



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
MEHAANIKA JA TÖÖSTUSTEHNICA INSTITUUT

TAGANTLAETAV PRÜGIVEOK MEIREN ENGINEERING OÜ-LE

GARBAGE TRUCK FOR MEIREN ENGINEERING LTD

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tanel Turro
/nimi/

Üliõpilaskood 192094MATM

Juhendaja: Martin Eerme, Programmijuht
/nimi, amet/

(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.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Tanel Turro (*autori nimi*)

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

TAGANTLAETAV PRÜGIVEOK MEIREN ENGINEERING OÜ-LE,
(*lõputöö pealkiri*)

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.
-

24.05.2022 (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 loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tanel Turro, 192094MATM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: MATM02/18, Tootearendus ja tootmistehnika (tootearendus)
(kood ja nimetus)

Juhendaja(d): Programmijuht (tootearendus ja tootmistehnika), Martin Eerme,
6203270 (amet, nimi, telefon)

Konsultant: Raoul Renser, tootearenduse peadisainer (nimi, amet)

Meiren Engineering OÜ, +372 56616141, Raoul.Renser@Meiren.ee (ettevõtte, telefon,
e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) MEIREN ENGINEERING OÜ TAGANTLAETAVA PRÜGIVEOKI VÄLJA
TÖÖTAMINE

(inglise keeles) MEIREN ENGINEERING LTD GARBAGE TRUCK DEVELOPMENT

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Lähteülesande analüüs.
2. Prügiveoki projekteerimine.
3. Tugevusarvutuste tegemine.
4. Prügiveoki maksumus.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Turuanalüüs, lähteülesande formuleerimine ja analüüs	25.01.2022
2.	Prügiveoki projekteerimine	25.03.2022
3.	Tugevusarvutuste analüüs ja maksumuse arvutamine	29.03.2022
4.	Kokkuvõtte, töö vormistamine	13.05.2022

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....20.....a

Üliõpilane: Tanel Turro ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Martin Eerme ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
SISSEJUHATUS	9
1.LÄHTEÜLESANDE KÄSITLEMINE JA ANALÜÜS.....	11
1.1. Turu-uuring.....	11
1.2. Prügiautode mudelid.....	12
1.2.1 Tagantlaetav prügiauto.....	13
1.2.2 Küljeltlaetav prügiauto.....	14
1.2.3 Eestlaetav prügiauto	15
1.2.4 Mitmekambriline prügiauto	15
1.2.5 Erilahenduste võrdlus.....	17
1.3. TLP projekteerimise vajadus	18
1.3.1 Tagantlaadija mehhanism	19
1.4. Võrdlus konkurentidega	21
2. PRÜGIKOGUJA PROJEKTEERIMINE	24
2.1 Nõuded prügiautole	24
2.2 TLP detailid	25
2.2.1 Prügipakkija	26
2.2.2. Tõstemehhanism	28
2.2.3 TLP koostud.....	30
3. TLP TEHNILINE ANALÜÜS	33
3.1. Tühjendus mehhanismi silindri arvutus.....	33
3.2. Pakkija hoova FEM	38
3.4. Tõstemehhanismi käpa FEM	42
3.5. Sein ja sealsete kinnituste FEM	45
4. PRÜGIVEOKI MAKSUMUS.....	50
4.1. Toormaterjal	50
4.2. Töötlus	51
4.3. Ostutooted.....	51
4.4. Kogumaksumus	53

5. EDASIARENDUS	54
KOKKUVÕTE	56
SUMMARY	58
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	60
LISAD	61
Lisa 1 Pakkimis mehhanismi hoova keeviskoost	62
Lisa 2 Tõstekäpa keeviskoost	63
Lisa 3 Hoova lõike joonis	64
Lisa 4 Treimis joonis	65
Lisa 5 Koostamis joonis	66
GRAAFILINE OSA	67

EESSÕNA

Käes olev magistritöö on valminud koostöös Meiren Engineering OÜ projekteamisakonna juhataja Raoul Renser-iga (56616141, Raoul.Renser@Meiren.ee). Eesmärgiks on tuua firma toodangusse uus toode, milleks on prügiveok. Loodav prügiauto peab olema teiste prügiautodega võrreldes suurema prügimahutavuse, ilma lineaarliikumiseta, vähemate kuludetailidega ja odavam. Arendus tegevusel aitas tootearenduse peadisainer Raoul Renser prügiveoki jaoks vajalike andmete, nõuete ning konsultatsioonidega.

Võtmesõnad: prügiveok, prügikoguja, prügiauto, magistritöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

TLP- Tagantlaetav prügiauto

FEM –ingl k Finite Element Method, (eesti keeles, Lõplike elementide meetod, LEM)

RF -Remote force ehk kaugjõud

SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärgiks on projekteerida Meiren Engineerig OÜ jaoks esimene tagant laetava prügiveoki prototüüp, lühidalt TLP. Projekteeritav prügiauto prototüüp konstrueeritakse konksliftiga autodele sobilikuna. Seda seepärast, et tegemist oleks universaalse tootega ning, et oleks võimalik loodavat lahendust võimalikult soodne ja riskivaba testida. Konstrueeritav prügiauto peab olema oluliselt odavam ja vähemate kuludetailidega, kui hetkel kasutuses olevad prügiautod.

Magistritöö koosneb viiest põhiosast:

- Turu-uuring, konkurentide uuring;
- Prügiveoki detailide ja koostude modelleerimine;
- Tehnilised arvutused;
- Prügiveoki maksumus;
- Edasiarendus.

Esimeses põhiosas analüüsitakse Meireni poolt tellitud turu-uuringu tulemusi ja tehakse selle põhjal järeldusi. Lisaks veel tuuakse välja, millised prügiauto mudelid on hetkel konkurentide mudeli valikus. Lühidalt kirjeldatakse ka nende eri tüüpide tööpõhimõtet ja eripärasid. Lisaks koostatakse konkurendi võrdlus tabel, kus on toodud välja tagant laetavate prügiautode tähtsamad tegurid.

Teises põhiosas käsitletakse projekteeritavale prügiveokile sätestatud nõudeid. Lisaks veel käsitletakse TLP tähtsamaid detaile ning seletatakse lahti nende tööpõhimõtte. Projekteerimise käigus jälgitakse vastavust tagantlaetava prügiauto standardile EVS-EN 1501-1:2021 [1] ning lähteülesandes etteantud nõuetele.

Kolmandaks põhiosaks on prügiveoki tehnilised arvutused. Siin kohal arvutatakse välja vajalikud jõud, mida peab taluma ja võimaldama silinder. Lisaks sellel koostatakse erinevad tugevus arvutused prügiveoki tähtsamatele konstruktsioonidele ning kinnitustele. Tulemuste saamiseks kasutatakse erinevaid arvutusi selleks, et veenduda prügiveoki piisavas jäikuses ja tugevuses.

Neljandas põhiosas võetakse kokku prügiauto tootmise maksumus. TLP hinna teada saamiseks arvutatakse välja ligikaudne summa, mis sisaldab projekteerimist, toormaterjale, töötlust ja ostutooteid.

Viimases põhiosas tuuakse välja, mis tuleb veel enne tervikliku prototüübi ehitamist parandada, juurde projekteerida või välja arvutada. Lisaks veel tuuakse välja mõned ideed, mida võik tulevikus projekteeritavatele prügiautodele lisada või muuta.

Kogu projekteerimine teostatakse Autodesk Inventor 2015 PRO-ga. Sama tarkvara kasutatakse ka tugevusarvutuste tegemiseks.

1.LÄHTEÜLESANDE KÄSITLEMINE JA ANALÜÜS

Töö eesmärgiks on projekteerida prügiauto tootepere esimene prototüüp, mis vastaks kõikidele ettevõtte poolt määratud nõuetele ja tagant laetava prügiauto standardile EVS-EN 1501-1:2021 [1]. Prügiauto tüübi välja selgitamiseks on vaja teha ülevaade kasutuses olevatest prügiautode mudelitest, samuti on vaja analüüsida, millist tüüpi prügiautot soovivad Eestis paiknevad kliendid. Lisaks on vaja teha ülevaade konkurentide prügiautode mudelitest.

Kuna loodav toode on firma jaoks esimene, siis tuleb teha kõik võimalikud arvutused ja analüüsid, et välja selgitada kas loodud konstruktsioon peab vastu kõigis töötegemise tingimustes. Lisaks veel tuleb üritada luua võimalikult kerge konstruktsioon, et oleks võimalik maksimaalne kogus prügi iga ringiga peale korjata. Kindlasti tuleb läbi arvutada kõikide detailide ühenduskohad, et saaks veenduda nende tugevuses. Lõpetuseks tuleb koostada veel majandusanalüüs ja edasiarendus ettepanekud.

1.1. Turu-uuring

Meiren Engineering OÜ tellis enne prügiauto projektiga alustamist turu-uuringu firmalt Invent Baltics OÜ, selleks et saada parem arusaam Euroopa liidu liikmesriikide jäätmekäitluse seisust ja trendidest.

Läbiviidud uuringu andmetele tuginedes on Euroopas enam kui 150 000 prügiveokit ning aastas soetatakse enam kui 8000 uut veokit. Suurimateks turgudeks on Suurbritannia ja Saksamaa. Seal müüakse aastas ligikaudu 1500 autot. Kuna Meiren Engineering OÜ esmane siht on pakkuda uut toodet Eestis ja seejärel Skandinaavia maades, siis turu-uuringu alusel on teada, et nende maade uute veokite müük aastas on ligikaudu 600. Kõige rohkem kasutatakse tagant laetavaid prügiautosid ning nendele järgnevad küljelt laetvad. Tagant laetavad on laialdasemalt levinud nende multifunktsionaalsuse ja hinnavahe tõttu, mida nad omavad eest ja küljelt laetavate autode ees. Uutel täislahendust omavatel autodel on hinnavahe miinimumiks 250 000 kuni 350 000 eurot ning küljeltlaetavad lahendused maksavad kuni 50% rohkem.

Tutvustades Meiren Engineeringu prügiauto ideed Ragn-Sells-ile [13] ja Eesti Keskkonnateenustele [14], tulid välja mõned täpsemad vajadused ja probleemid Eesti prügiautode kohta. Vestluste käigus saadi teada, et küljelt laetavat autot Eestis täies mahus kasutusele võtta ei saa, kuna eksisteerib veel vintsiga tõstetavaid konteinereid. Samuti toodi välja, et on vaja reguleeritava kõrgusega pörkepoomi, sest väiksemad prügikastid kippsid statsionaarse pörkepoomi alt läbi minema ja prügipakkijasse kukkuma. Lisaks veel mainiti, et plastikjuhikute vahele läheb palju abrasiiv materjali, mis lõhub süsteemi. Lisa infona tuli vestluse käigus välja, ka prügiauto pealisehituse hind, mis jääb 60000-80000 euro vahele.

Turu-uuringu ja potentsiaalsete klientide tagasisidest lähtudes saime teada, et Eestis ei ole piisavalt nõudlust küljeltlaetavale prügiautole, kuna sellise lahendusega ei ole võimalik kõiki piirkondasid ära teeninda. Samuti ei ole kasulik teha eestlaetavat autot. Seega tuginedes saadud infole, tuleb välja, et esimese prototüübina on eelkõige mõistlikum välja tulla uuendusliku tagantlaetava prügiauto lahendusega.

1.2. Prügiautode mudelid

Enne projekteerimise alustamist tuli uurida erinevate prügiautode mudeleid, et tutvuda nende konstruktsiooniliste erinevust, kasutuskohtade ja tööpõhimõtetega. Erinevate mudelitega tutvudes vaadeldi millised on Eestis kõige levinumad mudelid ning üldpildi saamiseks vaadeldi Euroopa turul olevaid lahendusi. Euroopa põhilised prügiautode tootjad on JOAB [4], NTM [5], FAUN [6], ja RosRoca, esimest kolme näeb tihedalt ka Eesti teedel.

1.2.1 Tagantlaetav prügiauto

Kuna tagantlaetavaid prügiautosid on kõige kauem toodetud, siis sellel põhjusel on nendest ka väga palju erinevate kujude, mõõtmete ja mahutavustega versioone. Samuti on loodud nendest erinevate tõstemehhanismidega versioone, kuid enamasti on nende välimus sarnane ning erinevused peituvad pisisajades. Tihti peale on tagantlaetavad autod varustatud ka vintsiga, et saaks suuri teras-konteinereid tühjendada. Sellised autod on kõige tavapärasemad Eesti tänavatel. Tagantlaetavatest on välja arendatud eraldi versioonid biojätmete veoks, mis on väiksemad. Biojätmete veoks kasutatavad autod omavad paremat lõhna ja vedelikke isolatsiooni, kuna enamus sellistest jätmetest omavad väga halba lõhna ning eritavad vedelikke.



Joonis 1.2.1.1. JOAB tagantlaetav prügiveok [4]

1.2.2 Küljeltlaetav prügiauto

Teiseks autode liigiks mida toodetakse on küljeltlaetavad prügiautod (Joonis 1.2.2.1 FAUN küljeltlaetav prügiveok), selliste prügiautode eeliseks on see, et neid saab kasutada ühe inimesega ehk piisab ainult juhust, kui prügikast on korrektselt asetatud tee äärde. Kuna kogu prügikasti haaramine, tühjendamine ja tagasi asetamine on täielikult automatiseeritud, siis on selle lahenduse suurim pluss just see, et autojuht ei pea kordagi väljuma autost. Selle miinuseks on see, et prügikast tuleb inimese poolt asetada tee äärde õigesse kohta selleks, et laadija saaks haarata selle ning tühjendada kogujasse. Samuti on sellise prügiauto puhul vajalik rohkem vaba ruumi tänaval ehk ei ole võimalik sellist lahendust kasutada kitsastes kohtades. Antud lahenduse miinus on autojuhi piiratud nähtavus. Kuna autojuht ei saa veenduda, et tööalas ei viibi ühtegi inimest, siis on oht inimestel prügiauto tööalasse ettejäamiseks. Kõigil seda tüüpi prügiautodel ei ole prügi kokku surumise jaoks pressplaati, sest kasulik mass täidetakse ilma prügi kokku surumata. Tühjendamiseks on kaks viisi, üks on prügikoguja kallutamine ning teine on pressplaadiga prügi välja lükkamine.



Joonis 1.2.2.1. FAUN küljeltlaetav prügiveok [6]

1.2.3 Eestlaetav prügiauto

Kolmas prügiautode tüüp on eestlaadija, neid kasutatakse enamasti suurte terasest konteinerite tühjendamiseks, neil on ka võimalus tavalisi väiksemaid prügikaste tühjendada, kuid see ei ole enamasti otstarbekas. Eestlaadijate puhul on samuti tegemist automaatsete süsteemidega ning nendega sõidetakse prügikasti vastu ja tühjendatakse kabiinist lahkumata. Sellise lahenduse puhul on kergemini kontrollitav, kas tõstealas viibib kedagi. Probleemiks aga on suure manööverdamisala vajadus, kuna prügikaste saab ainult ees olevate konksudega korrektsetesse punktidesse sõitmisega tõsta.



Joonis 1.2.3.1. NTM eestlaetav prügiveok [5]

1.2.4 Mitmekambriline prügiauto

Lisaks veel tehakse kõigile nendele mudelitele mitmekambrilisi versioone (Joonis 1.2.4.1 NTM QUATRO ehk neljakambriline prügiveok), et saaks mitut erinevat prügiliiki korraga vedada. Kõige sagedasem on kahe-kambriline, kuna sedasi saab vedada olmeprügi ja pappi korraga. Kuid on olemas ka kolme-kambrilisi, kuna

prügisorteerimine on laialt levinud ning erinevaid prügi liike tuleb üksteisest eraldi transportida. NTM QUATRO lahenduse puhul saab transportida nelja erinevat prügiliiki, tavalise olmeprügi jaoks on jäetud kõige suurem sektsioon ning pappi ja paberi peale korjamiseks kasutatakse enamasti suuruselt teist kambrit. Ülejäänud kahte kambrit kasutatakse vastavalt vajadusele, kas siis biojätmete või mõne muu prügisordi jaoks. Tühjendamise jaoks kasutatakse pressplaati, kuna sellise süsteemi puhul on vajalik maksimaalne prügi kokku surumine.



Joonis 1.2.4.1. NTM QUATRO ehk neljakambriline prügiveok. [5]

1.2.5 Erilahenduste võrdlus

Erinevate prügiautode võrdlemiseks ja prügiveoks kasutatavate alade paremaks mõistmiseks on tehtud tabel 1.2.5.1.

Tabel 1.2.5.1. Tüüp mõõtmed ja kasutus kohad erinevatel lahendustel

Mudel	Tagantlaetav	Küljeltlaetav	Eestlaetav	Mitmekambriline
Mass, kg	Kuni ~7000	Kuni ~ 8000	Kuni ~ 10000	Kuni ~7000
Mahutavus, m ³	7-29	Kuni 34	Kuni 35	13-25
Kõrgus, mm	~2500	~3600	~3000	~2600
Laius, mm	2550	2550	2550	2550
Pikkus, mm	Kuni ~8500	~9000	Kuni ~8500	Kuni ~8500
Peale võetava prügi mass, kg	Kuni ~16000	Kuni ~14000	Kuni ~14000	Kuni ~12000
Prügikasti suurus	60-1100L*	60-1100L*	2-8m ³ *	80-660L*
Töötüsikkel, s	9-45	8-19	-	10-26
Operaatorite arv	2-3	1	1	2-3
Kasutus	Multifunktsionaalne	Äärelinnad, Elamurajoonid	Tööstus ja Kaubandus rajoonid	Elamurajoonid, Sorteeritavad prügid

*Tootjast olenevad erinevused.

1.3. TLP projekteerimise vajadus

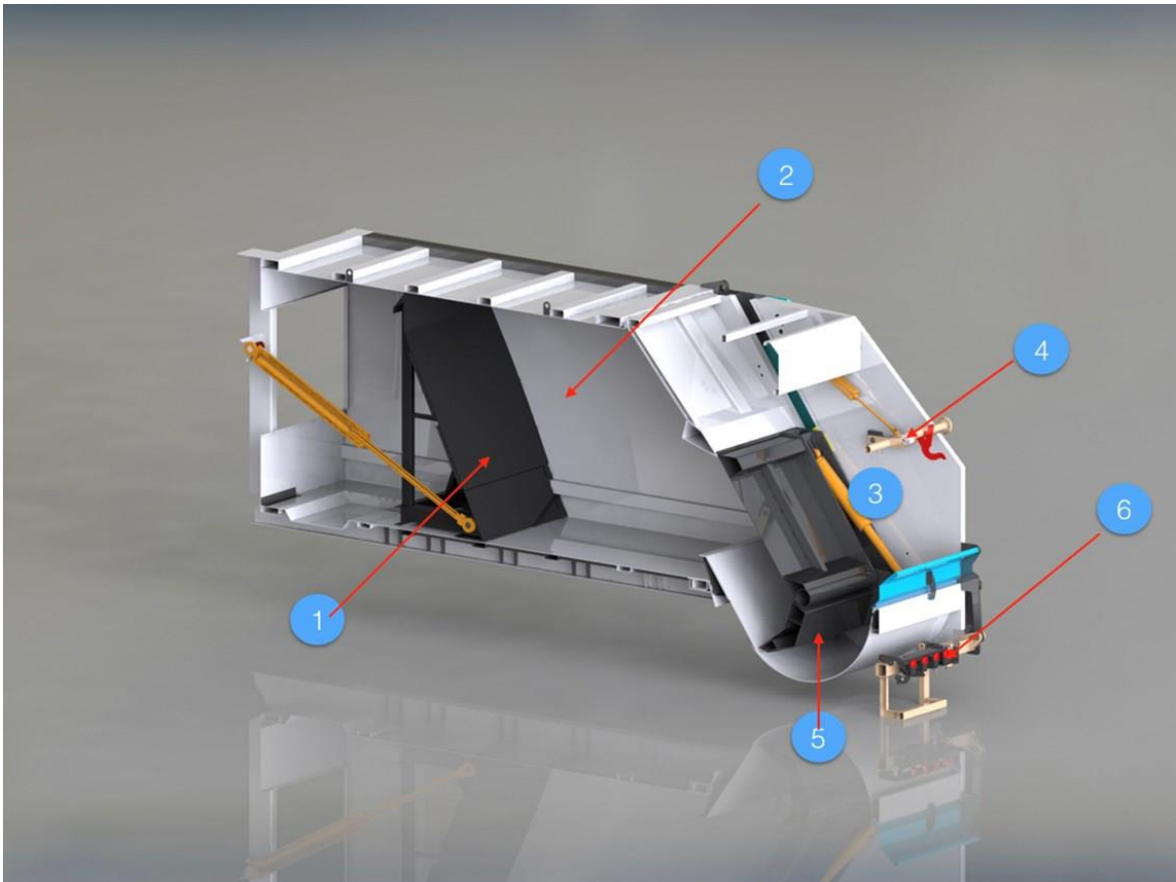
Prügiveoki projekteerimise esimese sammuna on vaja selgeks teha, kas on vajadust luua uut lahendust prügiauto. Selleks on välja toodud hetkel kasutuses olevate autode puudused ja tüüplahendused.

