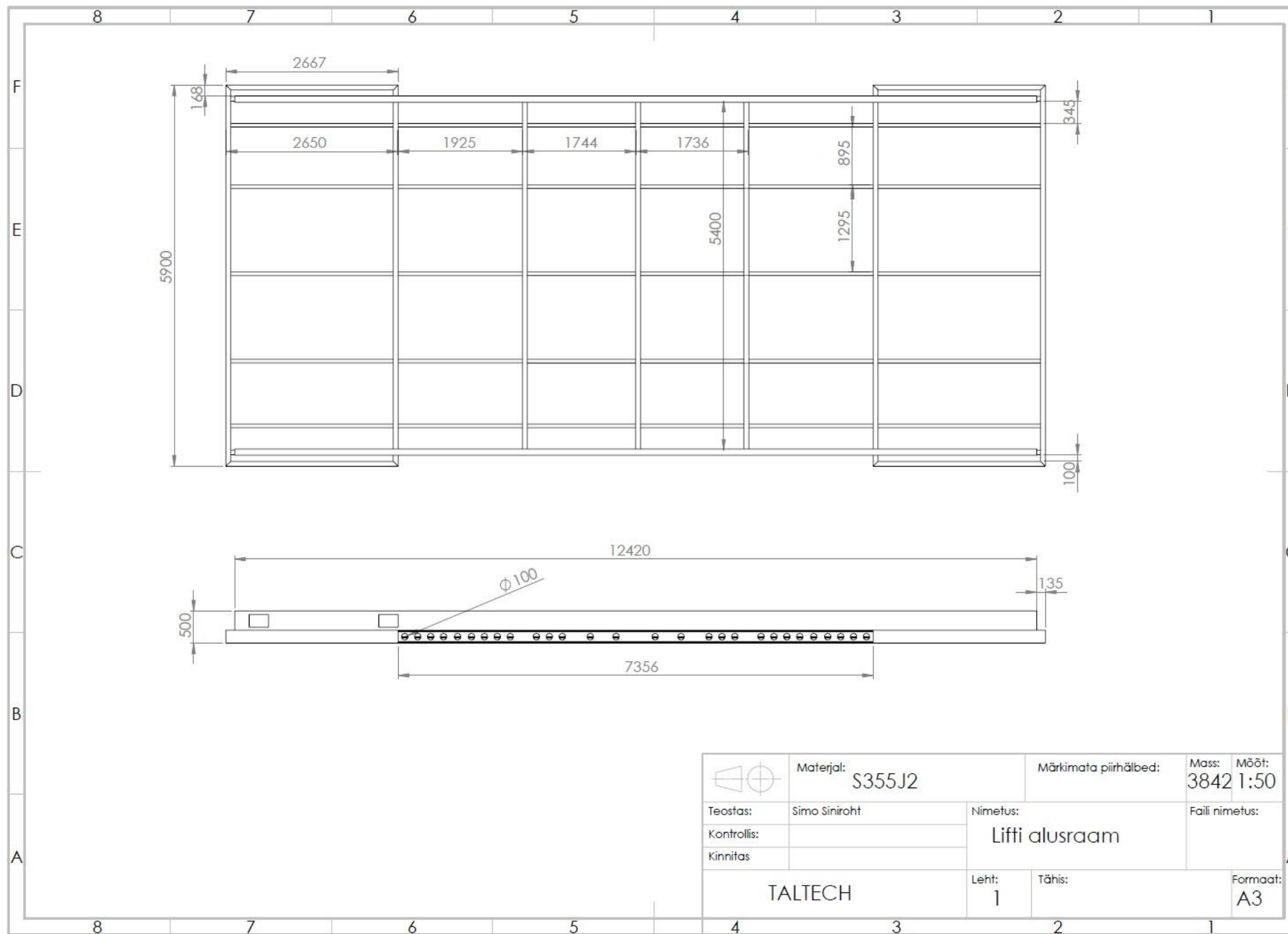


Sele 9.1 VSTH 100x40/20-44K [11]

