



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

TURBAVEOHAAGIS PT-40SC

PEAT TRAILER PT-40SC

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Allan Posatetski

Üliõpilaskood 183309 MATM

Juhendaja: Kaimo Sonk, lektor

(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.

“.....” 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Allan Posatetski (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 24.07.1995)

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

Turbaveohaagis PT-40SC,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Kaimo Sonk

(*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.

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

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Allan Posatetski, 183309 MATM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: Tootarendus ja tootmistehnika MATM 02/18 (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Lektor, Kaimo Sonk, 56223112 (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Turbaveohaagis PT-40SC

(inglise keeles) Peat trailer PT-40SC

Lõputöö põhieesmärgid:

1. 40 m³ turbaveohaagise projekteerimine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Turuanalüüs	09.02.2020
2.	Mudeli konstrueerimine	25.02.2020
3.	Tugevusarvutused	15.03.2020
4.	Jooniste koostamine	30.03.2020
5.	Töö vormistamine	05.05.2020

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 25.05.2020 a

Üliõpilane: ".....".....202....a
/allkiri/

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

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

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

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
1 SISSEJUHATUS.....	8
2 ÜLESANDE PÜSTITUS	10
2.1 Tootmispiirangud	10
2.2 Funktsionaalsed nõuded	10
2.3 Ohutus	14
2.4 Nõuete loetelu	15
3 TURUANALÜÜS	16
3.1 RPT-26-S	16
3.2 TVK-40.....	17
3.3 JPV-45V.....	18
3.4 TRL-30 F.....	19
3.5 GP 1-21.....	19
3.6 Turuanalüüsi kokkuvõte.....	20
4 HAAGISE PROJEKTEERIMINE	22
4.1 Kast	22
4.1.1 Kasti põhi	23
4.1.2 Eesmine ning tagumine sein	24
4.1.3 Kasti laadimiskõrguse muutmine	25
4.1.4 Kasti tühjendamine	26
4.1.5 Kasti liigendid	28
4.2 Raam ning tiisel.....	29
4.2.1 Raami peakonstruksioon	29
4.2.2 Veermiku kinnitus	30
4.2.3 Tiisli peatala	31
4.2.4 Veosilmus	31
4.2.5 Tiisli liide.....	33
4.2.6 Tiisli eesmine liide	35
4.2.7 Tiisli tagumine kinnitus	36
4.2.8 Kasti kallutamine	36
4.2.9 Tagumine haakekonks	38
4.3 Veermik.....	38
4.3.1 Veermiku tüüp.....	38
4.3.2 Balansiir.....	40
4.3.3 Veorummud.....	40
4.3.4 Rataste paigutus	41

4.3.5	Rehvid	42
4.3.6	Veljed	42
4.4	Tugijalg	44
4.5	Transportimine	45
4.6	Materjalide valik	47
4.7	Värvimine	47
4.8	Valminud haagis	47
5	ARVUTUSED	49
5.1	Tiislile mõjuvad jõud	49
5.1.1	Pidurdamisel tekkiv jõud	49
5.1.2	Haagise väljatõmbamine	50
5.1.3	Vertikaalkoormus	53
5.2	Veosilmuse tugevusarvutus.....	55
5.3	Tiisli kinnituste arvutus.....	56
5.3.1	Eespoolne tiisli kinnitus	57
5.3.2	Tagumine tiisli kinnitus	58
5.4	Tõstesilindrite arvutus	62
5.4.1	Silindrile mõjuv jõud.....	62
5.4.2	Silindri kontrollarvutus.....	64
5.5	Balansiiri tala arvutus.....	65
5.5.1	Balansiiri tala FEM analüüs	65
5.5.2	Balansiiri tala käsiarvutus.....	68
5.6	Tagumise veokonksu arvutus	69
5.6.1	Tagumise veokonksu FEM analüüs.....	69
5.6.2	Tagumise veokonksu käsiarvutus	71
5.7	Omahinna arvutus	73
5.7.1	Töötajate ning pinkide kulu	73
5.7.2	Ostutooted	74
5.7.3	Lõplik omahind	76
	KOKKUVÕTE	77
	SUMMARY	78
	KASUTATUD KIRJANDUS	79
	LISAD	82
	Lisa 1. Joonised	82

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö eesmärk on projekteerida turbaveohaagis ettevõttele OÜ Rakvere põllumajandustehnika. Töö käigus valmiv haagis on mõeldud pneumaatiliste vaakumkogujate poolt kokku ladustatud väksemate aunade kokku vedamiseks suurematesse aunadesse ning hiljem turba transportimiseks raba piirile.

Sarnaselt mitmetele turba tootmisega tegelevatele ettevõtetele kuulub OÜ Rakvere Põllumajandustehnika struktuuri metallitöökoda, kus arendatakse ning toodetakse kaevandamiseks vajaminevaid lisaseadmeid. Töö autor on aastast 2017. tegelenud antud ettevõttes projektipõhiselt turbaveohaagiste ning teiste lisaseadmete arendusega. Antud töö koostamisel on lähtutud eelnevatel hooaegadel valminud prototüüpide tagasisidest ja kaevandamisega tegeleva personali soovitudest ning nõuetest.

Käesolevas magistritöös on käsitletud turbatööstusele projekteeritud seadmete eripära, valmivale haagisele sobilike materjalide valikut, inseneritehnilisi arvutusi ning tootmiseks vajalike tööjooniste koostamist. Antud töö väljundiks on sihtgrupi ootusi täitva toote projekt.

Töö autor soovib tänada töö juhendajat Kaimo Sonka ning OÜ Rakvere Põllumajandustehnikat.

Märksõnad: Haagis, turvas, magistritöö

1 SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on projekteerida turbaveohaagis parendamiseks OÜ Rakvere Põllumajandustehnika turba tootmise võimekust.

Töö käigus tutvutakse ning hinnatakse turul leiduvaid lahendusi. Seadme projekteerimisel lähtutakse ning käsitletakse turbatööstuses kasutatavate seadmete eripärasid. Neist peamiseks on raba tingimustes maastikuläbivuse tagamine kuna tehnika ning inimressursi optimaalseks rakendamiseks toimub haagistega turba vedamine sagedasti ajal, mil ilmastikutingimused ei ole kaevandamiseks sobivad. Samuti tuleb turbatööstuses arvestada rangemate tuleohutusnõuetega.

Lähtudes asjaolust, et seade läheb kasutusse ettevõttesiseselt, on peamiseks ülesande püstituseks vaja minevate sisendite allikaks ettevõtte turba kaevandamisega tegelev personal. Lisaks on toote lõpptarbijad kaasatud projekteerimise vaheetappides jõutud lahenduste hindamisse ning katsetamisse.

Töö esimeses osas pannakse ettevõtte kaevandusalase kogemuse põhjal paika peamised haagisele esitatavad nõuded. Teises etapis hinnatakse turuanalüüsi käigus esitatud nõuete põhjal teiste tootjate poolt pakutavaid lahendusi. Seejärel käsitletakse haagise alamkoostude modelleerimist ning viiakse läbi tugevusarvutused olulisematele sõlmedele. Töö lõpuosas määratakse haagise omahind ning koostatakse tööjoonised.

OÜ Rakvere Põllumajandustehnika poolt kasutuses olevate turbarabade mäeeraldise pindala on kokku 620 ha. Ettevõtte toodab kasvuturvast taimekasvatuse ning aianduse tarbeks müües põhilise osa toodangust Euroopa Liidu turgudel [1]. Ettevõtte kuulub Eestis turvast tootvaid, töötlevaid ning turustavaid ettevõtteid ühendavasse erialaliitu MTÜ Eesti Turbaliit [2]. Sarnaselt paljudele teistele Eestis turba tootmisega tegelevate ettevõtetega kuulub ka OÜ Rakvere Põllumajandustehnika struktuuri tootmine, kus arendatakse ning toodetakse kasutatavad lisaseadmed ise.

Projekteeritavat haagist rakendatakse freesturba kaevandamisel. Aianduses kasutatava freesturba kaevandustskükkel algab pinnasest 10-20 mm kõrguse turbakihi lõikamisega, mis seejärel jäetakse väljaku peale kuivama. Kuivanud turvas kogutakse pneumaatilise vaakumkogujaga ning ladustatakse aunadesse. Seejärel veetakse turvas haagistega seel 1.1 esitatud kesksetesse suuraunadesse [3]. Eestis on turba kaevandamisega hõlmatud ligikaudu 2% turbaaladest. Turba kaevandamise hooaeg kestab Eesti kliimas tavaliselt maist kuni augusti lõpuni [4]. Aastal 2015 kaevandati

Eestis turvast ligikaudu 716 000 t. Sellest kogusest moodustas peamiselt aianduses kasutatav vähelagunenud turvas 433 000 t [5]. Samas turba kaevandamise aastamäär on 2 850 000 t [6].



Sele 1.1 Aun

Seadme modelleerimisel ning FEM analüüsi teostamiseks on kasutatud tarkvara SolidWorks. Skeemide koostamisel on kasutatud tarkvara draw.io.

2 ÜLESANDE PÜSTITUS

Kasvavate kaevandusmahtude ning masinapargi kaasajastamise tõttu valmivate haagiste projekteerimist alustatakse ülesande püstituse koostamisest. Ülesande püstitus on jaotatud kolmeks alapeatükiks. Neist esimeses käsitletakse ettevõtte tootmisvõimekuse ning kasutatavate materjalidega seotud piiranguid. Teises alapeatükis pannakse paika olulisemad funktsionaalsed nõuded lähtudes turba kaevandamise eripäradest. Funktsionaalsete nõuete määramisel on peamise sisendina kasutatud ettevõtte turba kaevandamisega tegeleva personali kogemusi. Viimases alapeatükis tehakse ülevaade ohutusnõuetest ning võimalikest riskidest.

2.1 Tootmispiirangud

Haagise projekteerimisel peab olema arvestatud ettevõtte poolsete tootmisvõimalustega. Ettevõtte poolt kasutatavateks tehnoloogiateks on MIG/MAG keevitus, freesimine, treimine, puurimine, plasmalõikus, gaasilõikus, giljotiinlõikus, lintsaagimine, valtsimine, stantsimine, lihvimine, termotöötlus, haavelpritsimine ning pihustusvärvimine.

Ostutoodete valikul tuleb võimalusel eelistada ettevõttes kasutusel olevaid tooteid. Nende hulka kuuluvad näiteks erinevad kinnitusvahendid, rehvid ning poolteljed. Samuti tuleks eelistada ettevõttes kasutuses olevaid terasprofiile.

2.2 Funktsionaalsed nõuded

Funktsionaalsete nõuete määramist alustatakse haagise tüübi valikuga. Selleks on oluline arvestada asjaoluga, et turba kaevandamisega tegelevast personalist moodustavad arvestatava osa hooajatöölised, kellel ei pruugi olla aastaringselt töötavate traktoristidega samaväärset vilumust, mille tõttu peab haagisega manööverdamine olema võimalikult lihtne. Sellest tulenevalt on haagise tüübiks valitud kesktelghaagis, millega tagurdamine on lihtsam kui täishaagisega. Lisaks on kesktelghaagise eeliseks see, et osa haagise massist kandub vertikaaljõuna tiisli kaudu traktorile. Massi jaotus haagise telgede ning traktori vahel on maastikuläbivuse tagamisel üks olulisemaid faktoreid. Liiga suur traktori haakeseadmele mõjuv vertikaalkoormus suurendab traktori tagasilla pinnasesse vajumise tõenäosust. Samas liiga väikese haakeseadmele mõjuva koormuse tõttu võib raskemate koormate korral esineda traktori rataste läbi libisemist. Massi jaotust määrav silla paigutus on täpsemalt käsitletud punktis 4.2.2.

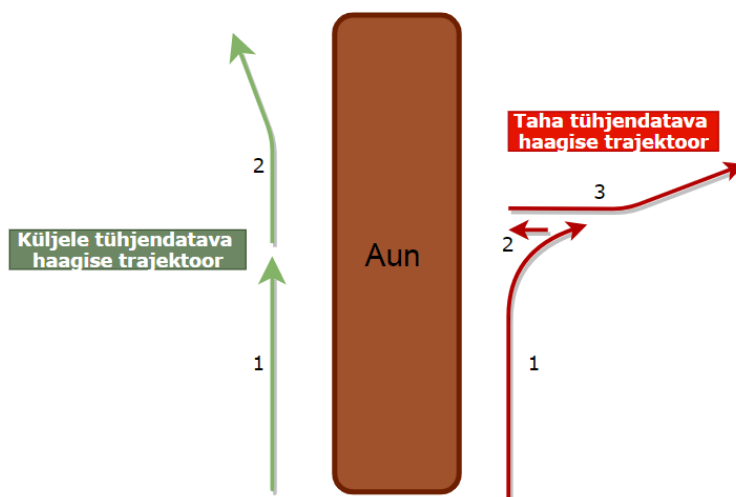
Kasti mahu määramisel peab olema arvestatud mitme erineva aspektiga. Liiga väikese kasti valikuga kaasneb madalam tootlikkus kuna traktor peab sama koguse transportimiseks teostama rohkem töösükleid. See tõstab omakorda ettevõtte kulutusi kütusele, mille tõttu suureneb ka protsessi ökoloogiline jalajälg. Samas liiga suure kasti valikuga suureneb traktori poolt veetava haagise mass, mis vähendab haagise maastikuläbivust ning suurendab sellega turbaväljakul kinni jäämise tõenäosust. Rabas kinni jäänud haagise välja saamiseks on vajalik lisa traktorite kasutamine, mille tulemusena tekib seisak mitmel kaevandamisega seotud protsessil. Haagise täismassi ning sellest tulenevalt ka veetava koorma piirang tuleneb ettevõtte soodes kasutuses olevate traktorite võimsusest, mis on valdavalt 123 kW. Lisaks on oluline arvestada, et veetud turba esialgset kogust arvestatakse haagise koormates. Sellest tulenevalt peaks haagise maht olema transporditud kuupmeetrite kiireks arvutamiseks võimalikult lihtne. Lähtudes eelnevast on haagise kasti mahuks valitud 40 m³. Peatükis 3 koostatud turuanalüüsisist järeldub, et antud mahuga kastid on kasutusel ka mitmetel teistel haagiste tootjatel.

Kasti tühjendamiseks on valida küljele ning taha kallutamise vahel. Taha tühjendatava haagise näitena saab tuua ettevõttes üle-eelmiseks hooajaks valminud turbaveohaagise (sele 2.1). Põhjus projekteerida haagis taha tühjendatav tulenes asjaolust, et antud hooajal toimus mitmes rabas kändude juurimine ning võsa lõikamine, mille tõttu tuli haagis sobitada võrdselt nii turba, võsa kui ka kändude veoks. Taha kallutamise korral on võsa maha laadimine kontrollitum ja väiksema tühjendusala laiuse tõttu ei pea kände suurema ala pealt kuhja ladustamiseks kokku korjama.



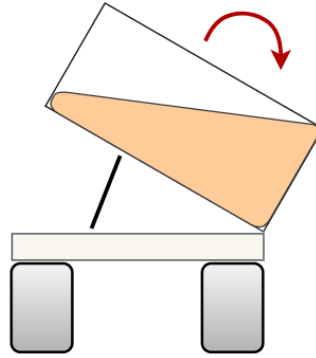
Sele 2.1 Eelnevalt projekteeritud taha kallutav haagis

Kuna käesoleva töö käigus valmiv haagis on mõeldud peamiselt vaid turbaveoks eelistatakse haagis projekteerida küljele kallutatav. Põhjus eelistada küljele tühjendatavat haagist tuleneb selel 2.2 esitatud koorma maha laadimiseks vajalike trajektoore erinevusest. Taha tühjendatava kastiga on vajalik vahepealne tagurdamine. Samas küljele tühjendatava kastiga ei teki tagurdamisest tingitud ajakadu kuna pikliku aunaga paralleelselt liikuval traktoril piisab koorma laadimiseks vaid seisma jäämisest.



Sele 2.2 Trajektoore võrdlus koorma auna laadimisel

Turbaveohaagiste kastide tühjendusluugid avanevad peamiselt mehaaniliselt tõmmitsatega või hüdrocilindritega. Lähtudes ettevõtte pikast kogemusest turba tootmisel on eelistatud kasutada hüdrauliliselt avanevat küljeluuki. Valitud lahenduse eeliseks on võimalus luuk avada ning osa koormast maha laadida juba enne kasti kallutamist. Sellega hoitakse kallutava haagise raskuskese madalam ning vähendatakse haagise kaadumise tõenäosust. Mehaanilise avanemise korral sõltub luugi avatus kasti kaldenurgast. Selle käigus võib tekkida ohtlik olukord, kus turvas koguneb kasti kaldest tingitult luugi äärde, kuid luuk pole piisavalt avanenud, et tagada turba laadimiskohta langemist, mille tõttu võib haagis kaaduda (sele 2.3). Samuti säilitab hüdrauliliselt avanev küljeluuk võimaluse kasutada haagist rabast eemaldatud kändude vedamiseks.



Sele 2.3 Koorma kogunemine kallutatavale küljele

Olukorradeks, kus turba laadimiseks haagise kasti pole selle jaoks tavapäraselt mõeldud lintekskavaatori kasutamine võimalik, peab olema tagatud võimalus kasutada laadurit. Kuna laaduriga pole võimalik koormat nii kõrgele tõsta kui lintekskavaatoriga peab kasti serv üle mille kasti täidetakse olema madalam. Arvestades, et haagise kasutamine toimub keerulistes maastikutingimustes ei ole võimalik laaduriga laadimise hõlbustamiseks haagise madaldamine kliirensi arvelt. Selle tõttu eelistatakse hüdrauliliselt mitte avatava kasti külje valmistada kahes osas. Külje alumise fikseeritud osaga tagatakse kasti jäikus. Samas külje ülemises osas paiknev manuaalselt avatav luuk võimaldab vähendada laadimiseks vajaminevat kõrgust. Kompromissina tähendab see antud olukorras mõnevõrra väiksemat kasti mahtuvust.

Turba laadimisel peab kasti eespoolsest ning tagumisest küljest olema tagatud võimalus omada ülevaadet haagise täituvusest. Arvestades turba kaevandamisega seotud kõrgete tuleohutusnõuetega ning asjaoluga, et haagis läheb kasutusse nõudlikumatesse tingimustesse ei ole elektrooniline jälgimise võimalus sobilik. Sellest tulenevalt eelistatakse odavama ning töökindlama lahendusena katta osa kasti seinast võrkrestiga.

