



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

TTMA-100/200 treileri valguspaneeli tõstmise mehhaniseerimine

Mechanization of TTMA-100/200 trailer lightarrow board

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Hannes Soomer

Üliõpilaskood: 212187MATM

Juhendaja: Martin Eerme

Tallinn 2024

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.

“2” jaanuar 2024

Autor: digiallkirjastatud

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“2” jaanuar 2024

Juhendaja: digiallkirjastatud

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“2” jaanuar 2024

Kaitsmiskomisjoni esimees:

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Hannes Soomer

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

TTMA-100/200 treileri valguspaneeli tõstmise mehhaniseerimine

mille juhendaja on Martin Eerme

(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.

2 jaanuar 2024 (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Hannes Soomer, 212187MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika, Tootearendus

Juhendaja(d): Täisprofessor tenuuris, Martin Eerme, 620 3270

Konsultant: Andreas Lau, Director, Nordic Traffic Safety GmbH,
+494621977547, office@nts.world

Lõputöö teema:

(eesti keeles) TTMA-100/200 TREILERI VALGUSPANEELI TÕSTMISE
MEHHAANISEERIMINE

(inglise keeles) MECHANIZATION OF TTMA-100/200 TRAILER LIGHTARROW
BOARD

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Projekteerida komplekt TTMA-100/200 valguspaneeli tõstmise mehhaniseerimiseks
2. Toota 5 komplekti projekteeritud toodet

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Konkurentide uuring	06.2023
2.	Lahenduse valik ja projekteerimine	09.2023
3.	Prototüübi tootmine, testimine	10.2023
4.	Tootmine, seletuskirja vormistamine	12.2023

Töö keel: Eesti Lõputöö esitamise tähtaeg: "02" jaanuar 2024a

Üliõpilane: Hannes Soomer "02" jaanuar 2024a

/allkiri/

Juhendaja: Martin Eerme "02" jaanuar 2024a

/allkiri/

Konsultant: Andreas Lau "02" jaanuar 2024a

/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme "02" jaanuar 2024a

/allkiri/

SISUKORD

SISUKORD.....	5
EESSÕNA	7
1 SISSEJUHATUS.....	8
2 Ettevõtte tutvustus	9
3 Probleemi püstitus	10
3.1 TTMA-100/200 treiler	10
3.2 Nõuded projektile	12
4 Turuanalüüs.....	14
4.1 Konkurentide lahendused.....	14
5 Lahenduste võrdlus.....	17
5.1 Tõstmine	17
5.1.1 Elektrivints	17
5.1.2 Hüdrauliline silinder.....	17
5.1.3 Elektriline lineaaraktuaator	18
5.1.4 Tõstelahenduste hindamine	19
5.2 Sõrmede liigutamine	19
5.2.1 Elektriline ukسلukk	20
5.2.2 Eraldi lineaaraktuaator	20
5.2.3 Üks lineaarajam kiigele kinnitatult	21
6 Tehniline osa.....	23
6.1 Modelleerimine	23
6.1.1 Lineaarajami valik	23
6.1.2 Geomeetria välja selgitamine.....	24
6.1.3 Materjalide valik.....	26
6.1.4 Mudelite koostamine.....	27
6.2 Arvutused	30
6.2.1 Ülemise kinnitusraami tugevusarvutus.....	31
6.2.2 Alumise kinnitusraami toru tugevusarvutus	32
6.2.3 Alumise kinnitusraami pingutusjõu arvutus.....	34
6.3 Prototüüp ja testimine	35
6.3.1 Testimise tulemused.....	37
6.3.2 Sõrmede lukud	38
6.3.3 Gaasivedrud	40
6.3.4 Lõplik prototüüp.....	41
7 Majanduslik osa.....	43

7.1	Sisse ostetud tooted/teenused	43
7.2	Teostatud operatsioonid	44
7.3	Ostutoodete kulu	45
7.4	Omahinna kalkulatsioon.....	46
8	KOKKUVÕTE.....	48
9	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	50
10	LISAD	51
11	GRAAFILINE OSA	59

EESSÕNA

Käesolev magistritöö koostati koostöös ettevõttega Nordic Traffic Safety GmbH, kelle põhiline tegevusala on liiklusohutusvahendite arendus ja müümine üle maailma. Antud töö tulemusena valmiv toode on mõeldud USA turule liiklusohutustreileri lisavarustusena. Toode projekteeriti ja töö koostati Eestis. Toodet hakatakse tootma USAs.

1 SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärk on projekteerida liiklusohutustreileri TTMA100/200 valguspaneeli tõstmise mehhaniseerimise komplekt. Töö käsitleb tootearendusprotsessi algusest lõpuni. Töö tulemus on toimiva toote projekt ja 5 komplekti lõpliku toodet. Töö on valminud koostöös ettevõttega Nordic Traffic Safety GmbH, kes hakkab projekteeritavat toodet müüma üle maailma. Projekti läbi viimiseks kasutatakse arvutitarkvara Fusion 360, MS Excel ja Todoist.

TTMA 100/200 on USA turule mõeldud liiklusohutustreiler, millel on sisse ehitatud avarienergialeevendus. Treileri eesmärk on kiirteedel seistes või aeglaselt veoki taga liikudes kaitsta avarii korral nii veokijuhti, töölisi kui ka avariisse sattunud sõidukijuhti. Treileri esiosas on pealisehitus, mille eesmärk on hoida valguspaneeli, millega lähenevatele sõidukitele valgusmärkide abil infot anda. Valguspaneelide senine mehaaniline vintsiga tõstesüsteem asendatakse projekteeritava tootega, mille abil saab treileri opereerimise muuta täielikult automaatseks. Projekteeritava toote potentsiaalne turg on ca 10 000 hetkel käibel olevat treilerit ning viimastel aastatel on aastane uute treilerite toodang ulatunud 2000 tükini.

Töö esimeses osas seletatakse lahti probleem mida lahendatakse, uuritakse teisi sarnase probleemi lahendusi ning luuakse eeldused toote projekteerimise alustamiseks nõuete määramisega.

Tehnilises osas pakutakse välja ja hinnatakse erinevaid võimalusi probleemi lahendamiseks, projekteeritakse toode ning toodetakse toote prototüüp, millel viiakse läbi testimine. Testimise tulemusena tehakse toote juures ka muudatusi.

Viimases osas luuakse dokumentatsioon lõpptoote tootmiseks ja toodetakse 5 komplekti lõpliku toodet. Majanduslikus osas leitakse tootmise omahind.

2 ETTEVÖTTE TUTVUSTUS

Nordic Traffic Safety GmbH (edaspidi NTS) on Saksamaa ettevõtte, mis tegeleb liiklusohutusvahendite müügi ja arendusega kogu maailmas. NTS asutati 2015 aastal. Hetkel on ettevõtte kontor Saksamaal ja Taanis. Ettevõtte tootevalikusse kuuluvad erineval kujul valguspaneelid ja märguandelambid, aga ka treilerid ja pealisehitused (Joonis 2.1). Lisaks omaarendatud riistvara ja tarkvaraga kontrollsüsteemid valguspaneelidele.

NTS on TTMA treilerite turustaja Euroopas, mille kaudu on tekkinud tihe partnerlusside TTMA treilerite tootjaga USAs. Koostöös USA tootjaga on läbi viidud ka käesolev projekt. Käesoleva töö raames projekteeritud toote mehaanikaosale lisatakse Saksamaal arendatud kontrollsüsteem, mis teeb kogu toote täielikult automaatseks. Toote arendus toimub Euroopas, kuid valmistootte seeriatootmine hakkab toimuma USAs.

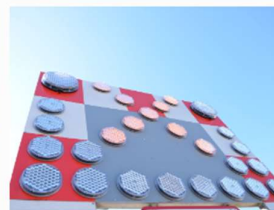
NTS



LP15 Slim Line



LK9 Slim Line



Warning Lamps



TTMA / TMA



Safety Trailer

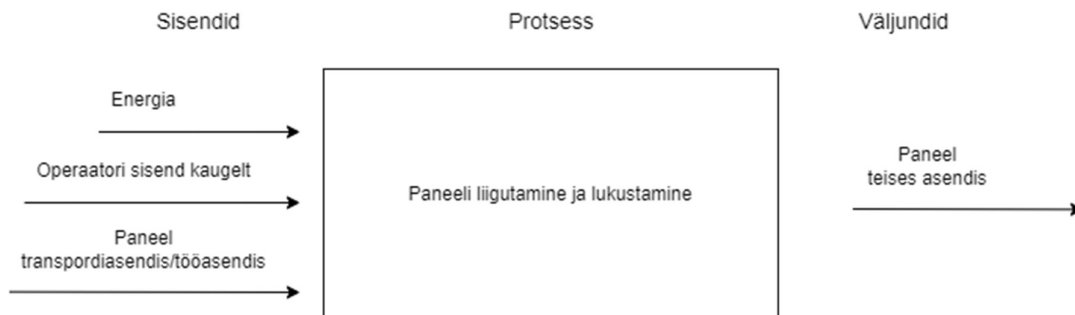


and more...

Joonis 2.1 Valik NTS pakutavaid tooteid [1]

3 PROBLEEMI PÜSTITUS

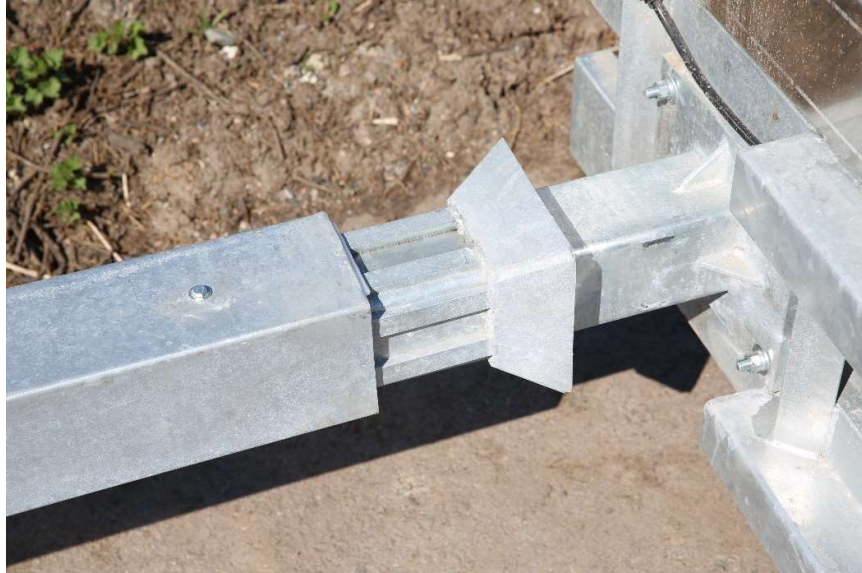
Projekti eesmärk on projekteerida lisavarustusena müüdav komplekt USA turule TTMA-100/200 treileri ekraanide koostu mehhaniseeritud liikumiseks. Algne manuaalse vintsiga tõstelahendus asendatakse projekteeritava süsteemiga, säilitades algsed lukustusmehhanismid. Lisaks toote projekteerimisele toodetakse 5 esimest komplekti. Toote protsess näidatakse musta kasti diagrammil (Joonis 3.1).



Joonis 3.1 Musta kasti diagramm

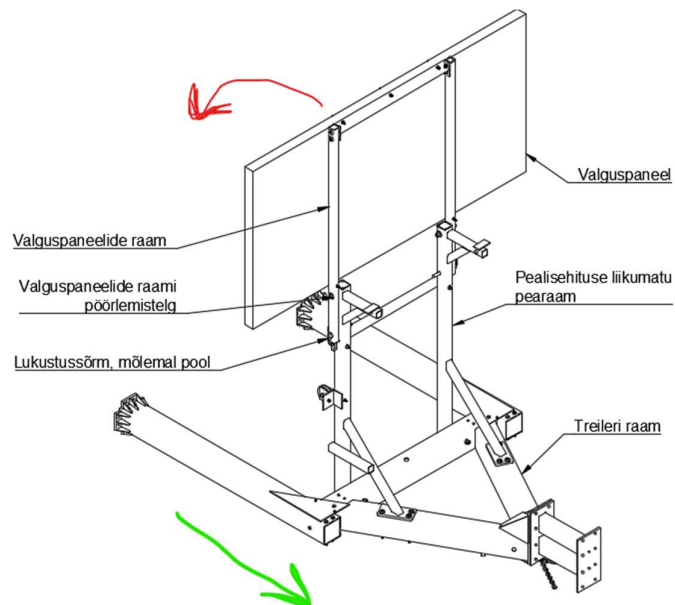
3.1 TTMA-100/200 treiler

TTMA-100/200 on Gregory Industries Inc poolt toodetavad liiklusohutustreilerid, millel on integreeritud avariiennergialeevendus (Joonis 3.2). Treilerit kasutatakse aeglaselt liikuva või seisva sõiduki taga sõiduteedel töötades. Treileri eesmärk on avarii korral leevendada lööki nii tagant otsa sõitvale autole kui ka veokile.