Eelmisest lõigust on näha mitmeid erinevaid prügikogumise autosid, millel on erinevad otstarbed, kasutusala ja eelised. Kuid kõigil neil on omad probleemid ja miinused, miks ei saa või ei ole otstarbekas kasutada neid eri regioonides. Küljelt- ja eestlaetavate autode puhul on eelisteks tagantlaetavate ning mitmekambriliste autode ees see, et nende opereerimiseks on vajalik ainult üks operaator. Samas on nende puhul miinuseks see, et antud prügiauto tüübid vajavad töö tegemiseks suuremat manööverdamis ala. Tagantlaetavate ja mitmekambriliste prügiautode suurimaks eeliseks on see, et nendest on väga palju erinevaid variatsioone ning see võimaldab kasutada neid väga erinevaetes regioonides. Miinuseks nende puhul on just see, et nendes kasutatakse väga palju kuluosasid. Samuti saab võrreldes küljelt- ja eeslaetavate prügiautodega öelda, et miinuseks on vajalik mitu operaatorit.

Uue prügiauto idee tuli sellest, et enamus hetkel kasutuses olevad prügiauto lahendused kasutavad prügipakkija ja pressplaadi osades lineaar-liikumist, et viia läbi kõik vajalikud operatsioonid. Lineaarliikumise miinus aga on see, et need nõuavad liikumiseks erinevaid juhikuid ning pressplaadil on kallid kahepoolse liikumisega teleskoopsilindrid. Juhikud, aga aja jooksul kuluvad ja prügil on võimalik sinna vahele minna ning kinni jääda. Samuti juhul, kui prügi hulgas on väikesi kive või liiva, siis juhikute vahele sattudes kiirendavad need nende läbi kulumist. Kuna juhikute hooldamine ja läbikulumise järel vahetamine on väga keeruline ja ajakulukas töö siis oleks parem kasutada süsteemi, kus oleks juhikute arv minimaalne või need puuduksid täielikult. Lisaks juhikute hulga minimaliseerimisele on Meireni poolt loodaval prügiveokil veel suurem prügimahuti ning samuti on eesmärk toota kogu süsteem kergemana ja odavamana, kui seda on hetkel kasutuses olevad lahendused.

1.3.1 Tagantlaadija mehhanism

Kuigi tagantlaadija lahendusi on palju, kuid tööpõhimõtted on enamasti sarnased, kui mitte samad. Kõige tüüpilisem lahendus on välja toodud Joonisel 1.3.1. Kus numbriga üks on tähistatud prügi pressplaat, mida kasutatakse prügi kokku surumiseks ning paljudel juhtudel prügist tühjendamiseks. Teine viis prügimahuti, joonisel number kaks, tühjendamiseks on avada prügipunker, numbriga kolm, ja seejärel tõstetakse auto poolsest otsast ülesse ning kallutatakse tühjaks, kuid seda enamasti sellisel juhul, kui prügi kokku ei pressita suurte jõududega, kuna tihedalt kokku surumise tagajärjel ei pruugi ainult kallutamiselega punkrit tühjaks saada. Lisaks veel on enamikel prügiautodel põrkepoom, numbriga neli, mida kasutatakse prügikasti tühjendamise abina ning prügikasti lõpp positsiooni piirajana. Tavalise tõstemehhanismina kasutatakse kammtõstukit, numbriga kuus, mille nagadele asetatakse prügikast äärtest ning see järel lukustatakse paika tõstmise ajal pealt poolt metallklapiga. Seda selleks, et prügikast ei saaks kukkuda prügipunkrisse. Vähem levinud on külghaarats, mis võtab prügikastist ümbert kinni ning seejärel tühjendab, kuid selliseid lahendusi kohtab vähe. Viimane ning üks tähtsamaid osasid on joonisel tähistatud numbriga viis ning selleks on prügipakkija, kuna see liigutab tühjendatud prügikastide prügi edasi prügimahutisse ning pressplaadiga koostöös surub prügi kompaktsemaks.



Joonis 1.3.1 Tüüpilise tagantlaetava prügiauto ristlõige [7]

Komponendi tähistusega:

- 1) Pressplaad
- 2) Prügimahuti
- 3) Prügipunker
- 4) Põrkepoom
- 5) Prügipakkija
- 6) Tõstemehhanism/kammtõstuk

1.4. Võrdlus konkurentidega

Eelmiste alapunktide arenduseks on järgnevas tabelis võrreldud kolme erinevat prügiautode tootjat, ning just nimelt tagantlaadija mudelid. Tabelis 1.4.1. Eestis esindatud prügiauto tootjad, on välja toodud NTM, FAUN ja JOAB tagantlaadijad, kuna nende tooted on Eestis kõige laialdasemalt levinud. Euroopas on lisaks nendele kolmele teisi suuri prügiautode tootjaid nagu Geesinknorba, Zoeller, Ros Roca ja Kobit, kuid kuna esimene prototüüp on mõeldud Eestis kohalikuks kasutuseks, siis on kõige parem võrrelda siin esindatud autodega.

Tootja	NTM [5]			FAUN [6]		JOAB [4]	
Mudel	K -Maxi	KG	KGH	VARIOPRESS, 529	POWERPRESS, 530	Anaconda HD	Anaconda MD
Mass, kg	-	-	-	6962	7320	-	-
Mahutavus, m³	14	19	24	29	30	26	20
Kõrgus, mm	-	2500	2500	2443	2500	~2500	~2350
Laius, mm	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
Pikkus, mm	-	~8200	~8400	8442	8695	-	-
Peale võetava prügimass, kg	~8000	~14 000	~16 500	16 462	15 180	-	-
Prügikasti suurus	120L - 1280L	120L - 1280L	120L - 1,7 m ³	60L - 1,7 m ³	60L - 10 m ³	80L - 1,7 m ³	80L - 1280L
Töötükkel, s	~10	~10	~10	20	-	19	19
Kasutus ala	Kitsad olud	Multifunktsionaalne	Tööstus, suured kogused	Multifunktsionaalne	Tööstus piirkonnad, raskeimad olud	Tööstus piirkonnad	Olmeprügi, elamurajoonid

Tabel 1.4.1 Eestis esindatud prügiauto tootjad

Tabelist selgub, et konkurentidel on tagantlaadijatest mitmeid erinevaid versioon selleks, et rahuldada kõiki võimalikke olukordasid. Nagu tabelis on näha, siis erinevate mudelite ja tootjate kogujad mahutavad erinevates kogustes prügi. Kõige suurem mahutavus on FAUN POWERPRESS-il 30 m³ ja kõige väiksem NTM K-Maxi 14 m³. Kogujate massid olid avalikustatud ainult FAUN-i prügiautodel, kuid võib eeldada, et suurema mahutavusega autodel on enam vähem samasse suurusjärku, selle konstruktsiooni kaal. Kuna auto laius on piiritletud standardiga, siis see on kõigil sama, kuid kõrgus ja pikkus on erinevad, ning enamasti pikkusega luuakse lisa mahutavust prügile. Töö tsükli poolest on kõige kiirem mehhanismi NTM-il, mis on ligikaudu 10 sekundit, teisel kahel jääb töötsükli aeg 20 sekundi ringi.

2. PRÜGIKOGUJA PROJEKTEERIMINE

Prügikoguja detailide projekteerimisel on väga oluline, et detailide omavahelised tolerantsid ja paiknemised oleksid hästi läbi mõeldud. Meireni toodangus kasutatakse võimalikult palju laserlõikust, ning prügiauto puhul on eesmärk kasutada samuti laserlõikust. Seda põhjusel, et laserlõikus võimaldab vajalikud avad kohe välja lõigata, samuti annab see võimaluse kasutada positsioneerimiskõrvasid, et koostamist lihtsustada. Projekteerimisel kasutatakse materjalidest enamasti teraslehte S355J2G3 (konstruktsiooniteras voolepiiriga 355 MPa, purustustöö -20°C 27J)[8], hardox 450 teraslehte (abrasiooni kindel teras, nominaal kõvadus 450 HBW, voolepiir ~1250 MPa)[9], Strenx 700 teraslehte (Suur tugevus, voolepiir 700 MPa, nominaal kõvadus 260 HBW) [10], toru S355J2H (konstruktsiooniteras voolepiiriga 355 MPa, purustustöö -20°C 27J, toru)[5], ümarmaterjalist S355J0 (konstruktsiooniteras voolepiiriga 355 MPa, purustustöö 0°C 27J) [8]. 3D modelleerimiseks kasutatakse Autodesk Inventor 2015 tarkvara.

2.1 Nõuded prügiautole

Loodava TLP tehniliste nõuete paremaks mõistmiseks ja välja toomiseks on loodud tabel 2.1.1. Prügiauto prototüübile seatud nõuded. Tabelis on välja toodud mõõdud ja mahutavus prügikogujale ning samuti on toodud välja soovitusel sellise kogujaga kokku sobivate autode vajalikud parameetrid.

Tabel 2.1.1. Prügiauto prototüübile seatud nõuded

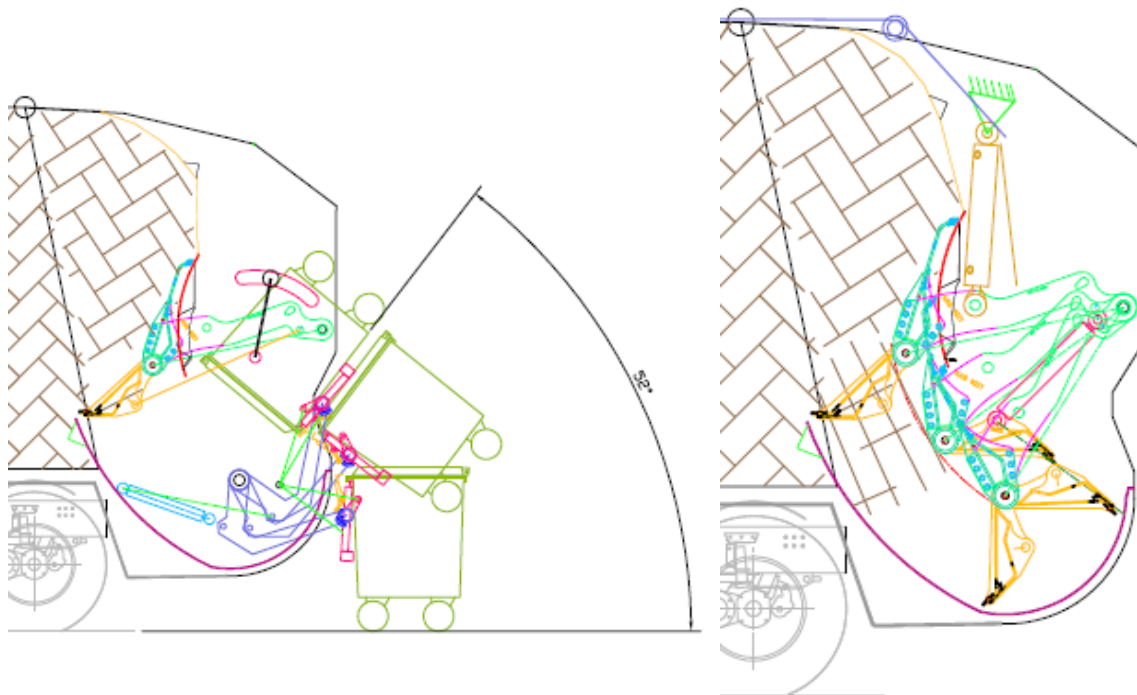
Prügikoguja	
Kere	TLP
Tüüp	Konksliftile, ilma pressplaadita, kallutav
Maht [m ³]	~32
Mass, ligikaudu [kg]	5900
Pikkus, ligikaudu [mm]	8200
Laius [mm]	2550
Kõrgus [mm]	2670

Tabeli 2.1.1 Prügiauto prototüübile seatud nõuded järg

Alusauto soovitus	
Täismass [t]	26
Tühimass koos konksliftiga [kg]	8000+2100=10100
Teljevaje, ligikaudne [mm]	3900...4200
Raami üleulatus tagasillast [mm]	1300+-(konkslift)
Terviklahenduse näide	
Kõrgus, tühjana, ligikaudu, 1000mm raamile +konkslift	3950
Kõrgus tühjendamisel (kallutav) [mm]	6650
Kogupikkus, ligikaudu, transpodiasendis [mm]	~10000
Üleulatus tagasillast [mm]	3500
Konteineri etteulatus tagumisest sillast [mm]	4700...5100
Tühimass, ligikaudu [kg]	16000
Kasulik mass [kg]	10000

2.2 TLP detailid

TLP-I on kaks kõige tähtsamat mehhanismi, prügipakkija ja tõstemehhanism. Nende kahe kinemaatika väljatöötamise ning projekteerimisega saab kõige keerukamad süsteemid antud prügiautos lahendatud. Joonisel 2.2.1 Tõste- ja pakkimismehhanismi kinemaatika eskiis on välja toodud tõste- ja pakkimismehhanismi kinemaatika ja tööpõhimõtte. Tõstemehhanism peab olema võimeline tõstma prügikasti sujuva ja kiire liigutusega kuni 52 kraadise nurga alla. Pakkimismehhanism peab samuti liikuma sujuvalt kopeerides prügipunkri põhja, et liigutada seal olev prügi kogumiskasti.

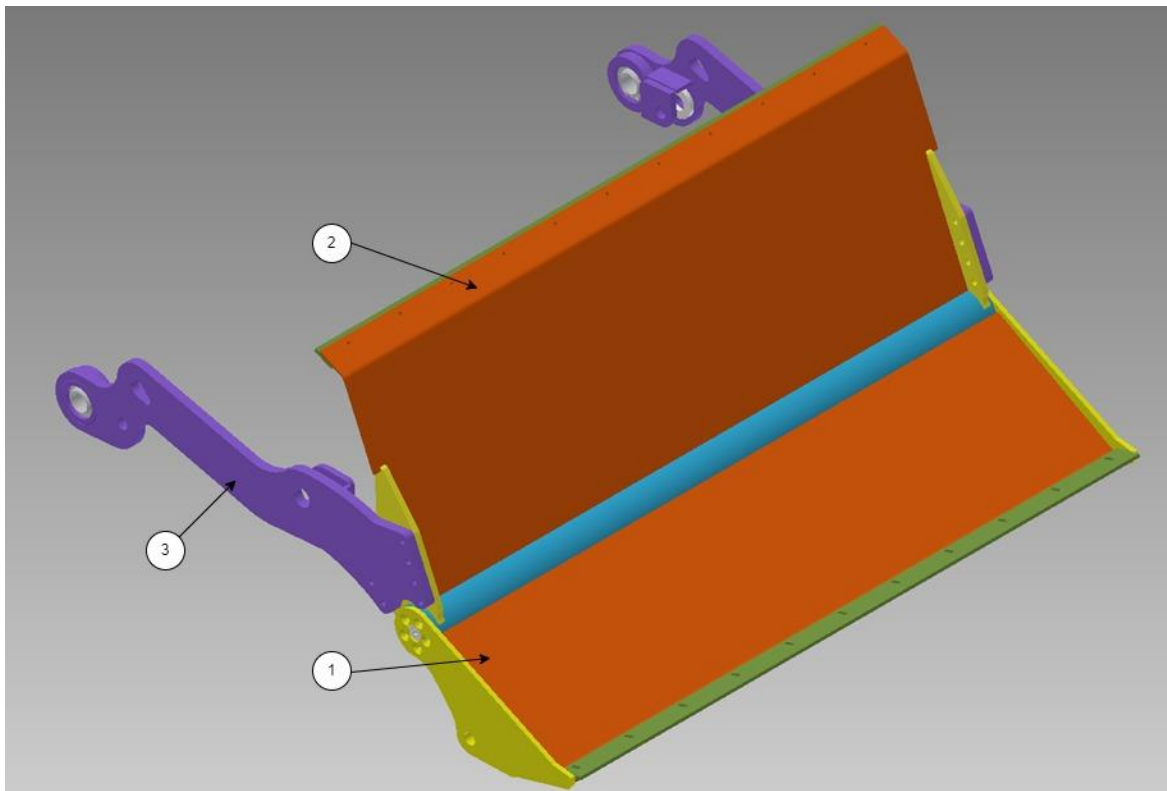


Joonis 2.2.1 Tõste- ja pakkimismehhanismi kinemaatika eskiis

2.2.1 Prügipakkija

TLP projekteerimist alustati pakkimis mehhanismi loomisega, kuna seda võib lugeda kõige olulisemaks detailiks kogu süsteemi juures. Seda seetõttu, et terve prügiauto toimivus on just selle süsteemi probleemideta töötamisest. Kuna Meireni esimesel prototüübil ei tule kogumiskasti eraldi pressplaati, siis peab pakkija olema piisavalt tugev, et täita osalisel määral ära ka pressplaadi eesmärgi. Joonisel 2.2.1. Prügipakkija koost, on näha prügipakkija suurimad töökoormust saavad osad. Numbritega üks ja kaks on tähistatud pakkimis plaadid, millega lükatakse prügipunkrist prügi kogumiskasti. Kuna alumine plaat saab suurema osa hõõrdumisest ning sinna satub rohkem abrasiivseid materjale nagu näiteks liiv, siis seal kasutatakse 6 mm paksust Hardox 450 [9] materjali. Seda seepärast, et Hardox on kulumiskindel ning sellise detaili puhul on vajalik kogu toote eluaja pikkune kestus. Ülemise plaadi puhul aga võeti vastu otsus kasutada 6 mm paksust Strenx 700 [10] materjali. Seda seetõttu, et tavaline S355 teras on enda omadustelt sellise konstruktsiooni jaoks liiga raske ning vajalikku jäikuse tagamiseks on vaja kasutada palju paksemat lehte. Pakkimis mehhanismi

kinnitus hoovad vajavad piisavat tugevust selleks, et vastu pidada erinevatelemõjuvatele jõududele ning liikumistele. Sellepärast on seal valitud materjaliks 30 mm paksune S355 teras.