Kuna eelmainitud laadimiskõrguse muutmist võimaldava luugi avanemine toimub manuaalselt, peab olema tagatud võimalus ligipääsuks kasti otstes paiknevatele portelukkudele. Selleks peavad olema kasti esi- ning tagaosale paigaldatud redelid. Võimaluse tagamine kasti pääsemiseks on oluline ka hooldus- ning remonditööde käigus.

Projekteeritav haagis peab olema lahtimonteeritav võimaldamaks kahe turbaveohaagise transporti 13,81 m pikkuse veoki platvorm-poolhaagisega. Samuti peavad eraldi transporditavatel komponentidel olema kinnituselemendid, mille kaudu oleks võimalik

neid tõsteseadmetega teisdada. Projekteeritava toote laiusele pole ettevõtte poolt piirangut määratud.

Haagisele peab olema paigaldatud reguleeritava kõrgusega vahetatav tugijalg. Vajadus sellele tuleneb aeg-ajalt esinevast tugijala purunemisest, mis on valdavalt tingitud traktoriga haakimisele järgnevast liiga vähesest tugijala üles kerimisest. Võrreldes keevisliitiga paigaldatava jalaga, on antud juhul rikke parandamine kiirem. Samuti ei vajaks antud koht üle värvimist.

2.3 Ohutus

Turba kaevandamisel on oluline järgida tuleohutusnõudeid. Lähtudes maapõuuseaduse § 78 lõike 4 alusel kehtestatud kaevandamise ohutusnõuete määrusest tuleb masinate ülekuumenemise ning süttimise vältimiseks masinaid korrapäraselt turbatolmust puhastada. Lisaks peavad seadmed olema tehniliselt korras ning varustatud esmaste tulekustutusvahenditega [7]. Sellest lähtuvalt tuleb projekteerimisel arvestada haagise puhastatavust. Veepaagi lisamine haagisele pole vajalik kuna veepaagid on paigaldatud vedava traktorite külge. Lisaks on kaevanduses kasutusel mitmed tuleohutusmeetmed nagu näiteks veemahutiga varustatud spetsiaalsed kustutushaagised. Kuna turbaveohaagised ei ole mõeldud kasutuseks teeliikluses, ei paigaldata neile tuleohutuse tagamiseks ka tulesid. Tulede mittepaigaldamisega välditakse olukorda, kus elektrisüsteemi võimaliku rikke tõttu võib tekkida tulekahju. Haagise nähtavaks tegemiseks pimedas kasutatakse helkureid.

Lisaks turbatööstuses esinevatele rangetele tuleohutusnõuetele tuleb projekteerimisel arvestada ka üldiseid ohutusega seotud riske. Valdava enamuse riskide korral on sobivateks meetmeteks töötajate instruktiaž ning hoiatus-, kohustus- või keelumärkide paigaldamine. Järgnevalt on käsitletud olulisemad riskid ning ohutusnõuded.

Rabatingimustes töötavate seadmete projekteerimisel tuleb arvestada stabiilsuse kadumise riskiga. Selle tõttu tuleb haagise raskuskese hoida võimalikult madal ning tagada rehvidega võimalikult lai toetuspind.

Turba ning erandkorras ka kändude laadimisel tuleb arvestada laetava koorma näol kukkuvatest või eemale paiskuvatest kehadest tulenevate ohtudega. Samuti turbast tingitud lendlevate osakestega.

Haagise hooldusel, remontimisel jms. tegevuse juures peab olema arvestatud kõvade ning teravate pindadega. Lisaks tuleb arvestada survestatud hüdraulika süsteemist tingitud ohtudega. Samuti tuleb eelmainitud töödel arvestada komistamis-, libisemis- ning kukkumisohuga.

Liikuvatest osadest tingitud riskide vältimiseks peab haagise liikumise ning laadimise ajal olema kehtestatud ohu- ning keelutsoon.

Mürast ning vibratsioonist tingitud ohtude vältimiseks tuleb lähtuda nende allika ehk vedava traktoriga kaasnevatest juhistest.

Tagamaks tugijalale toetuva haagise stabiilsuse, peab haagise raskuskese olema paigutatud sildadest tiisli poole.

2.4 Nõuete loetelu

Järgnevalt on koostatud eelnevate alapeatükkide põhjal ülevaatlik nõuete loetelu:

- Valmistatav ettevõttesiseselt.
- Ettevõttes kasutusel olevate profiilide ning ostutoodete eelistamine.
- Kesktelghaagis
- Kasti mahtuvus 40 m³.
- Madal ning lai konstruktsioon stabiilsuse tagamiseks rabas.
- Hüdrauliliselt avanev parem küljeluuk.
- Manuaalselt osaliselt avatav vasak küljeluuk.
- Võrk-resti kasutamine haagise täituvuse hindamise tagamiseks.
- Redelid haagise kasti esi- ning tagaseinal.
- Gabariitmõõtmete vähendamise võimalus transpordiks.
- Reguleeritava kõrgusega vahetatav tugijalg.
- Ohutusnõuete ning riskidega arvestamine

3 TURUANALÜÜS

Turuanalüüsi peamine eesmärk on saada ülevaade teiste tootjate poolt pakutavatest turbaveohaagistest. Järgnevas alapeatükis on käsitletud viit turbaveoaagist. Neist kaks on toodetud Eestis, kaks Soomes ning üks Leedus. Turuanalüüsi käigus antakse hinnang alljärgnevatele haagistele lähtudes ülesande püstituse käigus käsitletud nõuetest. Haagise gabariitmõõtmed ning tooteinfost sõltuvalt ka kandevõime või haagise ruumala on esitatud ülevaatlikult tabeli kujul. Turuanalüüsi kokkuvõtvas alapeatükis 3.6 on esitatud toodete võrdlustabel ning peamised järeldused.

3.1 RPT-26-S

RPT-26-S on Ramsi Turvas AS poolt Eestis toodetud multifunktsionaalne haagis (sele 3.1). Tegu on küljele kalduva kastiga turbaväljakutele sobiva kesktelghaagisega. Sama tootja pakub ka taha kallutatava kastiga multifunktsionaalset haagist RPT-26-B, millele on erinevalt küljele tühjendavast versioonist lisatud võimalus eemaldada kasti ülemine osa vähendamaks laadimiskõrgust [8]. Kuna ülesande püstituses on olulise nõudena määratud, et kast peab olema tühjendatav küljele, on turuanalüüsis põhjalikumalt käsitletud RPT-26-S mudelit. Haagise parameetrid on esitatud tabelis 3.1.



Sele 3.1 RPT-26-S [8]

Antud toote plussidena saab esile tuua haagise tüübist tingitud head tagurpidi manööverdatavuse võimet ning osalist haagise massi ülekandmist traktorile vähendamaks vedava sõiduki rataste läbi libisemise tõenäosust. Samuti on eeliseks kasti mahtuvuse jälgimiseks paigaldatud võrk-rest. Kasti mahtuvus jääb alla ülesande püstituses määratule, mille tõttu tuleb sama koguse vedamiseks sooritada rohkem töösükleid. Oluline funktsionaalne erinevus võrreldes ülesande püstituses kehtestatud nõuetega seisneb luugi avanemises. RPT-26-S haagisel on kasutatud tõmmitsatega luugi avanemist, mille korral luugi avatus on seotud otseselt kasti kaldenurgast raami

suhtes. Tegu on küll tehniliselt lihtsama ning odavama lahendusega, kuid eelnevas peatükis käsitletud põhjustest lähtuvalt on haagise kaadumise tõenäosus antud juhul suurem kui hüdrocilindritega luugi avamise korral.

Tabel 3.1 RPT-26-S tehnilised andmed [8]

Pikkus	7320 mm
Laius	2960 mm
Kõrgus maapinnast	3150 mm
Kasti ruumala	26 m ³
Kandevõime	8000 kg

3.2 TVK-40

TVK-40 on AS Elva E.P.T poolt Eestis toodetud küljele kalduva kastiga turbaveohaagis (sele 3.2) [9]. Haagise parameetrid on esitatud tabelis 3.2.



Sele 3.2 TVK-40 [9]

Sarnaselt RPT-26-S haagisele on tegu kesktelghaagisega, millele on paigaldatud kasti täituvuse kontrollimiseks võrk-rest. Samuti on antud lahendusel küljeluugi avanemine seotud kasti kaldenurgaga. TVK-40 haagise eeliseks on kasti maht, mille tootja poolt antud vahemik ühtib lähteülesandes püstitatud mahuga. Võrreldes eelneva lahendusega on käsitletaval haagisel kõrgem kliirens tagamaks parema maastikuläbivuse. Lisaks on TVK-40 eeliseks asjaolu, et rattad on paigutatud paariratastena, mitte neljases reas kuna sel juhul on rataste ette tekkiv haagist pidurdav vall väiksem. Haagise kõrgust arvestades on toote oluliseks erinevuseks võrreldes lähteülesandes püstitatud nõuetega võimaluse puudumine kasti kõrguse vähendamiseks võimaldamaks kasti täitmist madalama laaduriga.

Tabel 3.2 TVK-40 tehnilised andmed [9]

Pikkus	5600 mm
Laius	3600 mm
Kõrgus maapinnast	3300 mm
Kasti ruumala	37-42 m ³

3.3 JPV-45V

JPV-45V on Oy Peatmax poolt Soomes toodetud vaguni tüüpi haagis (sele 3.3) [10]. Haagise parameetrid on esitatud tabelis 3.3.



Sele 3.3 JPV-45V [10]

Tegu on võrreldes enamlevinud lahendustega konstruktsioonilt erineva haagisega. JPV-45V on võimalik ümberehitada turba harvesteriks. Erinevalt eelnevalt käsitletud haagistest on antud mudeli juhtsillal kasutatud rummusisest vedu. Lisaks on JPV-45 haagisel võrreldes eelnevate lahendustega suurem telgede vahe, mis tagab parema stabiilsuse rabatingimustes. Turba laadimiseks aunadesse avanevad mõlemad vagun tüüpi haagise küljed hüdrauliliselt. Haagisele on võimalik paigaldada veepaak tule kustutamiseks.

Haagise puudusena võib tuua mittesobivuse Eesti rabades kasutamiseks. Mõlemale poole koormat maha laadiva haagise projekteerimisel on eeldatud, et selle optimaalseks kasutamiseks sõidetakse turba auna peale. Kuna Eesti rabad on mõõtmelt väiksemad kui Soome kaevandusväljad, ei ole ka kaevandatav maht nii suur, et kokku koguda aunasid, mis oleksid piisavalt suured nende peal rasketehnikaga sõitmiseks. Samuti on antud lahenduse miinuseks kõrgem toote omahind ning teiste haagistega võrreldes suuremad transpordimõõtmed.

Tabel 3.3 JPV-45V [10]

Pikkus	11 922 mm
Laius	3 970 mm
Kõrgus	3 322 mm
Kasti ruumala	40 m ³

3.4 TRL-30 F

TRL-30 F on Suokone Oy poolt Soomes toodetav küljele kalduv turbaveohaagis (sele 3.4). [11] Haagise parameetrid on esitatud tabelis 3.4.



Sele 3.4 TRL-30 F [11]

Antud haagis sarnaneb tühjendusmehhanismilt RPT-26-S ning TVK-40 haagistega. Tegu on küljele tühjendatava kesktelgahaagisega, mille tühjendusluugi avatus on seotud kasti kaldenurgaga. Osaliselt võrk-restiga kaetud esiseinaga kasti mahtuvus on 28 m³. Haagise eelised ning puudused kattuvad RPT-26-S haagisega.

Tabel 3.4 TRL-30 F [11]

Pikkus	8 750 mm
Kõrgus	2 900 mm
Laius	3 450 mm
Kasti ruumala	28 m ³
Kandevõime	10 500 kg

3.5 GP 1-21

GP 1-21 on UAB UGB poolt Leedus toodetav turbaveohaagis (selel 3.5) [12]. Haagise tehnilised parameetrid on esitatud tabelis 3.5.



Sele 3.5 GP 1-21 [12]

GP 1-21 eeliseks on võrreldes eelnevalt käsitletud haagistega konstruktsiooni lihtsus. Kasti tühjendamine toimub hüdrocilindriga tahapoole. Võrreldes eelnevate lahendustega on GP 1-21 valmistamisel kasutatud niiskuskindlat vineeri. Haagise eeliseks võrreldes eelnevate lahendustega on redel, mis hõlbustab hooldus ning remonditöid. Toote peamiseks erinevuseks võrreldes ülesande püstituses käsitletud nõuetega on kasti tühjendamise suund, mille tõttu on vajalik lisa tagurdamine koorma maha laadimiseks. Samuti on antud toote puuduseks kasti väike maht, raba tingimustes probleeme tekitav kõrge raskuskese ning ülevaate puudumine kasti täituvusest.

Tabel 3.5 GP 1-21 [12]

Pikkus	6200 mm
Laius	3600 mm
Kõrgus	2180 mm
Kandevõime	6000 kg

3.6 Turuanalüüsi kokkuvõte

Järgnevalt on koostatud ülevaatlik tabel hindamaks turuanalüüsis käsitletud haagiseid lähtudes ülesande püstituses kehtestatud nõuetest (3.6).

Tabel 3.6 Toodete võrdlus

Kriteerium	RPT-26-S	TVK-40	JPV-45 V	TRL-30 F	GP 1-21
Kesktelghaagis	+	+	-	+	+
Kasti mahtuvus ~40 m ³	-	+	+	-	-
Koorma maha laadimine küljele.	+	+	+	+	-
Madal ning lai konstruktsioon stabiilsuse tagamiseks.	+	+	+	+	-
Hüdrauliliselt avanev tühjendusluuk.	-	-	+	-	-
Võimalus hinnata kasti täituvust vedavast traktorist.	+	+	-	+	-
Kasti kõrguse muutmise võimalus laaduriga laadimiseks.	-	-	-	-	-
Redel haagise kasti pääsemiseks.	-	-	+	-	+
Pikkuse vähendamise võimalus transpordiks.	-	-	-	-	-
Reguleeritava kõrgusega vahetatav tugijalg	+	+	+	+	+
Sobilik 123 kW traktorile.	+	+	+	+	+

Tabelist järeldub, et teiste tootjate poolt pakutavate lahenduste hulgas ei leidu haagist, mis täidaks kõiki eelnevas peatükis käsitletud funktsionaalseid nõudeid. Selle põhjuseks võib olla ettevõtete poolt turba kaevandamisel kasutatavate meetodite ning tehnoloogiate erinevused. Kuna iga turuanalüüsis käsitletud toode rahuldab piiratud

hulga ülesande püstituses käsitletud nõudeid, saab töö käigus valmiva haagise erinevuseks võrreldes teiste tootjate poolt pakutavate haagistega pidada kõikide loetletud funktsionaalsete nõuete täitmist. Neist peamisteks on võimalus vähendada haagise laadimiskõrgust ning transpordimõõtmeid.

4 HAAGISE PROJEKTEERIMINE

Järgnevas peatükis käsitletakse haagise projekteerimist. Projekteerimise peatükk on jagatud suuremate koostude ning funktsiooni kandjate järgi alapeatükkideks. Lisaks ülesande püstituses määratud nõuete täitmisele käsitletakse antud peatükis ka haagise valmistamist, haagise transportimiseks vajaminevate elementide projekteerimist, materjalivalikut ning värvimist.

4.1 Kast

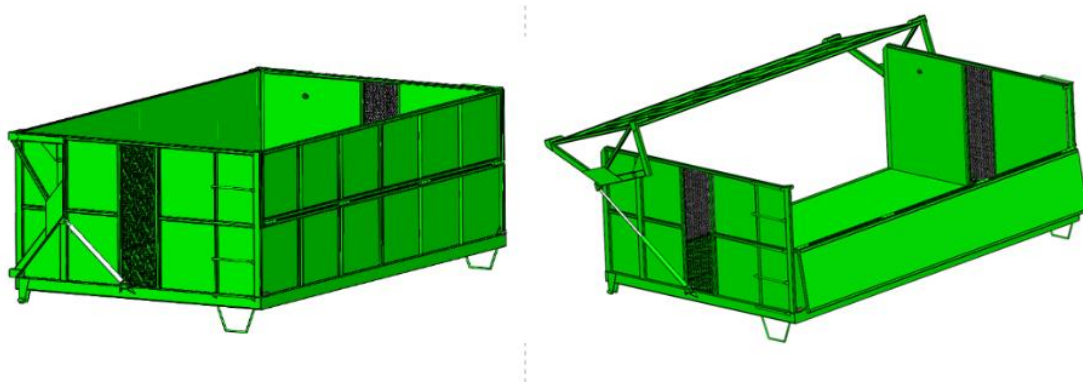
Valdav enamus ülesande püstituses käsitletavatest nõuetest on seotud projekteeritava kastiga. Neist peamisteks on kasti maht 40 m^3 , koorma tühjendamine küljele, laadimiskõrguse vähendamise võimalus, madal ja lai konstruktsioon ning ülevaate tagamine kasti täituvusest.

Kasti projekteerimist alustatakse esmaste gabariitide määramisega. Arvestades, et haagis on mõeldud rabatingimustes töötamiseks püütakse haagise stabiilsuse tagamiseks projekteerida võimalikult madal ning lai kast. Samuti tuleb tagada võimalikult optimaalne materjalide kasutus. Kasti pikkuse määramisel on arvestatud, et jääkide vältimiseks saaks 12 m pikkusest profiilist lõigata kaks pikitala. Sellest tulenevalt on kasti pikkuseks 6 m.

Kasti laiuse määramisel on oluline arvestada rataste laiust. Antud seos on oluline tagamaks haagise stabiilsus koorma maha laadimisel. Haagise rataste laius on omakorda seotud vedava traktori laiusega. Raba tingimustes töötamiseks on traktorile paigaldatud kolmikrattad, millest kaks on maapinnaga pidevalt kontaktis ning kolmandad väiksema diameetriga rattad rakenduvad pinnasesse vajumise korral. Rabas mõõdetud ettevõtte poolt kasutuses olevate New Holland T7.165S traktorite laius on eelnevalt mainitud ratastega on 3,6 m. Tagamaks haagise liikumise traktori rööbastes on projekteeritava haagise rehvide ning ühtlasi ka kasti laiuseks valitud 3,6 m.

Viimase mõõtmena on kasti kõrguse määramisel aluseks võetud nõutud ruumala 40 m^3 , haagise laius 3,6 m ja pikkus 6 m. Sellest tulenevalt on kasti kõrguseks 1850 mm.