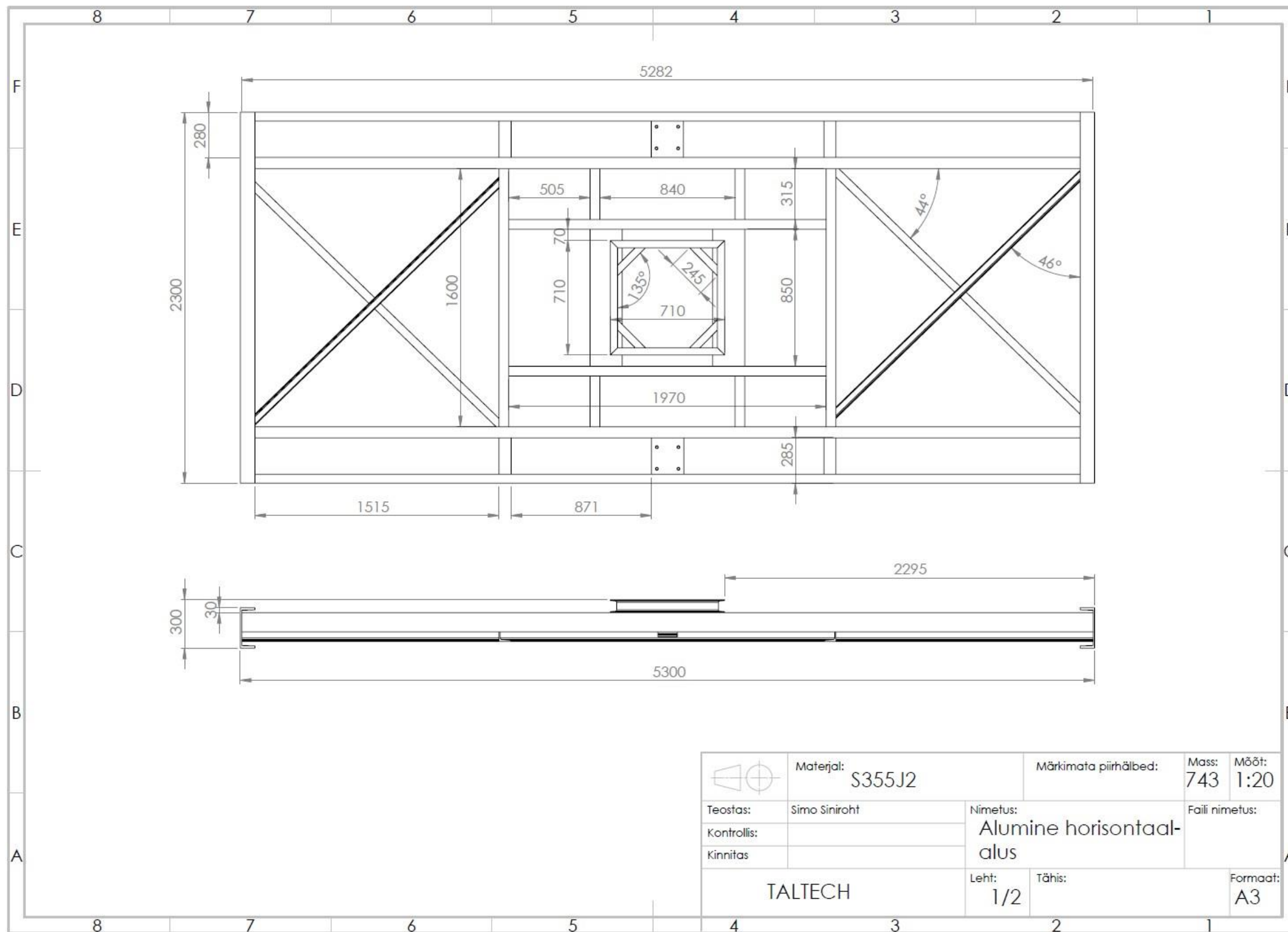
Lisa 10 Lifti trossiratta kronstein