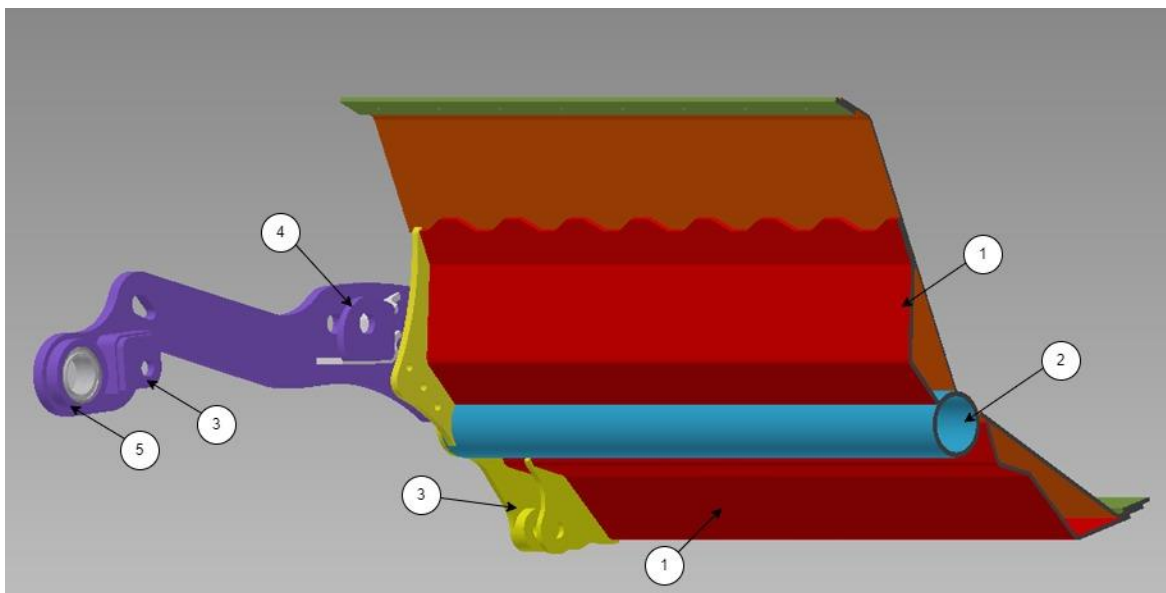


Joonis 2.2.1.1. Prügipakkija koost

- 1) Pakkimis plaat (alumine)
- 2) Pakkimis plaat (Ülemine)
- 3) Kinnitus hoob

Selleks et tagada lisa jäikus ning väiksem läbi painduvus pakkimis plaatides, siis lisati nende taha painutatud karpid. Joonisel 2.2.1.2. on need märgitud numbriga üks, karpide ääred, mis on lõigatud lainelise kujuga, lähevad kontakti hardox ja strenx materjaliga. Seda selle jaoks, et vältida materjali struktuursete omaduste kahjustamist ühes pikas joones. Painted, mis ei ole kontaktis ees oleva lehega, on lisatud konstruktsiooni jäikuse suurendamiseks. Antud süsteem toimib numbriga kaks märgitud toru ümber, alumine hõlm ühendatakse külg põskedega toru sees oleva puksi külge. Toru ise on S355 J2H materjalist, mille diameeter on 152,4 mm ning seina paksus on 12,5 mm. Kusjuures loodud puks sai inspiratsiooni auto rattarummu kinnitustest. Puks pannakse pronks laagritele ning see võimaldab vaba pöörlevuse alumise pakkimisplaadi jaoks. Pakkimis ja tõstesilindrite kinnitused on tehtud võimalikult kompaktsed ning mõeldes sellele, et nad ei lisaks väga palju lisa raskust ega võtaks

palju ruumi konstruktsioonis. Selleks, et oleks mugavam koostada ning võimaldada vajaminev lõtk mehhanismi hoobadele, oli vajalik sfäärilise laagri lisamine. Kuid kuna laagrid, mis sinna sobisid olid mõõtmetelt juba väga suured, oli vajalik lisa paksenduspuksi keevitamine hoovale. Laager, mis selle konstruktsiooni juurde valiti, oli GE90 ES-2RS [9].



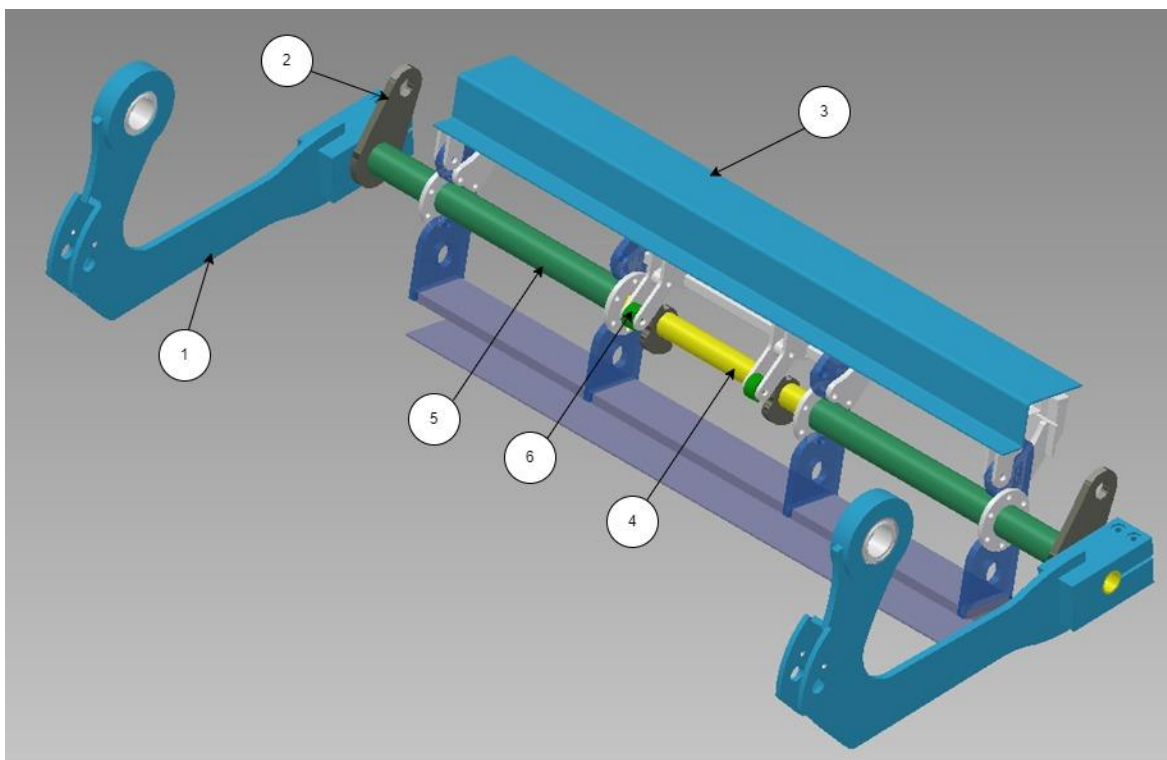
Joonis 2.2.1.2 Prügipakkija ristlõige tagant poolt.

- 1) Tugevdus karp
- 2) Toru
- 3) Pakkimis silindri kinnitus
- 4) Tõstesilindri kinnitus
- 5) Paksendus puks, Laager

2.2.2. Tõstemehhanism

Tõstemehhanismi liigutamiseks vaja minev käpp tuli projekteerida sedasi, et detail omaks head tugevust ning ei painduks läbi silindrite poolt tekitatavatest jõududest. Käpp koostatakse viiest erinevast detailist, kuid esialgse mudeli puhul oli kõik ühes tükis. Konstruktsiooni edasi arendades esines probleem, et ühe tükina tehes ei olnud võimalik rakendada jõudu silindrites ühtlaselt ning mehhanism hakkas ettenähtud gabariit mõõtmeid ületama. Seega sai tehtud silindrite paigutamiseks eraldi kronstein. Võlli kinnitamiseks tõstemehhanismi käppade külge kasutatakse poltidega pingutatavat klamber mehhanismi. Selline mehhanism tagab selle, et võlli on võimalik suhteliselt

kergelt mehhanismi vahel välja tõmmata. Ülejäänud mehhanism on üles ehitatud pöördteljele, mis on tehtud kahe identse osana. Toru mõlemasse otsa pannakse määritavaid puksid, et tagada optimaalne pöörlevus teljel. Lisaks sellele keevitatakse torule kaks kinnitusplaati, lisaks nendele keevitatakse otsa tõmbe kõrvad. Kõrvad on vajalikud selleks, et juhtida mehhanismi liikumist tõmmitsa abil.

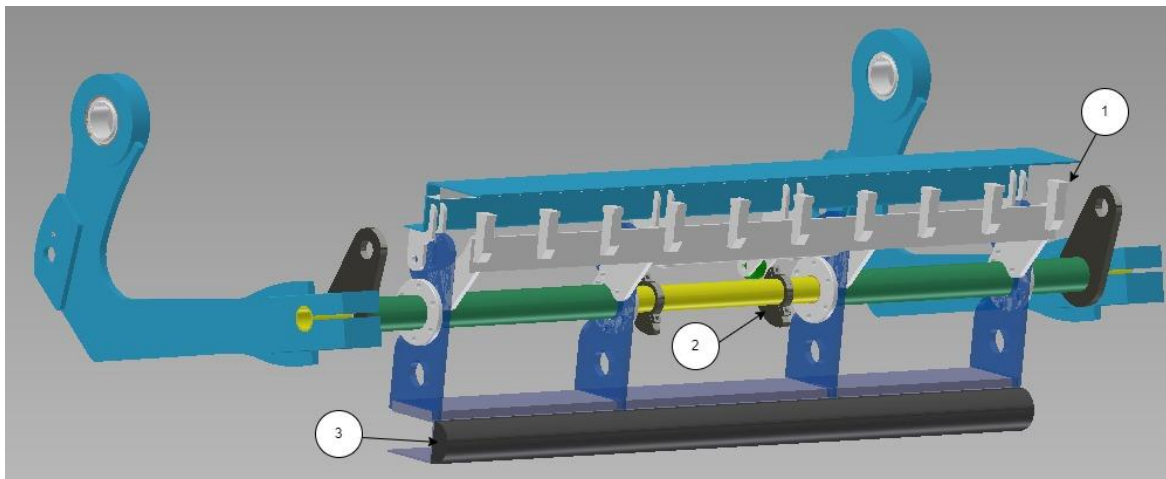


Joonis 2.2.2.1. Tõstemehhanism tagant

- 1) Tõstekäpp
- 2) Tõmbekõrv
- 3) Prügikasti klapp
- 4) Toruvõll
- 5) Toru
- 6) Klappi sulgur mehhanism

Prügikasti tõstmiseks kasutatakse kümmet plaadi küljes olevat hammast või „kammi“ laadset lahendust. Hammastega fikseeritakse ära prügikasti liikumine küljelt-küljele ning kallutamise ajal prügikasti hammastelt ära-libisemist takistab peal olev klapp. Klapp sulgub mehhaaniliselt ning selleks on selle konstruktsiooni küljes metall rullidega juhikud, mida surutakse alla nelja vedruga, mis on mõlemal pool rulle. Klapi sulgumise tagab juhik, mis pöörab kaasa toruvõlli liikumisega. Selle kuju on optimeeritud sulguma täpselt vajaliku nurga saavutamisel ning seejärel hoiab seda asendit kuni prügikasti asetatakse taas maha. Lisaks on all veel pehmendus, mis hoiab prügikasti purunemise

ja läbi paindumise eest ühes asendis. Pehmendusena plaaniti algselt kasutada eraldi D-profiil kummipehmendust, kuid hiljem otsustati kasutada lumesahkadel kasutuses olevaid kummiterasid. Seda põhjusel, et selle omadused on sarnased nagu oleksid eraldi sisse ostetaval D-profiil pehmendusel.



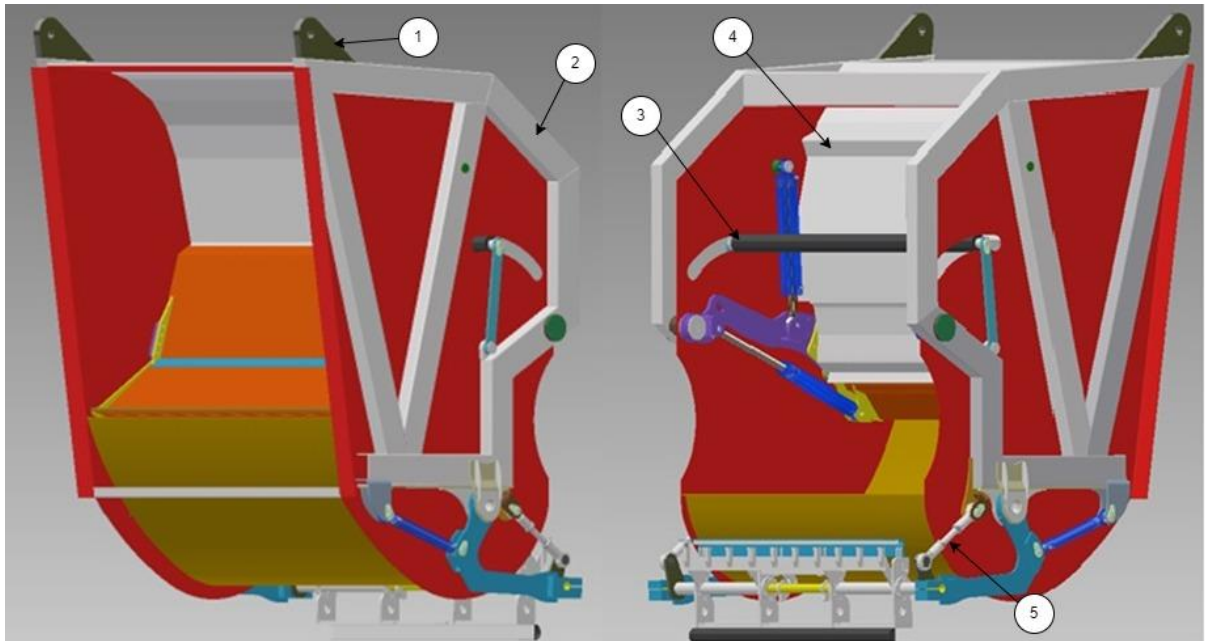
Joonis 2.2.2.2. Tõstemehhanism tagant

- 1) Prügikasti tõstemehhanismi „Kamm“
- 2) Klapi sulguri juhik
- 3) Kummi pehmendus

2.2.3 TLP koostud

Tagantlaetava prügiveoki puhul on standardi EVS-EN 1501-1:2021 järgi ära määratud, kui lai võib olla kogu mehhanism. Samuti on standardis kirjas, kui kõrgel peab olema prügipunkri laadimis-poolne madalaim äär. Kuna laius on ette kirjutatud 2550 mm, siis tuli seda arvesse võttes projekteerida prügipunker. Samuti oli väga oluline, et madalaim laadimis-poolne punkt oleks vähemalt 1000 mm maapinnast. Joonisel 2.2.3.1. Prügipunkri koost on välja toodud erinevad tähtsamad detailid, mis tagavad süsteemi tugevuse ja toimimise. Tugevdusraam loob pakkija korpusele piisava tugevuse ja jäikuse selleks, et kõik liikuvad osad oleksid tugevalt korpuse küljes kinni. Tõstekõrvaga tagatakse korrektne kasti avanemine. Põrkepoomi mehhanismiga tagatakse prügikasti korralik tühjenemine ja samuti takistab see prügikastil prügipunkrisse kukkumist. Lisaks veel on välja toodud prügipunkri vahesein, mis takistab prügimahuti täitumisel suure koguse prügi tagasi kukkumist prügipunkrisse. Samuti on välja toodud tõmmits. Seda sellel põhjusel, et kogu prügikasti tõstemehhanismi süsteemi liikumissuunda juhivad

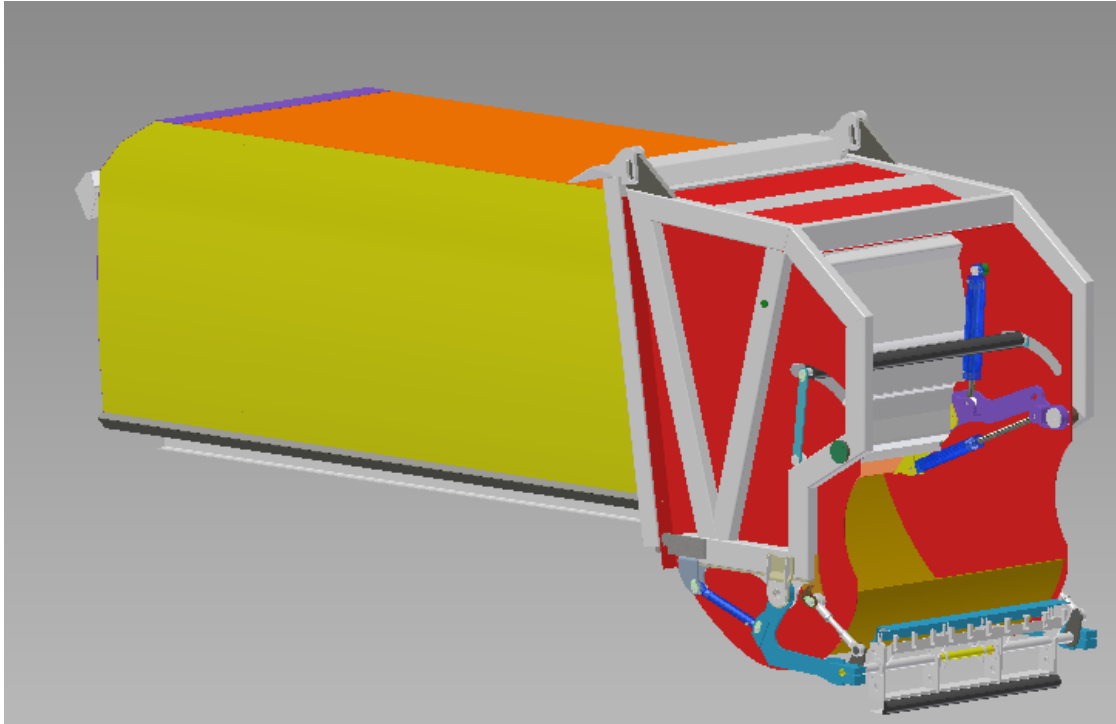
just see detail. Sealt on võimalik korrigeerida tõstemehhanismi alumist ja ülemist nurka.



Joonis 2.2.3.1 Prügipunkri koost

- 1) Tõstekõrvad
- 2) Tugevdusraam
- 3) Põrkepoomi mehhanism
- 4) Vahesein
- 5) Tõmmits

Joonisel 2.2.3.2. TLP täielik koost on näidatud prügipunkri ja prügimahuti omavaheline ühildumine. Prügimahuti on antud hetkel „eskiis“ lahenduse faasis, kuna ta ei oma ühtegi tugevdust ega sinna ei ole paigutatud veel kahe omavahelise süsteemi lukustumist ega avanemist. Avanemise mehhanismi lahendamise on algust tehtud, kuid käesolevas lõputöös seda teemat põhjalikumalt ei käsitleta.



Joonis 2.2.3.2 TLP täielik koost

3. TLP TEHNILINE ANALÜÜS

Tehnilise analüüsi käigus on oluline leida erinevate mehhanismide juures kasutuses olevate silindrite mõõdud. Mõõtude arvutus on oluline selleks, et silinder oleks võimeline arendama piisavalt suure jõu mehhanismi liigutamiseks, ilma seda liigselt üle dimensioneerimata.

Lisaks veel teostatakse tähtsamate süsteemi detailide FEM arvutus, selleks et veenduda nende piisavas tugevuses ning jäikuses sedasi, et detail oleks võimalikult väikese massiga.