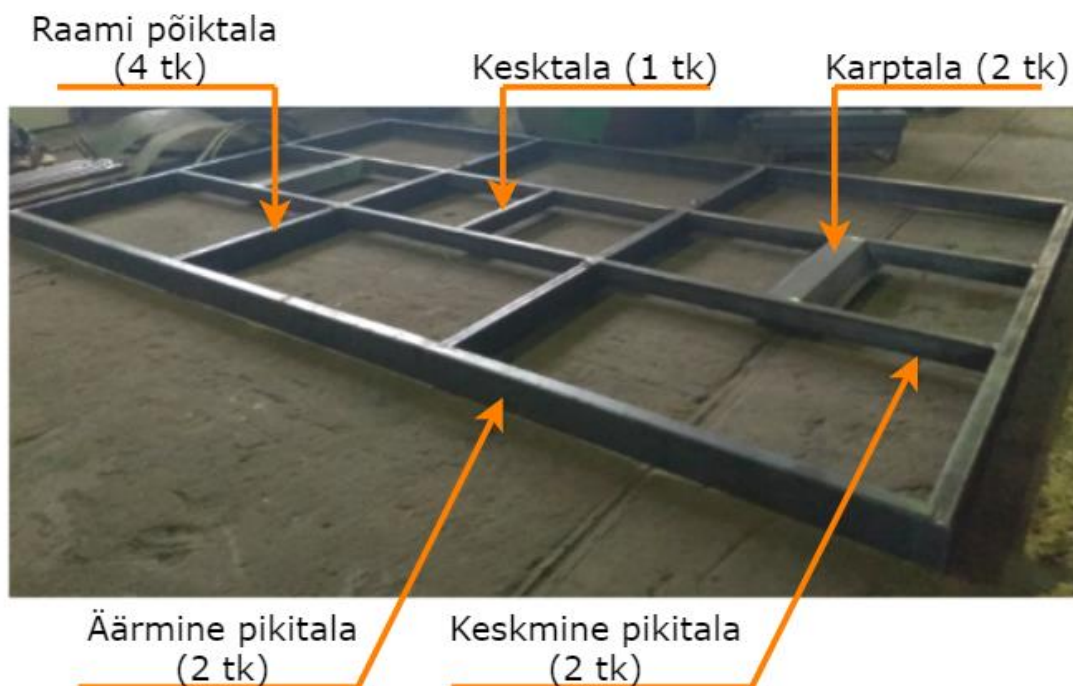
Projekteeritava kasti ülevaatlik mudel on esitatud seel 4.1. Vasakpoolne mudel kujutab kasti suletud küljeluukidega ning parempoolsel mudelil on luugid laadimiskõrguse muutmiseks ning tühjendamiseks avatud. Järgnevates punktides käsitletakse koostamisjärjekorrast lähtuvalt kasti olulisemaid alamkooste ning detaile.



Sele 4.1 Kasti mudel

4.1.1 Kasti põhi

Kasti koostamine algab põhjast. Peamist koormust kannavad kallutamise käigus põiktalad, mille profiiliks on valitud 160x80x6 nelikanttorud ning 120x60x6 nelikanttorudest valmistatud keskmised pikitalad. Kahel keskmisel raami põiktalal on teostatud pikitaladega hambumiseks lõiked. Äärmiste pikitaladena on kasutatud 160x70x4 painutatud nurkprofiile. Põhjus kasutada külgmiste profiilidena nelikanttorude asemel painutatud nurkprofiile tuleneb neile mõjuvast madalast koormusest kuna antud konstruktsioonelementide peamiseks eesmärgiks on tagada suuremat koormust kandvate profiilide otste jäikus. Selal 4.2 on esitatud kokku keevitatud kasti põhi.



Sele 4.2 Kasti põhi

Kasti kallutamiseks rakendub hüdrocilindrite jõud kasti põhjale keevitatud 8 mm paksustele kanditud karpidele (sele 4.3). Karbi kasutamise eeliseks on keevitatavate detailide vaheline pikem liitepind, mille läbi on võimalik hajutada pikitalades tekkivaid pingeid.



Sele 4.3 Karp silindri jõu üle kandmiseks

4.1.2 Eesmine ning tagumine sein

Kasti alamkoostude liitmisel keevitatakse esmalt haagise põhi kokku eesmise ning tagumise seinaga (sele 4.4). Raami eespoolne ning tagumine sein tagavad mitte liikuvate elementidena kasti jäikuse. Kasti seinte kandvad elemendid, milleks on äärmised talad on valmistatud 100x50x5 nelikanttorudest. Madalamat koormust kandvad profiilid on valmistatud 50x50x5 nelikanttorudest. Lisaks on kasutatud 50x50x5 L-profiile pikemate nelikanttorude jäikuse tagamiseks.



Sele 4.4 Kasti koostamise järgmine etapp

Eesmise ning tagumise seinaga täidetakse ka funktsionaalne nõue võimaldada ülevaadet haagise täituvusest ning ligipääsu tagamine haagise laadimiskõrguse muutmiseks ja hooldustöödeks kastis. Jälgitavuse tagamiseks on küljele paigaldatud 500 mm laiune võrk-rest. Võrgu valikul on oluline tagada võimalikult suur läbipaistvus samal ajal välistades turba läbipaiskumist. Sellest tulenevalt osutus valituks Lavinton P38 kandev võrk-rest, mille läbipaistvus on 41% [13]. Kasti koostamisel viimastena paigaldatavad võrk-rest ning katteplekid on esitatud punktis 4.1.3 seel 4.5. Kasti katteplekid on paigaldatud profiilidest sisse poole vältimaks turba jääkide kogunemist servade taha.

4.1.3 Kasti laadimiskõrguse muutmine

Pärast eespoolse ning tagumise seinaga kinnitamist paigaldatakse vasakpoolne külg. Kasti laadimiskõrguse muutmiseks on vasakpoolne külg projekteeritud kahes osas. Alumine osa on keevitatud kokku põhja ning eespoolse ja tagumise seinaga tagades kasti seinte jäikuse. Ülemine osa ühendatakse läbi hingede ning on avatav portelukkude kaudu [14]. Koostamisjärgus haagise vasak külg alla lastud portega on esitatud seel 4.5.



Sele 4.5 Laadimiskõrguse muutmist võimaldav luuk avatult

Küljeluuke fikseerivatele portelukkudele pääseb ligi mööda redeleid, mis on kinnitatud haagise eespoolsele ning tagumisele seinale. Kuna kasti laadimiskõrguse muutmine on vajalik vaid harva esinevatel hädaolukordadel, siis toote omahinna madalal hoidmiseks ei ole küljeluugi avamiseks ning sulgemiseks kasutatud hüdraulikat. Selle asemel kasutatakse luugi avamiseks sama laadurit, millega hakatakse kasti hiljem täitma. Laaduriga külje sulgemiseks on porte ülemisse äärde keevitatud aas. Luugi alla

liikumisel tekkiva võimaliku löögi summutamiseks on kasutatud pehmendavaid kummi amortid [15]. Haagise vasak külge on värvitult esitatud seel 4.6.



Sele 4.6 Haagise vasak külge värvitult

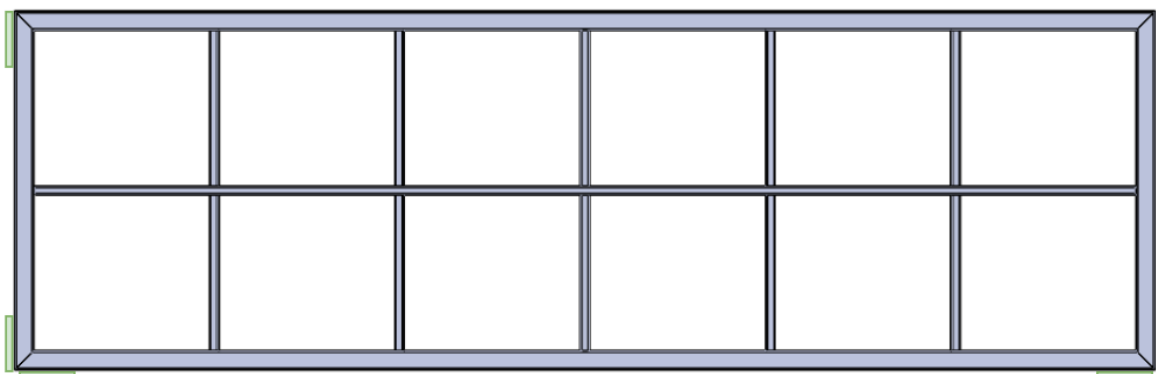
4.1.4 Kasti tühjendamine

Kasti tühjendamine toimub parempoolse hüdrauliliselt avatava küljeluugi kaudu. Külje tõstmine toimub läbi tõstmisraamistikku, millele mõjub hüdrosilindri poolt rakendatud jõud. Tõstmisraamistikku on keevitatud puks, mis ühendatakse sõrme kaudu vastavalt eespoolse või tagumise seinaga. Küljeluuk ning tõstmisraamistik on eraldi esitatud seel 4.7.



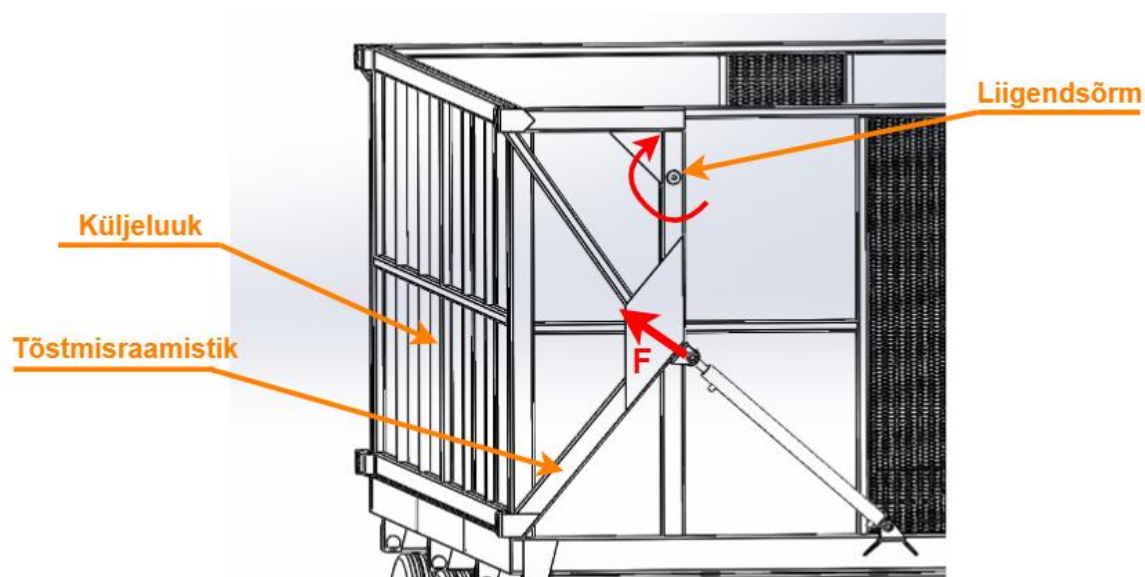
Sele 4.7 Küljeluuk ja tõstmisraamistik

Suuremõõtmeliste keevituskonstruktsioonide korral on oluline arvestada terase jahtumisest tingitud deformatsioonidega. Tagamaks hilisem tühjendusluugi tõrgeteta liikumine, toetatakse küljeluuk kastile paigutamise käigus ajutiselt 8 mm paksustele lappidele ning mõlemast luugi küljest jäetakse pitskruvidega kinnitatud plaatidega eespoolse ja tagumise seinaga 10 mm vahe. Plaatide paigutus on skemaatiliselt esitatud seel 4.8.



Sele 4.8 Vahelappide paigutus

Seejärel monteeritakse kastiga tõstmisraamistikud, mis esmalt fikseeritakse liigendsõrmedega ning seejärel keevitatakse kokku tõstetava luugiga. Luugi ning tõstmisraamistiku monteerimine kastile asetatult on oluline tagamaks tühjendusluugi hilisem tõrgeteta avanemine. Tühjendusluugi liikumise skeem on esitatud seel 4.9.



Sele 4.9 Tühjendusluugi liikumise skeem

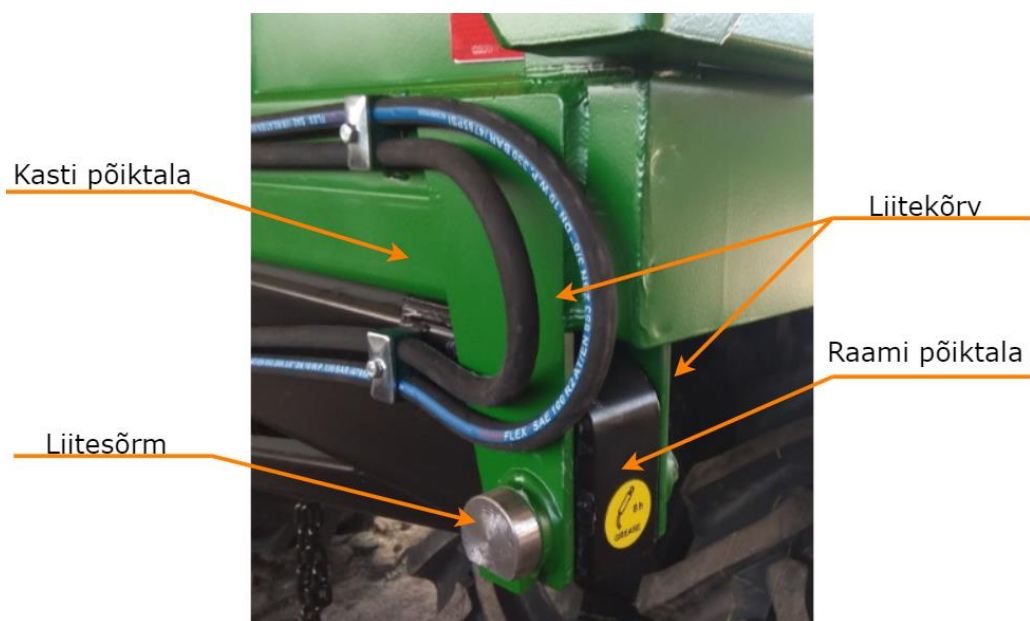
Küljeluugi tõstmiseks kasutatava silindri peamiseks valiku kriteeriumiks on sobiv käik. Vaja minevad silindrid on standardsetest mõõtudest erineva töökäigu tõttu valmistatud tellimuse järgi. Silindri kolvi läbimõõt on 50 mm, varre läbimõõt 30 mm ning töökäik 900 mm. Silindri paigaldusmõõt on 1120 mm. Seel 4.10 on esitatud värvitud kast paigaldatud hüdrosilindrite ning voolikutega.



Sele 4.10 Värvitud kast hüdrotsilindriga

4.1.5 Kasti liigendid

Kasti kallutamine toimub läbi seel 4.11 kujutatud liitekõrvade. Kahest kõrvast koosnevaid liigendeid on haagisel neli. Liitekõrvade monteerimiseks tõstetakse kast alapeatükis 4.2 käsitletava raami peale. Seejärel joondatakse kõrvad raamis paiknevate puksidega läbi liitesõrmede. Pärast joondamist keevitatakse kõrvad kokku kasti põiktaladega. Kirjeldatud valmistamisjärjestusega saavutatakse detailide joondumine ning ühenduvus ilma suuremate lõtkudeta, mis oleksid vajalikud liidetavate detailide ühilduvuse tagamiseks kõrvade varasemal monteerimisel.



Sele 4.11 Kasti liigend

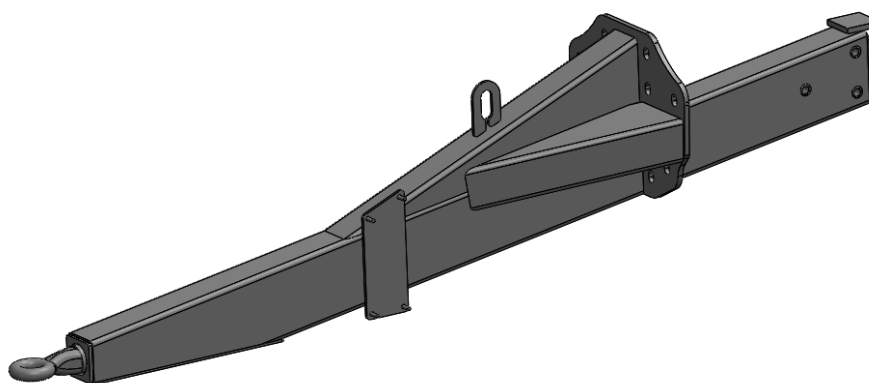
4.2 Raam ning tiisel

Järgnevalt on käsitletud haagise raami ning tiisli projekteerimist. Raami mudel on kujutatud seel 4.12. Raami peatalad on analoogselt kasti pikitaladega 6000 mm pikad. Peataladele on põiki paigutatud neli kasti tugitala, mille pikkus on määratud kasti laiussega.



Sele 4.12 Raami CAD mudel

Tagamaks nõutud transpordimõõtmed on tiisel projekteeritud lahtimonteeritavaks. Vaatamata asjaolule, et transpordi käigus on tiisel ning raam eraldi koostud on käesolevas töös parema jälgitavuse tagamiseks koondatud tiisel ning raam ühte alapeatükki. Tiisli ning raami paralleelne käsitlemine on oluline kuna tiisli koostamine toimub raamiga ühendatult. Tiisli mudel on esitatud seel 4.13.