Joonis 3.2 TTMA energialeevendusseade [2]

Treileri esiosas on pealisehitus, mille ülemise osa külge on kinnitatud valguspaneel, millega on võimalik näidata erinevaid signaale. Lisaraam on kaheosaline, mille ülemine osa liigub 90°, et transpordiks saaks valguspaneeli pikali keerata. Valguspaneeli liigutamine toimub originaaltootel manuaalse vintsiga, mida kasutatakse treileri kõrval seistes. Valguspaneel lukustatakse transpordi ja töoasendisse terrassõrmedega, mis sisestatakse käsitsi, kui asend on fikseeritud (Joonis 3.3).



Joonis 3.3 TTMA-100/200 konstruktsiooni diagramm: roheline nool – sõidusuund, punane nool – ekraanide liikumissuund

Antud treilerile on valmistatud ka teisi pealisehitusi, aga originaaltootja Gregory Industries müüb seda treilerit antud pealisehitusega (Joonis 3.4). USA kiirteedel toote kasutamiseks peab see olema läbinud MASH testi (endiselt NCHRP 350), kus simuleeritakse erinevaid avariiolekordi. Rohkem infot MASH testi kohta on toodud töö lisa. (Lisa 2) Selleks, et juba läbitud MASH testi sertifikaat jääks kehtima, ei tohi muuta ekraanide paigalduse konstruktsiooni ja/või lukustustust tööasendis ja igasugustele muudatustele on vajalik algse projekterija kirjalik luba. Täiemahulise MASH testi läbiviimise maksumus sellisele tootele on ca 750 000 USD. Sellisel kujul treilerit on toodetud üle 15 aasta ja USA turul on toodetud treileritest 95%. Hinnanguline kasutusel olevate treilerite hulk on 10 000 tk.



Joonis 3.4 TTMA-100 treiler veoki taga tööasendis valguspaneeliga [3]

3.2 Nõuded projektile

Ekraanide tõstmise automatiseerimisel tuleb arvestada nii süsteemi töötingimuste, kui ka treileri kehtiva sertifikaadiga. Antud projektile seatud nõuded on toodud nõuete loetelus (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Nõuete loetelu

Nõue	Kuupäev	Allikas	Nõue/ Soov	Märke
Täisautomaatne komplekt TTMA100/200 valguspaneeli tõstmiseks	25.05.2023	NTS	N	
Operaator peab saama treileri transpordiasendist tööasendisse ilma veokist lahkumata	25.05.2023	NTS	N	

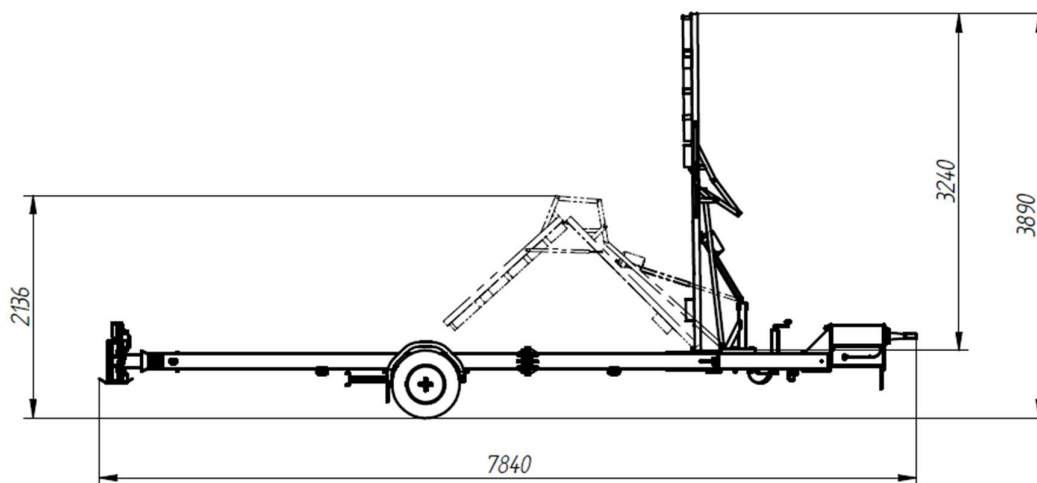
Nõue	Kuupäev	Allikas	Nõue/ Soov	Märke
Originaal konstruktsiooni külge ei keevitata	25.05.2023	NTS	N	
Ühe aktuaatori kasutamine	25.05.2023	NTS	S	Kui ei ole võimalik, siis lisa aktuaator
Aktuaator valida Linaki kataloogist	25.05.2023	NTS	S	
Valguspaneeli mass kuni 90kg	25.05.2023	NTS	N	
Tsükli aeg ligikaudu 30s	25.05.2023	NTS	N	
12V süsteem	25.05.2023	NTS	N	
Originaal lukustussõrmede kasutamine	3.07.2023	NTS	N	
Süsteem peab toimima kuni 50kmh.	3.07.2023	NTS	N	

4 TURUANALÜÜS

4.1 Konkurentide lahendused

USA turule ei ole ükski konkurent veel üritanud antud treilerile mehhaniseeritud süsteemi lisada. Üks põhjustest on kindlasti eelmainitud testimise nõue ja algse tootja passiivsus probleemi lahendamisel. Sellise treileri kujul avariileevendus ei ole ka kõige populaarsem lahendus. Ligi 80% neist on paigaldatud jäigalt veoki külge.

Euroopa turule on valmistatud erinevaid pealisehitusi, kuhu paigaldatakse kohalikul turul vajalikud ekraanid/lambid. Euroopa seadusandlus taoliste toodete reguleerimisel on erinev USA omast. USA treilerid on seetõttu kõik sarnased. Euroopa turule on ka antud töö tellijal pakkuda pealisehitus, mis on täisautomaatne (Joonis 4.1).



Joonis 4.1 NTS pealisehitus TTMA treilerile

Turul on erinevaid nii vintsiga ja käsitsi tõstetavaid kui ka täiesti jäiksid pealisehitusi. Eestis on ühe jäiga pealisehitusega TTMA treileri müünud ka NTS. Tõstetavaid pealisehitusi on nii kaheosalisi kui ka üheosalisi.



Joonis 4.2 TTMA Tiki volditava pealisehitusega [4]

Volditavaid pealisehitusi on toodetud ka Eestis.



Joonis 4.3 TTMA langetatava pealisehitusega [2]

Erinevalt ülalmainitud lahendustest, keskendub käsitletav projekt olemasoleva pealisehituse mehhaniseerimisele. Sellega lahendatakse probleem juba käibel olevate

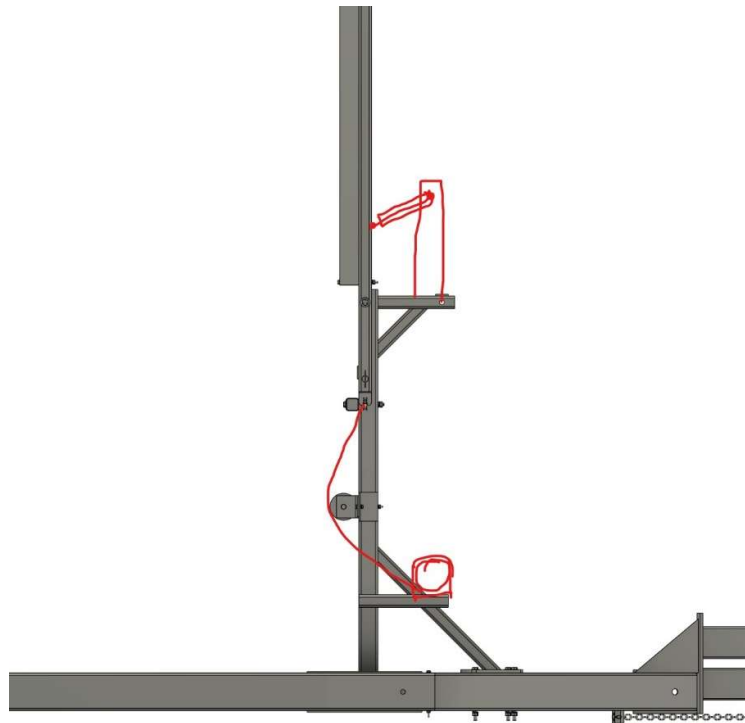
treileritega ning võimaldatakse ka nende treilerite müük turgudele, kus nõutakse täisautomaatset süsteemi.

5 LAHENDUSTE VÕRDLUS

5.1 Tõstmine

5.1.1 Elektrivints

Elektrivintsi kasutamine oleks ilmselt kõige lihtsam lahendus. Sellisel juhul asendatakse manuaalne vints elektrilise vintsi ja kõik muu jäetakse samaks (Joonis 5.1). Sellise lahenduse negatiivne aspekt on, et liikumine üles ja alla ei ole kontrollitud. Näiteks tugeva tuule korral ei ole võimalik vintsi panna ekraane liikuma alla. On võimalus lisada näiteks gaasivedrud, mis töötavad vintsi vastu ja lükkavad ekraane alla. See oleks nõ poolik lahendus, kuna keeruline on teha kogu süsteem täielikult automaatseks. Lisaks oleks vaja süsteemile lisada eraldi süsteem lukustussõrmede liigutamiseks.



Joonis 5.1 Elektrivintsi lahenduse eskiis

5.1.2 Hüdrauliline silinder

Hüdrauliline silinder on lihtne ja laialt levinud viis avaldada lineaarset jõudu. Hüdraulikasurvet silindri käitamiseks on võimalik saada treileri ees olevalt veokilt või paigaldades elektriline hüdraulikajaam treilerile. Kuna antud treilerit saab vedada ka väikeveokiga, kus alati hüdraulikasüsteemi peal ei ole, või ei ole lihtsalt veoki

kärukonksu juurde toodud hüdraulikaväljavõtet, on see variant välistatud. Jääb võimalus paigaldada elektriline hüdraulikajaam treilerile (Joonis 5.2). Selline 12V toitega hüdraulikajaama hind on ca 500€. Sellele lisanduvad hüdraulikaliited ja silinder/silindrid.



Joonis 5.2 12V hüdraulikajaam [5]

5.1.3 Elektriline lineaaraktuaator

Elektriline lineaaraktuaator on seade, kus elektrimootori pöörlev energia muundatakse lineaarseks liikumiseks kruviülekande abil. Selliseid lineaaraktuaatoreid kasutab tellija ka oma teistel toodetel, mistõttu soosib tellija selle kasutamist (Joonis 5.3). Neid on erinevate mõõtmete ja erineva maksimaalse jõuga. Võimsust piirab tarbitav vool, mis tuleb saada kas veokilt või treilerile paigaldatavalt akult. Sellele süsteemile sobivas mõõdus aktuaator maksab ca 400€.



Joonis 5.3 Linak LA33 [6]

5.1.4 Tõstelahenduste hindamine

Tõstelahenduste hindamine viiakse läbi paariviisilise võrdluse meetodil, kus hinnatakse töökindlust, süsteemi lihtsust ja süsteemi hinda (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Tõstesüsteemide hindamine

Kriteerium	Hüdrauliline silinder	Lineaaraktuaator
Töökindlus	1	0
Lihtsus	0	1
Hind	0	1
Kokku	1	2

Hindamise tulemusena osutub valituks elektriline lineaaraktuaator. Selline valik sobib ka tellijale, kuna tellijal on nendega eelnev positiivne kogemus, ning tugev partner tootja näol.

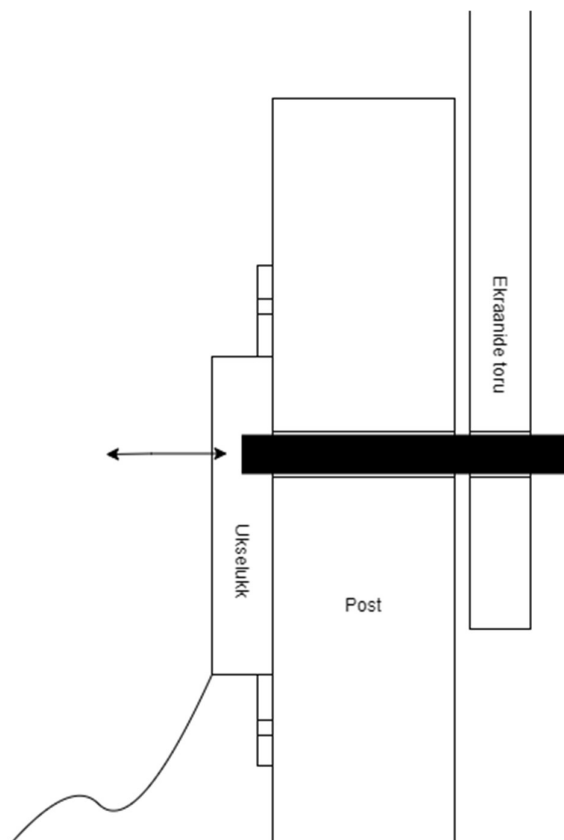
5.2 Sõrmede liigutamine

Algses nõuete loetelus ei olnud märgitud lukustussõrmede automaatset liigutamist. Projekti algfaasis oli plaanitud vaid ekraanide tõstmine lineaaraktuaatori abil, mis hoidis ekraane ka mõlemas asendis paigal. Peale esimese prototüübi esitlemist toote algele disainerile, sai selgeks, et ekraanid tuleb tööasendis lukustada sarnaste

lukustussõrmedega, nagu algsel tootel. See eemaldaks vajaduse toote testimiseks, kuna lukustuse konstruktsioon ei muutu tööasendis.