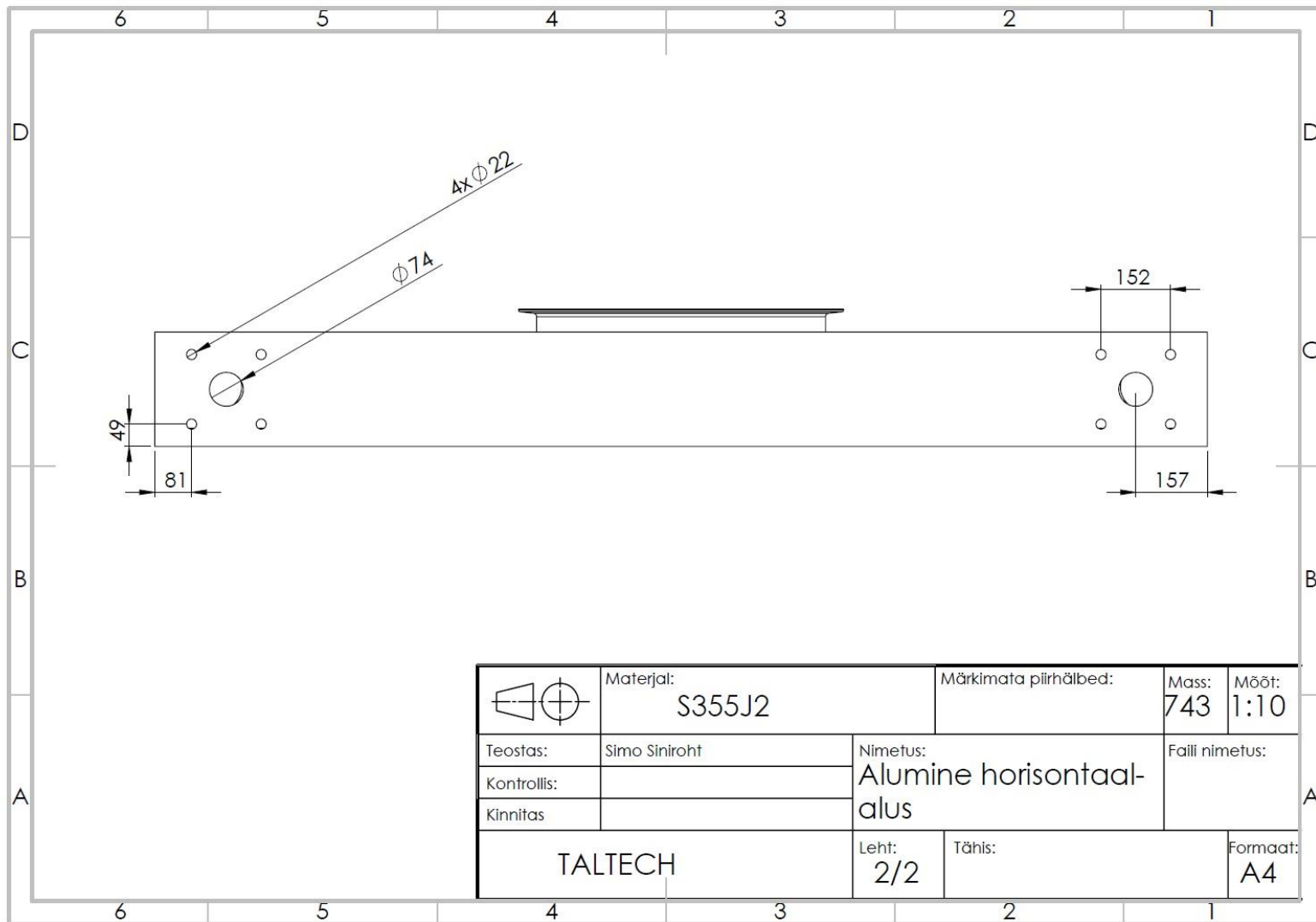
Sele 10.1. Trossiratta kronsteini joonis