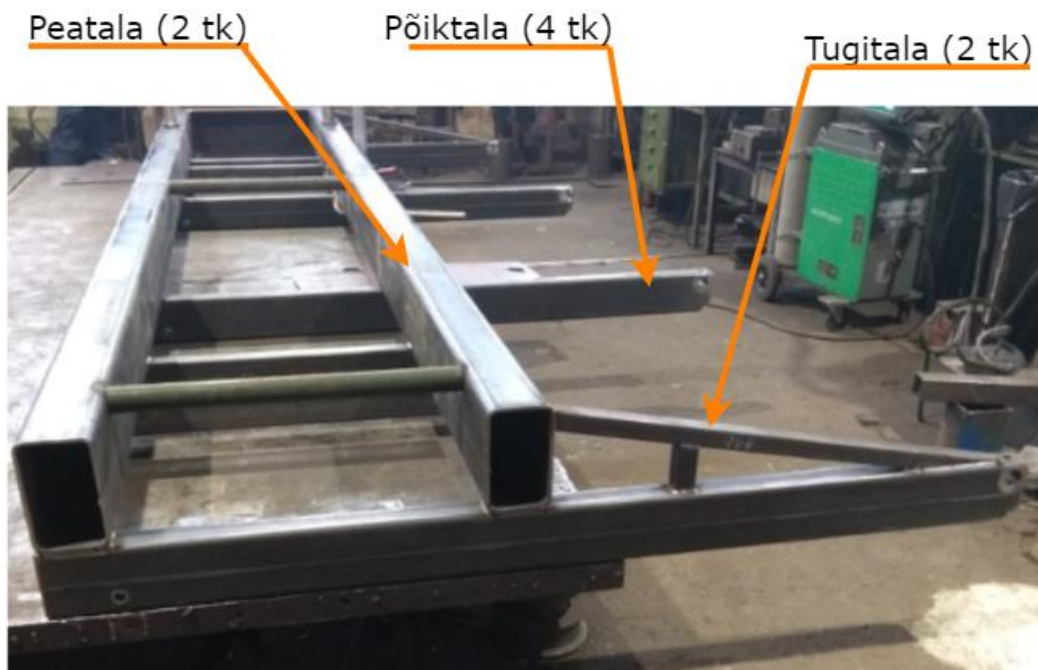


Sele 4.13 Tiisli CAD mudel

4.2.1 Raami peakonstruksioon

Raami koostamine algab 250x150x8 nelikanttorudest peatalade keevitamisega 160x80x6 põiktalade külge. Põiktalad on materjali kokkuhoidmiseks paigaldatud vaid

haagise tühjendusluugi poole kuna mõlemale küljele välja ulatuvate talade paigaldamiseks puudub funktsionaalne vajadus. Äärmised põiktalad on toetatud tugitaladega. Keskmistele põiktaladele pole tugiprofiile paigaldatud vältimaks olukorda, kus balansiiride kasutamise tõttu võib keerulisemate maastikutingimuste korral rehvid sattuda kontakti raamiga. Raami peakonstruktsioon keevitatakse parema koostatavuse jaoks põiktaladega allpool ehk ümberpööratult. Seejärel pööratakse konstruktsioon ümber. Antud lahendusega välditakse laeõmbluste kasutamist. Raami peakonstruktsioon ümberpööratult on esitatud seel 4.14.



Sele 4.14 Raami peakonstruktsioon

4.2.2 Veermiku kinnitus

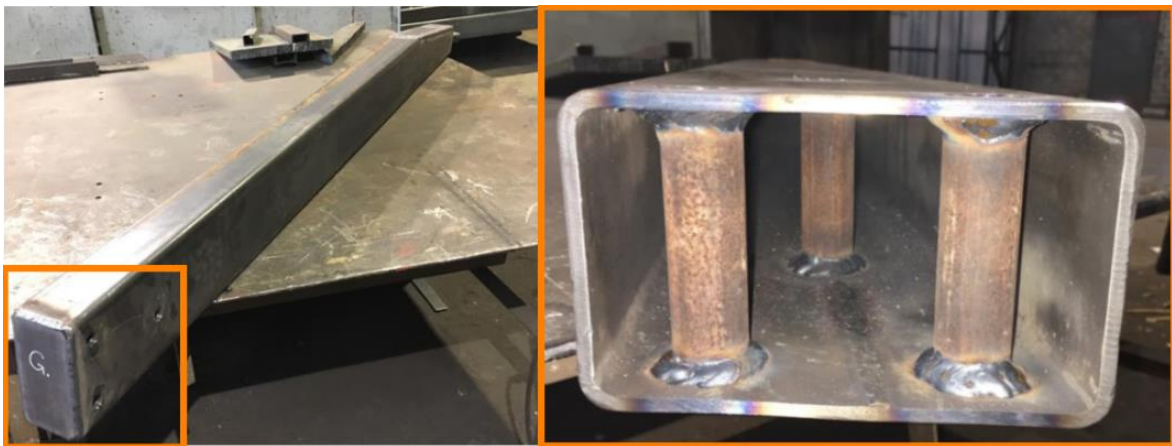
Järgnevalt keevitatakse peakonstruktsiooni külge balansiiride liitekõrvad (sele 4.15). Plasmaga lõigatud kõrvade keevitusel kasutatakse korkõmblusi. Haagisel kasutatav veermik on põhjalikumalt käsitletud alapeatükis 4.3. Kinnituskõrvade asukoht mõjutab oluliselt haagise maastikuläbivust kuna paigutades veermiku liialt haagise esiosa poole suureneb traktori rataste kohapeal läbilibisemise tõenäosus kuna traktori rattad mõjuvad maapinnale liiga väikese jõuga. Samas paigutades veermiku optimaalsest kaugusest liialt haagise tagaosas poole, hakkavad traktori tagarattad pinnasesse vajuma. Optimaalne kinnituskõrvade kaugus leitakse katsetamise teel ning saadud asukoht on sobilik vaid vastava massiga traktorile.



Sele 4.15 Veermiku liitekõrvade koostamine

4.2.3 Tiisli peatala

Järgnevalt on käsitletud koostamise järjekorrast lähtuvalt tiisli. Tiisli peatala on valmistatud 120x80x8 nelikanttorust (sele 4.16 vasakul). Peatala tagumise liite poolsesse otsa on keevitatud liitepuksid, mis on valmistatud 36.0x7.0 õmblusteta ümartorudest (sele 4.16 paremal). Tiisli ning raami liited on põhjalikumalt käsitletud alates punktist 4.2.5.



Sele 4.16 Keevitatud puksid

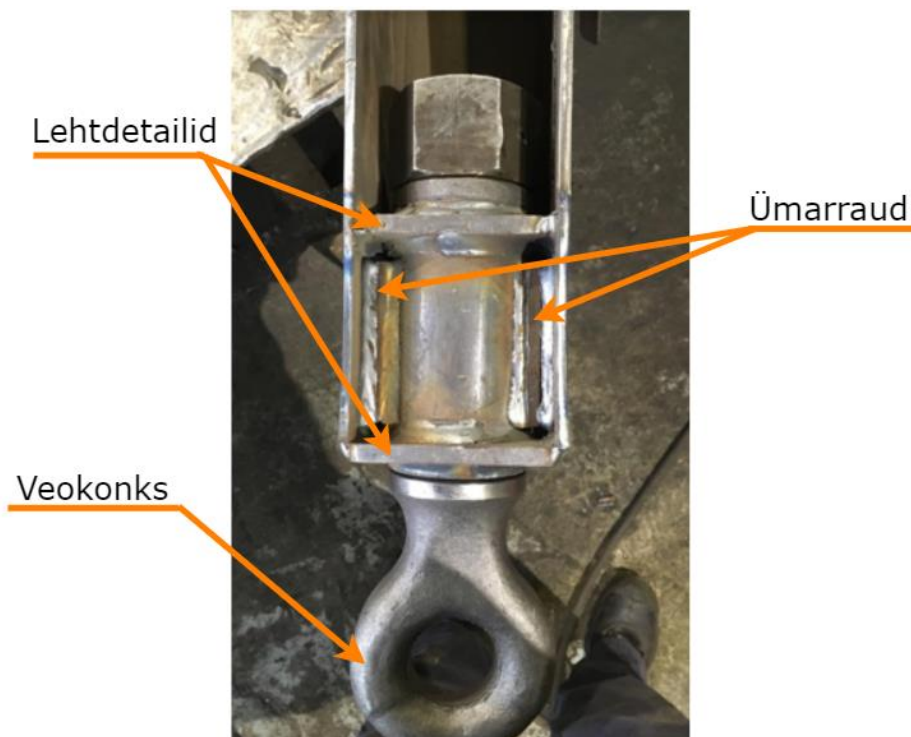
4.2.4 Veosilmus

Tiisli peatala teise otsa keevitatakse 25 T veosilmus, mille kaudu ühendatakse haagis traktori haakeseadmega [16]. Keevitatud veosilmus on esitatud seel 4.17. Veosilmuse kõrgus maapinnast on 700 mm. Keskmisest suurem veosilmuse kõrgus on oluline arvestades asjaolu, et rabas liikudes on haagise rehvid osaliselt pinnasesse vajunud.



Sele 4.17 Veosilmus

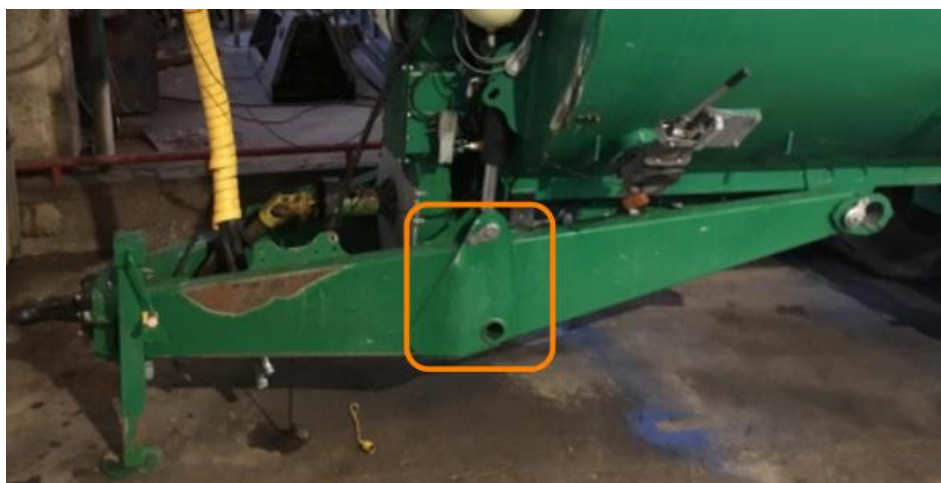
Järgnevalt on käsitletud veosilmuse kinnitumist tiisli külge. Tiisliga liitmisjärgus olev veosilmus on esitatud seel 4.18. Esmalt keevitatakse veosilmuse külge kaks lehtdetaili. Seejärel monteeritakse veosilmus lahti ning keevitatakse lehtdetailid tiisli peatala külge. Lahtimonteerimine võimaldab ligipääsu keevisõmbluste teostamiseks. Lisa pikiõmbluste jaoks keevitatakse 14 mm diameetriga ümarraud tiisli tala ja veosilmuse hülsi vahele. Seejärel monteeritakse veosilmus kokku ning keevitatakse tiisli peatalale põhjalapp. Veosilmuse aasa poolne lehtdetail ühendatakse põhjaplaadiga nurkõmblustega ning raami poolne lehtdetail korkõmblusega. Veosilmuse keevisõmbluste kontroll on esitatud alapeatükis 5.2.



Sele 4.18 Veosilmuse keevitus

4.2.5 Tiisli liide

Lahtimonteeritava tiisli liite projekteerimisel on oluline arvestada haagise nõudlikke töötingimusi. Teeliikluses osalevatel haagistel on sagedasti kasutatud lahendust, kus vedamisel tekkiv koormus mõjub ühele sõrmele. Näide antud lahendusest on esitatud remonti toodud virtsapüti näol selel 4.19. Püti kõrguse reguleerimine ning fikseerimine toimub läbi tiisli keskosas paikneva hüdrocilindri ning sõrme. Kirjeldatud liite eeliseks on vähene liidetavate detailide kogus ning kiire valmistatavus, mis on sobilik masstootmiseks.



Sele 4.19 Kinnitusnäide

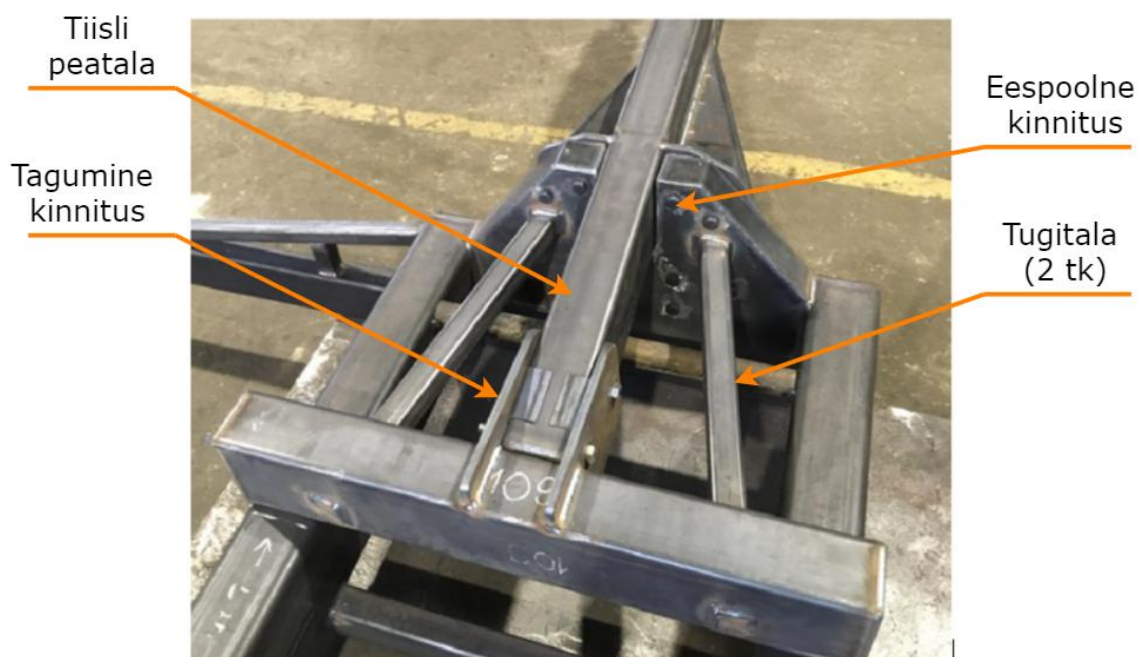
Käsitletava lahenduse puuduseks on tiisli kõrgust reguleerivas sõlmes tekkivad väsimuspraod, mis on tingitud liites olevatest lõtkudest. Selel 4.20 esitatud sõrme kinnituskoha purunemine on toimunud kahe hooajaga põllul töötades. Arvestades, et käesoleva töö käigus projekteeritav haagis läheb kasutusse teeliikluseväliselt nõudlikutesse maastikutingimustesse ning kasti tõstmine tiisli suhtes ei ole lähteülesandes nõutud, on antud lahendus mittesobiv.



Sele 4.20 Detaili purunemine

Tagamaks tiisli liite jäikuse on projekteeritaval kinnitusel kasutatud mitut poltliidet. Antud lahendus on valmistamise käigus küll ajamahukam nõudes suuremas mahus lõiketöötlust ning poldi pea jaoks vajalikku ristumise tagamist, kuid kuna tegemist ei ole masstootmisega, on antud lahendus valmistatavuselt aktsepteeritav. Lisaks arvestades, et ettevõtte põhiliseks tegevusvaldkonnaks on turba kaevandamine, võib lisakulutusi konstruktsiooni töökindlusesse käsitleda kui investeeringuid, mis tasuvad end ära tagades tõrgeteta kaevandamise tsükli.

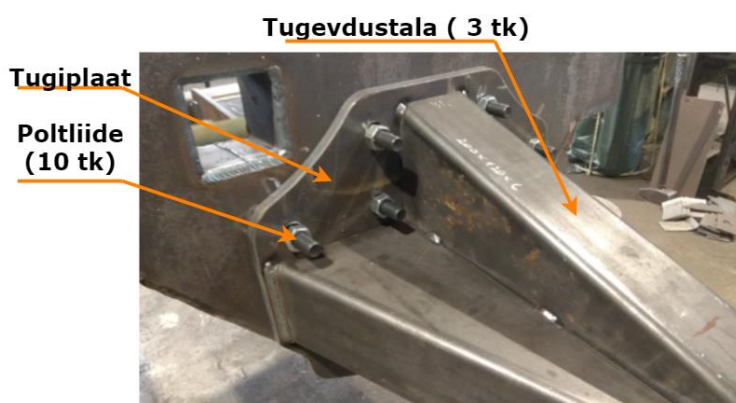
Põhjus eelistada poltliiteid treitud sõrmede asemel tuleneb ostutoodete kiiremast kättesaadavusest. Arvestades, et turba kaevandamine on ilmast sõltuv protsess, peab töö käigus esinevad tõrked olema kõrvaldatavad võimalikult lühikese ajaga. Samuti on poltliidet võimalik projekteerida lõtkuga tagamaks tiisli monteeritavus erinevate temperatuuride ning detailide kulumisastmete juures. Liidete rohkus tagab pingete ühtlasema jaotuse alusmaterjalis ning ohutuse olukorras, kus mõni polt võib olla purunenud. Lihtstatult saab tiisli kinnituse jagada kaheks. Eesmine peamiselt tõmbele töötav kinnitus ning tagumine, mille poldid kannavad peamiselt tiislile mõjuvat vertikaalkoormust. Liidete vahele on paigaldatud tugitalad, mis suurendavad raami esiosa jäikust. Selel 4.21 on esitatud koostamisjärkus tiisel ning raam altvaates.



Sele 4.21 Tiisli paigutus altvaates

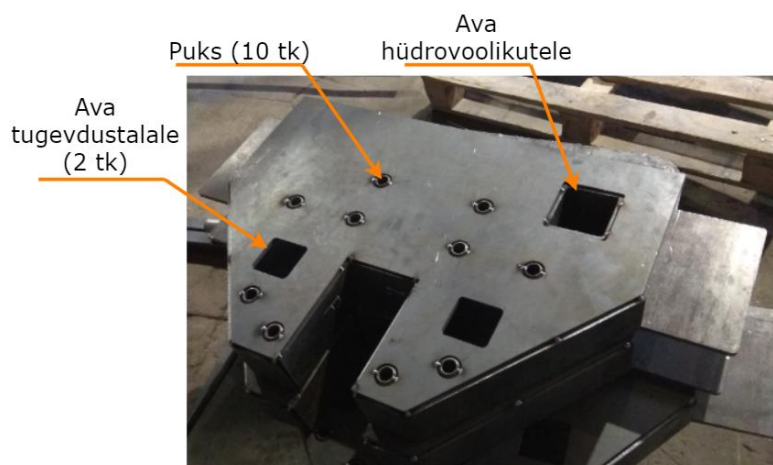
4.2.6 Tiisli eesmine liide

Tiisli eesmine liide on kinnitatud kümne DIN 931 10.9 M20 poldi [17] ning DIN 985 ZN 10 M20 Nylockmutriga [18]. Lähtuvalt poldi tugevusklassist on kasutatud seibe kõvadusega 300 HV [19]. Tiisli ühendusplaadi ning peatala toetamiseks on keevitatud tugedustalad. Arvestades tiisli pikkust on oluline, et keevisõmblused oleksid teostatud vaheldumisi mõlemalt küljelt vältimaks keevitusega kaasnevaid deformatsioone. Tiisli poltliite tugevusarvutus on esitatud punktis 5.3.1. Tiisli eesmine kinnitussõlm on esitatud seel 4.22.