5.2.1 Elektriline ukسلukk

Elektrilise ukسلuku/riivi saab paigaldada treileri posti külge (Joonis 5.4). Lukk liigutaks riivi/sõrme, mis lukustaks valguspaneeli raami tööasendis. Antud lahendus ei läinud käiku, kuna mõistliku hinnaga ei suudetud leida piisava käiguga lukku, mis sõrme lõpuni läbi ekraanide toru liigutaks. Standardsed ukسلukud on ca 20mm suuruse käiguga. Vaja minev käik on ca 60mm.

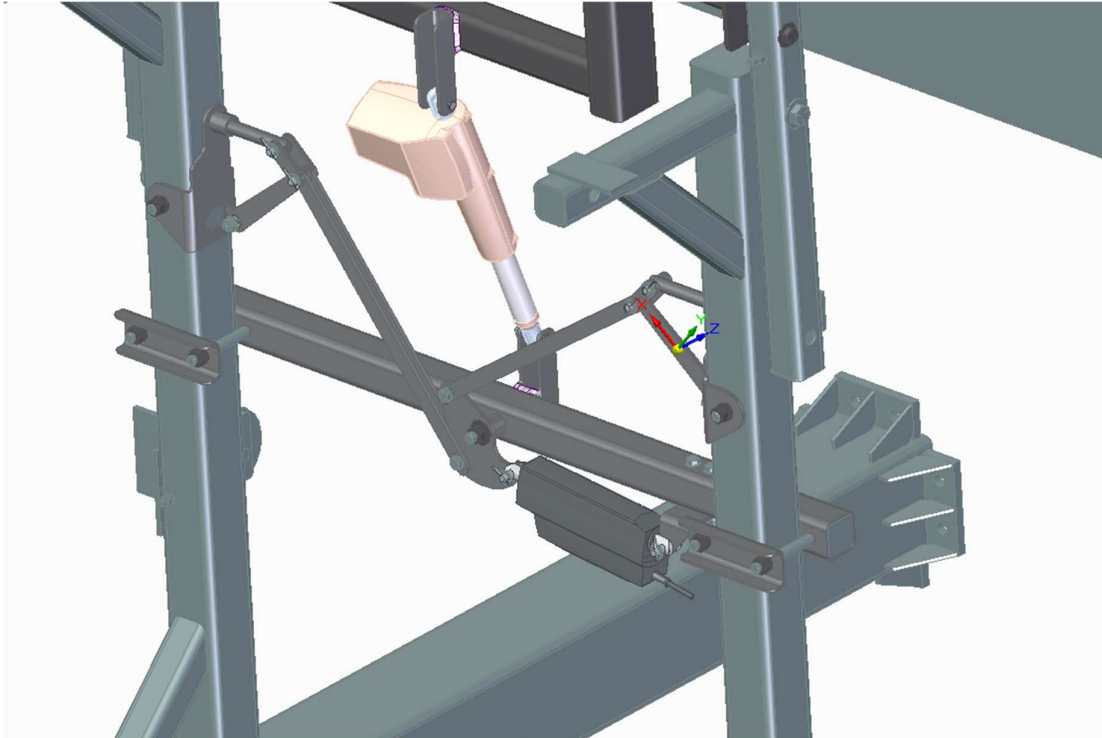


Joonis 5.4 Ukselukk sõrme lukustuseks

5.2.2 Eraldi lineaaraktuuaator

Eraldi lineaaraktuuaator lukustussõrmede liigutamiseks tähendaks lisaks tõsteaktuuaatorile teise, väiksema lineaaraktuuaatori paigaldamist, mis liigutaks lukustussõrmi. Lukustussõrmedele projekteeritakse juhikud, mis positioneeritakse olemasolevate avadega. Sõrmede aktuaator paigaldatakse kas lukustussõrmedega

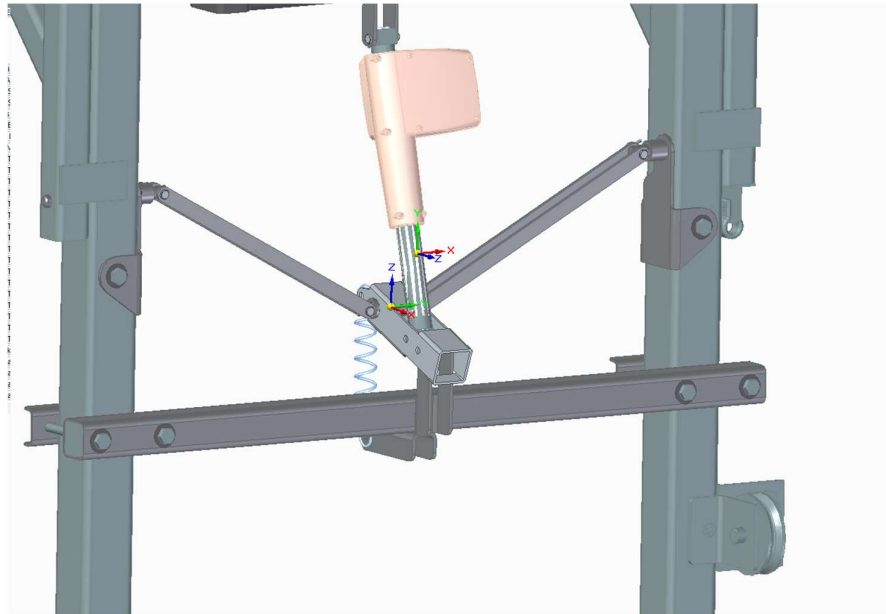
samale teljele või aktuaatori alumise raami külge ja ühendatakse sõrmedega kasutades hoovastiku (Joonis 5.5). Sellise lahenduse eelis on töökindlus ja sõrmede liikumise sõltumatus ekraanide liikumisest. Puuduseks on hind, kuna aktuaatoreid on kaks.



Joonis 5.5 Eraldi lineaaraktuaatoriga lahendus lukustussõrmede liigutamiseks

5.2.3 Üks lineaarajam kiigele kinnitatult

Üks lineaarajam kiigele kinnitatult kasutab osa tõstemootori käiku lukustussõrmede liigutamiseks. Esimeses liikumise faasis ekraanide raam tõuseb üles ning viimases faasis peale lõppasendisse jõudmist lukustab sõrmed. Kiigele kinnitatakse vedru, mis hoiab lukustussõrmi väljas ja ekraanide raami liikumise eest ära. Kui raam jõuab lõppasendisse, ületab ajami jõud vedru jõu ning lukustab sõrmed (Joonis 5.6).



Joonis 5.6 Tõstemootori kinnitamine kiigele lukustussõrmede liigutamiseks

Projekti algaasis lahendusi võrreldes otsustati, et minnakse edasi ühe ajami kiigele kinnitatud süsteemiga. Varuplaanina jäi lisaajami paigaldamine, kuid kuna potentsiaalne hinnasääst ühe lineaarajami kasutamisel oli märkimisväärne, otsustati sellesse lahendusse investeerida.

6 TEHNILINE OSA

6.1 Modelleerimine

6.1.1 Lineaarajami valik

Lineaaraktuator valitakse Linaki kataloogist LA33 mudel (Tabel 6.1). LA33 osutus valituks, kuna see on kompaktsem ja odavam versioon kahest lineaarajamist kataloogis, millel on sisseehitatud piduriga lukustus. Kui sisseehitatud pidurit ei ole, võib ajam jõu all nihkuda. Selline kogemus on näiteks LA35 mudeliga. Käik ja maksimaalne jõud selgitatakse välja all oleva tabeli andmete põhjal, maksimeerimaks lineaarajami koguvõimsust ilma ületamata ette seatud 30 s/tsükkel ajapiiri.

Tabel 6.1. Linak LA33 tehniline spetsifikatsioon [7]

12 V motor:

Type	Thrust max. Push/Pull (N)	Self-lock max. Push (N)	Self-lock max. Pull (N)	Spindle Pitch (mm) /Gear	*Typical speed (mm/s)		Stroke length (mm) in steps of 50mm		*Typical Amp. (A)		End-play mm +/-	
					No load	Full load	Min.	Max.	No load	Full load		
33090xxxxxxxxxA...	5000	5000	5000	9 / A	9	6	100	-	300**	2.8	10	1
33150xxxxxxxxxA...	3500	3500	3500	15 / A	15	9	100	-	400**	2.8	10	1.25
33150xxxxxxxxxA...	2250	2250	2250	15 / B	23	15	100	-	500**	2.8	10	1.25
33200xxxxxxxxxA...	1500	1500	1500	20 / B	34	24	100	-	600	2.0	10	2.5
33200xxxxxxxxxA...	500	500	500	20 / C	68	52	100	-	600	5.0	12	2.5

Võttes aluseks pessimistliku stsenaariumi, kus lineaarajam töötab läbi terve käigu täiskoormusega, saab arvutada erinevate ülekannetega lineaarajamite antud olukorda sobivad käigupikkused. Andmed arvutusteks võetakse üleval olevast tabelist.

$$S = V * t \quad (6.1)$$

kus S – käigupikkus, leitakse suurim võimalik, mm ;

V – liikumiskiirus, mm/s ;

t – aeg, aluseks võetakse 30s, tegelik tsükli aeg leitakse läbi tegeliku käigu, s ;

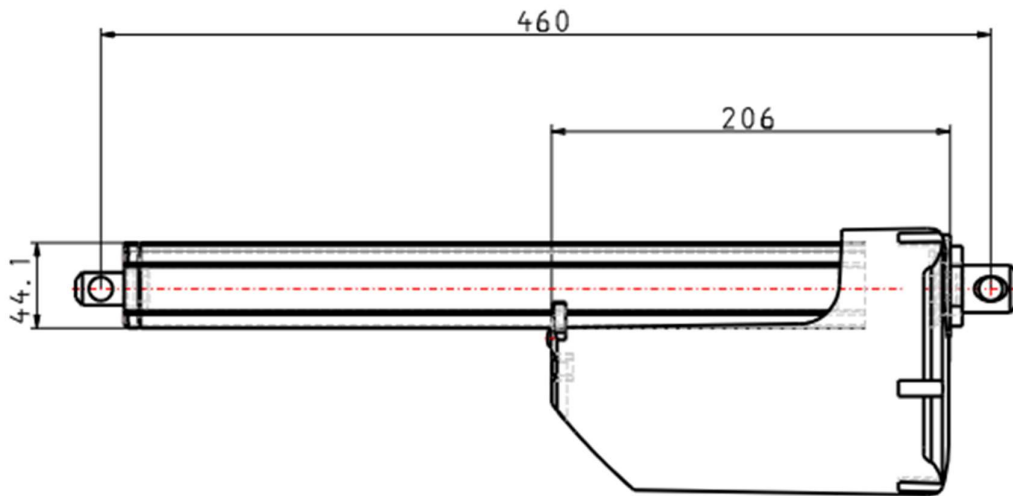
Tulemused on koondatud all olevasse tabelisse (Tabel 6.2).

Tabel 6.2. Võimalikud LA33 variandid

Maksimaalne jõud, N	Kiirus, mm/s	Käik (ümardatud lähima 50mm), mm	Tsükli aeg, s
5000	6	200	33,3
3500	9	300	33,3
2250	15	500 (max)	33,3
1500	24	600 (max)	25
500	52	600 (max)	11,5

Tabelist on näha, et 5000N, 3500N ja 2250N maksimaalse jõuga ajamid on võimalik kõik valida käigupikkusega, et saada täpselt sama tsükli aeg. Suurema jõuga ajamil peab ka projekteeritav konstruktsioon olema massiivsem, et avalduvatele jõududele vastu pidada. Väiksema jõuga ajamite pikem käigupikkus teeb nende paigutamise keerulisemaks. Olemas olevatest valikutest valitakse keskmine.

Valitud lineaarajami mõõtmed on toodud all oleval joonisel (Joonis 6.1). Maksimaalne jõud lineaarajamil on 3500N.

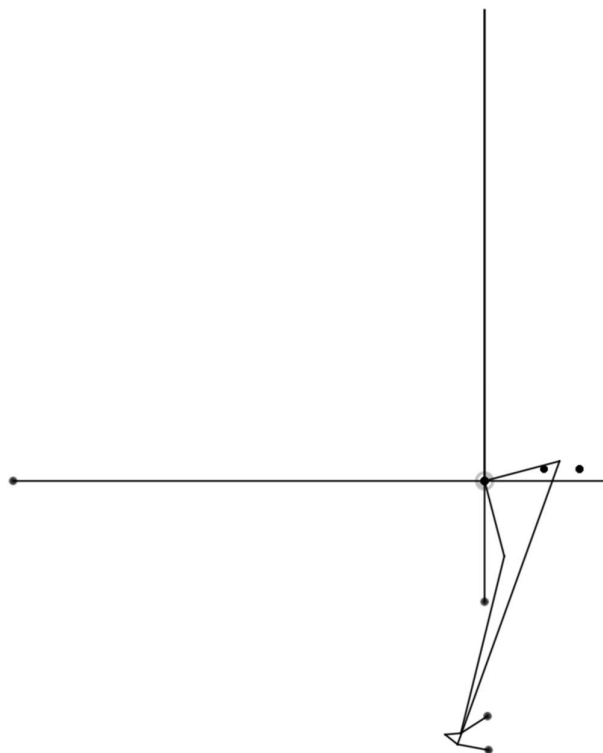


Joonis 6.1 Valitud lineaarajami mõõtmed minimaalse käigu juures [8]

6.1.2 Geomeetria välja selgitamine

Projekteerimist alustatakse 2d eskiisi loomisega joonestustarkvaras. Joonestatakse ekraanide raam tööasendis ja lõppasendis koos lineaarajamiga pikas ja lühikeses positsioonis (Joonis 6.2). Lineaarajami kinnituskohad selguvad joonestamise käigus.