Sele 11.1. Alusraami joonis

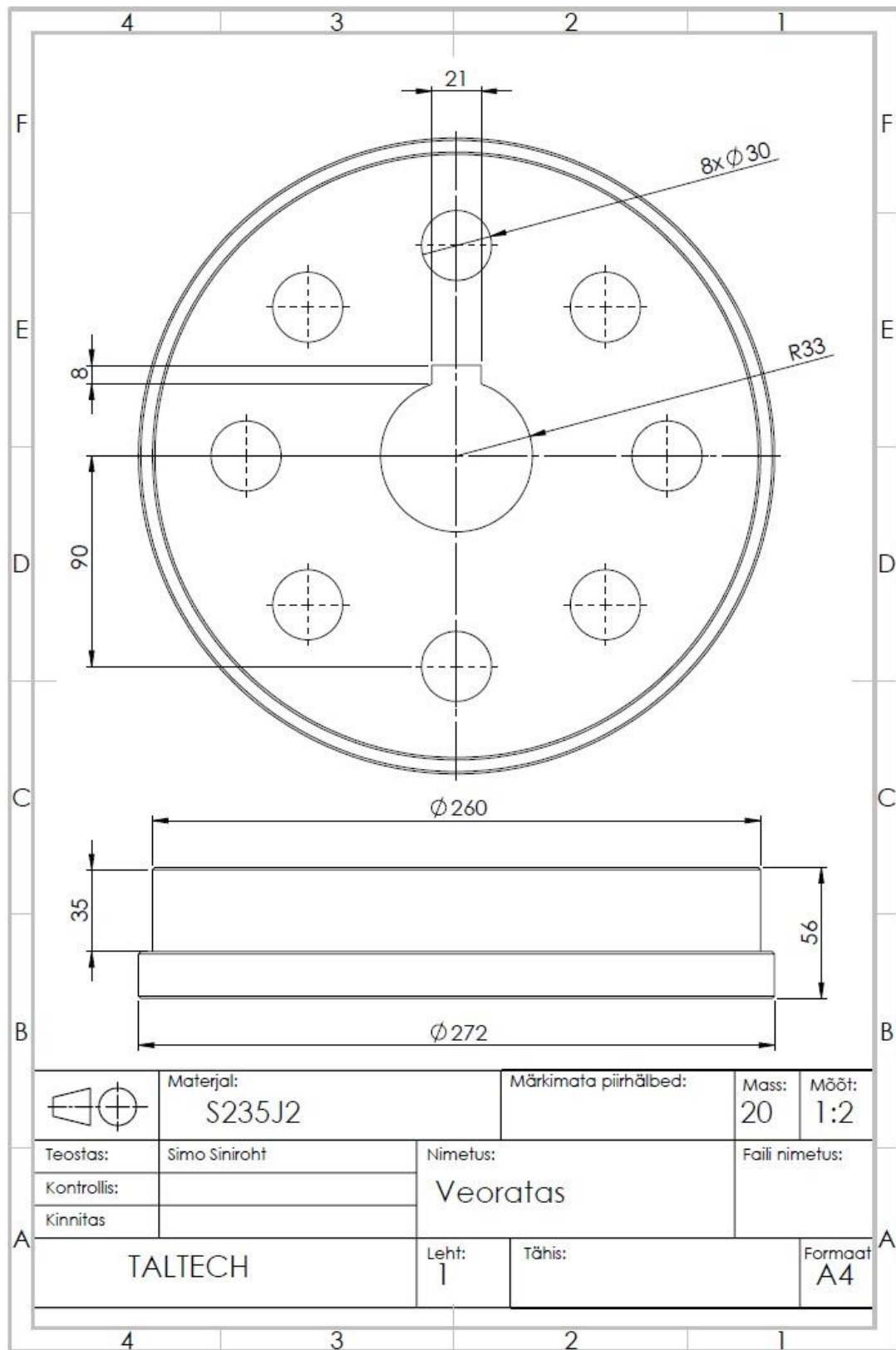


Sele 12.1. Alumise horisontaaluse koostejoonis