Sele 4.22 Tiisli eesmine kinnitussõlm koostamisel

Raami tiisli eesmine liide (sele 4.23) keevitatakse peatalade külge. Koostu tugevuse tagamiseks ning tiisli kinnituspoltide paigaldamiseks on liite esi- ning tagaseina vahele keevitatud puksid, mis on valmistatud 31.8×6.3 mm õmblusteta ümartorudest. Koostu tagaseina on lõigatud avad tugedustaladele, mis suurendavad raami esiosa jäikust. Hüdrovoolikute vedamine toimub läbi 100x100x5 nelikanttoru, mis on paigaldatud sarnaselt puksidele.



Sele 4.23 Eesmine liide punktist

4.2.7 Tiisli tagumine kinnitus

Tiisli tagaosa on kinnitatud raami külge kolme DIN 931 10.9 M24 poldi [17] ning DIN 985 ZN 10 M24 Nylockmutriga [18]. Sarnaselt eespoolse liitega kasutatakse ka tagumises liites seibe kõvadusega 300 HV [19]. Haagise omamassist tingitud koormuse ülekandmiseks ning koostamise ajal tiisli kõrguse fikseerimiseks on tala tagaosale keevitatud paigaldusäär. Tiisli tagumine kinnitus on esitatud seel 4.24. Tiisli tagumise kinnituse tugevusanalüüs on esitatud punktis 5.3.2.



Sele 4.24 Tiisli tagumine kinnitus koostamisjärgus

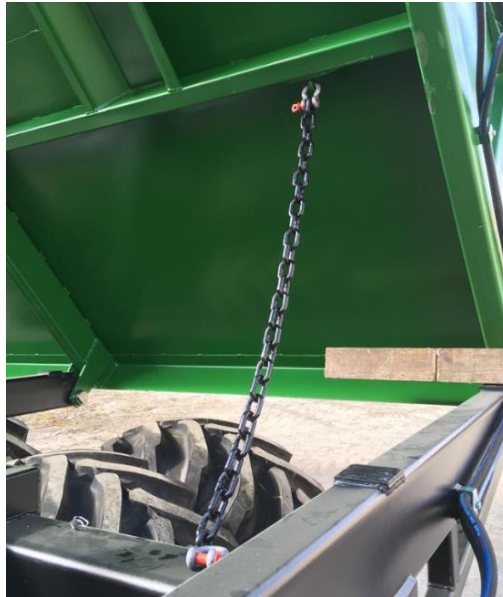
4.2.8 Kasti kallutamine

Kasti kallutavad kaks Trabiflexi kataloogist tüüp 3047 neljaastmelist teleskoopsilindrit. Silindri töökäik on 1510 mm. Kasti tõstmiseks vajalik silindri kaldumine tagatakse CULLA 3 kiigega ning kiik kinnitub raami peataladele toetuva põiktala külge SUP040 kronsteiniga [20]. Hüdrosilindri paigutus on esitatud seel 4.25. Tõstesilindri kontrollarvutus on käsitletud alapeatükis 5.4.



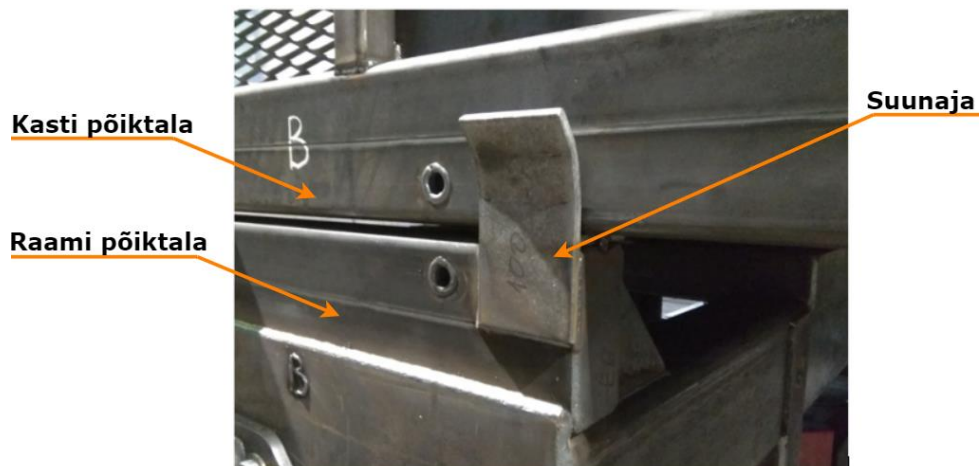
Sele 4.25 Teleskoopsilindri paigutus

Haagise projekteerimisel on oluline maandada kasti kallutamisega kaasnevaid riske. Neist üks ohtlikumaid on kasti ümberkukkumine olukorras, kus koorma mahalaadimine toimub ettenähtust suuremal kallakul. Selle vältimiseks on haagise esi- ning tagaosas kinnitatud raami ning kasti pikitalade vahele julgestuskettid, mis tagavad lisameetmena ohutuse hüdrotsilindrite kinnituste purunemise korral. Paigaldatud kett on esitatud seel 4.26.



Sele 4.26 Julgestuskett

Pikendamaks kallutusliigendite eluiga on raamile keevitatud kasti suunajad, mis tagavad kasti kallutamisele järgneva ettenähtud asendi. Suunaja paigutus on esitatud seel 4.27.



Sele 4.27 Suunaja

4.2.9 Tagumine haakekonks

Raami tagaosale paigutatakse haakekonks (sele 4.28). Tagumine haakekonks leiab rakendust olukorras, kus kinni jäänud haagisega edasiliikumine pole võimalik. Haagise välja saamiseks rakendub peamine jõud seda seni vedanud tagurdavalt traktorilt. Samal ajal haakekonksuga kõie kaudu ühendatud lisa traktori peamine funktsioon on haagise ettenähtud tagurdamise trajektoori hoidmine vältimaks võimalikest pinnase ebatasasustest tingitud haagise risti minekut. Kuna harva esineva rakendamise vajaduse tõttu pole haagise tagaosa erinevalt esiosast projekteeritud suuremale tõmbele vastu pidama on oluline, et veokonks puruneks enne raami deformeerumist. Samuti pole otstarbekas haakekonksu ning tagaosa tugevamaks projekteerimine kahe haagise samaaegseks vedamiseks kuna veetava koorma kahekordistumine ei kompenseeriks haagisega kinni jäämiste sageduse kasvu. Haakekonksu tugevusarvutus on esitatud alapeatükis 5.6.



Sele 4.28 Tagumine haakekonks

4.3 Veermik

Käesolevas peatükis on käsitletud haagise veermiku projekteerimist ning koostamist. Veermiku käsitlemist alustatakse sobiva tüübi valikuga. Seejärel antakse eraldi ülevaade olulisematest komponentidest.

4.3.1 Veermiku tüüp

Turbaveohaagistel kasutatakse peamiselt kahte tüüpi veermike lahendusi. Esimene lahendus on paigutada rattad ridamisi haagise kõhu alla. Antud lahenduse eeliseks on suurendatud kontakt rehvide ning maapinna vahel. Näide antud lahendust on esitatud seel 4.29.



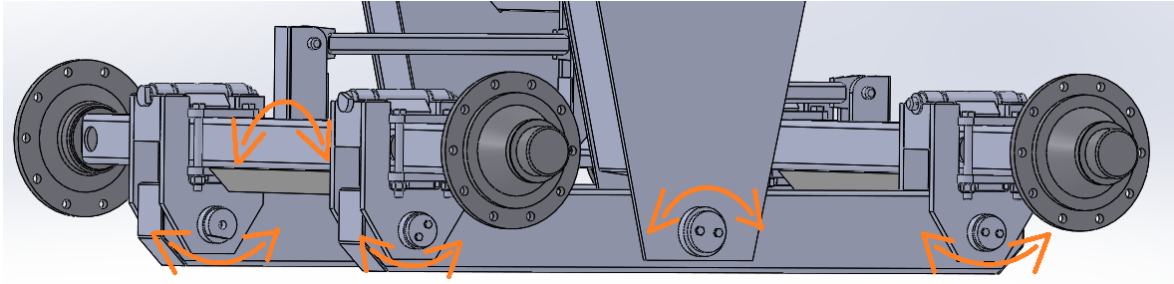
Sele 4.29 Ridamisi paigutatud rattad [11]

Teine levinud lahendus on kasutada raamist välja poole ulatuvaid paarisrattaid (sele 4.30). Takistuste sujuvamaks ületamiseks kasutatakse balansiire. Antud lahenduse peamiseks eeliseks võrreldes eelneva lahendusega on kergem remonditavus ning väiksem veeretakistus. Viimane on tingitud asjaolust, et ridamisi paigutatud rataste ette koguneb haagise vedu takistav turbavall. Paarisrataste korral on veeremist takistav vall väiksem.



Sele 4.30 Balansiiride kasutamine paarisratastega [21]

Vähendamaks haagise vedamiseks vaja minevat jõudu on eelistatud kasutada balansiiride ning topeltratastega lahendust. Kuna antud veermiku tüübi näol ei ole tegu ideeliselt tootearendusliku uue lahendusega, vaid tuntud ning kasutuses oleva põhimõtte sobitamisega projekteeritavale haagisele, siis veermiku käsitlemisel on piirdutud peamiselt detailide tugevuse tõestamisega. Telgede võimaldatud liikumised on esitatud seel 4.31. Veermiku detailide kinnitamiseks on kasutatud valdavalt poltliiteid ning sõrmi kiirendamiseks haagise hilisemat remonti ning hooldust.



Sele 4.31 Võimaldatud liikumised

4.3.2 Balansiir

Balansiiri talad on valmistatud 200x120x8 nelikanttorust, mille sisse on keevitatud puksid. Antud profiilide tugevusarvutus on esitatud alapeatükis 5.5. Balansiiri taladele on alumistesse äärtesse lõigatud 70x70 nurgad tagamaks ligipääsu pukside keevitamiseks. Pärast pukside paigaldamist keevitatakse profiilidele otsalapid. Kuna balansiiri tala on veermiku kõige madalam osa, soodustavad lõigatud nurgad ka maastikuläbivust. Nelikanttorudega ühendatud veorummude omavahelise liikumise tagavad liigendkoostud. Täpsem veorummude käsitus on esitatud punktis 4.3.3. Koostatud tandemteljed on esitatud seel 4.32.



Sele 4.32 Tandemteljed

4.3.3 Veorummud

Veorummude valikul tuleb arvestada haagise massi ning lubatud kiirusega. Koormatud haagise lubatud suurimaks kiiruseks on ettevõtte poolt antud 20 km/h ning koormamata haagise korral on lubatud kiiruseks 30 km/h. Koormatud haagise mass ilma ratasteta on 21 520 kg ning koormamata haagise mass ilma ratasteta on 5 520 kg. Veorumme on kokku neli ehk koormatud ning koormamata haagise korral jääb ühele rummule kanda vastavalt 5 380 kg ning 1 380 kg.

Teiseks tuleb käsitleda pidurite kasutamise vajalikust. Arvestades, et turbarabade näol on tegemist tasaste aladega, kus pinnas takistab pidevalt haagise liikumist, on eelistatud kasutada piduriteta haagist. Tuleohutusnõuete tagamisel on oluline arvestada, et pidurite näol on tegu lisa elemendiga mille kuumenemine võib viia rabas põlenguni. Samuti pole antud haagisel kasutatud omahinna madalal hoidmiseks rummusisest vedu ega ka hüdrokäppasid.

Haagiserummu valikul on eelistatud kasutada ettevõttes juba kasutuses olevaid ostutooteid. Eelnevatest tingimustest tulenevalt osutus valitus ADR 100 mm haagiserumm. Tootja poolt garanteeritud ühe rummu lubatud kantav mass ei tohi kiirusel 25 km/h ületada 6000 kg ning kiirusel 40 km/h 5750 kg [22]. Veorummud on omavahel liidetud läbi korkõmbluste nelikanttorudega. Lisaks kinnituvad nelikanttorude külge tõmmitate liitekõrvad. Ühendatud poolteljed on esitatud seel 4.33.



Sele 4.33 Poolteljed ühendatult

4.3.4 Rataste paigutus

Haagisele paigaldatakse neli topeltratast ehk kokku kaheksa ratast. Rataste paigutus on esitatud seel 4.34. Põhjus kasutada üksikute laiade rehvide asemel paarisrehve tuleneb eelnevalt käsitletud haagise liikumist takistavast rataste ette kogunevast turba kuhjast. Lähtudes ettevõttes töötavate traktoristide kogemusele, tekib sarnaselt neljase reana paigutatud ratastega ka üksikute laiade rehvide ette suurem liikumist takistav kuhi. Paarisrataste korral on rehvide vahele jääv tühimik lisa sooneks rehvide ette koguneva turba ära voolamiseks. Liikumist takistava kuhja vähendamisega saavutatakse vedava traktori madalam kütusekulu, väiksem tõenäosus haagise kinnijäämiseks ning madalamad pinged haagise ja traktori konstruktsioonile.



Sele 4.34 Rataste paigutus

4.3.5 Rehvid

Rehvide valik on haagise läbivust üks enim mõjutavaid faktoreid. Valides liiga suure diameetriga rehvid, tõuseb haagise raskuskese kallutamise ajal ohtlikult kõrgele. Teisest küljelt liiga madalate rehvidega väheneb haagise kliirens, mis on oluline parameeter haagise läbivuse tagamisel. Lisaks on oluline arvestada ka ettevõtte poolset nõuet eelistada kaevanduses juba kasutuses olevate seadmete rehve eesmärgiga vähendada laos hoitavate varuosade hulka. Sellest tulenevalt paigaldatakse projekteeritavale mudelile Voltyre 21,3 R 24 DR-108 Tyrex-Agro TT põllumajandusrehvid (Sele 4.35) [23].

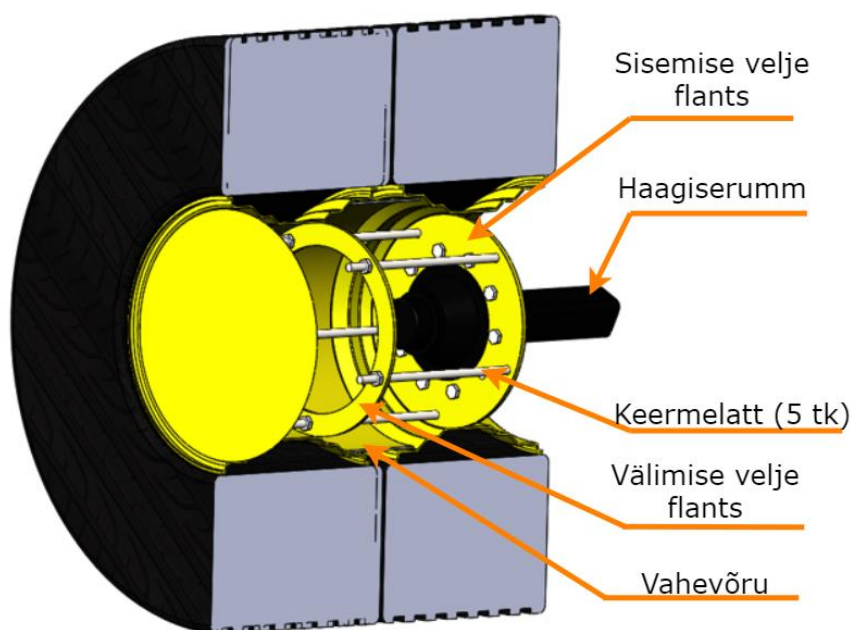


Sele 4.35 Voltyre 21,3 R 24 DR-108 Tyrex-Agro TT

4.3.6 Veljed

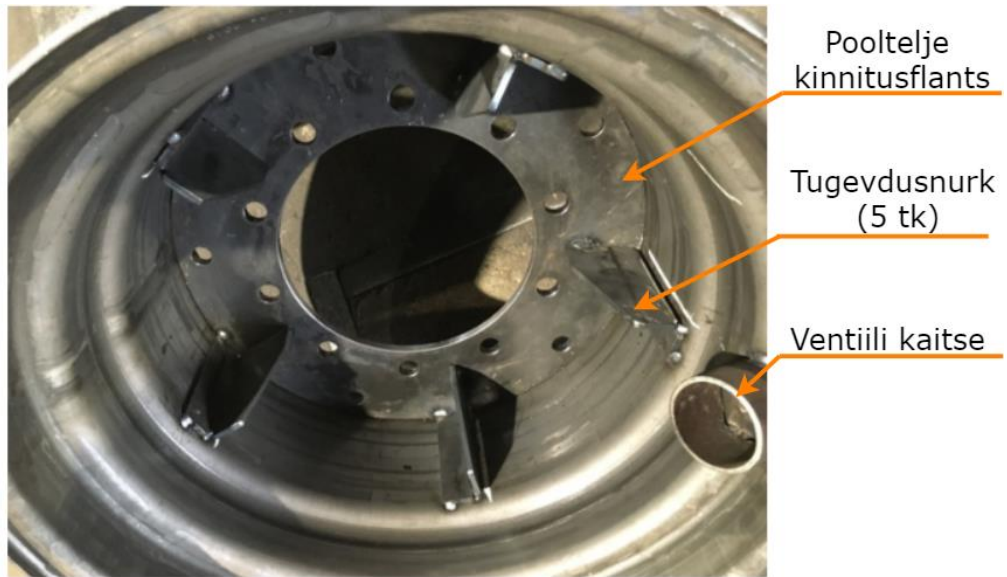
Rehvid paigutatakse DW18Lx24 velgedele [24]. Seel 4.36 on esitatud paarirataste sisu mudel. Raami poolsete velgede sisse keevitatakse flants, mille sisemise kontuuri ning avadega fikseeritakse veorumm. Flants keevitatakse võimalikult velje äärde vähendamaks detailile tekkivat pinget. Flantsi välimisi avasid kasutatakse paarirataste ühendamiseks. Paarirataste vahele paigaldatakse vahevõru. Rataste ühenduseks keevitatakse ka välimisele veljele flants. Flantside liitmiseks saetakse 8.8 M20

keermelatt [25] 500 mm pikkusteks detailideks. Keermelati ühele poolele keeratakse ning seejärel keevitatakse kinni M20 mutter [26]. Teisele poolele keeratakse M20 Nylock mutter [27] velgede omavaheliseks fikseerimiseks. Velgede ning vahevõru paika saamiseks sõidetakse haagisega kaheksa kujulist trajektoori ning seejärel pingutatakse kinnitusmutrid üle. Rataste sissesõitmisprotsessi korratakse kolm korda. Seejärel kinnitatakse kallutava külje ratastele katted vältimaks maha laaditava turba sattumist velje sisemusse. Vasakpoolsetele velgedele katteid ei paigaldata kuna 640 mm sisediameetriga veljed on 1400 mm diameetriga rehvide läbi sõidu ajal piisavalt kõrgel, et vältida suuremat mustuse kogunemist. Samuti võimaldab katte mitte paigaldamine kiiremat liite visuaalset kontrolli ning rehvi rõhu mõõtmist.