Eesmärk on maksimeerida lineaarajami ekraanide raamile tekitatav moment mõlemas asendis.



Joonis 6.2 Külgvaates geomeetria eskiis

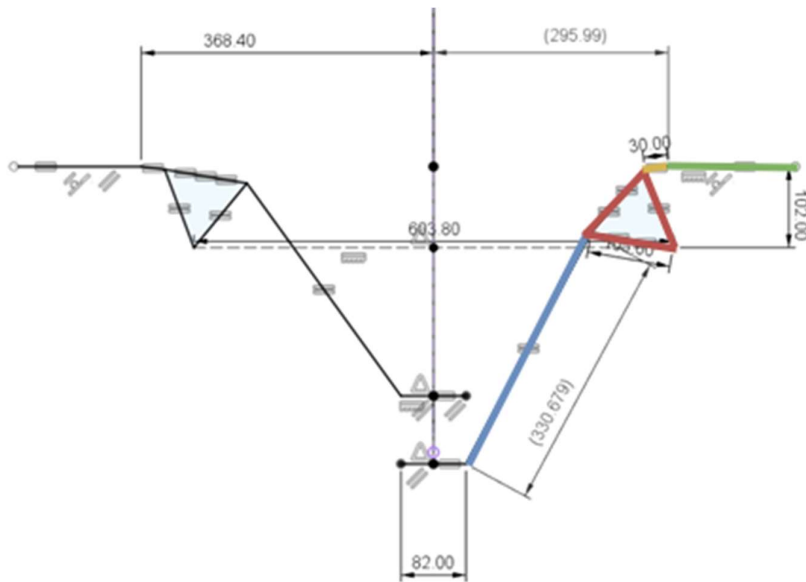
Ekraanide raami raskusjõu mõjul tekkivat momenti ja lineaarajami tekitatavat momenti võrreldakse eskiisi parameetrite tabelis (Tabel 6.3).

Tabel 6.3. Ekraanide raamile avalduvate momentide võrdlus

F_Actuator	mm 3500 mm	3500.00
Moment_Actuator_Pik...	mm ActingF_Actuator_Pikali * (Lever_Actuator / Meeter)	565.817
Moment_Load_pikali	mm Load_Weight_pikali * (Load_Lever / Meeter)	528.00

Kui külgvaates lineaarajami kinnitamise geomeetria on selgunud, luuakse sama meetodikat kasutades ka eestvaates geomeetria. Selle eesmärk on sõrmi liigutava hoovastiku ja sõrmede välja selgitamine. All oleval eskiisil on vasakul pool joonestatud hoovastik ja sõrm lukustatud asendis, paremal pool avatud asendis. Oluline on, et hoovastik suruks lukustussõrmi võimalikult teljesuunaliselt. Vastasel juhul on külgsuunalised jõud lukustussõrmel suured ja see võib juhikus kinni kiiluda. Eelmises peatükis valitud ajami pikkusest tulenevalt on joonestatava hoovastiku pikkade lülide (joonisel sinine) nurk sõrmede suhtes võrdlemisi suur. Et jõu suund muuta rohkem

teljesuunaliseks tehakse hoovastikule vahele kolmnurkne lüli (joonisel punane). Kolmnurkse lüli külge kinnitub omakorda lühike lüli (joonisel kollane) mis liigutab lukustussõrme ennast (joonisel roheline) (Joonis 6.3).



Joonis 6.3 Eestvaates geometria erinevate lülidega:

sinine – pikk link, punane – kolmnurkne link, kollane – lühike link, roheline - lukustussõrm

Omavahel võrreldakse ja muudetakse mõlemas vaates geometriaid mitu korda, kuni saavutatakse rahuldav tulemus avalduvaid jõudusid, momente ja mõõtmeid silmas pidades.

6.1.3 Materjalide valik

Eskiisidest selgunud mõõtude järgi saab modelleerida toodetavad konstruktsioonid. Materjalide valikul lähtuti baastreileril kasutusel olevatest materjalitüüpidest. Kuna nii põhiturg kui ka lõplik tootmine saab olema USA-s, on ka kasutatav materjal tollimõõdus. Valik materjale, mis on laialt levinud ja TTMA treileri kasutusel on toodud all olevas loetelus.

- Nelikanttoru 2" x 2" (50,8x50,8mm), seinapaksus 0,125" (3,175mm)
- Nelikanttoru 2" x 3" (50,8x76,2mm), seinapaksus 0,125" (3,175mm)
- Nelikanttoru 3" x 3" (76,2x76,2mm), seinapaksus 0,188" (4,775mm)
- Lehtmetsall, mõõt 6, paksus 0,1943" (4,935mm)

6.1.4 Mudelite koostamine

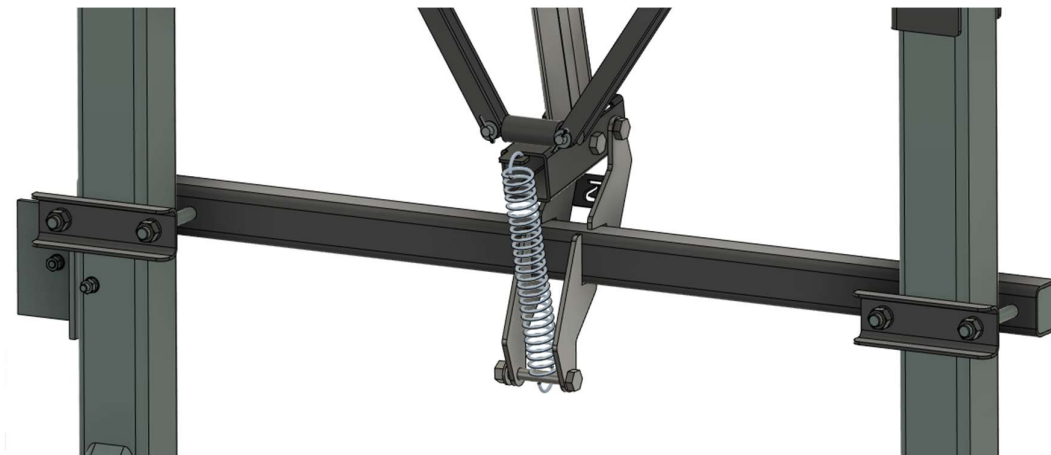
Leitud geomeetria põhjal koostatakse toote mudel. Tõstemootori ülemine kinnitusraam kinnitatakse ekraanide raami külge sisse poole (Joonis 6.4). PEARAAMI ehituse tõttu tuleb see kinnitada ekraanide raami hinge teljest kõrgemale. Selle kinnitamiseks tuleb ekraanide raami sisse puurida paigaldamisel 4 ava. Raami kinnituskõrvades olevad poltide kinnitusavad on ovaalsed, et kompenseerida võimalikku ebatäpsust avade puurimisel.



Joonis 6.4 Tõstemootori ülemine kinnitusraam

Tõstemootori alumine kinnitusraam kinnitatakse pearaami külge ilma avasid puurimata. Toru tõmmatakse pearaami külge toodetavate vastustega ja see püsib paigal hõõrdejõuga (Joonis 6.5). Selline lahendus annab võimaluse trailerite erinevuste puhul süsteemi seadistada ja tekitab ka süsteemi nõrgima lüli. Kui süsteemile mõjuvad ebaloomulikult suured jõud, libiseb alumine kinnitusraam paigast ilma ülejäänud süsteemi kahjustamata. Õige pingutusjõud paigaldamiseks arvutatakse välja hilisemas peatükis.

Alumise raami keskele kinnitub kiige ja vedru, mis tasakaalustab ekraanide raskusjõu mõju. Vedru tõmbab lukustussõrmi avatud asendisse.



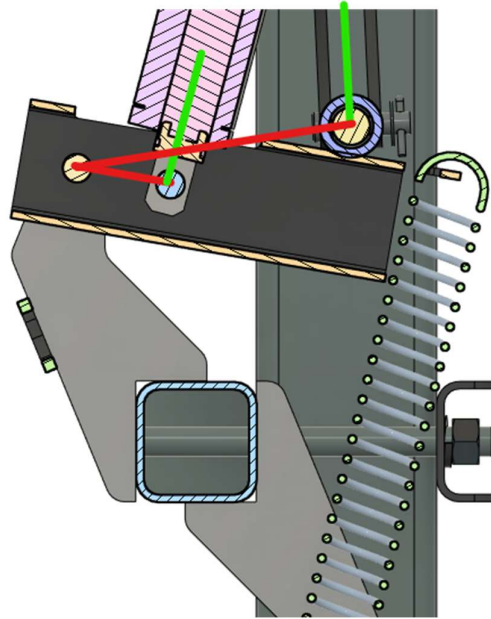
Joonis 6.5 Tõstemootori alumine kinnitusraam

Kiige, kuhu tõstemootori alumine ots kinnitub, koostatakse 2"x2" nelikanttorust. Selle külge keevitatakse torupuks, mille sees hakkab olema hoovastiku liigutav sõrm. Kiige külge kinnitub ka mainitud vedru (Joonis 6.6).



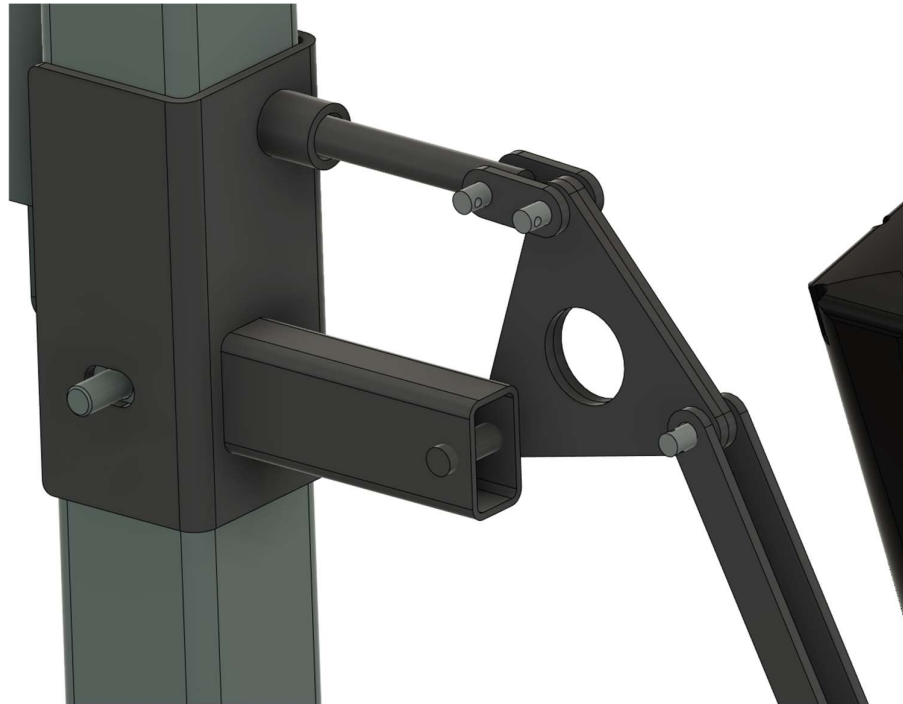
Joonis 6.6 Alumine kiige

Kiige geomeetria on valitud nii, et nii tõstemootor kui ka hoovastik mõjuksid kiigele risti liikumise keskosas. Nii püsib tekitatav moment läbi kogu käigu võimalikult ühtlane. Geomeetria on näha all oleval joonisel (Joonis 6.7). Kiige õla pikkuste suhe tõstemootori ja hoovastiku kinnituspunktide vahel on ca 1:3.



Joonis 6.7 Alumise kiige geometria

Lukustussõrmede suunamiseks kinnitatakse pearaamile sõrmede juhikud (Joonis 6.8). Need koosnevad laserlõikusega lõigatud ja painutatud detailist ja torupuksist, mis keevitatakse painutatud detaili külge. Sõrme juhiku külge luuakse ka kinnituspunkt eelnevalt mainitud kolmnurkse liigendi jaoks. See muudab jõu rakendumise suunda hoovastiku pikkadelt lülidelt. Läbi lühikeste lülide lükatakse lukustussõrmi võimalikult teljesuunaliselt. Sõrme juhik kinnitub poldiga läbi pearaamis oleva ava. Eelnevalt kinnitus sinna toetav tala, mis enne komplekti paigaldamist eemaldatakse.



Joonis 6.8 Sõrme juhik

Algse treileri mudel ja plaanitava komplekti mudel on võrreldav all oleval joonisel (Joonis 6.9).