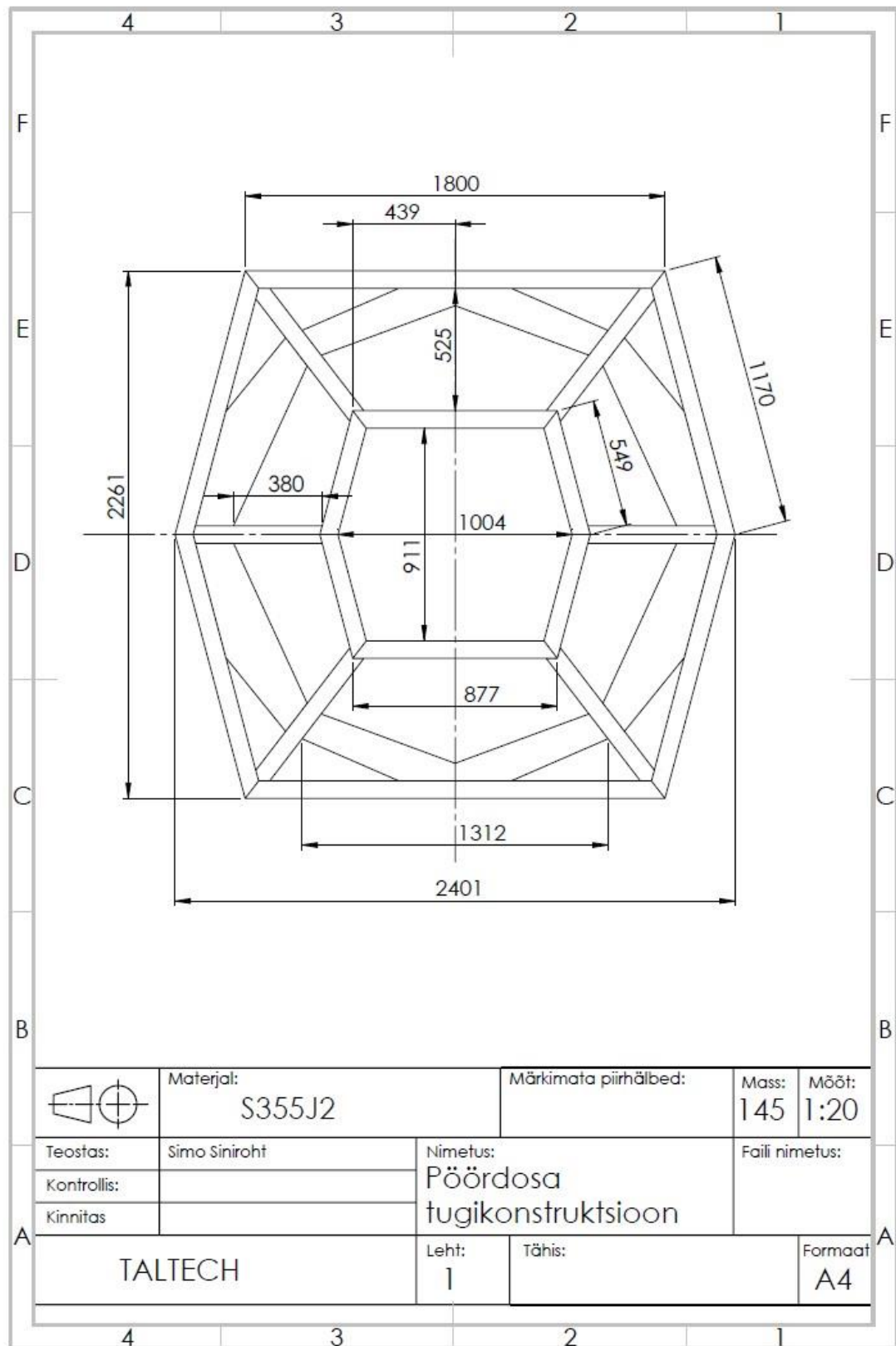
Sele 12.2. Alumise horisontaalaluse koostejoonis (vaade vasakult)