Sele 4.36 Paarisrataste sisu mudel

Raami poolsetele velgedele keevitatakse sisse lisa tugevdusnurgad, mis on esitatud seel 4.37. Tugevdusnurkade paigaldamisel on oluline vältida üleliigsetest keevisõmblustest tingitud lisapingeid. Selle tõttu on painatud tuginurgal paindeserv jäetud velje külge keevitamata. Tuginurkade kõrgust piiravaks mõõtmeks on nende vahel paikneva pooltelje diameeter. Ventili kaitseks on keevitatud velje sisule 76,1x4 ümartoru.



Sele 4.37 Raami poolse velje sisu

4.4 Tugijalg

Tiislile on paigaldatud poltliitega ühendatav reguleeritava kõrgusega tugijalg (Sele 4.38). Tugijala kinnitamisel on kasutatud nelja M10 10.9 polti [17]. Põhjendus projekteerida tugijalg eemaldatavana tiislist on käsitletud ülesande püstituse alapeatükis 1.2. Tugijala kõrguse reguleerimine toimub läbi M30 trapets keermelati [39] ning trapetskeermega mutri [40]. Laagriks on kasutatud SKF 51106 tugilaagrit [28]. Kuna rabas pole pehme pinnase tõttu tugijala kasutamine võimalik, on tugijalg projekteeritud kasutamiseks vaid tühja kasti korral hooldusalas.



Sele 4.38 Tugijalg

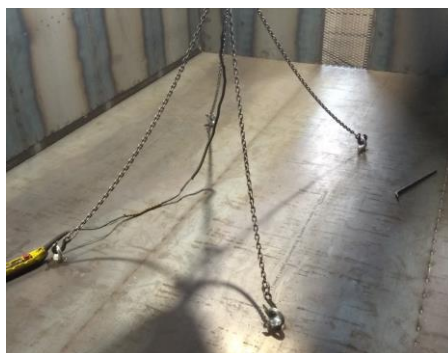
4.5 Transportimine

Lähteülesandes määratud pikkusmõõtme tagamiseks on tiisel transpordiks raamist lahtimonteeritud. Samuti eemaldatakse haagiselt paarisrattad ning haagis toetub balansiiri taladele tagades sellega konstruktsiooni stabiilsuse transpordi ajaks. Raami esiosa toetamiseks on projekteeritud transpordi tugipukid, mille valmistamiseks on utiliseerimisele mineva materjali koguse vähendamiseks kasutatud haagise detailide tootmisjääke. Näiteks on transpordi tugipuki põhi valmistatud velgede flantside lõikusel tekkinud jääkidest. Tugipukid on esitatud seel 4.39.



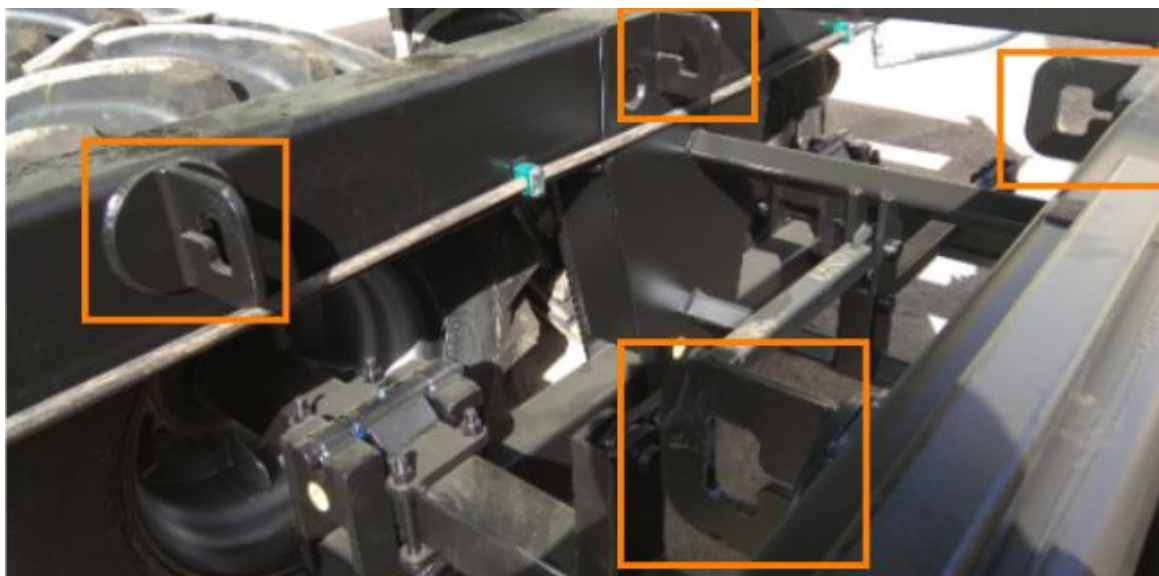
Sele 4.39 Tugipukid

Raami ning kasti on võimalik vastavalt vajadusele transportida nii koos kui eraldi. Haagise laadimiseks ning monteerimiseks kasutatakse kraanasid või soos olevaid ekskavaatoreid. Kasti teisaldamiseks on koostu põhja keskmistesse põiktaladesse puuritud avad, millesse on keevitatud keermestatud puksid DIN 580 M27 aaspoltide kinnitamiseks. Kasutatavate tõsteasade lubatud töökoormus on 2500 kg [29]. Tõstesilmuste kasutamisel on oluline arvestada, et kraana kett-troppide tõstenurga vähenemisega langeb ka lubatud töökoormus, mille tõttu on minimaalseks lubatud troppide kaldenurgaks 70 kraadi. Tõstesilmuste kasutamine tootmise käigus on esitatud seel 4.40.



Sele 4.40 Tõstesilmused

Raami tõstmiseks on peatalade siseküljele keevitatud neli tõstekõrva. Tõstekõrvad on kujutatud seel 4.41.



Sele 4.41 Tõstekõrvad

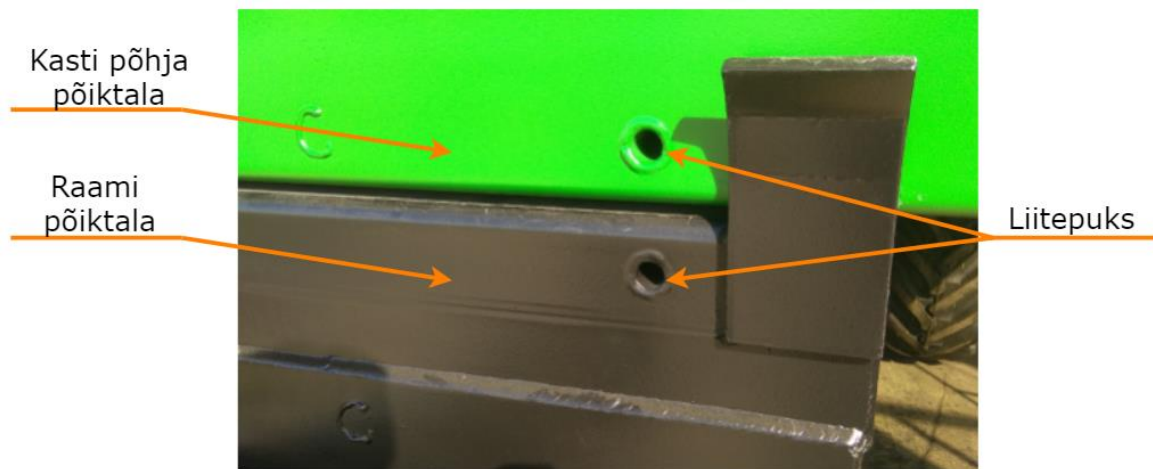
Tiisli teisaldamise ning monteerimise jaoks on oluline arvestada koostu massiga. Kuna tiisli mass on käsitsi teisaldamiseks liiga suur, on tiisli massikeskmesse keevitatud tõste aas, mille kaudu on koostu võimalik kraana või ekskavaatoriga teisaldada. Antud lahendus võimaldab minimeerida ka monteerimiseks vajamineva personali hulka kuna raskuskeskmesse paigaldatud tõsteaas tagab tiisli monteerimiseks sobiva stabiilse asendi ilma kõrvalise abita. Tõsteaasa kasutamine on kujutatud seel 4.42.



Sele 4.42 Tõsteaasa kaudu tõstetud tiisel

Võimaldamaks haagise ja kasti teisaldamist on mõlema koostu põiktaladesse puuritud avad, kuhu on keevitatud 31.8×6.3 mm õmblusteta ümartorudest puksid (sele

4.43). Läbi pukside paigutatud M20 poltidega saab liitekõrvu kasutades fikseerida omavahel kasti ning raami. Liitekohti on kokku neli.



Sele 4.43 Liitepuks

4.6 Materjalide valik

Haagise valmistamisel on kasutatud S355 J2 terasprofiile. Löögisitkus J2 ehk 27 J -20°C juures on oluline arvestades, et haagis peab olema sobilik ka talvel kasutamiseks. Erandiks on kasti katteplekid, mis on valmistatud neile mõjuva vähese koormuse tõttu S235 J2 terasest.

4.7 Värvimine

Enne värvimist puhastatakse pind abrasiivosakestega. Haagise värvimisel on kasutatud kahekomponentset epoksüüdvärvi Temacoat RM-40. Antud värvi eeliseks on vastupidavus keemilisele koormusele ning uputusele, mis on oluline turbast tingitud happelises keskkonnas [30]. Värv kantakse haagistele värvipritsiga. Kuna katteplekid on eelnevalt keevitatud kasti raamistiku külge katkendõmblustega, jäävad profiilide ning plekkide vahele alad kuhu värv ei pääse. Kaitsmaks antud piirkondi korrosiooni eest kantakse katteplekkide ning profiilide vahelistesse nurkadesse silikooni.

4.8 Valminud haagis

Enne haagiste saatmist rabadesse kontrollitakse haagise hüdraulika ühendusi ning olulisemate sõlmede liikumisi. Seledel 4.44 ning 4.45 on esitatud valminud haagis.

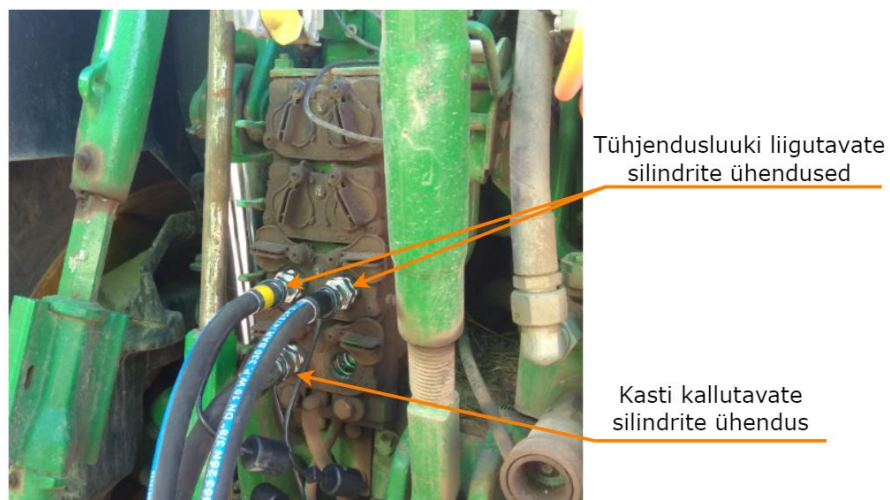


Sele 4.44 Valminud haagis



Sele 4.45 Haagis tõstetud tühjendusluugiga

Haagise ning traktori hüdroosüsteemid liidetakse 1/2" kiirühendustega. Ühendused on esitatud seel 4.46.



Sele 4.46 Hüdraulika ühendused

5 ARVUTUSED

Käesolevas peatükis on käsitletud haagise projekteerimisega seotud arvutused. Peamine rõhk on haagise tugevusarvutustel, kus esmalt määratakse peamised ohuolukorrad ning leitakse neis tekkivad jõud. Seejärel arvutatakse lähtudes eelnevalt leitud jõududele olulisemates sõlmedes tekkivad pinged. Pärast pingete arvutamist leitakse varutegur ning hinnatakse selle sobivust arvestades sõlmele rakenduva koormuse iseloomu. Tugevusarvutuste järel teostatakse toote omahinna arvutus.

5.1 Tiislile mõjuvad jõud

Järgnevalt on leitud tiislile mõjuvad jõud. Arvestades, et tiisel on ohutuse aspektist haagise üks vastutusrikkamaid kooste, on maksimaalse jõu leidmisel käsitletud mitut võimalikku koormusolukorda. Esmalt arvutatakse haagise kiiruse muutumisel esinevad jõud. Neist kõige ohtlikum on äkkpidurdus. Seejärel käsitletakse kinni jäänud haagise väljatõmbamisel esinevaid jõude. Lisaks viiakse läbi vertikaalkoormuse leidmine.

5.1.1 Pidurdamisel tekkiv jõud

Arvutuste käigus tuleb arvestada, et töö haagisega toimub rabatingmustes, kus kiirendused ning äkkpidurdused esinevad harva. Samuti on haagise liikumine pinnase poolt pidevalt takistatud, mis vähendab traktori pidurdamise korral veosilmuse ning haakeseadme vahel tekkivat jõudu. Arvutuste käigus määratakse esmalt haagise tühimass ning koorma mass. Haagise mass rehvidega on 7120 kg. Koorma massi arvutamisel on lähtutud kuiva freesturba tihedusest 400 kg/m³ [31]. Arvestades, et haagise kasti mahtuvus on 40 m³ on arvutuslik koorma mass:

$$m_{koorem} = V_{kast} * \rho_{kt} = 40 * 400 = 16\ 000\ \text{kg}, \quad (5.1)$$

kus m_{koorem} – koorma mass, kg,

V_{kast} – kasti ruumala, m³,

ρ_{kt} – kuiva turba tihedus, kg/m³.

Arvutuste käigus kasutatakse kuiva turba tihedust kuna enne haagisele laadimist on turvas freesimisjärgselt maapinnal kuivanud ning seejärel pneumaatilise kogujaga korjatud ja väiksematesse aunadesse veetud, mille käigus on turba veesisaldus vähenenud. Haagise projekteerimine 40 m³ märja turba veoks ei oleks otstarbekas kuna suurema haagise massiga saheneks haagise kinnijäämine. Selle tõttu laaditakse

niisketes oludes turba veo ajal haagis pooleldi täis ehk veetakse korraka 20 m³ turvast. Järgnevalt on leitud haagise täismass:

$$m_{kogu} = m_{koorem} + m_{haagis} = 16\,000 \text{ kg} + 7120 \text{ kg} \approx 23\,120 \text{ kg}, \quad (5.2)$$

kus m_{kogu} – haagise täismass, kg,

m_{haagis} – haagise tühimass, kg.

Lähtuvalt nõuetest peab kiirusel kuni 30 km/h masinrongi pidurdustõhusus olema vähemalt 3,2 m/s² [32]. Ohutuse tagamiseks võetakse koormuse arvestamisel aeglustuseks 4 m/s². Sellest tulenevalt saame tiislile mõjuvaks jõuks:

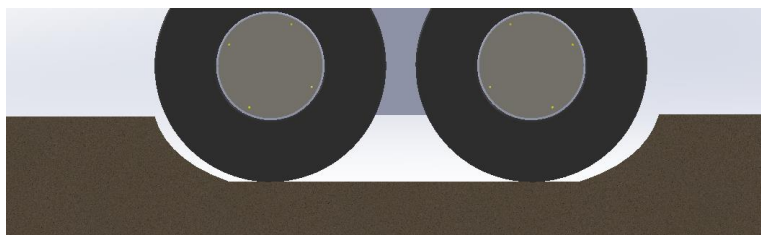
$$F_{tiisel} = m_{kogu} * a = 23\,120 * 4 = 92\,480 \text{ N} \approx 93 \text{ kN}, \quad (5.3)$$

Kus F_{tiisel} – tiislile mõjuv jõud, N,

a – kiirendus, m/s².

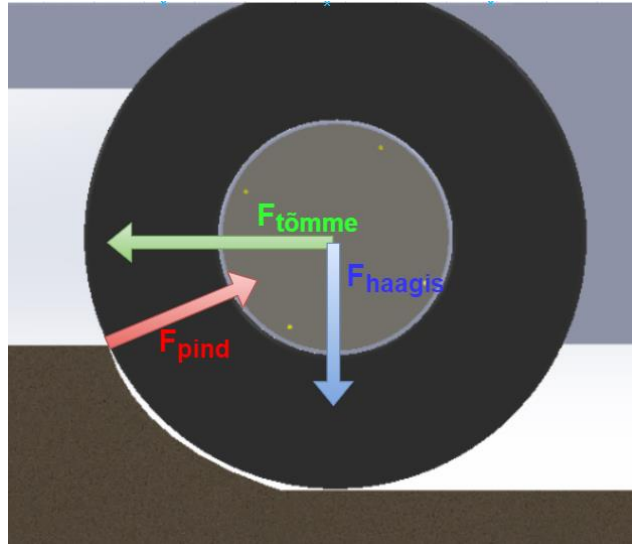
5.1.2 Haagise väljatõmbamine

Järgmine käsitletav olukord on haagisega kinnijäämine. Juhul kui haagist pole võimalik vedava traktori poolt välja tõmmata laaditakse koorem maha ning sagedasti kasutatakse lisatraktorit kuna lisaks haagisele on ka traktor sügavamale kaevunud. Tihti on enne lõpliku välja tõmbamist haagise edasi-tagasi liikumise tulemusel tekkinud kokku pressitud seintega rööpad (sele 5.1). Arvutuses kasutatavaks rööpa sügavuseks on 410 mm, mis on balansiiride kõrgus rehvide ja maa kokkupuutepinnast.



Sele 5.1 Tekkiva rööpa skeem

Kuna rööpa lõppu tekkinud tõus võib olla väiksema raadiusega kui ratas ning pinnases võib olla kände või juuri, siis on käsitletud olukorda, kus ratast on vaja vedada üle rööpa ülemise serva. Tekkinud takistusest üle sõitmiseks peab haagist tõmbavast jõust tingitud moment ületama haagise raskusest tuleneva momendi (sele 5.2).