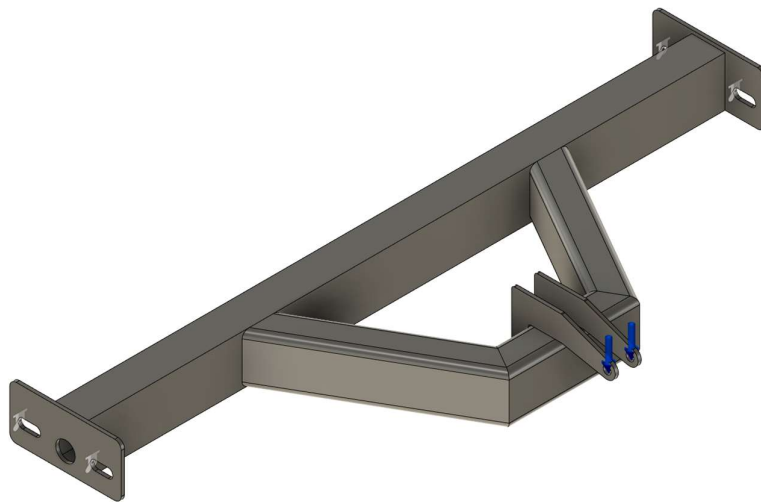
Joonis 6.9 Algse konstruktsiooni ja paigaldatud komplekti võrdlus

6.2 Arvutused

Loodud mudeli kriitilised sõlmed analüüsitakse FEM analüüsi meetodil. Alumise kinnitusraami paigalduse pingutusjõud arvutatakse läbi käsiarvutuste.

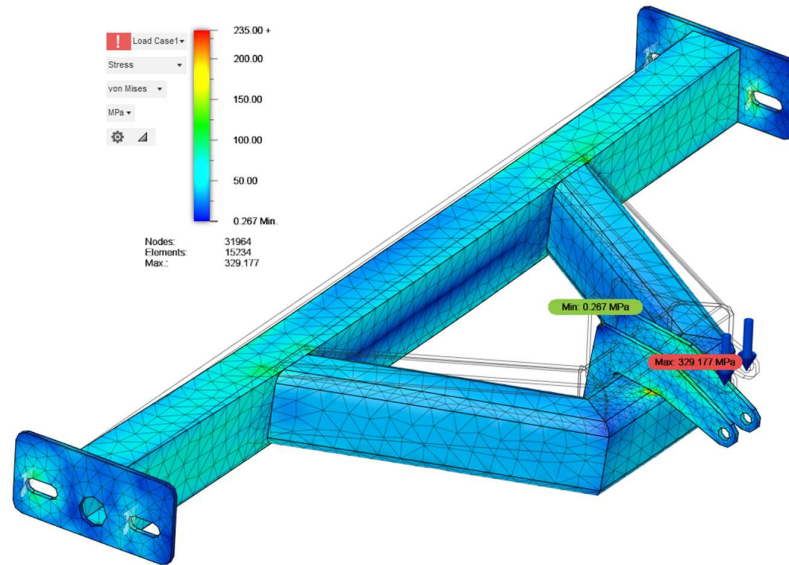
6.2.1 Ülemise kinnitusraami tugevusarvutus

Ülemise kinnitusraami tugevusarvutuste teostamiseks koostatakse kinnitusraamile koormusmudel (Joonis 6.10). Ühe poole kinnitusplaadi avade pinnad kinnitatakse *pin* tüüpi toega piirates sellega liikumine kolmes suunas jättes pöörlemised vabaks. Teise kinnitusplaadi avade pinnad jäetakse vabaks lisaks pöörlemistele ka ristitala suunaline liikumine. 3500N suurune jõud rakendatakse tõstemootori kinnitusava pindadele risti kinnitusraami pinnaga, simuleerides nii kõige ebasoodsamad koormusolukorda. Koormusmudel on nähtav all oleval joonisel.



Joonis 6.10 Ülemise kinnitusraami koormusmudel

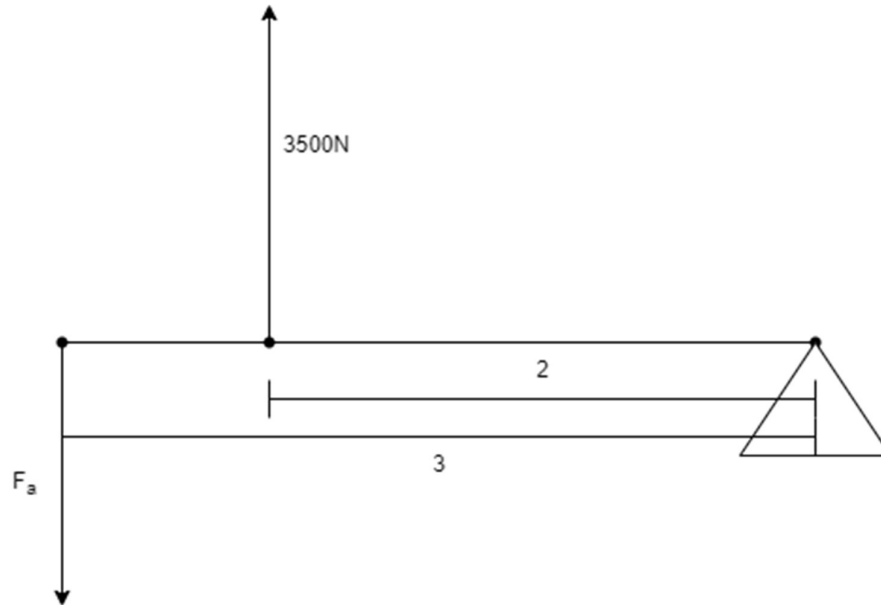
FEM analüüsi tulemus on näha all oleval joonisel (Joonis 6.11). Maksimaalne pinge mudelis on küll 329MPa, aga see tuleb punktipealsest tulenevast pingekontsentratsioonist. Tulemusi lähemalt analüüsides, on raami konstruktsioon piisav. Varutegur läbi raami oluliste sõlmede on 3-5.



Joonis 6.11 Ülemise raami tugevusarvutuste tulemus

6.2.2 Alumise kinnitusraami toru tugevusarvutus

Alumise kinnitusraami koormusmudel koostatakse sarnaselt ülemise omale. Üks raami pool kinnitatakse *pin* tüüpi toega millega piiratakse ära kolmes suunas liikumine. Teise poole toel lubatakse liikuda raami toru suunas. Raamile avaldub jõud arvutatakse tõstmootori rakendatava jõu kaudu (Joonis 6.12). Tõstmise alguses, kus koormus on kõige suurem, toetub kiige läbi hoovastiku lukustussõrmedele. Kiiget mõjutavad jõud leitakse käsiarvutuse teel kandejõu arvutamise meetodil [9, p. 37]. Hoovastiku kinnitus võetakse toetuspunktiks ja raamile avalduvat jõudu vaadeldakse kui ühepoolse kangi juhtu.



Joonis 6.12 Alumisele raamile avalduv jõud

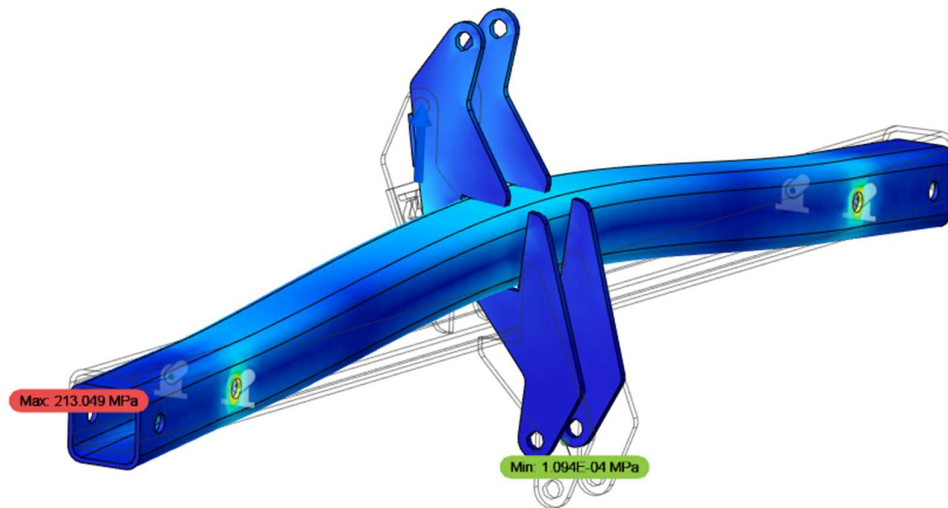
Alumisele raamile avalduv jõud arvutatakse järgneva valemiga.

$$F_a = \frac{F_1 * l_1}{l_a} \quad (6.2)$$

- kus F_a – raamile avalduv jõud, N ;
 F_1 – Tõstemootori avalduv jõud (3500N), N ;
 l_1 – Tõstemootori õlg, mm ;
 l_a – Raamile avalduva jõu õlg, mm ;

$$F_a = \frac{3500 * 2}{3} = 2333 \text{ N}$$

Tulemustes selgub, et suurim pinge konstruktsioonis on 219MPa. See tekib toru kinnitusavade juures (Joonis 6.13). Kuna koormusmudel on toru kinnitatud vaid sisemiste avade kaudu, kuid kinnitusmeetod seab ära tegelikult ka välimised avad, on alust arvata, et tegelik tulemus on parem. Varutegur konstruktsiooni keskel, kus paindepinge on suurim on 6-8. Konstruktsiooni tugevus hinnatakse piisavaks.



Joonis 6.13 Alumise kinnitusraami analüüsi tulemus

6.2.3 Alumise kinnitusraami pingutusjõu arvutus

Alumise kinnitusraami paigaldamiseks valiti lahendus, kus vitsadega tõmmatakse raam treileri postide külge. Sellise lahenduse puhul ei ole vaja treileri postide sisse puurida lisaauke ning kinnitusraami asukohta on võimalik seadistada. Raami hakkab paigal hoidma hõõrdejõud postide ja raami vahel. Vajalik hõõrdejõud tuleb tõstemootori avaldatavast jõust. Hõõrdejõu saavutamiseks vajalik normaaljõud tuleb all olevast valemist [9, p. 41]:

$$F_F = \mu * F_N \rightarrow F_N = \frac{F_F}{\mu} \quad (6.3)$$

kus F_F – hõõrdejõud (2333N jaotatud kahele poole, 1166N), N;

μ – hõõrdetegur (teras/teras=0,2); [5, p. 41]

F_N – normaaljõud, N;

$$F_N = \frac{1166}{0,2} = 5830N$$

Kinnitusnõutav normaaljõud jaguneb kahe poltliite vahel. Ühe poltliite nõutav jõud on 2915N. Poldi pingutusmoment arvutatakse järgneva valemiga. [10]

$$T = k * D * P \quad (6.4)$$

kus T – pingutusmoment, Nm

k – hõõrdetegur, $0,2$;

D – poldi nimimõõt, mm ;

P – nõutav pingutusjõud, kN ;

$$T = 0,2 * 14 * 2,915 = 8,16Nm$$

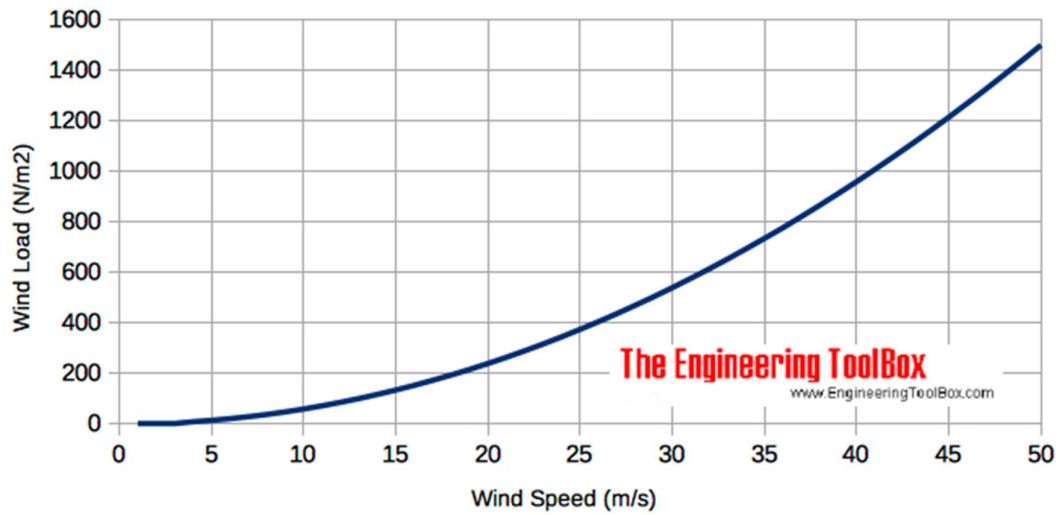
Arvutuste tulemusena saadud $8,16Nm$ pingutusmoment on M14 poltliitele ja antud konstruktsiooni kohta vähe. See näitab, et alumise raami nihkumine tavaolukorras ei ole probleemiks. Raami kinnituse pingutusmoment valitakse suurem, et jätta varu ettenägematute jõudude jaoks. Lõplik pingutusmoment selgub testimise käigus.

6.3 Prototüüp ja testimine

Loodud mudelite järgi toodetakse prototüüp, et viia läbi testimine nõuete loetelus toodud tingimustes. Prototüübi testimiseks luuakse ka testpukk, mis imiteerib treileri pealisehitust. Valguspaneelide asemel on ballast, mille massi saab muuta. Kuna standardselt on treileri valguspaneelide mass ca $70kg$, kuid projekteeritav toode peab olema võimeline tõstma ka kuni $90kg$ valguspaneeli, on muudetava massiga ballast vajalik.