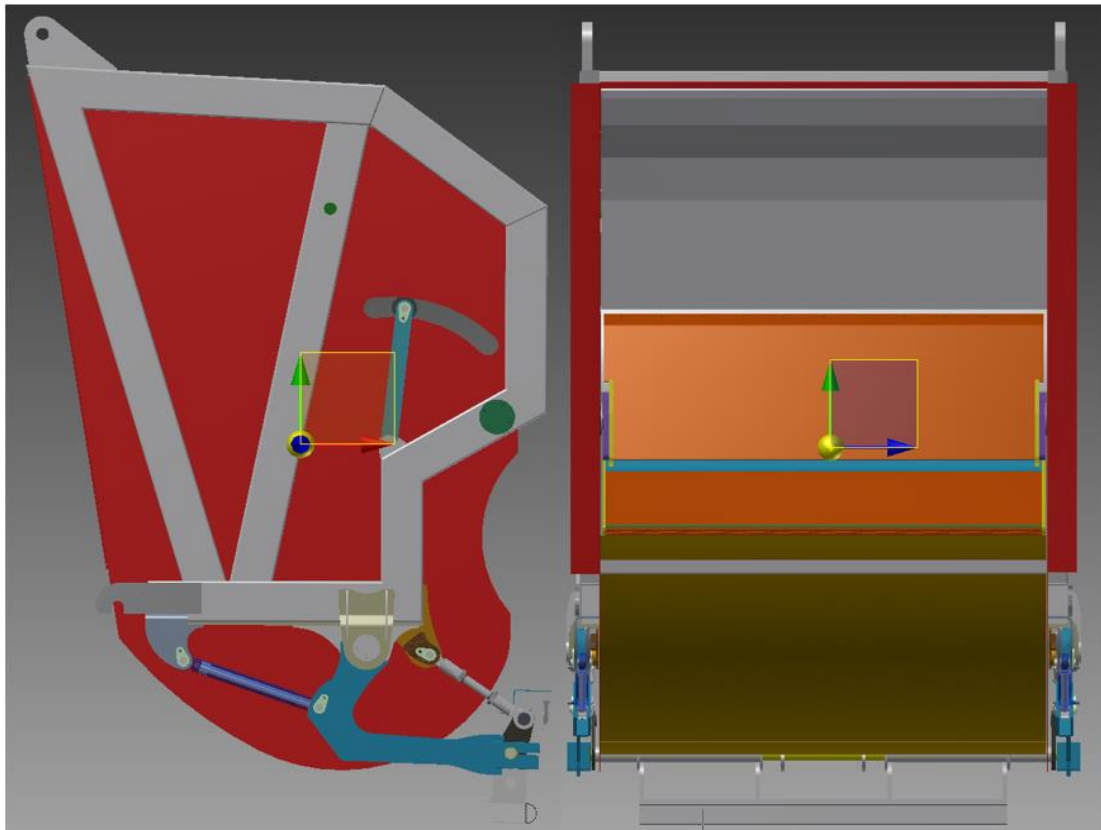
3.1. Tühjendus mehhanismi silindri arvutus

Prügipunkri tõstesilindri poolt vajaliku aretatava jõu teadasaamiseks on vaja leida punkri massikeske. Masskeskme leiame kasutades Autodesk Inventor tarkvarasse sisse ehitatud funktsiooni (joonis 3.1.1.). Seejärel saame paika panna sobilikku silindri alumise kinnituskoha, mis asetseb kogumiskasti küljes. Teades prügipunkri pöördepunkti, saame tõmmata pöördepunkti keskpunktist joone masskeskmesse. Sellega saame tekitada olukorra, kus saab arvutada välja prügipunkri liigutamiseks vajamineva jõu suuruse, kasutades kangi reegli valemit 3.1 [8].

$$F_1 * l_1 = F_2 * l_2 \quad (3.1)$$

kus F – Jõud, N,
 l – efektiivne kangi õlg, m.

Teades, et prügipunkri mass $m = 3,5$ t (3500 kg) ja masskeskme ning pöördepunkti vaheline kaugus $l_1 = 2200$ mm (2,2 m). Võttes, et silindri ülemine kinnitus asetatakse pöördepunktist $l = 750$ mm (0,75 m) kaugusele (joonis 3.1.2.).



Joonis 3.1.1. Kogumispunkri massese

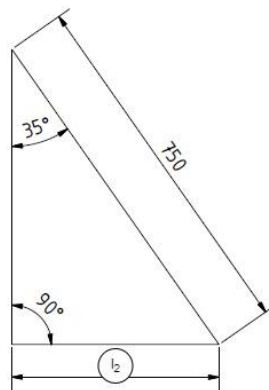
Leiame jõu kasutades massi ja gravitatsiooni valemiga 3.2.

$$F_1 = m * g \quad (3.2)$$

Kus m – mass, kg,
 g – gravitatsioon.

$$F_1 = 3500 * 9,81 = 34335 \text{ N}$$

Jõuõla saab leida läbi täisnurkse kolmnurga valemi, kuna meil on teada nurk $\alpha = 35^\circ$ ning hüpotenuus (joonis 3.1.2.).



Joonis 3.1.2 Jõuõla pikkuse skeem

Seega teades siinusteoreemi valemit 3.3. [8],

$$\sin \alpha = \frac{\text{Vastaskaatet}}{\text{hüpoteenuus}} \quad (3.3)$$

Sellest saame tuletada l_2 arvutamise.

$$l_2 = \sin \alpha * \text{hüpoteenuus} = \sin 35 * 750 = 430,2 \text{ mm} = 0,43 \text{ m}$$

Avaldame valemist 3.1 jõu F_2 .

$$F_2 = \frac{F_1 * l_1}{l_2} = \frac{F_1 * l_1}{l_2} = \frac{34335 * 2,2}{0,43} \approx 175770 \text{ N} = 175,8 \text{ kN}$$

Kuna prükipunkri ja kogumiskasti vahele läheb tihend, siis tuleb arvestada juurde veel hõõrdetegur. Hõõrdeteguri arvestamine on vajalik selleks, kuna kahe süsteemi vaheline lukustus avaneb algselt üles liikudes ning seejärel pöörd liikumisega üles. Kuna sealne ühendus tuleb tihendada sedasi, et ükski vedelik ei saaks välja lekkida. Tihendi materjaliks on kumm ning kasti materjaliks on teras, siis nende vaheline hõõrdetegur $\mu = 0,68$ [12] ning nende kahe detaili vaheline nurk on 9° . Teades liugehõõrde teguri valemit 3.4 [8].

$$F_F = \mu * F_N \quad (3.4)$$

Kus F_F – Hõõrdejõud, N

μ – Hõõrdetegur,
 F_N – Normaaljõud, N.

Normaaljõu leidmiseks tuleb kasutada siinusteoreemi valemit 3.3, kuna rakendatav jõud ei mõju risti, vaid 9 kraadise nurga all. Seega leiame normaaljõu.

$$F_N = \sin \alpha * F_1 = \sin 9 * 34335 = 5371,2 \text{ N}$$

Nüüd saame arvutada hõõrdejõu valemiga 3.4.

$$F_F = 0,68 * 5371,2 = 3652,4 \text{ N} \approx 3,7 \text{ kN}$$

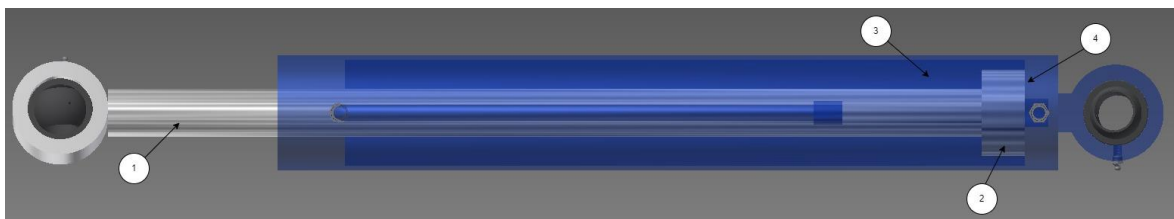
Hõõrdejõule lisaks veel tuleb arvesse võtta, et silindrile jääks piisavalt suur varutegur ning selleks võetakse varuteguriks $k = 1,6$. Seega valemiga 3.5 saame lõpliku silindri jõu.

$$F = k * (F_F + F_2) = 1,6 * (3,7 + 175,8) = 287,2 \text{ kN} \quad (3.5)$$

Siin tuleb arvesse võtta, et prügipunktri avamiseks kasutatakse kahte silindrit seega tuleb saadud jõud 287,2 kN jagada veel kahega.

$$F = \frac{287,2}{2} = 143,6 \text{ kN}$$

Seega peavad mõlemad silindrid olema võimelised arendama jõudu 143,6 kN.



Joonis 3.1.3. Tõstesilinder

- 1) Vars
- 2) Kolb
- 3) Varre poolne osa
- 4) Hülss

Tõstesilinder on toodud välja joonisel 3.1.3. Silindri kolvi ja varre läbimõõdud valiti hinnanguliselt. Silindri varre läbimõõduks valiti $d = 50 \text{ mm}$ (5 cm) ja kolvi läbimõõduks

$D = 110 \text{ mm}$ (11 cm). Hülsi pool kinnitatakse kogumiskasti külge ning varre pool kinnitatakse prügipunktri külge. Seega tuleb kontrollida, kas hinnanguliselt valitud kolvi ja varre läbimõõdud on sobilikud ning võimelised vajalikku jõudu aretama. Silindritele on etteantud rõhk $p = 200 \text{ bar}$ (20MPa).

Kasutades ringi pindala valemit ja kolvi läbimõõtu D , leitakse kolvi poole pindala A_1 valemiga 3.6.

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 11^2}{4} = 95,03 \text{ cm}^2 = 9503 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

Teades varre läbimõõtu d ja kolvi poolse osa pindala saab leida varre poolse osa pindala A_2 valemiga 3.7.

$$A_2 = A_1 - \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 95,03 - \frac{\pi \cdot 5^2}{4} = 75,40 \text{ cm}^2 = 7540 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

Hüdrocilindri jõu saab leida valemiga 3.8 [13].

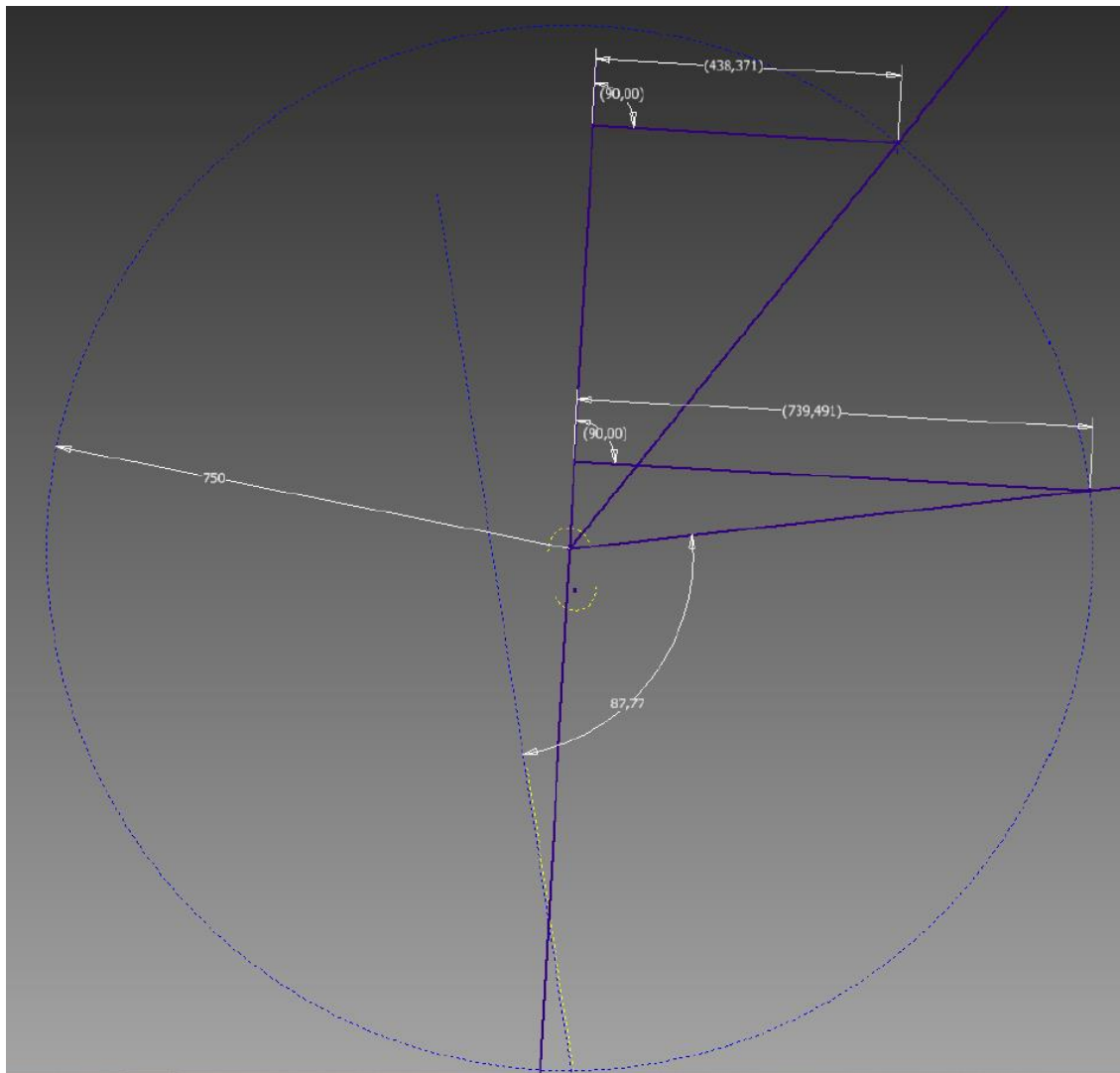
$$F = 10 \cdot A \cdot p \quad (3.8)$$

Kus F – jõud, N
 A – pindala, cm^2
 P – rõhk, bar.

$$F = 10 \cdot A_2 \cdot p = 10 \cdot 75,4 \cdot 200 = 150800 \text{ N} = 150,8 \text{ kN}$$

Saadud tulemus on suurem kui 143,6 kN, mis oli minimaalne arvutuslik jõud koos varuteguriga. Seega silinder, mille varre läbimõõt $d = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$ ja kolvi läbimõõt $D = 110 \text{ mm} = 11 \text{ cm}$ on sobilik ettenähtud süsteemi liigutamiseks.

Kontrolliks tehti veel silindri liikumise kinemaatika, mis on välja toodud joonisel 3.1.4. Silindri asendite kinemaatika. Selle eesmärk oli kontrollida, kas silinder oleks võimeline avama konstruktsiooni kõikides ettenähtud asendites. Kontrollimiseks vailiti maksimaalne avanemisnurk ning ligikaudu keskmine avanemisnurk. Et arvutada jõudu, tuli leida jõuõla pikkus. Joonise tegemisega aga juba oli näha, et silinder on igal juhul võimeline avama süsteemi nendes asendites, kuna jõu-õlad olid suuremad kui algselt arvutatud punktides.

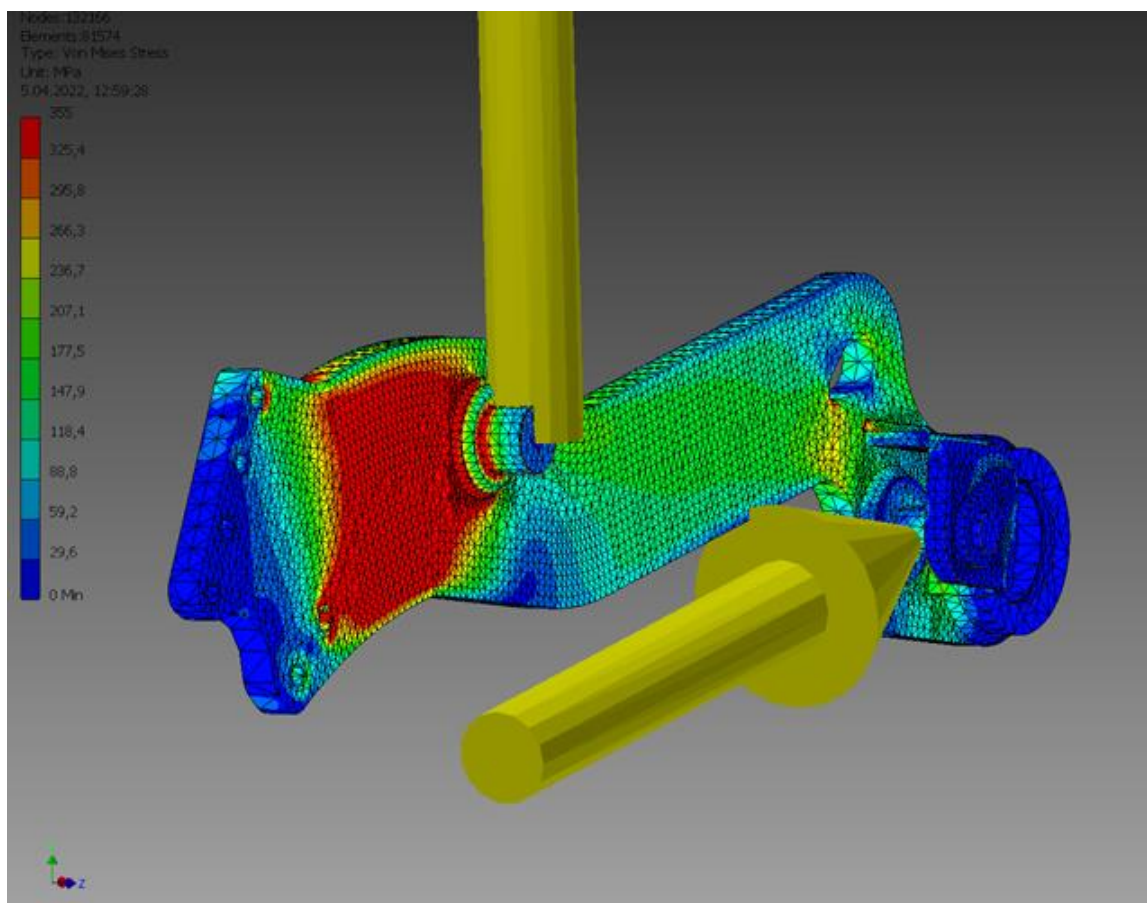


Joonis 3.1.4. Silindri asendite kinemaatika

3.2. Pakkija hoova FEM

Pakkija hoova külge kinnitatakse kaks silindrit. Üks nendest on tõstmissilinder, millest rakendub mehhanismile jõud 230000 N (230 kN). Teine jõurakendus punkt on pakkimis mehhanismi silindri kinnitus, kuhu rakendatakse jõud 180000 N (180 kN). Kõikide arvutuste puhul on rakendatavad jõud samad. Piirangutena on kasutatud laagri paiknemis avas „pin“ piirangut ning sama piirangut on kasutatud poltide avades. „Fixed“ piiranguga on lisa kinnitusplaat kinnitatud.

Joonisel 3.2.1 Konsoolse teljega pinge arvutus. Antud joonisel, on välja toodud esimese lahenduse pingete arvutus. Esimese lahendusena kasutati konsoolest telge, mis oli $D = 60$ mm, kuid sellise lahenduse puhul ei olnud võimalik pingeid ühtlustada. Prooviti veel mitut erinevat suurust teljele, kuid pingete kontsentratsioon jäi väga sarnaseks ning seejärel otsustati leida teine lahendus. Puudulikuks jääb just tõste ja langetus silindri kinnitus. Pakkimismehhanismi silindri kinnituse juures jäävad pinged sobilikesse piiridesse.