Sele 5.2 Väljatõmbamisel esinevad jõud

Haagist väljatõmbava momendi komponendid on kujutatud selel 5.3. Järgnevalt on esitatud haagise väljatõstmiseks vajalik moment:

$$M_{välja} = F_{tõmme} * H_{vahe} = F_{tõmme} * (R_{Ratas} - H_{rööbas}), \quad (5.4)$$

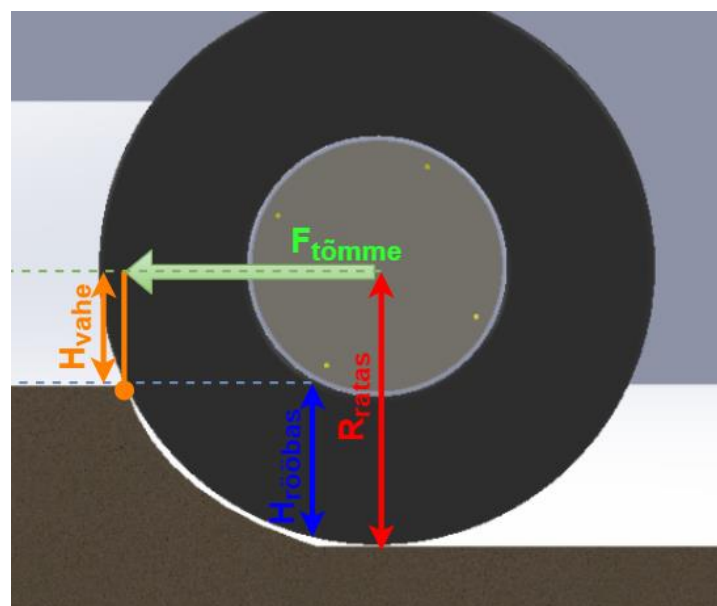
kus $M_{välja}$ – haagist väljatõstev moment, Nm,

$F_{tõmme}$ – haagist tõmbav jõud, N,

H_{vahe} – ratta keskkoha kõrgus servast, mm,

R_{Ratas} – ratta raadius, mm,

$H_{rööbas}$ – rööpa kõrgus, mm.



Sele 5.3 Haagist väljatõstva momendi komponendid

Haagist rööpas hoidva momendi komponendid on kujutatud seel 5.4. Haagist rööpas hoidev moment on esitatav kujul:

$$M_{rööpas} = F_{haagis} * L_{õlg} = m_{tühi} * g * \sqrt{R_{ratas}^2 - H_{vahe}^2} =$$

$$= m_{tühi} * g * \sqrt{R_{ratas}^2 - (R_{Ratas} - H_{rööbas})^2} \quad (5.5)$$

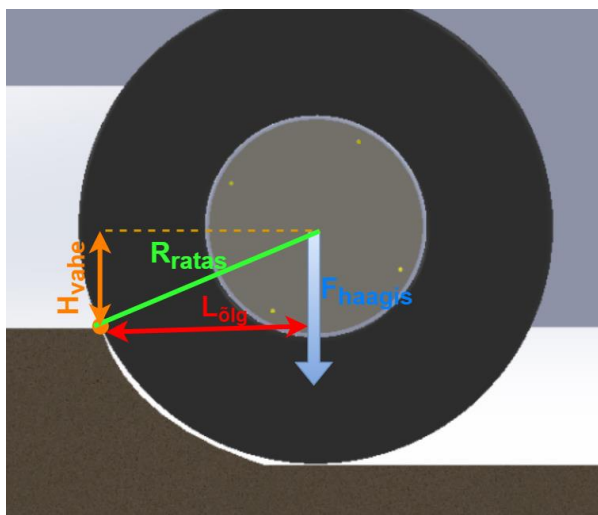
kus $M_{rööpas}$ – haagist rööpas hoidev moment, Nm,

F_{haagis} – haagise tühimassist tulenev jõud, N,

$L_{õlg}$ – rööpas hoidva momendi õlg, mm,

$m_{tühi}$ – haagise tühimass, kg,

g – raskuskiirendus, m/s².



Sele 5.4 Haagist rööpas hoidva momendi komponendid

Eelneva põhjal on koostatud tasakaaluvõrrand:

$$M_{välja} = M_{rööpas} \quad (5.6)$$

$$F_{tõmme} * (R_{Ratas} - H_{rööbas}) = m_{tühi} * g * \sqrt{R_{ratas}^2 - (R_{Ratas} - H_{rööbas})^2}, \quad (5.7)$$

Seega haagise välja tõmbamiseks vajaminev jõud peab ületama:

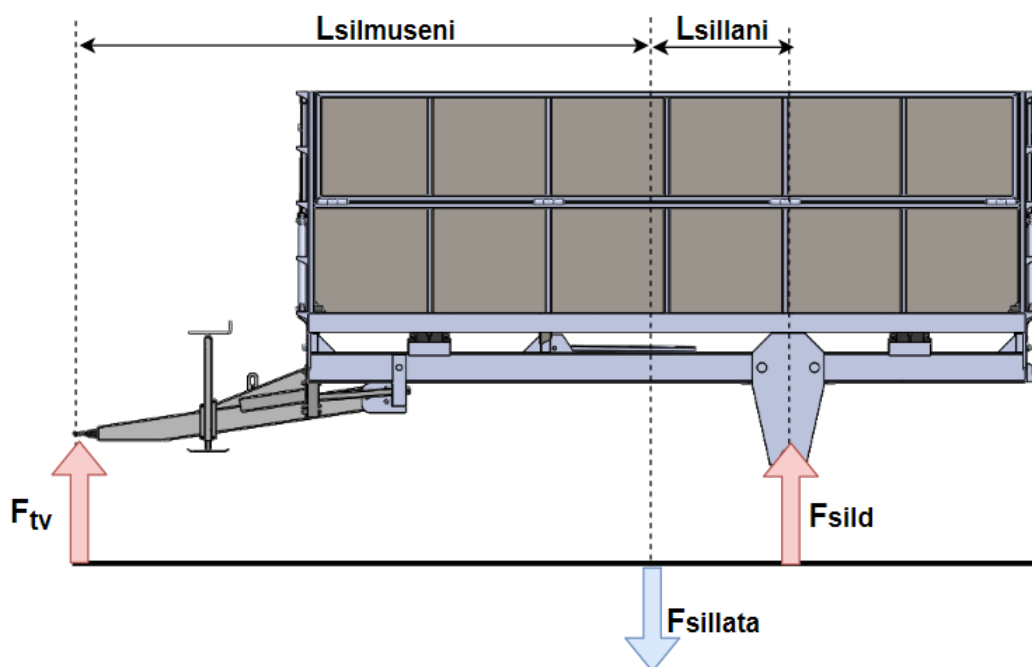
$$F_{tõmme} = \frac{m_{tühi} * g * \sqrt{R_{ratas}^2 - (R_{Ratas} - H_{rööbas})^2}}{R_{Ratas} - H_{rööbas}} = \frac{7120 * 9,81 * \sqrt{710^2 - (710 - 410)^2}}{710 - 410} =$$

$$= 149\,824 \text{ N} \approx 150 \text{ kN} \quad (5.8)$$

Kinni oleva haagise ning vedava traktori kõrguste erinevusest tingitud lisa tõmbejõudu pole antud arvutuse käigus arvestatud kuna vedav traktor on kinni jäämise korral samuti pinnasesse vajunud. Käsitleva olukorra esinemise tõenäosus on väike kuna valdavalt on haagise rööpast väljatõmbamine võrreldav järsust nõlvast üles sõitmisega, mitte astme ületamisega. Ohutuse tagamiseks on järgnevates arvutustes võetud tõmbejõuks 150 kN.

5.1.3 Vertikaalkoormus

Peamine haagise massist tingitud vertikaaljõudude jaotus on esitatud seel 5.5. Haagise mass mõjub kahte punkti. Valdav enamus haagise massist mõjub rataste kaudu maapinnale ning osa koormusest mõjub veokonksu kaudu traktori haakeseadmele.



Sele 5.5 Vertikaaljõudude jaotus

Esmalt on leitud jõud, millega haagise mass mõjub balansiiridele ning haakeseadmele. Järgneva arvutuse jaoks on veermiku mass lahutatud haagise täismassist:

$$F_{sillata} = (m_{koorem} + m_{sillata}) * g = (16000 + 4420) * 9,81 = 200\,320 \text{ N}, \quad (5.9)$$

kus $F_{sillata}$ - veosilmuse ja balansiiride poolt kantav jõud, N,

$m_{sillata}$ - haagise mass ilma veermikuta, kg,

g - raskuskiirendus, m/s^2 .

Järgnevalt on leitud veosilmusele mõjuv vertikaaljõud:

$$F_{tv} = F_{sillata} * \frac{L_{sillani}}{L_{sillani} + L_{silmuseni}} = 200320 * \frac{913}{913 + 5092} = 30\,457\text{ N}, \quad (5.10)$$

kus F_{tv} - veosilmusele mõjuv vertikaaljõud, N,

$L_{sillani}$ - raskuskeskme kaugus balansiiri sõrmeni, mm,

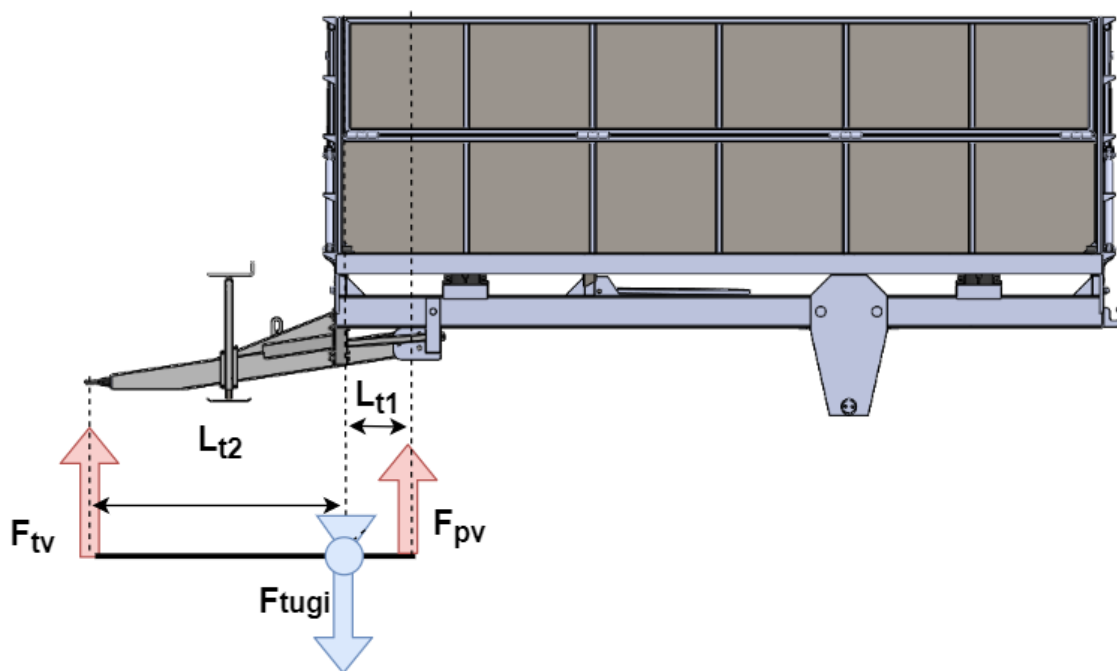
$L_{silmuseni}$ - raskuskeskme kaugus veosilmuse kaugema servani, mm.

Järgnevalt on leitud sillale mõjuv vertikaaljõud:

$$F_{sild} = F_{sillata} * \frac{L_{silmuseni}}{L_{sillani} + L_{silmuseni}} = 200320 * \frac{5092}{5092 + 913} = 169\,864\text{ N}, \quad (5.11)$$

kus F_{sild} – sillale mõjuv vertikaaljõud, N.

Järgnevalt on käsitletud tiisli eesmises ning tagumises kinnituses esinevaid vertikaaljõude. Koormusolukord on kirjeldatud seel 5.6.



Sele 5.6 Tiislile mõjuvad vertikaaljõud

Haagise raam toetub tiislile eespooles kinnituses jõuga F_{tugi} . Teades veosilmusele mõjuvat vertikaaljõudu saame leida tiisli tagumisele kinnitusele mõjuva jõu:

$$F_{pv} = \frac{L_{t2} * F_{tv}}{L_{t1}} = \frac{1827 * 30457}{678} = 82\,073 \text{ N}, \quad (5.12)$$

kus F_{pv} – tiisli tagumisele kinnitusele mõjuv jõud, N,

L_{t2} – veosilmuse kaugus raami toetuspunktist, mm,

L_{t1} – lähima poldi kaugus toetuspunktist, mm.

5.2 Veosilmuse tugevusarvutus

Veosilmus on tiisli külge keevitatud läbi kahe 10 mm paksuse S355J2 plaadi ning kahe ümarprofiili. Teostatud õmblused on esitatud peatükis 4.2.4 seel 4.18. Veokonksu keevisõmbluse tugevusarvutusel on arvestatud punktis 5.1.2 leitud suurimat tõmbejõu väärtust 150 kN. Veosilmust tiisli peatalaga ühendavate õmbluste kogupikkus on 1208 mm. Järgnevalt on leitud keevisõmblustes esinevad pinged:

$$\tau_{veokonks} = \frac{F_{tõmme}}{0,7 * l * \delta} = \frac{150\,000}{0,7 * 1208 * 5} \approx 36 \text{ MPa}, \quad (5.13) [33]$$

kus $\tau_{veokonks}$ – lõikepinge, MPa,

$F_{tõmme}$ – tõmbejõud, N,

l – õmblus pikkus, mm

δ – keevitatava plaadi paksus, mm.

Järgnevalt leiame lubatud lõikepinge:

$$[\tau_{lubatud}] \approx 0,56 * \sigma = 0,56 * 355 \approx 200 \text{ MPa}, \quad (5.14)$$

kus $[\tau_{lubatud}]$ – lubatud lõikepinge,

σ -S355J2 terase voolepiir, MPa.

Leiame varuteguri:

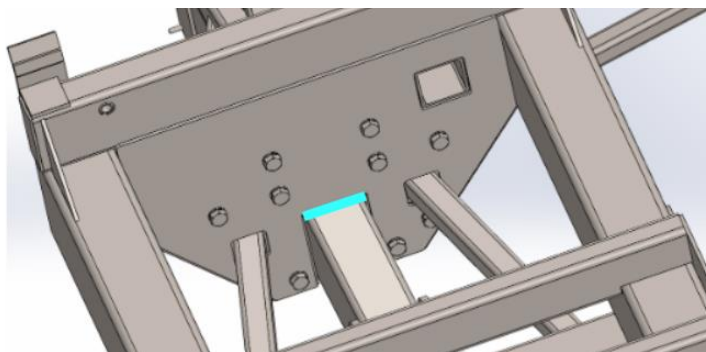
$$S = \frac{[\tau_{lubatud}]}{\tau_{veokonks}} = \frac{200}{36} = 5,5, \quad (5.15)$$

kus S – varutegur.

Arvestades, et tegu on dünaamilise koormuse all töötava vastutusrikka liitega on varutegur 5,5 sobilik.

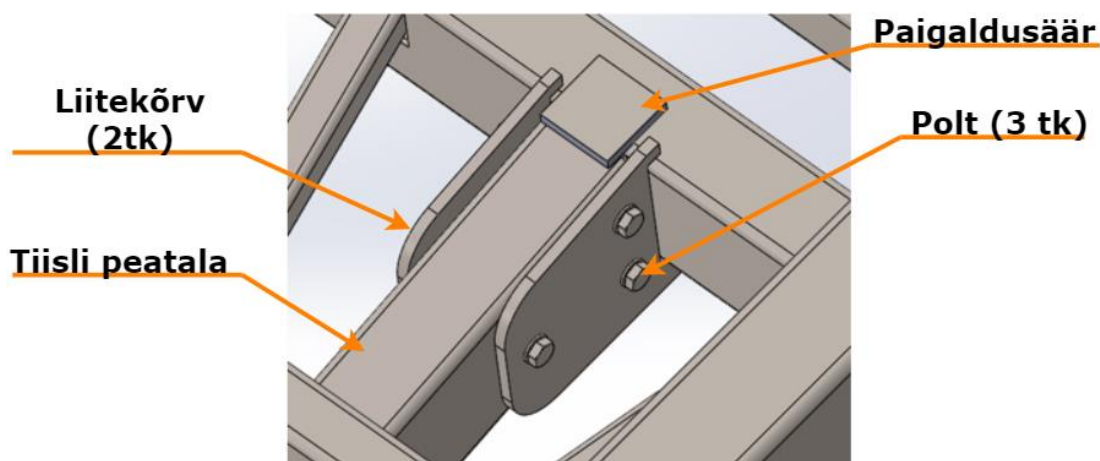
5.3 Tiisli kinnituste arvutus

Järgnevalt on läbi viidud tiisli kinnituste tugevusarvutused. Tiisli kinnituste detailid on põhjalikumalt käsitletud alates punktist 4.2.5 ning tiislile mõjuvate jõudude leidmine on esitatatud alapeatükis 5.1. Haagise mass toetub tiislile seel 5.7 siniselt esitatud piirkonnas. Eespoolses kinnituses on kasutatud kümme M20 10.9 tõmbele töötavat polti, mille hilisemaks kinnitamiseks on tiisli kinnitusplaadile lõigatud vertikaalsuunas ovaalsed fikseerimisavad.



Sele 5.7 Tiisli eespoolse kinnituse mudel

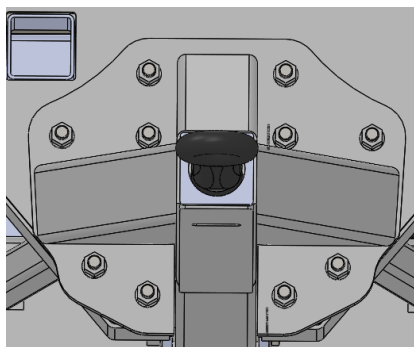
Haagise massist tingitud tiisli tagaosale mõjuvat momenti kannavad kolm M24 10.9 polti ning paigaldusäär. Tagamaks haagise monteeritavus on poltliide valmistatud lõtkuga. Kuna lõtkuga poltliite korral on liitekõrvade ning tiisli vahelist liikumist takitavaks peamiseks jõuks nende vaheline hõõrdejõud, tuleb lisaks vertikaaljõule arvestada käsitletava kolme poldi arvutamisel haagise vedamisest tingitud tõmbejõudu. Tagumise tiisli kinnituse mudel on esitatud seel 5.8. Liidete arvutus on käsitletud eraldi järgnevatel punktides.



Sele 5.8 Tiisli tagumine kinnitus

5.3.1 Eespoolne tiisli kinnitus

Eespoelses poltliites kasutatakse DIN 931 10.9 M20 polte ning DIN 985 ZN M20 Nylockmutreid (sele 5.9). Käsitletav poltliide on arvatud tõmbele. Kinni jäänud haagise tiisli tõmmatakse jõuga 150 kN.