Lisaks raskusjõule mõjub valguspaneelidele ka tuule jõud. Nõuete loetelus on toodud, et süsteem peab toimima nii paigal seistes kui ka kuni $50km/h$ liikudes. Selle tingimuse testimiseks kinnitati ekraanide raami külge ka rihm, mille teise otsa kinnitati omakorda raskus. Rihm pandi jooksma üle ploki, et rihma tõmbamise suund oleks läbi kogu liikumise risti, nagu ta tuule puhumisel oleks. Tuule surve leiti antud graafikuga seotud tabelist (Joonis 6.14). Tuule kiiruseks võeti $50km/h$ ehk $13,9m/s$.

Wind Load vs. Wind Speed



Joonis 6.14 Tuule kiiruse ja tuule surve suhe [11]

Tuule survest tulenev jõud valguspaneelile leitakse järgneva valemiga.

$$F_W = p_d * A \quad (6.5)$$

kus F_W – tuule jõud, N ;

p_d – tuule surve (114Pa), Pa ;

A – pindala ($3m^2$), m^2 ;

$$F_W = 114 * 3 = 342N$$

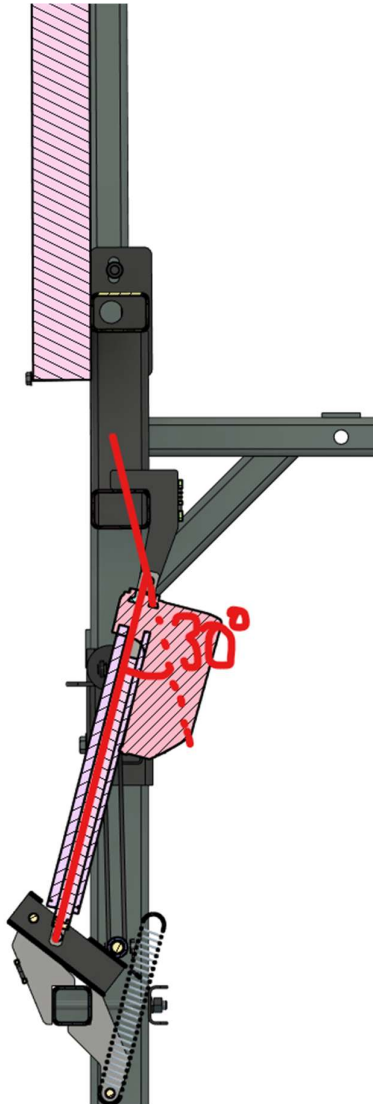
Tuule jõudu simuleeriva raskuse mass on ca 35kg (Joonis 6.15).



Joonis 6.15 Testpukk ja tuule jõu simuleerimine

6.3.1 Testimise tulemused

Testimise tulemusena avaldusid mõningased puudujäägid loodud prototüübi juures. Põhiline oli, et paigaldatud vedru oli küll piisav, et ideaaltingimustes ja ilma tuule koormuseta sõrmed ekraanide raami eest ära hoida, kuid selle paika seadistamine oli täpne protsess ja sellise toote juures ei oleks see lahendus olnud piisavalt töökindel. Tuule jõudu rakendades ei olnud võimalik kasutada piisavalt suurt vedru jõudu süsteemi toimimiseks, kuna tõstemootori jõud sõrmede lukustamiseks ei olnud piisav. Kui vedru jõudu vähendada, jäid lukustussõrmed valguspaneeli raamile ette. See tuleneb tõstegeomeetriast. Tõstemootori ja ekraanide raami vaheline nurk püsti asendis on ca 30° , mis tähendab, et tuule mõjul tekkiv moment tekitab tõstemootoris jõu, mis on 2 korda suurem sellise õla juures risti mõjuvast jõust (Joonis 6.16). Vedru mõte on õige, kuid muuta tuleb vastu jõu avaldumise kohta, kuna selles kohas ei ole vedrul jõudu sõrmi väljas hoida.



Joonis 6.16 Tõstemootori nurk ekraanide raami suhtes

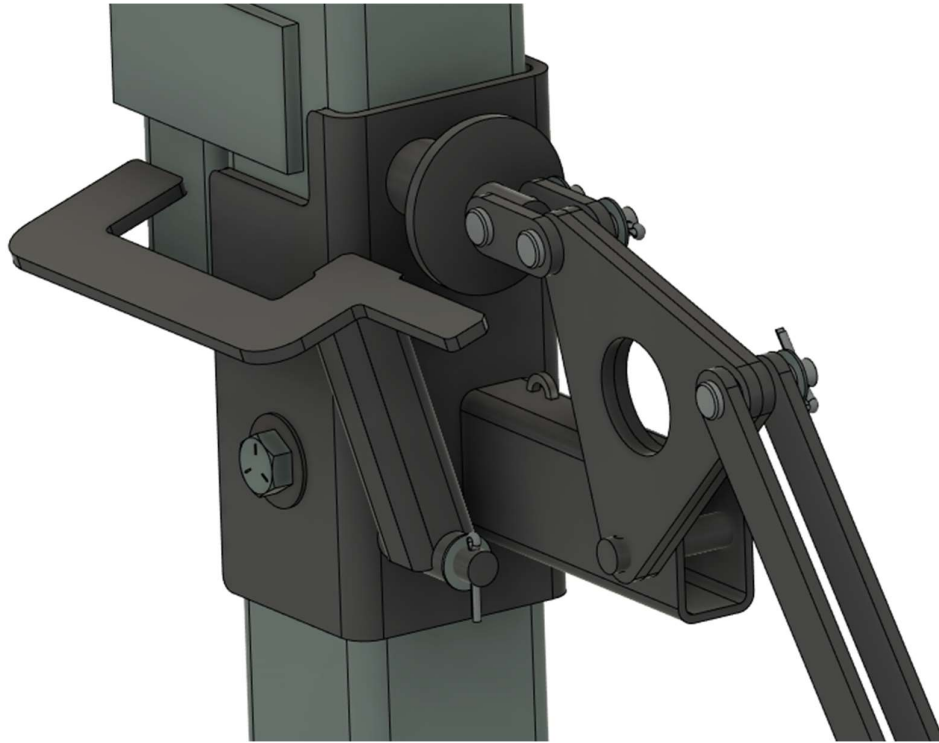
Lisaks tuule jõuga toime tulemisele ei andnud testimine rahuldavat tulemust ka valguspaneelide tõstmisele 90kg ballasti juures. Mootor oli selleks küll võimeline, kuid töötas maksimaalvõimsuse juures. Kui lisaks 90kg valguspaneelile oleks nende peal ka lund, lehti või muud lisaraskust, oleks süsteemi toimimine ilmselt häiritud.

Mainitud leidude põhjal tehakse süsteemile muudatused.

6.3.2 Sõrmede lukud

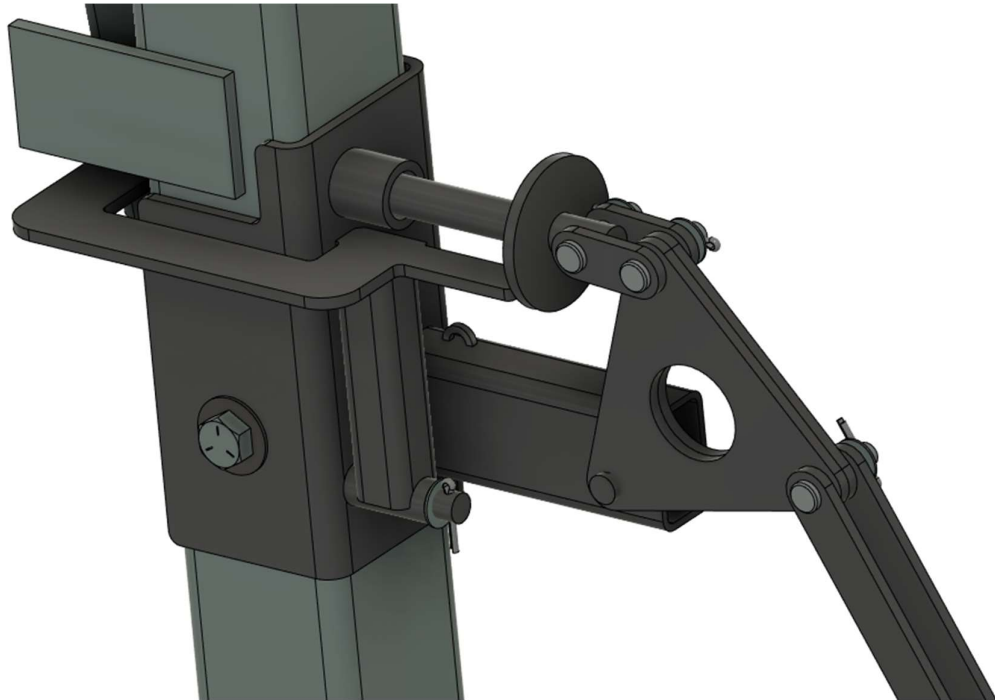
Kiigele kinnitatud vedru teeb ideaaltingimustes sõrmede avatud asendis hoidmise töö ära, kuid liikumise keskosas on ekraanid kiige liikumise ulatuses vabad. Selline vaba liikumine võib treileri liikudes üle konaruste teel tekitada ekraanidele inertsjõu, mis võib kahjustada süsteemi. Antud vaba liikumise eemaldamiseks projekteeritakse

lukustussõrmedele omakorda lukud, mis lukustavad sõrmed avatud asendisse kui ekraanide raam on mujal, kui tööasendis. Kui ekraanide raam liigub tööasendisse, lükkab see sõrmede lukud eest ära, ning laseb sõrmedel ennast lukustada (Joonis 6.17).



Joonis 6.17 Sõrmede lukk lukustatud asendis

Lukk kiilub sõrme juhiku ja lukustussõrmele keevitatud seibi vahele, mis hoiab lukustussõrme ekraanide raami tee eest. Sõrmede lukule on kinnitatud tõmbevedru, mis seda sellesse asendisse tõmbab (Joonis 6.18).



Joonis 6.18 Sõrme lukk avatud asendis

6.3.3 Gaasivedrud

Lisatud sõrme lukkudega tuulejõu mõju testides selgus, et vaatamata vedrule ei jõudnud tõstemootor sõrme lukke lukustussõrmede vahelt ära lükata. Lukustussõrmedele avalduv jõud oli liiga suur ning sellest tekkiv hõõrdejõud hoidis sõrme lukke paigal piisavalt tugevalt, et konstruktsiooni kahjustada. Tuulejõu tasakaalustavaks jõuks paigaldati ekraanide raamile ka gaasivedrud, mis suruvad ekraanide raami püsti asendisse (Joonis 6.19).

Gaasivedrude lisamisel vähenes ka koormus tõstemootorile tõsteliikumise algfaasis. See võimaldas tõstemootori alumist kinnitust liigutada treileri suhtes taha poole, mis tegi tõstemootori nurga püsti asendis paremaks. Kui enne oli projekteeritud tõstemehhanismil enamus jõudu transpordiasendist tõstmise algfaasi, siis peale muudatusi jagunes jõud võrdsemalt transpordiasendi ja tööasendi vahel. Seda nõudis tuule jõuga toimetuleku nõue.



Joonis 6.19 Gaasivedru paigaldus

6.3.4 Lõplik prototüüp

Lõpliku prototüübi põhjal luuakse tootmisdokumendid. Lisaks toodeti viis komplekti, mis saadeti koos joonistega näidisteks tellijale. Antud töös käsitletakse ainult toote mehhaanilist osa (Joonis 6.20). Toote juhtimise automaatika tuleb tellija poolt ning lisatakse hiljem tootele. Tootele koostatakse ka paigaldusjuhend (Lisa 3).



Joonis 6.20 Lõplik prototüüp

7 MAJANDUSLIK OSA

Majanduslikus osas arvestatakse esimese viie komplekti tootmise maksumus väikeseeriatootmise tingimustes. Omahinna arvutuse aluseks võetakse ostutoodete hinnad, sisse ostetud toodete ja teenuste maksumus ning teostatud teenuste kulu. Tükitabel on leitav lisas (Lisa 1). Erinevate teenuste arvestuslik kulu on toodud all olevas tabelis (Tabel 7.1).

Tabel 7.1 Operatsioonide omahinnad

Teenus	Omahind
MIG keevitus	25 €/h
Saagimine	25 €/h
Puurimine	25 €/h
Freesimine	40 €/h
Koostamine	20 €/h
Pakkimine	20 €/h

7.1 Sisse ostetud tooted/teenused

Sisse ostetud tooted ja teenused arvestatakse sisseostuhindade järgi (Tabel 7.2). Toormaterjali maksumus arvestatakse massi järgi. Terasmaterjali hinnaks võetakse 2,5€/kg.