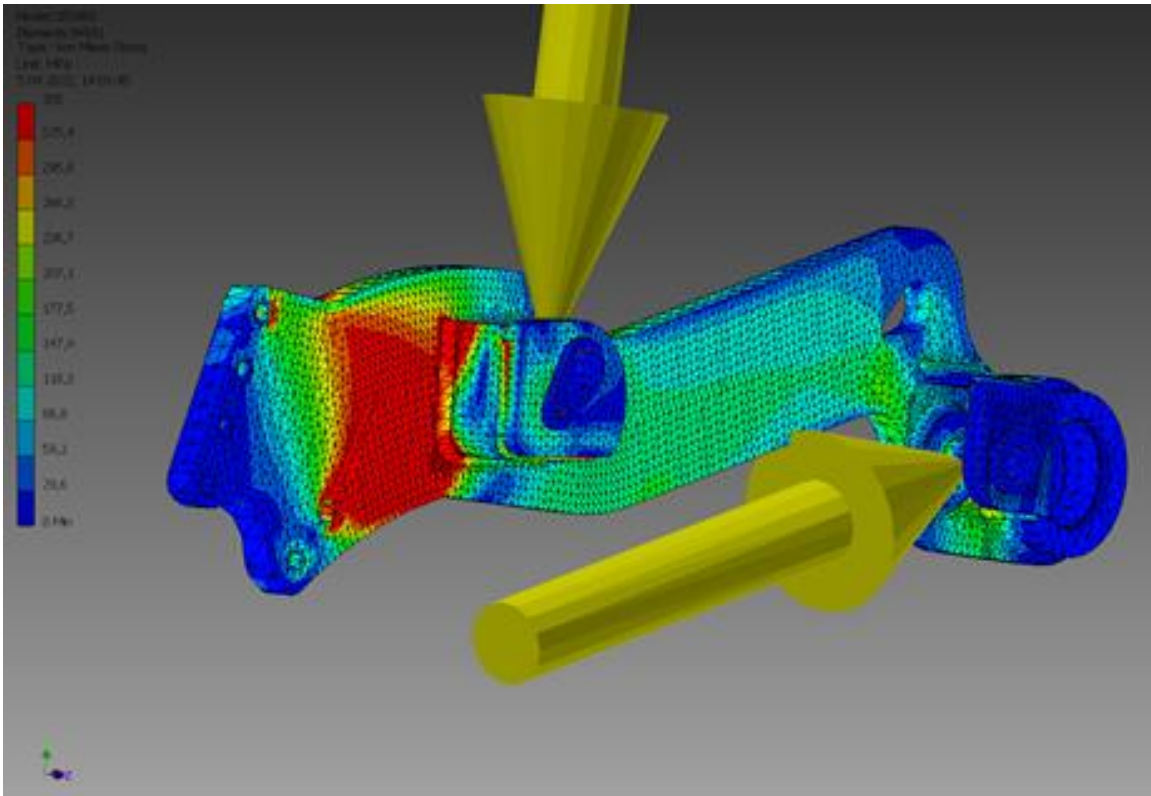


Joonis 3.2.1. Konsoolse teljega pinge arvutus

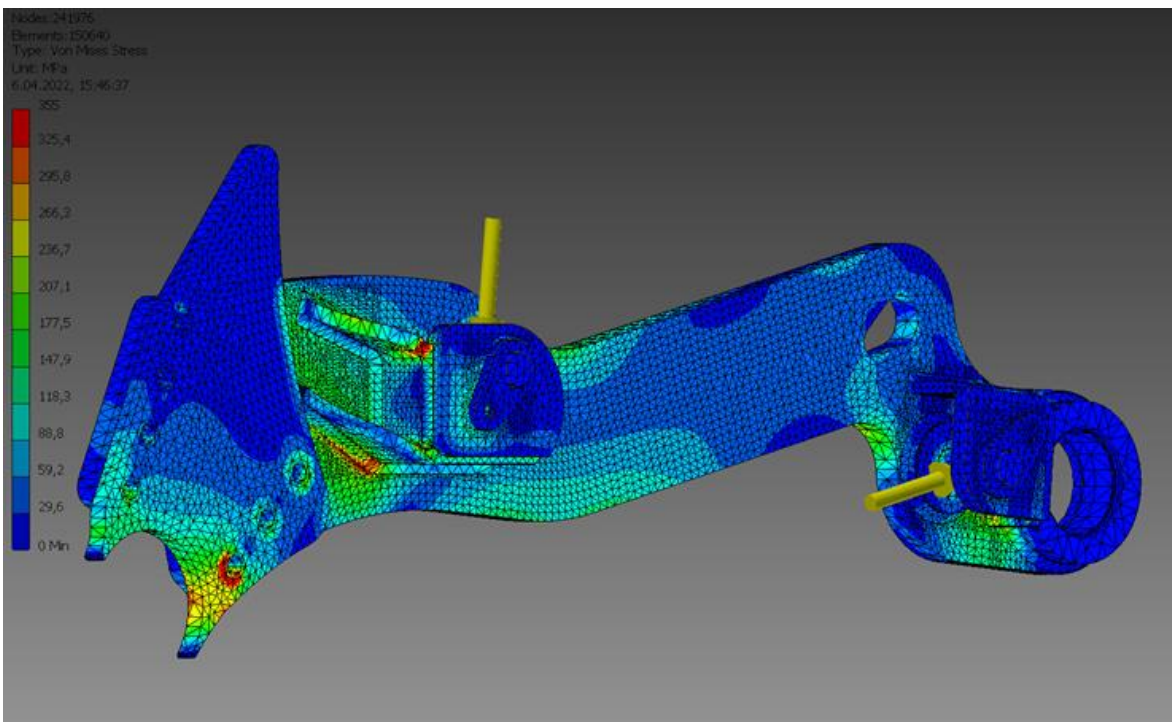
Teine idee oli kasutada „karbi“ lahendust, mis on hoova külge keevitatud ühe pika painutatud lehega ning telje panemiseks on peale keevitatud teine leht. Joonisel 3.2.2. „Karp“ lahendusega pinge arvutus, kus on välja toodud selle lahenduse maksimaalsete pingete arvutus. Sellisel kujul oli pingete kontsentratsioon veidi parem, kuid soovitud tulemust ei saavutatud. Probleem esineb jällegi ainult tõstesilindri kinnitus punkti ümber. Kuna materjali paksuste ja pikkuste muutmine oodatud tulemust ei andnud, siis tuli pinged juhtida mujale erinevate kontuuridega.

Järgmise variandina otsustati teha hoova külge keevitatavad detailid kahe eraldi lehena. Üks lehtedest on ettenähtud alumise ääre külge keevitamiseks ning otsast on tehtud

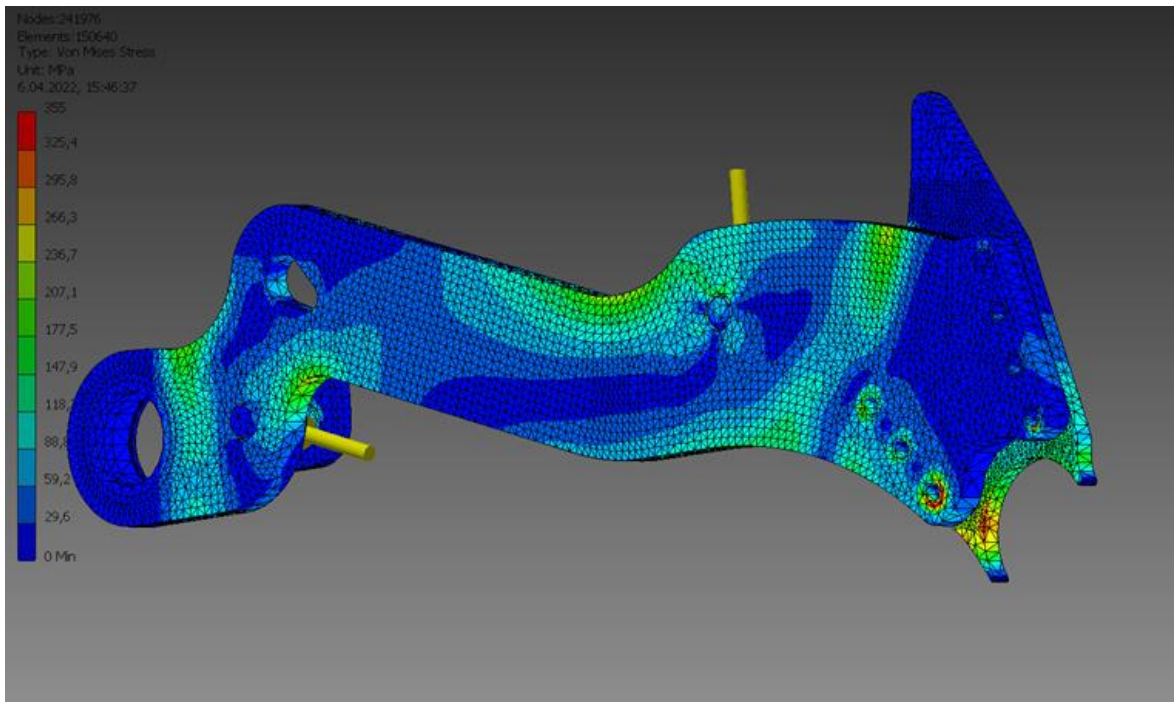
paine 30 kraadi. Lisaks sellele on tehtud detail väheneva kõrgusega kuni 10 mm kõrguseni. Teine leht on tehtud samasuguse disainiga, kuid painutatud on 70 kraadise nurga alla. Lõpliku lahenduse FEM on näha joonisel 3.2.3. Pikendus ribad paindega pinge arvutus ja joonisel 3.2.4. Pinge arvutus tagant.



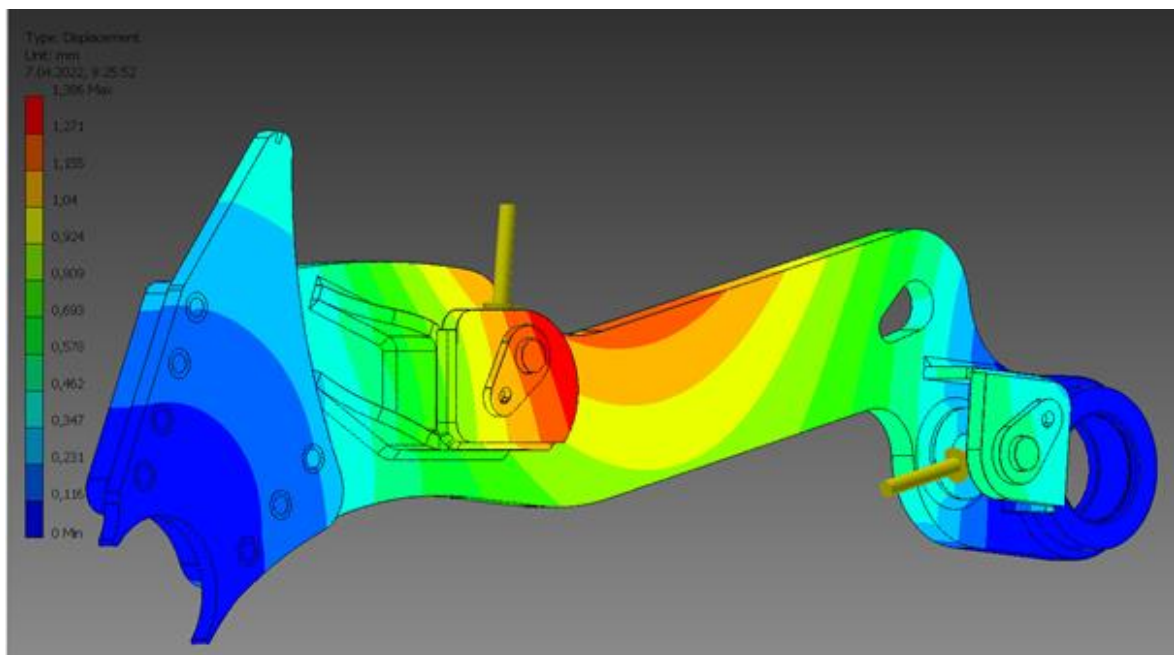
Joonis 3.2.2. „Karp“ lahendusega pinge arvutus



Joonis 3.2.3. Pikendus ribad paindega pinge arvutus



Joonis 3.2.4. Pinge arvutus tagant



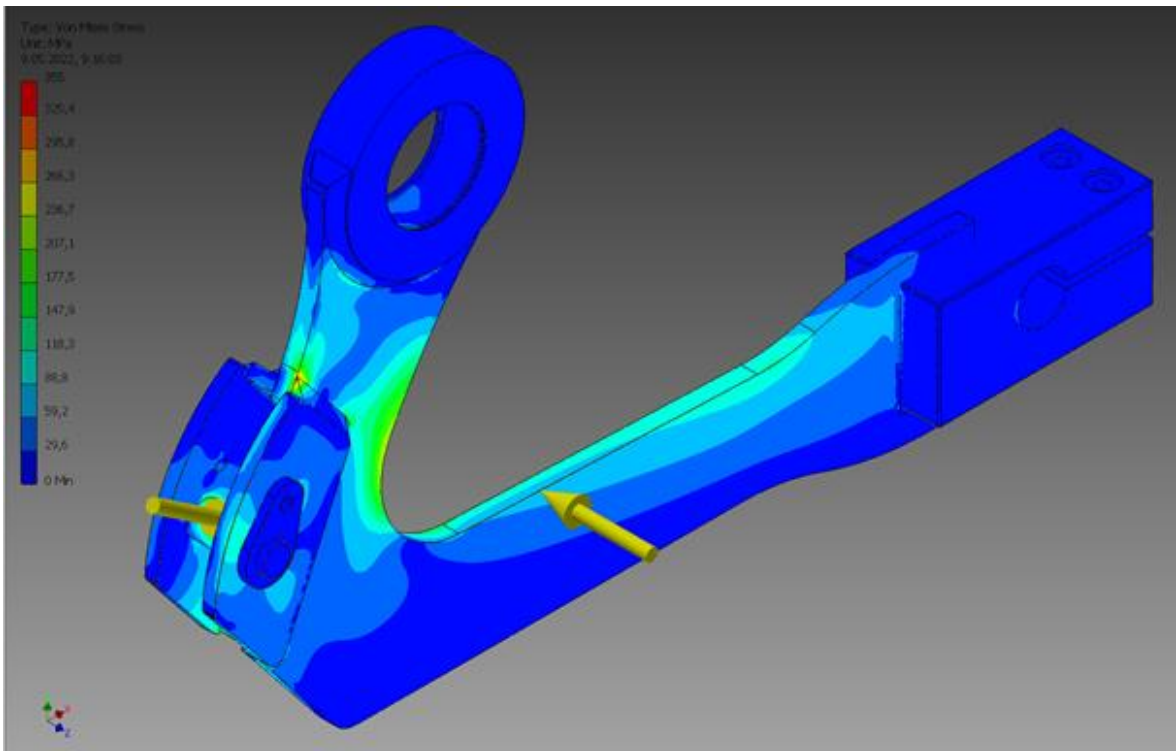
Joonis 3.2.5. Suurim läbipaine

FEM arvutustelt on näha, et esineb paar punast kohta, kuid tegemist on ühel juhul arvutuse jaoks kinni pandud positsiooniga ning reaalsus võib erineda arvutuslikust tulemusest. Seda sellel põhjusel, et seal on tegelikult rohkem kui üks polt ning sellisel määral pinge tekkimine ei ole reaalne. Lisaks veel on punased ehk piir pinges keevised. Need võivad olla reaalsed, kuid tegelikkuses ei tohiks nende pingete ületamine sellisete jõudude puhul ohtlik olla. Põhjuseks on see, et silinder suuremal ajal sellist jõudu sinna

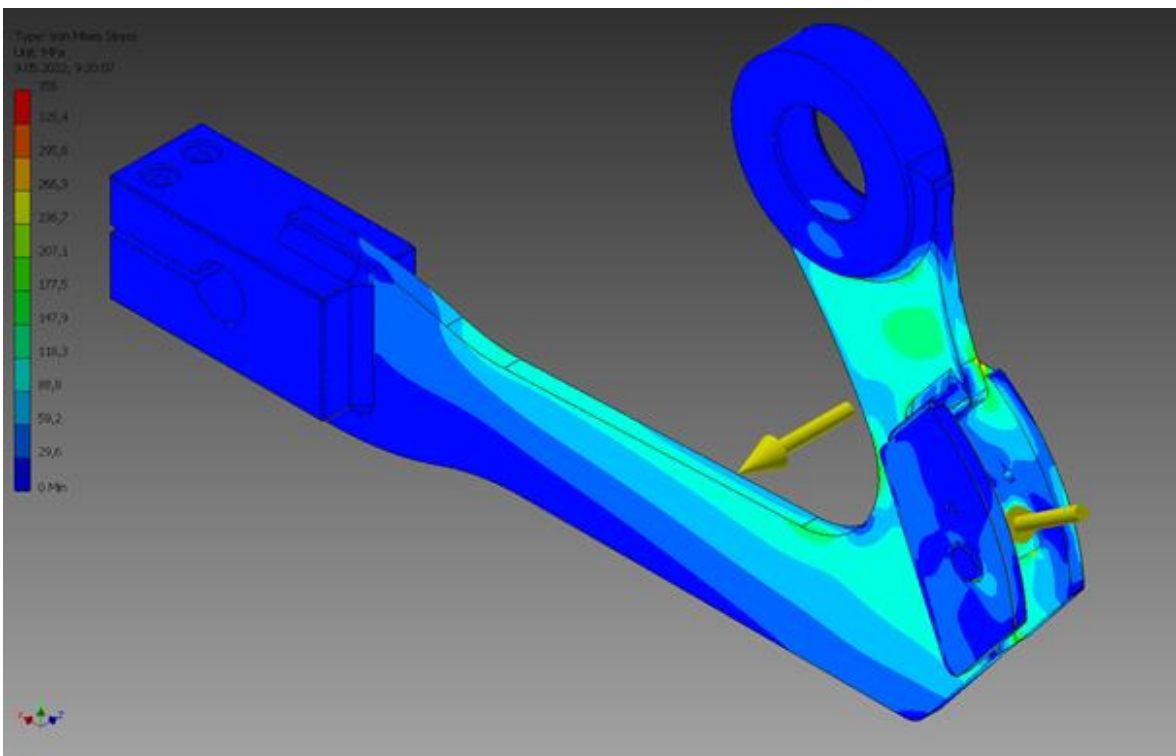
ei rakenda. Seega saab öelda, et selline konstruktsiooni lahendus on piisav ja peab ettenähtud jõududele vastu, kuid prototüübi testimise käigus tuleks neid kohtasid jälgida. Joonisel 3.2.5. Suurim läbipaine, on välja toodud suurim läbipaine ning see jääb sobilikke piiride vahele ning ei tohiks probleeme tekitada. Reaalse olukorra näitab ära prototüübi testimine. Pakkija hoova lõpliku versiooni keeviskoostu joonis on väljatoodud lisades joonisel L 1. Lõpliku pakkimis mehhanismi keeviskoost.