Lisa 13 Horisontaalaluse ratas



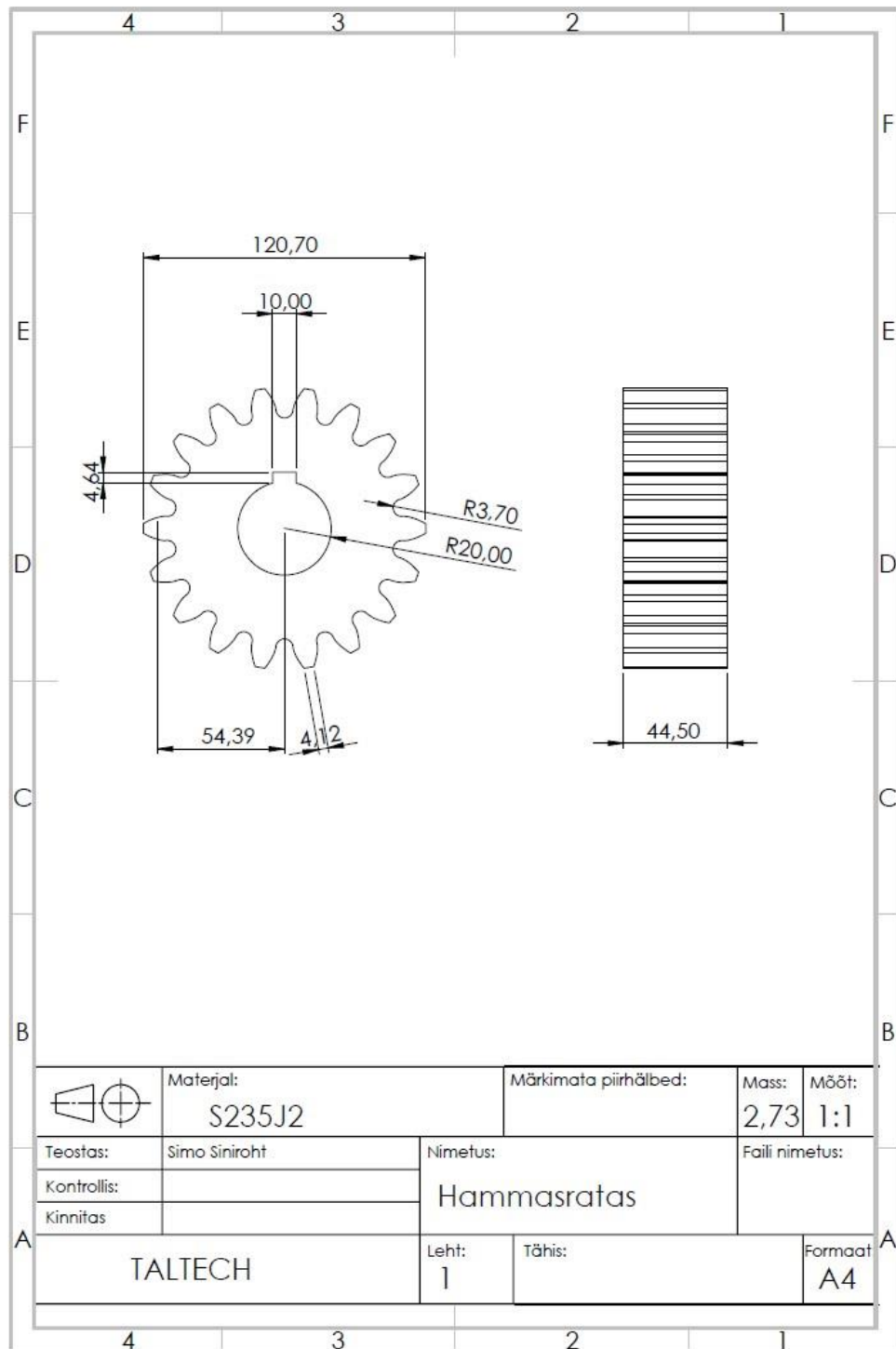
Sele 13.1 Horisontaalaluse ratta joonis

Lisa 14 Pöördosa tugikonstruktsiooni koostejoonis



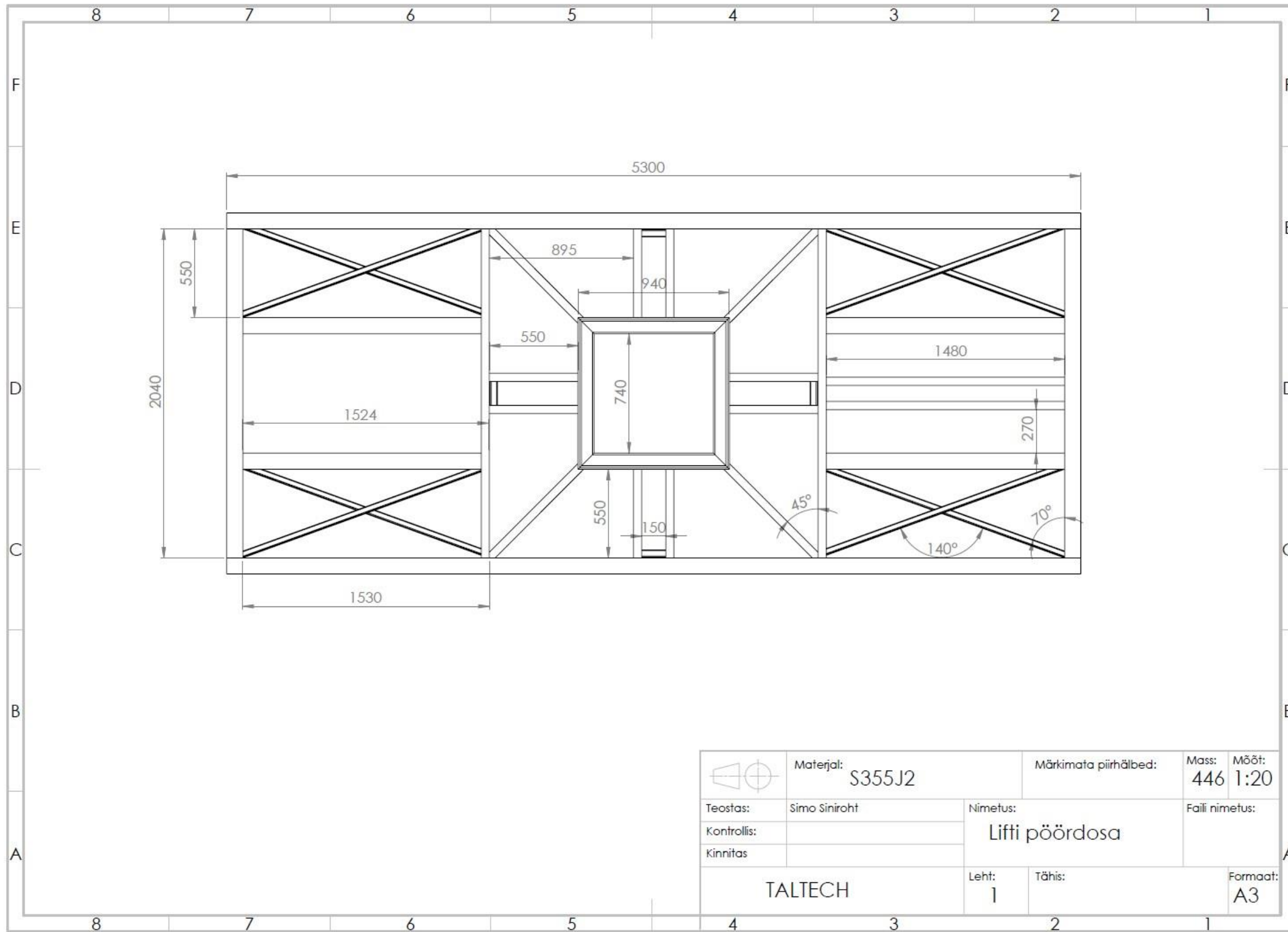
Sele 13.1 Pöördosa tugikonstruktsiooni koostejoonis

Lisa 15 Pöörderingi vedav hammasratas



Sele 14.1. Pöördosa hammasratta joonis

Lisa 16 Pöördosa ülemise raamistiku koostejoonis



Sele 16.1. Pöördosa ülemise raamistiku koostejoonis