Tabel 7.2 Sisse ostetud tooted/teenused

Joonise nr	Nimetus	Kogus/toode	Hind/toode
	Töödeldav toormaterjal	18 kg	45,00 €
	Galvaniseerimine	1 komplekt	36,60 €
TTMARF-01.01L	Sõrme juhik plaat L	1	4,50 €
TTMARF-01.01R	Sõrme juhik plaat R	1	4,50 €
TTMARF-02.01	Alumine aktuaatori kinnitus	4	3,48 €
TTMARF-03.01	Ülemine aktuaatori kinnitus	2	2,10 €
TTMARF-03.02	Ülemise raami kinnitus	2	3,08 €
TTMARF-04.01	Sõrme lukustus	2	2,28 €
TTMARF-05.02	Seib 60x16	2	1,10 €
TTMARF-00.01	Pikk link	4	5,08 €
TTMARF-00.02	Lühike link	4	1,92 €
TTMARF-00.03	Kolmnurkne link	4	5,76 €
TTMARF-00.04	NTS Plaat	2	1,36 €
		Kokku:	116,76 €

7.2 Teostatud operatsioonid

Teostatud operatsioonide maksumus arvestatakse läbi eelnevalt määratud tunnihindade ja operatsioonide ajakulu. Järgnevalt detailide töötlemise ajakulu ja maksumus (Tabel 7.3).

Tabel 7.3 Detailide töötlemise ajad

Joonise nr	Nimetus	Operatsioon	Ajakulu/toode, min	Maksumus/toode
TTMARF-01.02	Sõrme juhiku toru	Saagimine	2,6	1,08 €
TTMARF-01.03	Sõrme luku sõrm 12mm	Saagimine	6,4	2,67 €
		Puurimine	1	0,42 €
TTMARF-01.04	Kolmnurk lingi tugi	Saagimine	5,2	2,17 €
		Puurimine	1	0,42 €
TTMARF-02.02	Alumine aktuaatori raami toru	Saagimine	2,8	1,17 €
		Puurimine	4	1,68 €
TTMARF-03.03	Ristitoru	Saagimine	3	1,25 €
TTMARF-03.04	Diagonaaltoru	Saagimine	6	2,50 €
TTMARF-03.05	Lühike ristitoru	Saagimine	3	1,25 €
TTMARF-04.02	Sõrme luku nelikant	Saagimine	3,6	1,50 €
		Puurimine	1	0,42 €
TTMARF-04.03	Sõrme luku torupuks	Saagimine	2,6	1,08 €
TTMARF-05.01	Sõrm 16mm	Saagimine	3,6	1,50 €
		Puurimine	1	0,42 €
TTMARF-06.01	Gaasiamordi kinnituse toru	Saagimine	5,6	2,33 €
		Puurimine	1	0,42 €
TTMARF-06.02	Gaasiamordi kinnituse plaat	Saagimine	3	1,25 €
		Puurimine	2	0,82 €
TTMARF-07.01	Alumise kiige nelikant	Saagimine	2,8	1,17 €
		Puurimine	3	1,26 €
		Freesimine	4	2,66 €
TTMARF-07.02	Alumise kiige torupuks	Saagimine	1,3	0,54 €
TTMARF-00.05	Alumise raami vastus	Saagimine	5,6	2,33 €
		Puurimine	2	0,84 €
TTMARF-00.06	Kesksõrm linkidele	Saagimine	1,8	0,75 €
		Puurimine	2	0,84 €
			Kokku:	34,76 €

Sarnaselt detailide töötlemise kulule arvutatakse koostamise kulu (Tabel 7.4).

Tabel 7.4 Koostamise ajad

Joonise nr	Nimetus	Operatsioon	Ajakulu/toode, min	Maksumus/toode
TTMARF-01.00L	Sõrme juhik L	MIG Keevitus	18	7,50 €
TTMARF-01.00R	Sõrme juhik R	MIG Keevitus	18	7,50 €
TTMARF-02.00	Alumine aktuaatori raam	MIG Keevitus	15	6,25 €
TTMARF-03.00	Ülemine aktuaatori raam	MIG Keevitus	25	10,42 €
TTMARF-04.00L	Sõrme lukk L	MIG Keevitus	12	5,00 €
TTMARF-04.00R	Sõrme lukk R	MIG Keevitus	12	5,00 €
TTMARF-05.00	Lukustussõrm	MIG Keevitus	10	4,17 €
TTMARF-06.00	Gaasiamordi kinnitus	MIG Keevitus	16	6,67 €
TTMARF-07.00	Alumine kiige	MIG Keevitus	8	3,33 €
TTMARF-00.00	TTMA Retrofit kit	Koostamine	20	6,67 €
TTMARF-00.00	TTMA Retrofit kit	Pakkimine	10	3,33 €
			Kokku:	65,83 €

7.3 Ostutoodete kulu

Ostutoodete kulu arvestatakse sisseostuhindade järgi (Tabel 7.5).

Tabel 7.5 Ostutoodete kulu

Toode	Kogus	Hind/tk	Hind/toode
Kuuskantpolt M14x150	4	0,94 €	3,76 €
Kuuskantpolt M14x110	2	0,70 €	1,40 €
Kuuskantpolt M14x85	4	0,47 €	1,88 €
Kuuskantpolt M10x45	8	0,14 €	1,12 €
Kuuskantpolt M12x60	1	0,25 €	0,25 €
Kuuskantpolt M12x70	1	0,26 €	0,26 €
Kuuskantpolt M12x80	5	0,27 €	1,35 €
Seib 8	4	0,02 €	0,08 €
Seib 10	16	0,02 €	0,32 €
Seib 12	18	0,04 €	0,72 €
Seib 14	20	0,04 €	0,80 €
Nylock mutter M8	8	0,06 €	0,48 €
Nylock mutter M10	12	0,06 €	0,72 €
Nylock mutter M12	7	0,10 €	0,70 €

Toode	Kogus	Hind/tk	Hind/toode
Nylock mutter M14	10	0,10 €	1,00 €
Kuuskantpolt M10x70	4	0,17 €	0,68 €
Kuuskantpolt M8x70	4	0,14 €	0,56 €
Splint 3,2x25	4	0,02 €	0,08 €
Vedru 150x30	1	17,00 €	17,00 €
Vedru 51x7	2	1,20 €	2,40 €
Gaasiamort 549x900N	2	25,00 €	50,00 €
Gaasiamordi ots, kuulliigend	4	2,50 €	10,00 €
		Kokku:	95,56 €

7.4 Omahinna kalkulatsioon

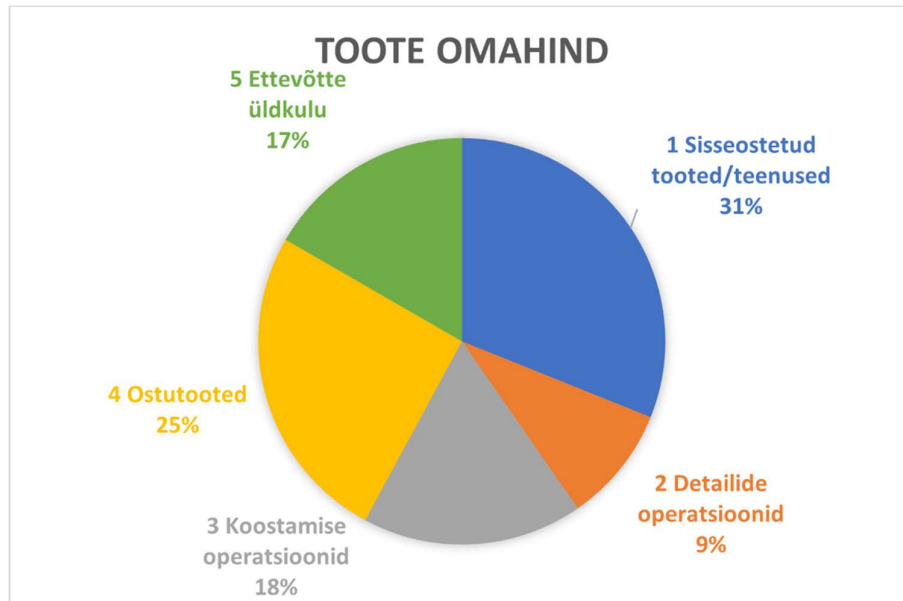
Toote omahinna kalkulatsioonis liidetakse eelnevalt leitud otsesed tootmiskulud muude kuludega (Tabel 7.6). Nii leitakse toote omahind väikeseeriatootmise tingimustes 5 toote partii tootmisel. Toote müügihind kujuneb toote turustaja müügistrateegiat ja hinnapoliitikat arvesse võttes. Antud töös toote müügihinda ei käsitleta. Samuti ei võeta arvesse toote elektroonikat ja automaatikat. Kujunev omahind käib mehhaanikaosa kohta.

Tabel 7.6 Toote omahind

Jrk nr	Kulu	Kulu tootele
1	Sisse ostetud tooted/teenused	116,76 €
2	Detailide operatsioonid	34,76 €
3	Koostamise operatsioonid	65,83 €
4	Ostutooted	95,56 €
	Otsesed tootmiskulud	312,91 €
5	Ettevõtte üldkulu ₁	62,58 €
	Muud kulud	62,58 €
	Kokku	375,49 €

₁ 20% otsestest tootmiskuludest

Toote omahinna jagunemine kujutatakse sektordiagrammil. Kõige suurem osa on sisse ostetud teenused. Sellele järgnevad ostutooted ja koostamise operatsioonid (Joonis 7.1).



Joonis 7.1 Toote omahinna jagunemine

Toote mehhaanikaosa omahind ca 375 € hinnatakse sellise toote puhul konkurentsivõimeliseks. Galvaniseeritud teraskonstruktsiooni või treilerite tootmise hinnastamisel kasutatakse rusikareeglit 5 €/kg. Antud süsteemi kogumass on ca 50kg, mis tähendaks omahinnaks 250 €. Kuna antud süsteemil on rohkem väikseid detaile ning ja hinnale lisavad ka gaasivedrud, kinnitusvahendid ja muud ostutooted, on hinnaklass õige. Kui tootmise mahtu suurendada, on võimalik toote omahinda vähendada.

8 KOKKUVÕTE

Lõputöö viidi läbi koostöös ettevõttega Nordic Traffic Safety GmbH. Lõputöö raames projekteeriti komplekt TTMA 100/200 treileri valguspaneelide raami tõstmise mehhaniseerimiseks. Toote projekteerimisel lähtuti koostatud nõuete loetelust, sihtturu seadusandlusest ja ettevõtte tootmisvõimekusest. Projekti läbi viimiseks kasutati arvutitarkvarasid Fusion 360, MS Excel ja Todoist.

Käsitleva toote müüakse lisavarustusena Gregory Industries Inc poolt toodetavale TTMA 100/200 liiklusohutustreilerile. Sarnasel kujul treilerit on USA turule müüdud juba üle 15 aasta, mis tähendab et hinnanguline turul olevate treilerite hulk on 10 000 tükki. Töö keerukus seisneb sihtturu seadusandluses, mis sätestab et toote konstruktsiooni muutmisel kaotab see oma sertifikaadi. See tähendab, et algse treileri konstruktsioonile lisatav komplekt peab liigutama ka algseid lukustussõrmi.

Töö käigus kirjeldati lahendatav ülesanne, uuriti konkurentide tooteid ning pakuti välja oma lahendus. Tehnilises osas projekteeriti toode ning toodeti prototüüp millel viidi läbi testimine. Testimise tulemusena täiustati projekteeritud toodet. Lõpliku toodet valmistati 5 komplekti. Töö majanduslikus osas arvutati toote omahind.

Toote töökindlust jälgitakse töötingimustes ja vajadusel tehakse muudatusi. Tootmiseks vajalik toormaterjal valiti sihtturul kättesaadavast tollimõõdus materjalist, mis lihtsustab kohalikku tootmist. Tulevikus on eesmärk toota komplekt täielikult USAs, kuna sihtturg on seal.

Lõputöö loetakse edukaks, kuna eesmärk sai täidetud.

9 SUMMARY

The thesis was conducted in collaboration with Nordic Traffic Safety GmbH. As part of the thesis, a retrofit kit for mechanizing the lifting of the light arrow board of the TTMA 100/200 trailer was designed. The product design was based on a compiled list of requirements, the legislation of the target market, and the company's manufacturing capabilities. Computer software such as Fusion 360, MS Excel, and Todoist were used for the project implementation.

The product under consideration is sold as an accessory for the TTMA 100/200 traffic safety trailer produced by Gregory Industries Inc. A similar trailer has been sold in the US market for over 15 years, indicating an estimated quantity of 10,000 trailers in the market. The complexity of the work lies in the legislation of the target market, which stipulates that modifying the product's construction results in the loss of its certification. This means that the kit added to the original trailer's construction must also move the original locking pins.

During the project, the addressed task was described, competitors' products were examined, and a solution was proposed. In the technical part, the product was designed, and a prototype was produced for testing. Based on the testing results, the designed product was improved. Five sets of the final product were manufactured. In the economic part, the product's cost price was calculated.

The reliability of the product is monitored in working conditions, and adjustments are made as needed. The raw material necessary for production was chosen from materials available in the target market's standard sizes, simplifying local production. The future goal is to produce the kit entirely in the USA, as the target market is there.

The thesis is considered successful, as the goal was achieved.