3.4. Tõstemehhanismi käpa FEM

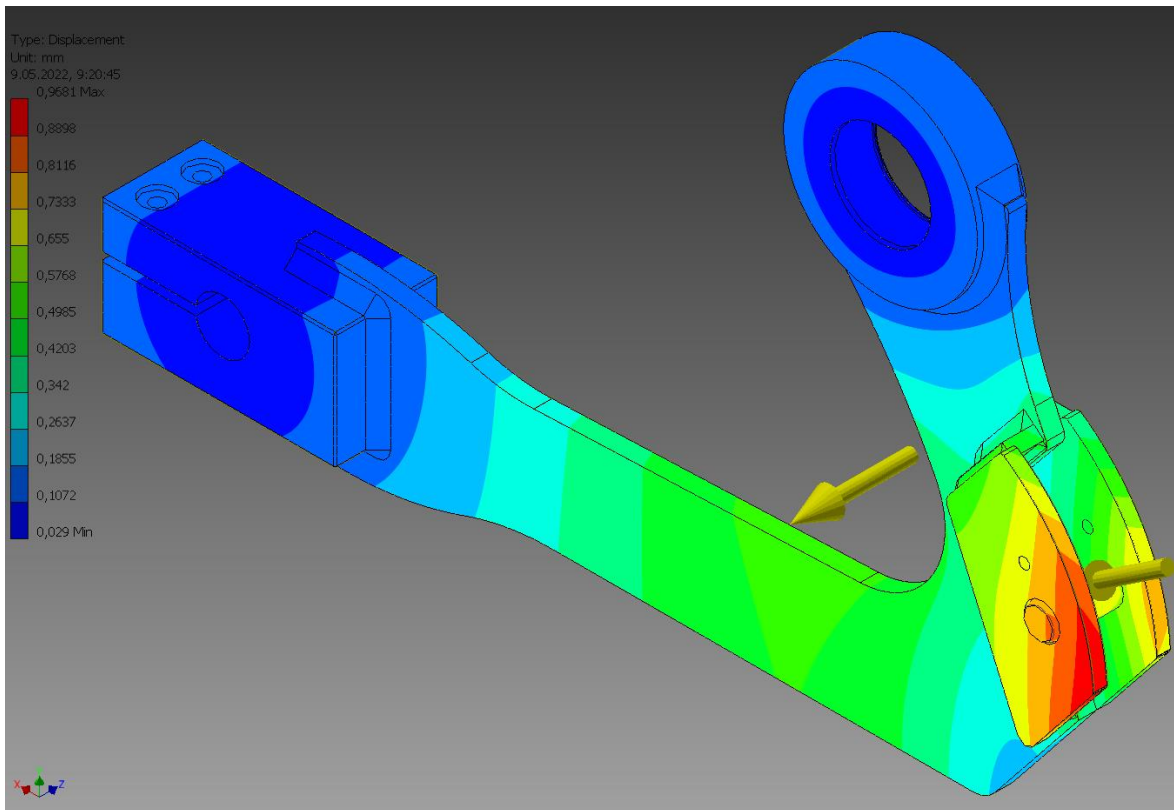
Tõstemehhanismi käpale mõjuvad tavaolukorras kaks jõudu. Üks jõududest mõjub silindri kinnituskohast läbi telje ning teine mõjub läbi toruvõlli käpa otstele. Kuna jõud, mis mõjub käpa otstele, on võrdlemisi väike, siis selle vaatlemine ei ole kriitiline. Kinnitatud on antud detail mõlemast kohast „pin“ piiranguga. Silinder, mis on selle mehhanismi tõstmiseks valitud on, aretab jõudu 8000 N. Piisava varu tagamiseks tehakse arvutused 1,9 kordse varuteguriga. Lisaks veel pannakse küljele mõjuma jõud 5000 N, kuid sellise jõu tekkimine sinna on väga äärmuslik. Küljelt võib mõjuda jõud ainult suure löögi korral, kuna tavajuhul ei ole käpal liikuvust küljele. Tulemused on välja toodud käpa põhi materjali S355 voolepiiriga ehk 355 MPa juures. Joonistel 3.4.1. Suurim pinge 355 MPa eest ja 3.4.2. Suurim pinge 355 MPa tagant, on välja toodud tulemused piiriga 355 MPa.



Joonis 3.4.1. Suurim pinge 355 MPa eest



Joonis 3.4.2. Suurim pinge 355 MPa tagant



Joonis 3.4.3 Suurim läbipaine

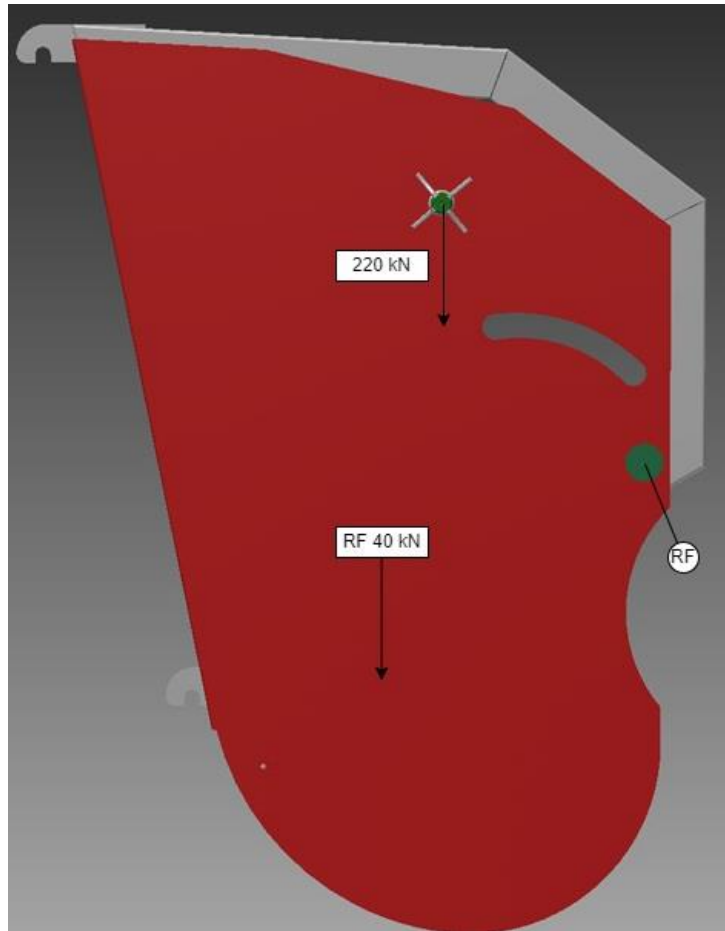
Rakendades tõstekäpale silindrist jõudu 15000 N, on näha saadud FEM arvutus tulemustest, et kõik detailid peavad sellisele jõule vastu. Kõige suurem pinge tekib keevise punktis, mida saab pidada tegelikkuses arvutuse ebatäpsuseks. Seda sellepärast, et pinge tekib ainult keevise nurgas väikesel alal. Suurim läbi paine jääb alla 1 mm ning on igati aktsepteeritav sellise kohapeal.

Kokkuvõtteks saab öelda, et antud tõstekäpp on arvutuste järgi piisava jäikuse ja tugevusega. Kindlama teadmise annab prototüübi katsetamine reaalses elus. Lõpuni projekteeritud tõstemehhanismi käpa keeviskoostu joonis on välja toodud lisades. Keevis koost asub joonisel L 2. Lõpliku tõstekäpa keeviskoost.

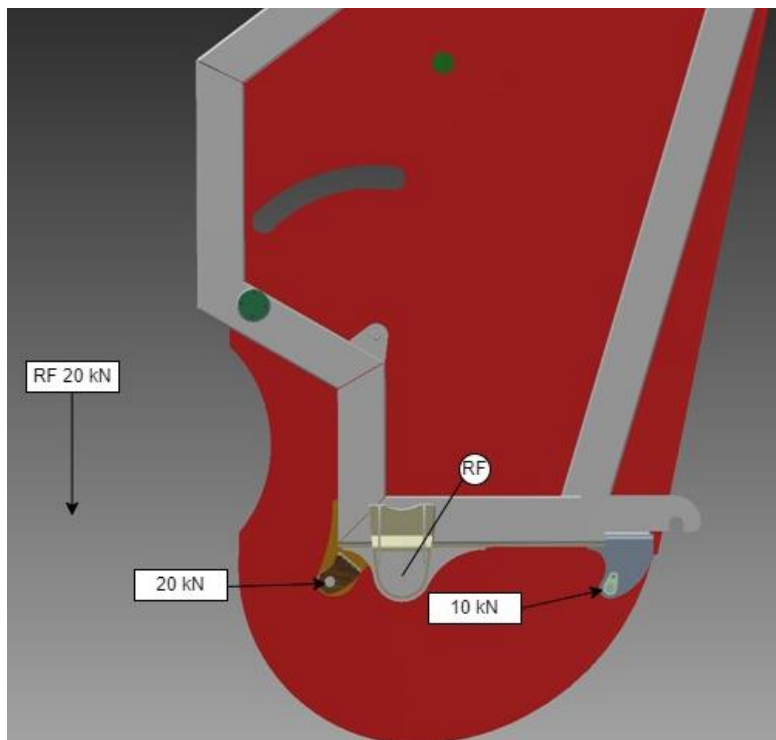
3.5. Sein ja sealsete kinnituste FEM

Välisseinale kinnituvate silindrite telgede ja kinnituste adekvaatse tugevuse saamiseks oli vaja paika panna kõik sinna mõjuvad jõud. Nendele punktidele mõjuvad jõud on välja toodud joonisel 3.5.1. Jõudude mõjumine siseküljel ning joonisel 3.5.2. Jõudude mõjumine välisküljel. Siseküljel on kaks tähtsat kinnituspunkti, üks on pakkimismehhanismi tõstesilindri ülemine kinnituspunkt, sealt punktist on arvutuse jaoks pandud jõuks 220 kN. Lisaks veel on pandud prügipakkija mehhanismi küljkinnituse jõud RF-ina (remote force ehk kaugjõuna) ning sinna rakendub jõud 40 kN. Detail on kinni pandud „Fixed“ piiranguga ülemisest ja alumisest konksust, mis on loodud ajutiseks kinnituseks.

Välisküljele mõjuvad jõud kolmest erinevast kohast, millest üks on RF. Prügikasti tõstemehhanismi tõstesilindri tagumisele kinnitusele mõjub jõud 10 kN. Lisaks veel mõjub tõmmitasast tekkiv jõud, mille suuruseks hinnati 20 kN, seda pigem üledimensioneerimise eesmärgil. Lisaks veel on pandud tõstemehhanismi kinnituse peale mõjuma RF, mille suuruseks on 20 kN. Kaugjõudu kasutatakse selleks, kuna prügikasti raskus on põhiline, mis mõjutab mehhanismile mõjuvat jõudu. Jõu asukohaks valitigi umbes prügikasti masskese.

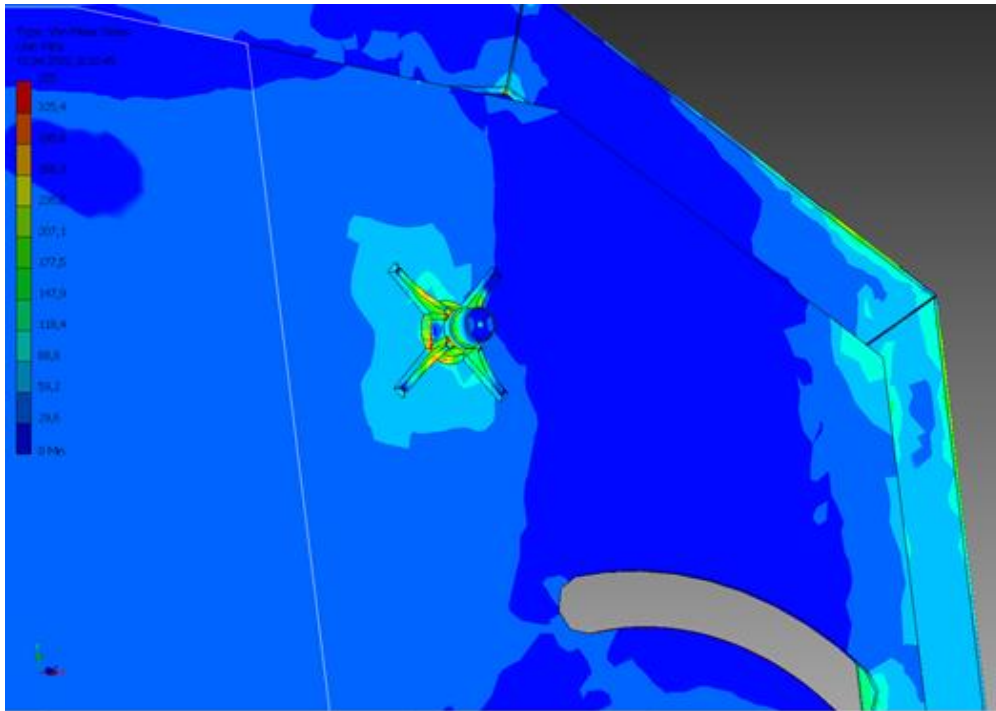


Joonis 3.5.1. Jõudude mõjumine siseküljel



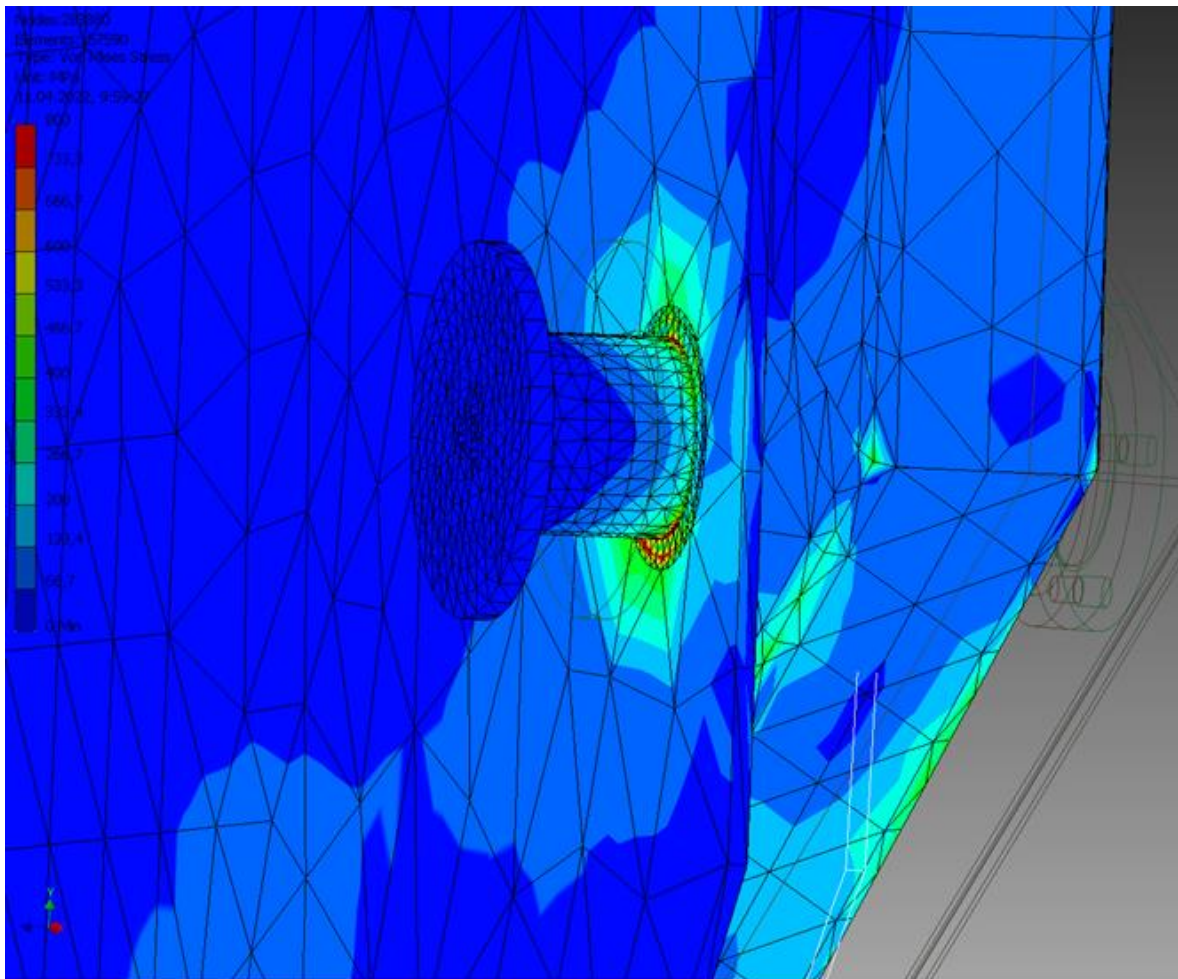
Joonis 3.5.2. Jõudude mõjumine välisküljel

Joonisel 3.5.3. Tõstmis ja langetamis silindri telje pinged 355 MPa, on näha tõstesilindri telje maksimaalsed pinged. Esimese versioonina oli tehtud ilma tugevdusribideta lahendus, kuid selline lahendus ei andnud soovitud tulemust. Peale seda prooviti telge suurendada, kuid see ei andnud soovitud tulemust. Kolmanda variandina sai proovitud nelja lisaribi lisamist ning sellega saavutati rahuldav tulemus antud detaili jaoks. Kuna jõu mõjumine on üle dimensioneeritud, siis on mõned punased tsoonid aktsepteeritavad. Telje materjaliks on S355 J2G3.



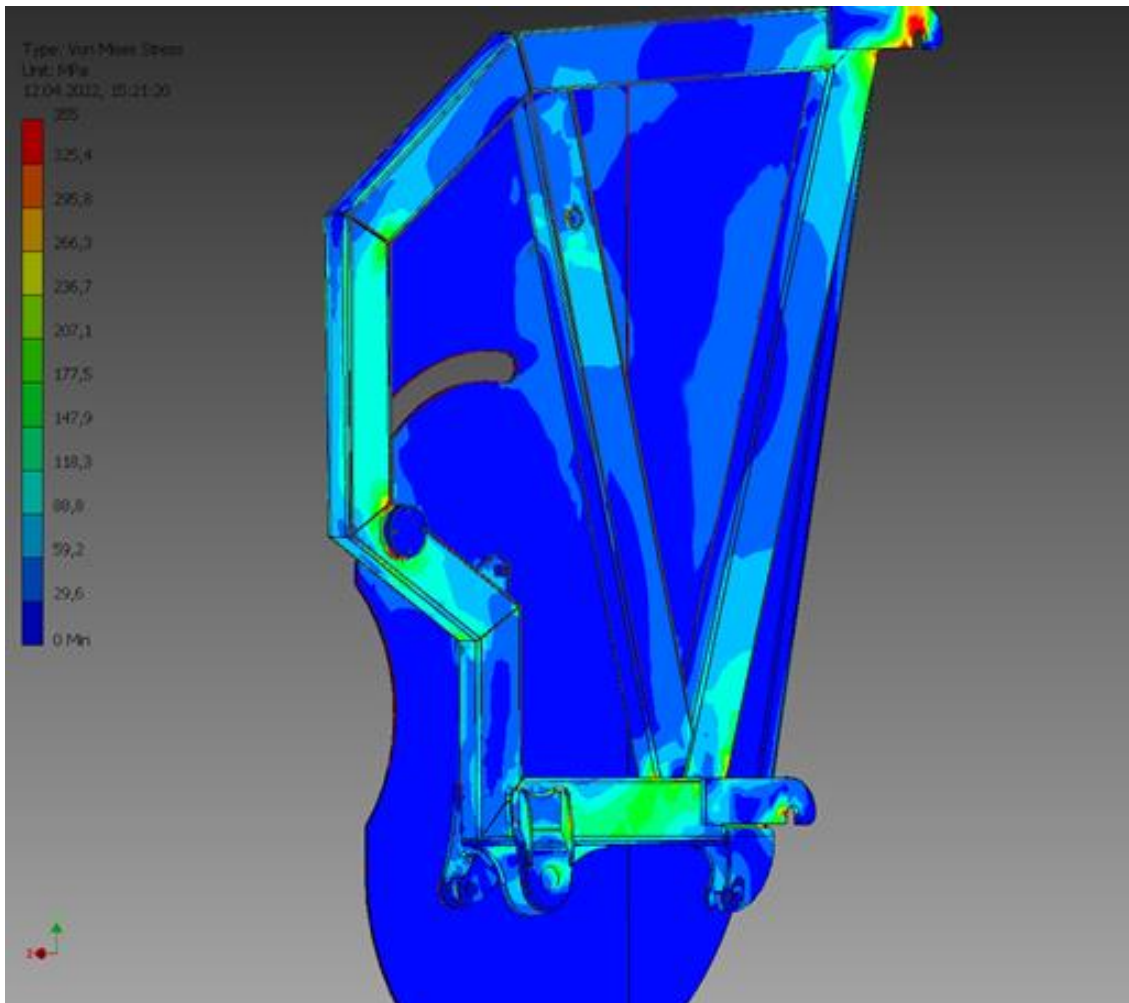
Joonis 3.5.3. Tõstmis ja langetamis silindri telje pinged 355 MPa

Pakkija külgekinnituse piisavalt tugevaks saamine oli pikem protsess, kuna algselt kasutati toru jaoks, kuhu telg läheb, materjali S355, kuid see osutus antud kohapeal väga nõrgaks. Seejärel muudeti materjali E470 peale, kuid see materjal ei olnud samuti sobiliku tugevusega. Kuna varajasemalt on tootmises kasutatud 42CrMoS4 toru, mille voolepiir on 800 MPa, siis otsustati kasutada selle telje toru jaoks seda materjali. Sellega suudeti tagada piisav tugevus konstruktsioonis. Saadud FEM tulemus on näha joonisel 3.5.4. Pakkija külgekinnituse pinged 800 MPa.



Joonis 3.5.4. Pakkija külgekinnituse pinged 800 MPa

Seina väliskülje pingeid vaadeldes tuli välja, et loodud prügikasti tõstemehhanismi külgekinnitused ei pidanud määratud jõududele vastu. Sealse konstruktsiooni tugevdamiseks lisati esmalt mõlemale poolele paksendus plaadid, kuid ainult sellise lahendusega ei olnud võimalik tagada piisavat tugevust. Pingete edasiseks hajutamiseks lisati sinna juurde veel kaks 10 mm paksust ribi. Nende lisamisega suudeti tagada piisav tugevus ning pingete hajuvus. Joonisel 3.5.5. Väliskülje pinged 355 MPa, on all ning üleval kaks konksu, mille juures on suured punased alad, kuid see ei olnud antud arvutusega oluline ning neid ei vaadelda siin kohale.



Joonis 3.5.5. Väliskülje pinged 355 MPa

Antud arvutuste kokkuvõtteks võib öelda, et konstruktsioon peab kõikidele rakendatud jõududele vastu. Prototüübi valmimisel saab näha ära reaalsuse toimuvad deformatsioonid.

4. PRÜGIVEOKI MAKSUMUS

Prügiveoki maksumust on vaja teada saada selleks, et saada täpsem ettekujutus prügiveoki valmistamis kuludest. Kuludesse arvestatakse projekteerimistö, toormaterjal, töötlemine, koostamine ja ostutooted. Kuna antud töö valmimise hetkel ei ole paigas hüdraulika ega elektri pool, siis seal kajastuvad hinnad on eeldatavad kulud prototüübi valmistamiseks.

4.1. Toormaterjal

TLP valmistamisel on enamus detaile valmistatud teraslehtedest. Kasutusel on lisaks veel ümarmaterjal ja toru. Toormaterjali kogused ja hinnad on väljatoodud tabelis 4.1.1. Toormaterjal. Toormaterjalide hinnad on ettevõtte siseinfost [16].

Tabel 4.1.1 Toormaterjal

Materjal	Tüüp	Kogus, kg	Hind, EUR/kg	Summa, EUR
S355J2G3	Leht	3037	2,5	7593
Hardox 450	Leht	366	2,8	1025
Strenx 700	Leht	2296,5	2,8	6430
S355J0 [10]	Ümar D130	41	8,2	336
S355J2H [14]	Toru	127	4,3	546
42CrMoS4	Toru D150	20	41,8	836
	Kokku: kg		Kokku: 16766 EUR	

4.2. Töötlus

Toormaterjali töötluste ostab Meiren Engineering sisse alltööna. Alltööna tehakse teras lehtedel laserlõikust, gaasilõikust ja painutamist. Ümarmaterjalile ning torudele teostatakse lõikust ning treimist. Lisaks veel tehakse alltööna keevitust, haaveldust ning värvimist. Lõplik koostamine toimub Meirenis. Meirenis tehtavate tööde alla lähevad komplekteerimine, elektri- ja hüdraulikatööd. Töötluste hinnad on toodud välja tabelis 4.2.1. Töötluste kulud.

Tabel 4.2.1. Töötluste kulud

Töötlus viis	Summa, EUR
Laser/gaasilõikus ja painutamine	3750
Lõikus/treimine	750
Keevitus, haaveldus, värvimine	2500
Lõppkoostamine Meirenis	3000
Kokku	10000 EUR

4.3. Ostutooted

Ostutoodete info all kajastuvad erinevad kinnitusvahendid, eeldatavad elektritarbed (tuled, kaablid, kaablikaitse). Kinnitusvahenditest eraldi lahtlina on välja toodud Nord-Lock seibid, kuna nende maksumus on teistest mitmed korrad kõrgem. Ostutoodete info on välja toodud tabelis 4.3.1. Ostutooted. Elektritarvikute puhul ei tooda välja eraldi kogust ega tüki hinda, vaid lisatakse eeldatav kuluv summa eurodes. Hüdraulika komponentide ja õli maksumus lisatakse hinnanguliselt.

Tabel 4.3.1. Ostutooted

Nimetus	Kogus	Hind, EUR/tk	Summa, EUR
Elektri tarvikud	-	-	~1500
Hüdrosilindrid (laagritega)	8	450	3600
Hüdraulika komponendid ja õli	-	-	1800
Määrdeniplid [15] (DIN71412A)	56	0,58	33
Seibid (DIN125, DIN9021) [15]	95	0,04	3,8
Nord-Lock seibid [15]	86	1,8	129
Poldid (DIN931, DIN933, DIN7991) [15]	127	0,45	57
Nylock mutrid (DIN985) [15]	108	0,25	27
Kokku			5800 EUR

Hüdraulika komponentide alla kuuluvad kõik voolikud, ühendused, kiirliited, üleminekud, ülerõhuklapid ja hüdroakud. Seibide, poltide ja mutrite hind tüki kohta arvestati erinevate kasutatavate detailide keskmiseks tüki hinnaks.

4.4. Kogumaksumus

Prügiveoki kogumaksumuse saamiseks liidetakse kokku projekteerimis töö, toormaterjal, töötlus, ostutooted ja ettevõtte üldkulud. Saadud tulemus kajastub tabelis

4.4.1. Kogumaksumus

Tabel 4.4.1. Kogumaksumus

Kategooria	Summa, EUR
Projekteerimine	5100
Toormaterjal	16766
Töötlus	10000
Ostutooted	5800
Kogumaksumus	37666 EUR

TLP arendus ja toormaterjalist valmis toote saamise hind on seega 37666 eurot. Turu-uuringu käigus teada saadud hindadega võrreldes, saab öelda, et Meireni poolt loodav lahendus on palju odavam juba praegu kasutuses olevatest lahendustest. Kuid kuna käesoleva lõputöö valmimishetkel alles arendustöö käib ning jätkub, siis ei ole see summa lõplik ning võib muutuda. Samuti on kõik firma siseselt saadud hinnad ümardatud ning moonutatud, kuna need ei ole firma väliselt avalikustatavad.

5. EDASIARENDUS

Kuni antud lõputöö valmimiseni projekteeritud prügipakkija mehhanismi on võimalik juba hakata tootma, kuid ideaalse toimimise jaoks tuleb veenduda, et kõik liikuvad detailid on võimalised oma trajektoorid läbima ilma takistusteta. Täissüsteemi ehk prügipakkija ja kogumiskasti sümbiooseks tööks on vaja veel mõningad lahendused välja mõelda. Siin kohal toongi välja, mis tuleb nende tööks veel lahendada ning mida võiks tulevaste TLP lahenduste juures lisada.

Täissüsteemi toimimiseks on vaja teha kogumiskasti korpusele tugevduse, kuna nagu joonisel 2.2.3.2 TLP täis koost näha on, siis töö valmimishetkel on ainult õhukeste seintega korpus olemas. Lisaks veel tuleb prügipakkija avamismehhanismi silindri kinnitused panna oma õigele kohale ning teha sinna sobilikud kinnitused ja tugevdused. Peale seda tuleb antud ühendus arvutada kõikidele mõjuvatele jõududele läbi ja formuleerida järeldus saadud infost ning vajadusel sisse viia parandused. Peale selle on veel vaja lisada kahe suure mehhanismi ühendus kohtadele tihendamine. Viimase asjana on enne täielikku valmimist vaja teha süsteem jalgade peale. Jalad tuleb projekteerida, kuna tegemist on konksliftil kasutatava süsteemiga, siis peab olema võimalik seda konstruktsiooni autolt eemaldada ning hoiustada. Kõige selle juures tuleb veel prügiveoki elektri- ja hüdraulikaskeem valmis teha.

Tulevikus kui antud süsteem on põhjalikult testitud ning tõestanud oma efektiivsust, saab mõelda kaalu optimeerimise peale. Kuna palju autode kasulikust kandemassist läheb kaduma juba tühja prügikogumis süsteemi kandmiseks siis on võimalik sellisest tegevusest palju kasu saada. Optimeerimist ongi kasulikum teha peale prototüübi testimist, kuna siis saab näha ära, milliste kohtade peal on puuduseid, nõrgad kohad või on liigselt üle dimensioneeritud.

Tuleviku lahendused, kuna konkslifti peale ei ehitata prügiautosid, siis tuleks teha konstruktsioon otse auto peale. Koheselt auto pealisehitusena tehes, aga ei oleks mõistlik kasutada kallutust kogumiskasti tühjendamisenä ja siis tuleks mõelda pressplaadi lisamise peale. Pressplaadi lisamisega aga tuleks palju muudatusi teha ning see võib teha konstruktsiooni keerukamaks ja tuleks lisada lineaarliikumise juhikud uuesti. Lineaarliikumise toimimiseks on vajalik juhikute lisamine, kuid üks eesmärkidest oli kogumiskastis vähendada juhikute osakaalu, kuna seal on neid suhteliselt keeruline hooldada. Kõige sellega võib tulla juurde küll massi, kuid konkslifti kasutamisest

loobudes on võimalik suurendada peale korjatava prügi massi enne auto maksimum kaalu ületamist.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli projekteerida Meiren Engineeringu esimene tagantlaetava prügiveoki prototüüp, mis oleks kasutatav autole paigaldatava konkslifti lisaseadmena. Prügiveoki konstruktsioon peaks olema ka võimalikult lihtne ehk omama võimalikult väheseid kuluosasid. Samuti oli oluline selle lahenduse maksumus, kuna hetkel toodetavad prügiveokid on kallid, siis Meireni poolt loodav prügiveok peaks olema palju soodsam. Lisaks peab olema sobilik Eesti tee- ja ilmastikuoludele sobilik. Projekti teostamisel arvestati Meiren Engineering OÜ poolt antud nõuete ja võimalustega.

Magistritöö koosneb viiest põhiosast:

- Turu-uuring, konkurentide uuring;
- Prügiveoki detailide ja koostude 3D modelleerimine;
- Tehnilised arvutused;
- Prügiveoki maksumus;
- Edasiarendus.

Lähteülesande käsitlemine ja analüüs sisaldab Meireni poolt sisse ostetud turu-uuringu andmete ja potentsiaalsete klientidega suhtluse analüüsi. Nende põhjal sai formuleeritud järeldus, et Eesti turg ei soovi küljelt- ega eestlaetavaid prügiautosid ning selle põhjal sai vastuvõetud otsus, et Meiren Engineeringu esimene prototüüp tehakse TLP. Lisaks veel on esimeses osas välja toodud erinevad prügiautode mudelid ja nende tööpõhimõtted. Nende mudelite paremaks mõistmiseks loodi tabel, kus olid kõik tähtsamad võrdluspunktid välja toodud.

Prügiveoki detailide ja koostude 3D modelleerimise juures alustati olemasoleva eskiis lahenduse uurimise ja kinemaatika tööpõhimõtetega tutvumisega. Seejärel vaadeldi prügiauto põhidetaile ja üldiseid koostusid. Pikemalt kirjutati prügi pakkimis mehhanismist ning ka prügikasti tõstemehhanismist. Lisaks nende detailide kirjeldamisele näidati prügipunkri täielikku koostu ning kirjeldati selle konstruktsiooni. Sinna juurde veel näidati poolikut versiooni terviklikust prügiauto lahendusest.

Tehniliste arvutuste eesmärk oli leida prügipunkri tõstmiseks vajaliku jõu leidmine ning sinna juurde sobiliku silindri mõõtmete välja arvutamine. Tähtsamate konstruktsioonide jäikuse ning tugevuse teada saamiseks viidi läbi FEM arvutused. Eraldi arvutused tehti

pakkimismehhanismi hoovale, kus esialgse lahenduse juurest jõuti läbi käia mitu erinevat versiooni. Lisaks veel arvatati läbi tõstemehhanismi tõste hoob, selle juures leiti samuti esimese versiooni puhul nõrkasid kohtasid, mis likvideeriti arvutuste järgselt. Lisaks sellel veel tehti prügipunkri küljele FEM arvutus selleks, et teada saada, kas sinna paigutatud silindrite ja mehhanismide kinnitused peavad vastu neile mõjuvatele jõududele. Selle peatüki eesmärk oli teada saada erinevate konstruktsioonide vastupidavus neile mõjuvatele jõududele ning arvutuste järgselt saadi kinnitus, et projekteeritud lahendus peab vajalikele jõududele vastu.

Prügiveoki maksumuse analüüsi tehes, kui palju läheb esimene prototüüp ettevõttele maksma. Maksumuse arvutuses kajastuvad hinnatabelid, kus on välja toodud eeldatavad kulud projekteerimisele, toormaterjalile, töötlusele ja ostutoodetele. TLP eeldatavaks hinnaks ettevõttele kujunes 37666 eurot, kuid see on ainult eeldatav hind lõputöö valmimise hetkel.

Edasiarendamise võimaluste juures räägitakse, mida tuleb veel teha enne prototüübi tootmist. Lisaks sellele veel tuuakse välja, mida võiks teha järgmise prügiveoki versiooni puhul teisiti või edasi arendada.

Kokkuvõttena saab öelda, et töö käigus esinesid mõned probleemid, millele leiti kiirelt ja edukalt lahendused ning saavutati soovitud tulemus. Suures plaanis võib öelda, et magistritöö oli edukas, kuna saavutati kõik, mida loodeti ning leiti aega tegelda konstruktsioonidega, mida ei olnud algses plaanis.

SUMMARY

The purpose of the master's thesis is to develop Meiren Engineering's first prototype of a rearloading garbage truck that can be used as an accessory for hook lift. The construction of the refuse collection truck should be as simple as possible and have as few wearing components as possible. The cost of this solution is also significant, as the garbage trucks currently produced are expensive, the garbage truck produced by Meiren should be much cheaper compared to the existing trucks. In addition, it must be suitable for Estonian road and weather conditions. The requirements and possibilities provided by Meiren Engineering LTD are considered during the development process.

The Master's thesis consists of five main parts:

- Market research, competitors research;
- 3D modelling of garbage truck parts and assemblies;
- Technical calculations;
- Cost of garbage truck;
- Further development.

The handling and analysis of the terms of reference includes an analysis of the market research data and communication with potential customers. Based on those two, a conclusion was formulated that the Estonian market does not want side- or frontloaded garbage trucks. Based on this, a decision was made that the first prototype of Meiren Engineering would be a rear loading garbage truck. In addition, the first part presents different models of garbage trucks and their operating principles. In order to understand these models better, a table is created listing all the key points.

Before the start of 3D modelling of the details and assemblies of the garbage truck, the existing sketches and working principles of the kinematics were studied. After this, the main parts and general assemblies of the garbage truck were examined. In more detail are described the garbage compactor and trashcan lifting systems. In addition to outlining these details, the complete assembly of the collection system is shown and its construction and working principles described. In addition, an unfinished version of the complete garbage truck solution is shown.

The purpose of the technical calculations is to find the force needed to lift the collection system and to calculate dimensions for a suitable cylinder. FEM calculations are

performed to find out the rigidity and strength of the major components. Separate calculations are made for the lever of the packing mechanism, where several different versions had to be calculated, to get to the final solution. In addition, the lifting systems mechanism lifting lever is calculated. Vulnerabilities are detected in this construction as well, but FEM calculations made it possible to eliminate those. Furthermore, a FEM calculation is performed on the side wall of the collection mechanism to determine whether the attaching points of cylinders and mechanisms projected there can withstand the forces applied on them. The purpose of this chapter was to find out, if different parts of the mechanism would withstand all the applied forces on them. The calculations confirmed, that this design can withstand all the different required forces.

In the cost analysis of the garbage truck, it is found out how much will the first prototype cost to the company. The cost calculation includes price tables showing the expected costs for 3D modelling, raw materials, processing and purchased products. The expected price of TLP for the company is 37666 euros, but this is only the expected price at the time of the completion of the thesis.

In the opportunities for further development, it is brought out, what needs to be done before a working prototype can be produced. In addition, it is outlined what can be done differently or further developed for the next version of the refuse collection truck.