10 KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Nordic Traffic Safety GmbH, „Products,” 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nts.world/products/>. [Kasutatud 26. detsember 2023].
- [2] Elpac Oy, „Törmäysvaimennin traileri TTMA 200,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://elpac.fi/fi/tuote/tormaysvaimennin-traileri-ttma-100/>. [Kasutatud 25. detsember 2023].
- [3] „TTMA-100 TRAILER MOUNTED IMPACT ATTENUATOR SIGN,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://translineinc.com/products/signs/ttma-100-trailer-mounted-impact-attenuator-sign/>. [Kasutatud 6. december 2023].
- [4] Nettikone, „Ttma törmäysvaimennin karry,” 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nettikone.com/muu-merkki/ttma-tormaysvaimennin-karry/2221952>. [Kasutatud 22. detsember 2023].
- [5] Primary mover, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.primarymover.com%2Fproducts%2Fhydraulic-pump-12-volt-double-acting-6qt-steel-reservoir&psig=AOvVaw1A2wWhHwGzCYA4Zat0UHve&ust=1703075396587000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCIj1lLvA>. [Kasutatud 11. december 2023].
- [6] Linak, „LA33,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.linak.com/products/linear-actuators/la33/>. [Kasutatud 24. may 2023].
- [7] Linak, „linear-actuator-la33-data-sheet-eng.pdf,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://cdn.linak.com/-/media/files/data-sheet-source/en/linear-actuator-la33-data-sheet-eng.pdf>. [Kasutatud 15. detsember 2023].
- [8] Linak, „LA33 2D/3D diagrams,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.linak.com/products/linear-actuators/la33/#/2d3d>. [Kasutatud 12. september 2023].
- [9] Tallinna Tehnikaülikool, Mehhaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2013.
- [10] Hobson engineering, „tech-data-calc-tighten-torque-2012031.pdf,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://content.hobson.com.au/documents/tech-data-calc-tighten-torque-2012031.pdf>. [Kasutatud 11 december 2023].
- [11] Engineering toolbox, „Wind Load vs. Wind Speed,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/wind-load-d_1775.html. [Kasutatud 22 november 2023].

11 LISAD

Lisa 1 Tükitabel

Lisa 2 TTMA100 ja TTMA200 erinevused

Lisa 3 Paigaldusjuhised

Lisa 1. Tükitabel

Jrk nr	Tase	Joonise nr	Nimetus	Tarnija	COTS/Prod	Kogus/tk
1	0	TTMARF-00.00	TTMA Retrofit kit	ELS	Prod	1
2	1	TTMARF-01.00L	Sõrme juhik L	ELS	Prod	1
3	1	TTMARF-01.00R	Sõrme juhik R	ELS	Prod	1
4	2	TTMARF-01.01L	Sõrme juhik plaat L	LL	Prod	1
5	2	TTMARF-01.01R	Sõrme juhik plaat R	LL	Prod	1
6	2	TTMARF-01.02	Sõrme juhiku toru	ELS	Prod	2
7	2	TTMARF-01.03	Sõrme luku sõrm 12mm	ELS	Prod	4
8	2	TTMARF-01.04	Kolmnurk lingi tugi	ELS	Prod	2
9	1	TTMARF-02.00	Alumine aktuaatori raam	ELS	Prod	1
10	2	TTMARF-02.01	Alumine aktuaatori kinnitus	LL	Prod	4
11	2	TTMARF-02.02	Alumine aktuaatori raami toru	ELS	Prod	1
12	1	TTMARF-03.00	Ülemine aktuaatori raam	ELS	Prod	1
13	2	TTMARF-03.01	Ülemine aktuaatori kinnitus	LL	Prod	2
14	2	TTMARF-03.02	Ülemise raami kinnitus	LL	Prod	2
15	2	TTMARF-03.03	Ristitoru	ELS	Prod	1
16	2	TTMARF-03.04	Diagonaaltoru	ELS	Prod	2
17	2	TTMARF-03.05	Lühike ristitoru	ELS	Prod	1
18	1	TTMARF-04.00L	Sõrme lukk L	ELS	Prod	1
19	1	TTMARF-04.00R	Sõrme lukk R	ELS	Prod	1
20	2	TTMARF-04.01	Sõrme lukustus	LL	Prod	2
21	2	TTMARF-04.02	Sõrme luku nelikant	ELS	Prod	2
22	2	TTMARF-04.03	Sõrme luku torupuks	ELS	Prod	2
23	1	TTMARF-05.00	Lukustussõrm	ELS	Prod	2
24	2	TTMARF-05.01	Sõrm 16mm	ELS	Prod	2
25	2	TTMARF-05.02	Seib 60x16	LL	Prod	2
26	1	TTMARF-06.00	Gaasiamordi kinnitus	ELS	Prod	2

27	2	TTMARF-06.01	Gaasiamordi kinnituse toru	ELS	Prod	2
28	2	TTMARF-06.02	Gaasiamordi kinnituse plaat	ELS	Prod	2
29	1	TTMARF-07.00	Alumine kiige	ELS	Prod	1
30	2	TTMARF-07.01	Alumise kiige nelikant	ELS	Prod	1
31	2	TTMARF-07.02	Alumise kiige torupuks	ELS	Prod	1
32	2	TTMARF-00.01	Pikk link	LL	Prod	4
33	2	TTMARF-00.02	Lühike link	LL	Prod	4
34	2	TTMARF-00.03	Kolmnurkne link	LL	Prod	4
35	2	TTMARF-00.04	NTS Plaat	LL	Prod	2
36	2	TTMARF-00.05	Alumise raami vastus	ELS	Prod	2
37	2	TTMARF-00.06	Kesksõrm linkidele	ELS	Prod	1
38	2	TTMARF-00.07	Vedru kõrv	ELS	Prod	4
39	2	TTMARF-00.08	Gaasiamordi alumine kinnitus	ELS	Prod	2
40	3		Kuuskantpolt M14x150	BB	COTS	4
41	3		Kuuskantpolt M14x110	BB	COTS	2
42	3		Kuuskantpolt M14x85	BB	COTS	4
43	3		Kuuskantpolt M10x45	BB	COTS	8
44	3		Kuuskantpolt M12x60	BB	COTS	1
45	3		Kuuskantpolt M12x70	BB	COTS	1
46	3		Kuuskantpolt M12x80	BB	COTS	5
47	3		Seib 8	BB	COTS	4
48	3		Seib 10	BB	COTS	16
49	3		Seib 12	BB	COTS	18
50	3		Seib 14	BB	COTS	20
51	3		Nylock mutter M8	BB	COTS	8
52	3		Nylock mutter M10	BB	COTS	12
53	3		Nylock mutter M12	BB	COTS	7
54	3		Nylock mutter M14	BB	COTS	10

55	3		Kuuskantpolt M10x70	BB	COTS	4
56	3		Kuuskantpolt M8x70	BB	COTS	4
57	3		Splint 3,2x25	BB	COTS	4
58	3		Vedru 150x30	Febrotec	COTS	1
59	3		Vedru 51x7	Febrotec	COTS	2
60	3	0GS-N10PBC0900	Gaasiamort 549x900N	Febrotec	COTS	2
61	3	0GS-EF-BJ006Z	Gaasiamordi ots, kuulliigend	Febrotec	COTS	4
62	3		Aktuaator LA33-300mm-3500N	Linak	COTS	1

Lisa 2. TTMA100 ja TTMA200 erinevused



www.nts.world

office@nts.world
+49-4621-977547

Short summary for difference of TTMA 100 and TTMA 200

First of all:

TTMA-100 was tested to NCHRP 350 (US standard valid until 2009 – for TMA products transition time terminated end of 2018)

TTMA-200 was test to MASH 2016 standard (current valid US standard)

Main differences of NCHRP 350 and MASH:

	<u>NCHRP 350</u>	<u>MASH 2016</u>
Small car	820 kg	1.100 kg
Pick-up truck	2.000 kg	2.270 kg
Arrow board	no mentioned	test has to be done with arrow board
2 mandatory tests: 2000 + 900 kg head-on		4 mandatory tests: 2270 kg + 1100 kg, 10° + offset
2 optional tests: 10° + offset		1 optional: 1.500 kg head-on

Gregory has always performed all tests, mandatory and optional, all successfully.

TTMA-100 and TTMA-200 were designed by Prof. Dean Sicking, who was also the main author of both, NCHRP 350 and MASH. Design of the TTMA-100 was done during the phase of writing the MASH standard, therefore the performance was already adjusted to meet MASH. This is the reason, why TTMA-100 and TTMA-200 are looking very similar. The outside dimensions did not change. Basically TTMA-100 was already able to meet MASH criteria.

Main differences of TTMA-100 and TTMA-200

1. Impact head: TTMA-200 is a little higher (not wider) in order to meet some requirements for sizes of reflex plates in some US states.
2. Bursting tube has some extra holes for easy access to bolts hold the axle assembly.
3. Bursting mandrel has become a little longer but lower wall thickness
4. Axle position was moved towards the A-frame (front of the TTMA)
5. Total weight is about 4 kg difference.



Figure 5. Spacing between lower actuator frame and pipe cycle



Figure 6. Assembled lower actuator mount with linkages

2.2. Mounting the upper actuator frame

To mount the upper actuator frame, four 14,5mm holes need to be drilled in the screen frame, 2 on each tube. These holes can be measured and marked as seen on figure below.

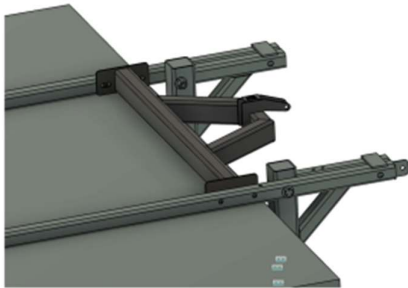


Figure 7. Positioning of the upper actuator frame mounting holes

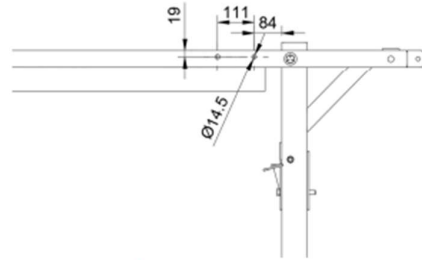


Figure 8. Actuator mounting on top/left and bottom/right

The upper actuator frame can be mounted on with 4x M14x85 bolts, washers and nuts. The upper actuator frame has slots in it for later adjustment of leverage. As a starting point, position the frame in the central position of the slots.

The LA33 actuator can now be mounted. On top, M12x60 bolt and nut, and at the bottom M12x70 bolt and nut. Use 4x washers on each side of the actuator at the bottom mounting point, to center the actuator end in the swing. See figure below.

Now the screens can be moved up and down with the actuator. Raise the screens to mount the gas strut.

2.3. Gas strut mounts

First, mount the lower gas strut mounts on the moving screen frame. The placing of the lower gas strut mount is as shown below. The holes are fixed to the center of the tube. The holes are 5mm. See figure below.

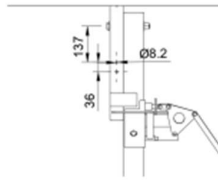


Figure 10. Fitting of the lower gas strut mount holes

The mounts are fixed using the M8x70 bolts, nuts and washers. See the orientation below.



Figure 11. Mounting of the lower gas strut mount

Next mount the gas strut bottom end to the mount and top end to the upper gas strut mount. Mark the holes through the upper mount and drill them (11mm holes).



Figure 12. Gas strut mounting

TTMA Retrofit kit parts list					
No	Level	Drawing no	Title	QTY	Used for
1	0	00.00	TTMA Retrofit kit	1	
2	1	01.00L	Pin guide L	1	
3	1	01.00R	Pin guide R	1	
4	1	02.00	Lower actuator frame	1	
5	1	03.00	Upper actuator frame	1	
6	1	04.00L	Pin lock L	1	
7	1	04.00R	Pin lock R	1	
8	1	05.00	Locking pin	2	
9	1	06.00	Gas strut upper mount	2	
10	1	07.00	Lower actuator mount swing	1	
11	1	00.01	Long link	4	
12	1	00.02	Short link	4	
13	1	00.03	Triangular link	4	
14	1	00.05	Lower actuator frame clamp	2	
15	1	00.06	Multiple pin in swing	1	
16	1	00.07	Lower gas strut mount	2	
17	3				Lower actuator frame and lower actuator frame clamp
17	3		Hex bolt M14x150	4	
18	3		Hex bolt M14x110	2	Pin guides on main frame

25	3		Washer 10	4	Upper gas strut mount
26	3		Washer 12	4	Triangular link mount and pin lock mount
27	3		Washer 14	20	All 14mm bolt and nut connections both sides
28	3		Nylock nut M8	8	Lower gas strut mount and gas strut ball ends
29	3		Nylock nut M10	12	Linkage from swing to locking pins and upper gas strut mount
30	3		Nylock nut M12	4	
31	3		Nylock nut M14	10	
32	1		Hex bolt M10x70	4	Upper gas strut mount
33	1		Hex bolt M8x70	4	Lower gas strut mount
34	3	DIN04-3.2x25	Pin 3.2x25	4	Triangular link mount and pin lock mount
35	3		Spring 150x30	1	Swing on lower actuator frame
36	3		Spring 51x7	2	Pin lock
37	3		Gas strut 549x900N (ball end)	2	
38	3		Actuator LA33-300mm-3500N	1	

12 GRAAFILINE OSA

TTMARF-00.00	TTMA Retrofit Kit
TTMARF-01.00L	Sõrme juhik L
TTMARF-01.00R	Sõrme juhik R
TTMARF-02.00	Alumine aktuaatori raam
TTMARF-03.00	Ülemine aktuaatori raam
TTMARF-04.00L	Sõrme lukk L
TTMARF-04.00R	Sõrme lukk R
TTMARF-05.00	Lukustussõrm
TTMARF-07.00	Alumine kiige
TTMARF-01.01L	Sõrme juhiku plaat L