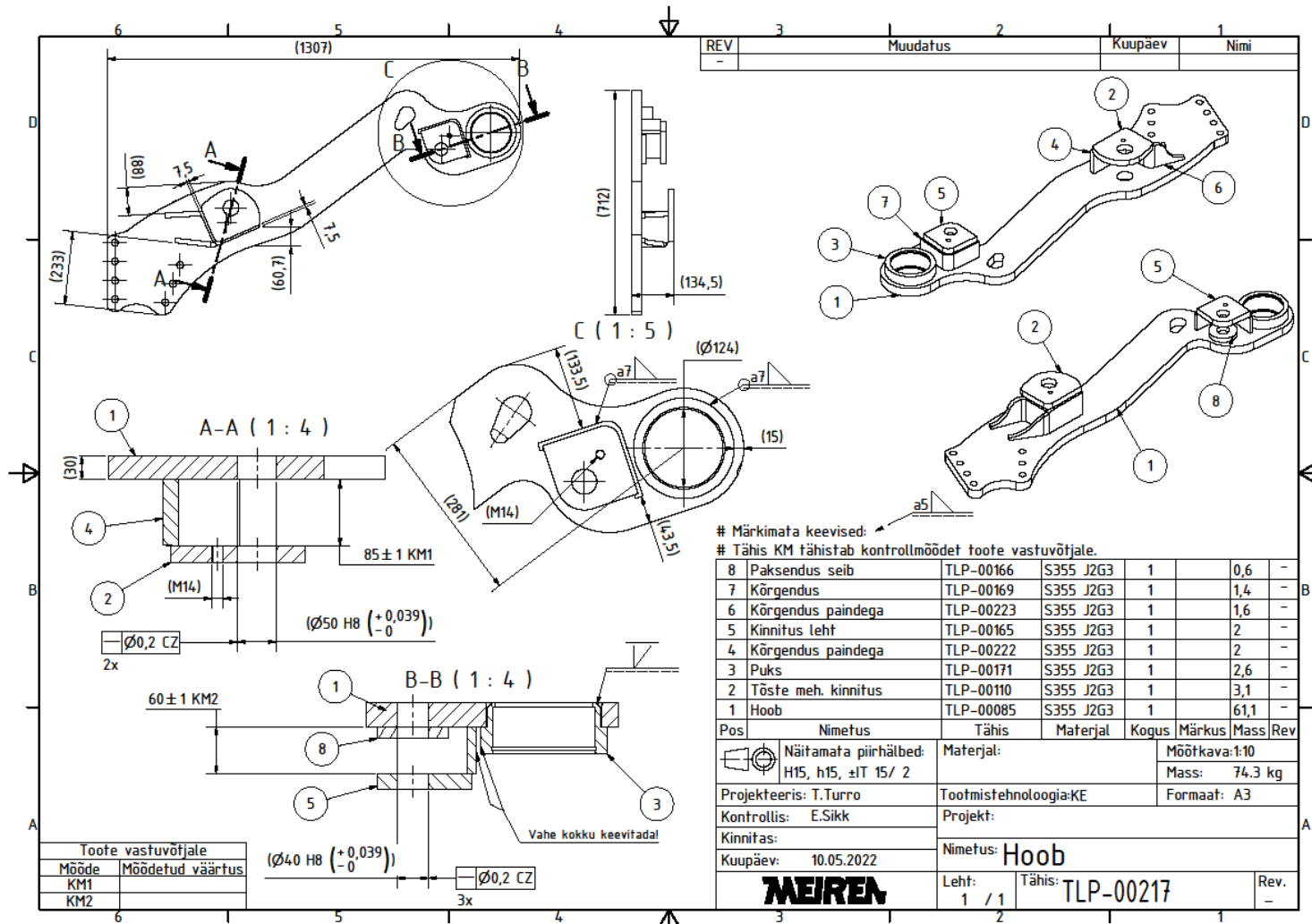
In conclusion, there were some challenges, which were quickly and successfully resolved, and the desired result was achieved. In the big picture, the master's thesis was a success, as everything that was hoped to complete was done quicker than expected. Because of that, time was found to deal with constructions that were not in the original plan.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. EVS-EN 1501-1:2021, Prügikogumissõdukid. Üld- ja ohutusnõuded. Osa 1: Tagantlaadimisega prügikogumissõidukid. / Eesti standardikeskus, Veebruar 2021
2. Autori poolne kirjavahetus Ragn-Sells AS esindajaga. 2021
3. Autori poolne kirjavahetus AS Eesti Keskkonnatennused esindajaga. 2021
4. JOAB Försäljnings AB, [WWW] <https://www.joab.se/produkt/joab-anaconda-md/>
5. Ab Närpes Trä & Metall - Närpiön Puu ja Metall Oy, [WWW] <https://www.ntm.fi/en/refuse-collection-vehicles/garbage-trucks/>
6. FAUN Umwelttechnik GmbH & Co., [WWW] <https://www.faun.com/en/>
7. Hidromak Makina Ltd. Şti, Tagantlaetava prügiveoki ristlõige, [WWW] <http://www.hidromak.com/en/a/articles/10/rear-loaded-garbage-body-parts> (13.03.2022)
8. Mehaanikainseneri käsiraamat / üldtoimetaja P. Kulu. Teine väljaanne. Tallinn : TalTech kirjastus, 2022.
9. SSAB AB, Hardox 450 spetsifikatsioon, [WWW] <https://www.ssab.com/products/brands/hardox/products/hardox-450> (03.05.2022)
10. SSAB AB, Strenx 700 spetsifikatsioon, <https://www.ssab.com/en/products/brands/strenx/products/strenx-700> (03.05.2022)
11. SKF Estonia OÜ, Laagri valiku kalkulaator, [WWW] <https://www.skfbearingsselect.com/#/bearing-selection-start> (03.05.2022)
12. Materjalide vahelised hõõrdetegurid, [WWW] https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
13. Hüdro- ja pneumoajam õppematerjalid, Hüdraulika valemid, V.Kuts, TalTech, 2020
14. CORM OÜ, ümarterase hinnakiri, [WWW] <https://www.metall24.ee/> (09.05.2022)
15. Baltic Bolt OÜ, Kinnitusvahendid ja määrdeniplid, [WWW] <https://balticbolt.ee/ProductGroups/Details/1566> (09.05.2022)
16. Meiren Engineering OÜ. Firmasisene materjalide ja töötuluse hinnakiri, 2022

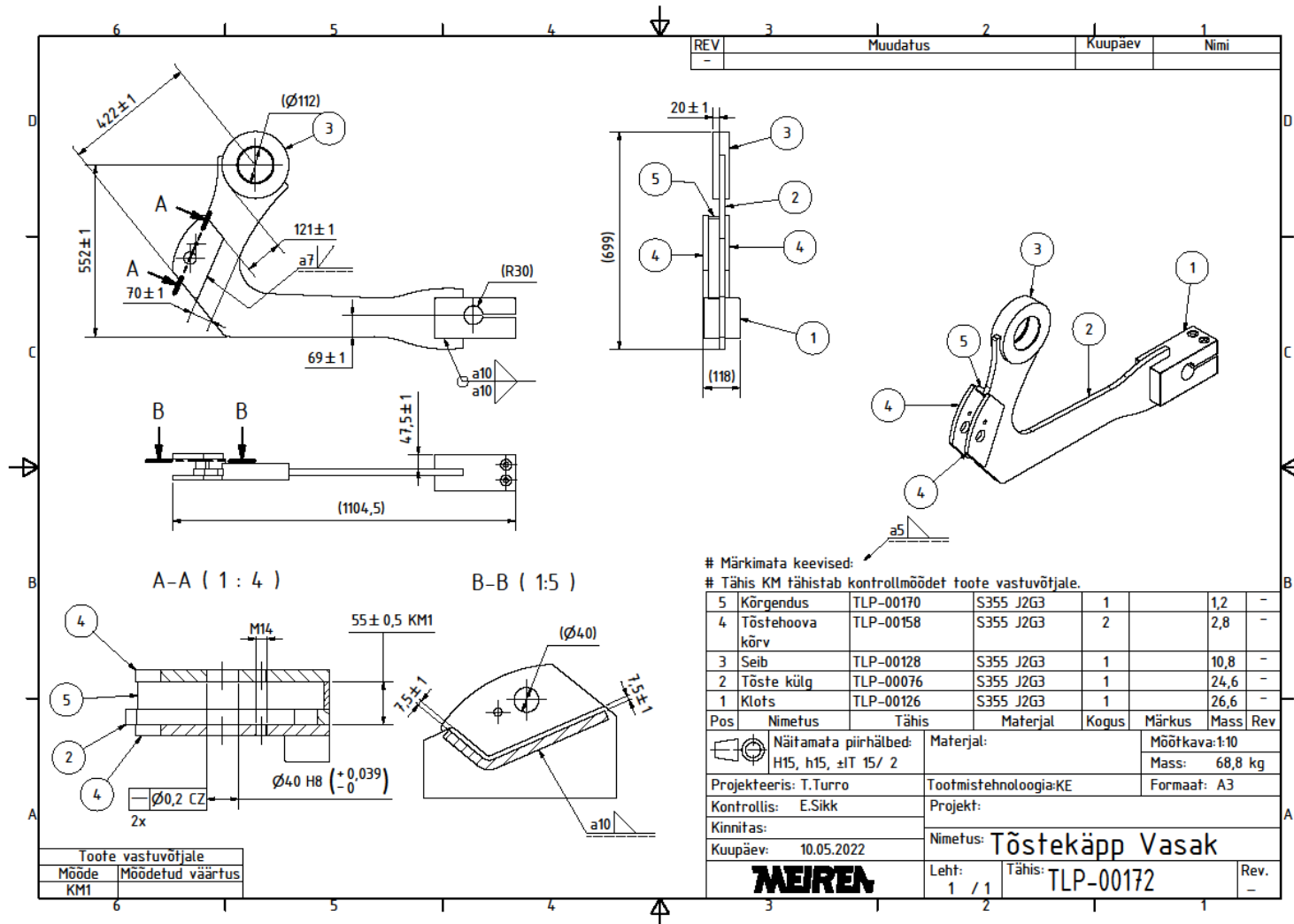
LISAD

Lisa 1 Pakkimis mehhanismi hoova keeviskoost



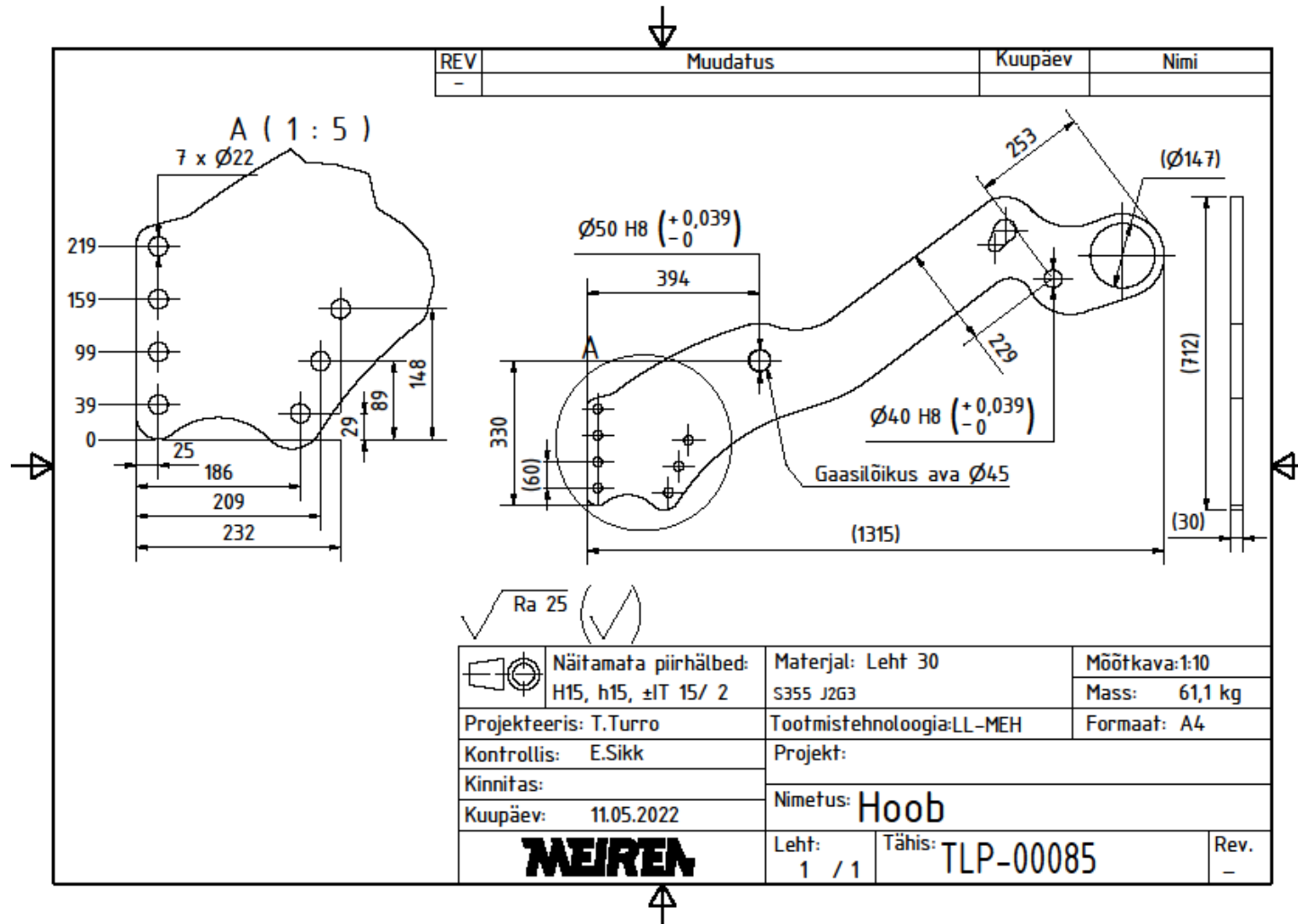
Joonis L 1. Lõpliku pakkimis mehhanismi keeviskoost

Lisa 2 Tõstekäpa keeviskoost



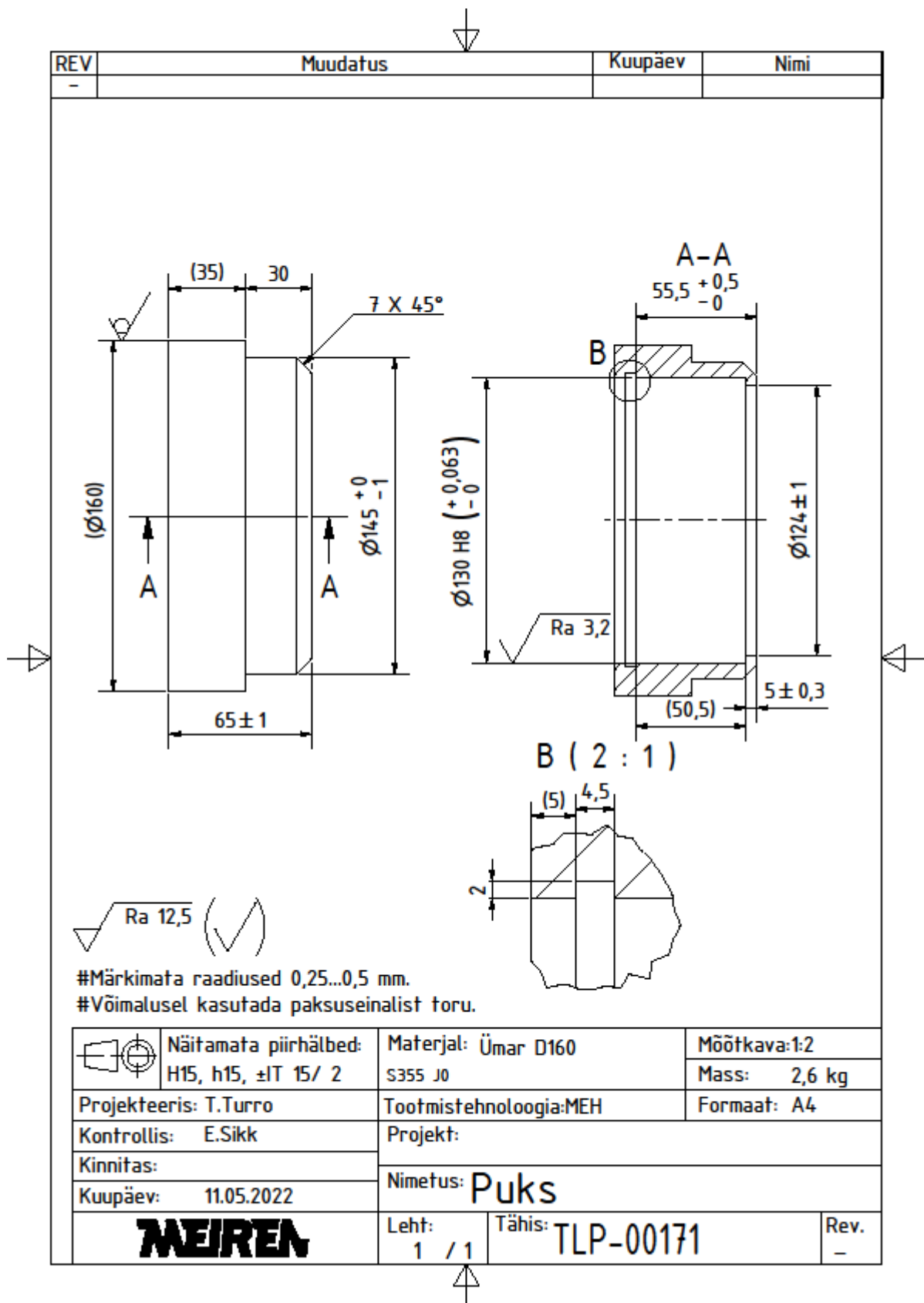
Joonis L 2. Lõpliku tõstekäpa keeviskoost

Lisa 3 Hoova lõike joonis



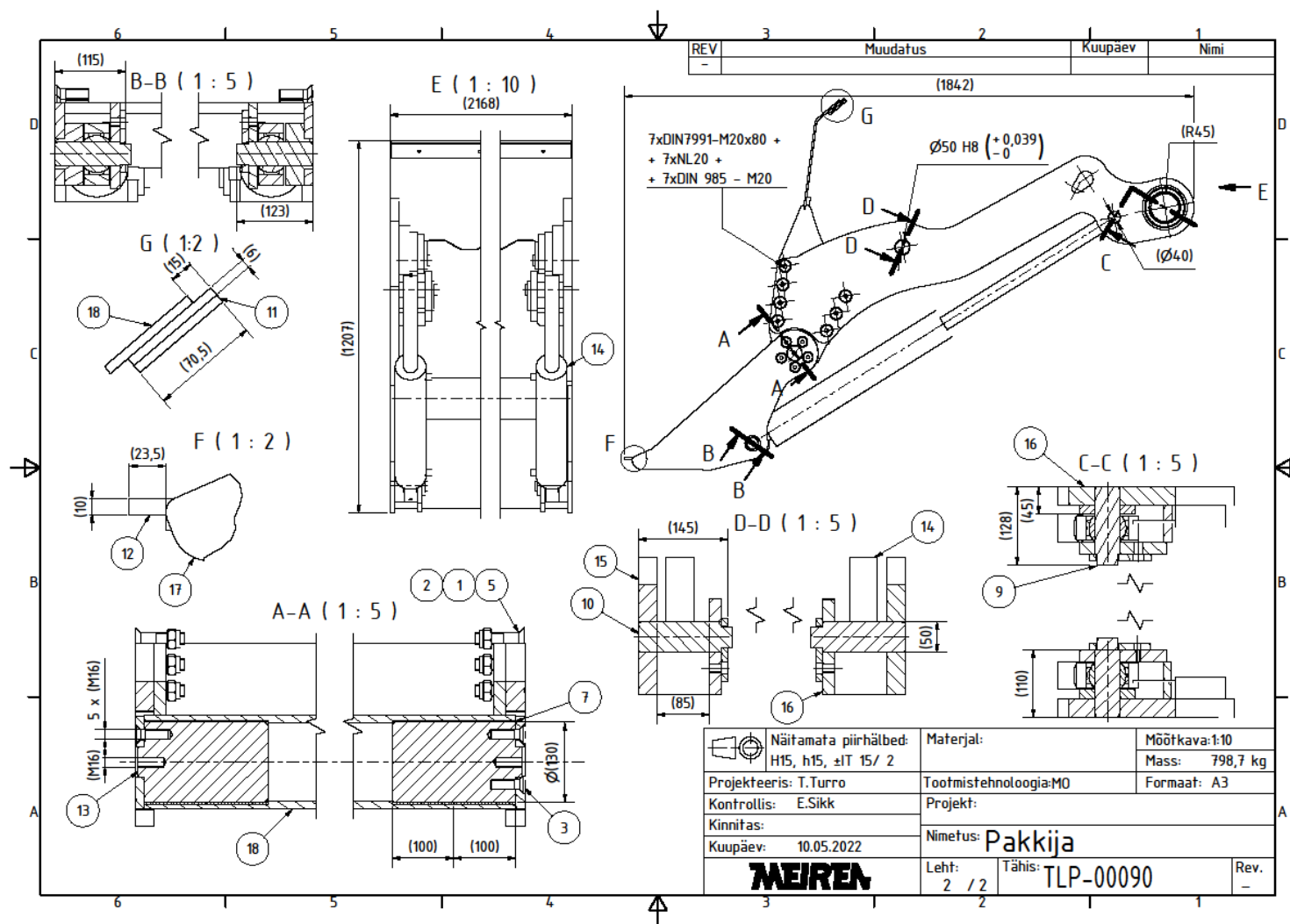
Joonis L 3. Hoova gaasilõikus joonis

Lisa 4 Treimis joonis



Joonis L 4. Puksi treimis joonis

Lisa 5 Koostamis joonis



Joonis L 5. Prügipakkimis mehhanismi koostamis joonis

GRAAFILINE OSA