Sele 5.9 Eespoolse poltliite mudel

Kuna poldid on võtmega pingestatud tuleb arvutuslikuks jõuks võtta:

$$F_{arv} = 1,3 * F_{tiisel} = 1,3 * 150 \approx 195 \text{ kN}, \quad (5.16)[34]$$

kus F_{arv} – arvutuslik jõud, kN.

Järgnevalt on leitud ühele poltliitele mõjuv jõud. Haagise vedamisest tekkivad pinged kanduvad poltliidetega kinnitatavale ühendusplaadile läbi tiisli peatala ning tugevdustalade jaotades sellega pingeid poltliidete vahel. Lisaks käsitletavale kümnele poldile eespoelses liites, töötavad tõmbele ka kolm tagumises liites paiknevat hõõrdele töötavat M24 polti. Eelneva põhjal on lihtsustusena eeldatud, et haagise vedamisel esinev maksimaalne jõud jaguneb käsitletavate poltliidete vahel võrdselt. Seega ühele poltliitele mõjuvaks jõuks on:

$$F_{tõmbe} = \frac{F_{arv}}{i_{polt}} = \frac{195}{13} = 15 \text{ kN}, \quad (5.17)$$

kus $F_{tõmbe}$ – ühele poldile mõjuv tõmbejõud, kN

i_{polt} – poldide arv.

Järgnevalt on leitud ühes eespoelses poltliites tekkiv pinge:

$$\sigma_{M20} = \frac{4 * F_{tõmbe}}{\pi * d_{size}^2} = \frac{4 * 15\,000}{\pi * 17,3^2} = 64 \text{ MPa}, \quad (5.18)[34]$$

kus $F_{tõmbe}$ – ühele poldile mõjuv tõmbejõud, N,
 σ_{M20} – M20 poldile mõjuv pinge tiisli eesmisel liites, MPa
 d_{sise}^2 – M20 poldi sisediaameeter, mm.

Võrreldes poldis tekkivat pinget materjali tingliku voolepiiriga saame varuteguriks:

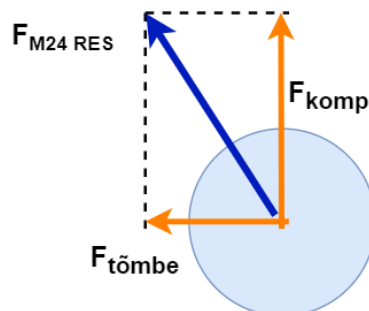
$$S = \frac{R_{10.9}}{\sigma_{M20}} = \frac{830}{64} = 13, \quad (5.19)$$

kus $R_{10.9}$ – 10.9 poldi tinglik voolepiir, MPa,
 S – varutegur.

Arvutatud varutegur on sobilik arvestades, et poltliited töötavad dünaamilise koormuse all. Samuti on kõrge varutegur vajalik katmaks võimaliku ebakorrekse monteerimise tõttu tekkivaid lisapingeid ning tagamaks ohutuse üksikute poltliidete purunemise korral. Lisaks katab varutegur võimalikud marginaalsed erinevused poltliidete pingetes.

5.3.2 Tagumine tiisli kinnitus

Tagumise tiisli kinnituse käsitlemist alustatakse poltliite tugevusarvutusest. Poltidele mõjuvad kaks jõudu (sele 5.10). Nendeks on haagise vedamisest tingitud jõud $F_{tõmbe}$, mis on leitud punktis 5.3.2 ning haagise omamassist tingitud jõud F_{komp} .



Sele 5.10 M20 poldile mõjuvad jõud

Järgnevalt on leitud ühele M24 poldile mõjuv haagise omamassist tingitud jõud. Tiisli tagumisele kinnitusele mõjuv jõud 82 037 N on leitud punktis 5.1.3. Kuna antud liitele mõjuva jõu leidmisel on kasutatud eespoolsele tiisli kinnitusele kõige lähemal paikneva poldi kaugust ning tiisli tagumise kinnituse elemendid paiknevad lähestiku, on lihtsustuse eesmärgil jagatud esinevad pinged võrdselt kolme poldi ning paigaldusääre vahel. Seega mõjub ühele liite komponendile jõud:

$$F_{komp} = \frac{F_{pv}}{i_{komp}} = \frac{82073}{4} = 20\,519 \text{ N}, \quad (5.20)$$

kus F_{komp} – ühele komponendile mõjuv jõud, N,
 i_{komp} – komponentide arv.

Järgnevalt on leitud poltliitele mõjuv resultantjõud:

$$F_{res} = \sqrt{F_{tõmbe}^2 + F_{komp}^2} = \sqrt{20519^2 + 15000^2} = 25\,418 \text{ N}, \quad (5.21)$$

kus F_{res} – poldile mõjuv resultantjõud, N.

Lõtkuga poltliite arvutamist alustatakse vajaliku eelpingutsjõu leidmisega arvestades, et lõikepindu on kaks:

$$F_{EP} = \frac{F_{komp}}{f_{teras} * i_{liitepind}} = \frac{25418}{0,15 * 2} = 84\,727 \text{ N}, \quad (5.22)[35]$$

kus F_{EP} – eelpingutsjõud, N,
 f_{teras} – hõõrdetegur kahe terasest pinna vahel, [35]
 $i_{liitepind}$ – liitepindade arv.

Järgnevalt on leitud polti koormav arvutuslik jõud:

$$F_{arv} = K_{vääne} * K_{LL} * F_{EP} = 1,3 * 1,2 * 84727 = 132\,175 \text{ N}, \quad (5.23)[35]$$

kus F_{arv} – polti koormav arvutuslik jõud, N,
 $K_{vääne}$ – väändepinge varutegur,
 K_{LL} – läbilisemise varutegur.

Arvestades, et terase näol on tegu sitke materjaliga, on varuteguriks valitud 2. Lubatud pinget on leitud valemist:

$$\sigma_{lubatud} = \frac{R_{10.9}}{S} = \frac{830}{2} = 415 \text{ MPa}, \quad (5.24)$$

kus $\sigma_{lubatud}$ – lubatud pinget, MPa,
 S – varutegur.

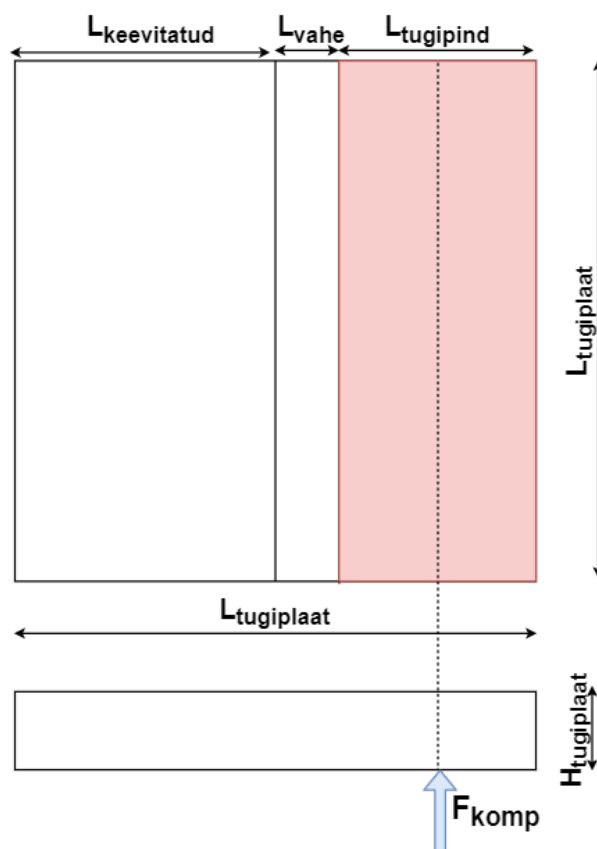
Järgnevalt on leitud poldi keerme vähim lubatud läbimõõt:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * F_{arv}}{\pi * \sigma_{lubatud}}} = \sqrt{\frac{4 * 132\,175}{\pi * 415}} = 20,2 \text{ mm}, \quad (5.25)[35]$$

kus d_1 – poldi keerme vähim läbimõõt, mm,

Valitud on M24 polt, mille keerme vähim läbimõõt on 20,75 mm.

Järgnevalt kontrollitakse tiisli paigaldusplaadi tugevust. Plaat mõõtmetega 100x100x15 mm keevitatakse poole plaadi pikkuse ulatuses tiisli külge. Koormusolukord on kirjeldatud seel 5.11. Plaat toetub kinnitustalale pikkuses $L_{tugipind}$. Tiisli tagaosa ning kinnitustala vahele jäetud 5 mm paigalduslõtku ning kinnitustala 12 mm raadiuse summa on määratud pikkusega L_{vahe} . Pind, millega plaat toetab kinnitustalale on esitatud seel punaselt. Plaadi paksus on määratud mõõtmega $H_{tugi\text{plaat}}$. Komponentile mõjuv resultantjõud F_{komp} rakendub tugipinna pikkuse keskele.



Sele 5.11 Koormusolukord

Järgnevalt on leitud tugilapile mõjuv paindemoment:

$$M_{lapp} = (L_{vahe} + \frac{L_{tugipind}}{2}) * F_{komp} = \left(0,017 + \frac{0,033}{2}\right) * 20\,519 = 688 \text{ Nm}, \quad (5.26)$$

kus M_{lapp} – tugilapile mõjuv paindemoment, Nm

L_{vahe} – paigalduslõtku ning kinnitustala raadiuse summa, m,

$L_{tugipind}$ – tugipinna laius, m.

Järgnevalt on leitud tugilapi telgvastupanumoment:

$$W_x = \frac{L_{tugi\text{plaat}} * H_{tugi\text{plaat}}^2}{6} = \frac{10 * 1,5^2}{6} = 3,75 \text{ cm}^3, \quad (5.27)[36]$$

kus W_x – plaadi telgvastupanumoment, cm^3 ,

$L_{tugi\text{plaat}}$ – tugiplaadi laius, cm,

$H_{tugi\text{plaat}}$ – tugiplaadi paksus, cm.

Järgnevalt on leitud tugiplaadis tekkiv paindepinge:

$$\sigma_{tugi\text{plaat}} = \frac{M_{lapp}}{W_x} = \frac{688}{3,75} = 184 \text{ MPa}, \quad (5.28)$$

kus $\sigma_{tugi\text{plaat}}$ – tugiplaadis tekkiv paindepinge, MPa.

Leiame plaadi varuteguri:

$$S = \frac{\sigma_{\text{plaat}}}{\sigma_{tugi\text{plaat}}} = \frac{355}{184} \approx 1,93, \quad (5.29)$$

kus S – varutegur,

$\sigma_{\text{voolepiir}}$ – plaadi voolepiir, MPa.

Arvestades, et terase näol on tegu sitke materjaliga ning vertikaalkoormust põhjustava jõu määramatus on madal saab varutegurit 1.93 pidada sobilikuks.

5.4 Tõstesilindrite arvutus

Tõstesilindrite arvutus koosneb kahest osast. Esmalt leitakse hüdroosilindrite suurim mõjuv jõud. Seejärel teostatakse kontrollarvutus valitud tõstesilindritele. Kasti kallutatavad silindrid on põhjalikumalt käsitletud punktis 4.2.8.

5.4.1 Silindrite mõjuv jõud

Kasti tõstesilindrite arvutamisel on käsitletud tõstmise alghetke. Esmalt on leitud koorma massist tingitud jõud:

$$F_{koorem} = \rho_{turvas} * V_{turvas} * g = 400 * 40 * 9.81 = 156960 \text{ N} \approx 157 \text{ kN}, \quad (5.30)$$

kus F_{koorem} - koorma poolt mõjuv jõud, kN

ρ_{turvas} - freesturba tihedus, kg/m³,

V_{turvas} - koorma ruumala, m³,

g - raskuskiirendus, m/s².

Järgnevalt on esitatud kasti massist tingitud jõud:

$$F_{kast} = m_{kast} * g = 2479 * 9.81 = 24319 \text{ N} \approx 25 \text{ kN}, \quad (5.31)$$

kus F_{kast} - kasti poolt mõjuv jõud, kN

m_{kast} - kasti mass, kg,

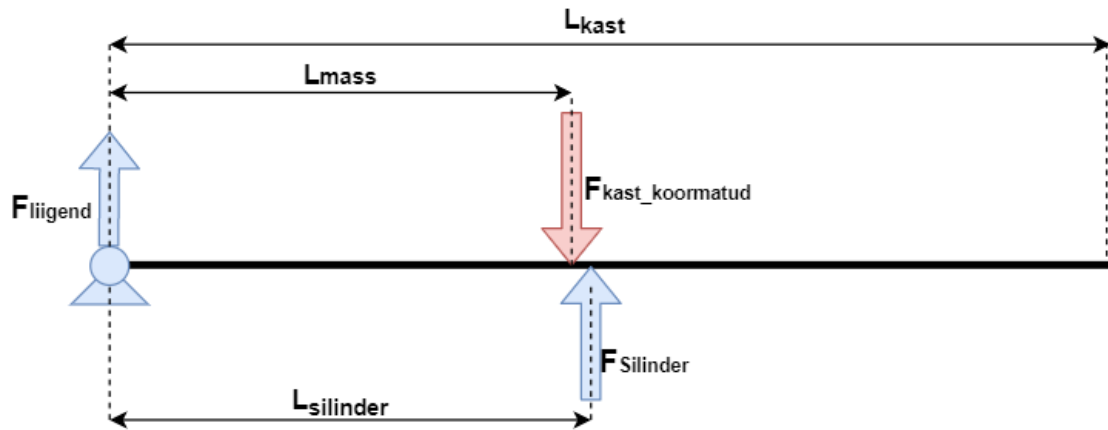
g - raskuskiirendus, m/s².

Koormatud kast mõjub hüdroosilindritele ning kasti liigenditele jõuga:

$$F_{Koormatud_kast} = F_{koorem} + F_{kast} = 157 + 25 = 182 \text{ kN}, \quad (5.32)$$

kus $F_{Koormatud_kast}$ - kasti poolt mõjuv jõud hüdroosilindritele ja liigenditele, kN.

Arvutusel on arvestatud, et haagis on koormatud võrdselt ehk kasti resultantjõud koondub kasti keskele. Kast toetub ühest äärest liigenditele. Hüdroosilinder kinnitub kastile 1875 mm kaugusel liigendist. Koormusolukord on esitatud skemaatiliselt seel 5.12.



Sele 5.12 Koormusolukord kasti tõstmise alghetkel

Leiame silindrile mõjuva jõu:

$$F_{silinder} = \frac{F_{koormatud_kast} * L_{mass}}{L_{silinder}} = \frac{182 * 1800}{1875} = 175 \text{ kN}, \quad (5.33)$$

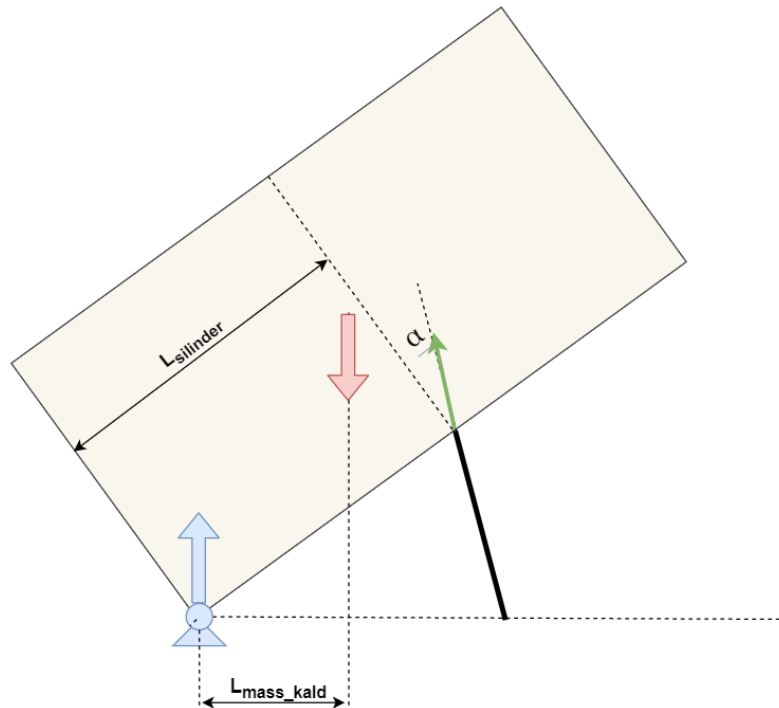
kus $F_{silinder}$ – silindrile mõjuv jõud, kN,

L_{mass} – kasti massikeskme kaugus liigendist, mm,

$L_{silinder}$ – silindri kinnituse kaugus liigendist, mm.

Arvutustest järeldeb, et silindrite poolt rakendatav jõud peab algasendis ületama 175 kN.

Kuna kasti tõstmisel kasutatakse teleskoopsilindrit, mille maksimaalne tõstejõud väheneb avanemise käigus, siis on oluline kontrollida ka kasti kallutamise hilisemas etapis vajaminevat jõudu. Tekkiva jõu leidmisel on käsitletud neljanda astme avanemist olukorras, kus 25% koormast võib niiskuse tõttu olla veel kasti. Koormusolukord on esitatud seel 5.13.



Sele 5.13 Koormusolukord kasti kallutamisel

Leiame jõu, millega osaliselt täitunud kast mõjub silindritele ning liigenditele:

$$F_{Osa_koormatud_kast} = F_{koorem} * 0.25 + F_{kast} = 157 * 0.25 + 25 \approx 65 \text{ kN}, \quad (5.34)$$

kus $F_{Osa_koormatud_kast}$ – Osaliselt koormatud kasti poolt mõjuv jõud, kN,

Leiame silindrile mõjuva jõu:

$$F_{sil} = \frac{F_{osa_koormatud_kast} * L_{mass}}{\cos \alpha * L_{silinder}} = \frac{65 * 934}{\cos 20 * 1875} = 35 \text{ kN}, \quad (5.35)$$

kus L_{mass} – kallutatud kasti massikeskme kaugus liigendist, mm,

α – nurk silindri ja kasti keskjoone vahel.

5.4.2 Silindri kontrollarvutus

Kasti kallutamiseks on kasutatud Trabiflexi teleskoopsilindrite kataloogist tüüp 3047 neljaastmelist teleskoopsilindrit. Silindri kolvi läbimõõt on astmete kaupa 107 mm, 91 mm, 76 mm ning 61 mm. Silindri töö rõhk on 180 MPa [20]. Kasti tõstab korruga 2 silindrit. Järgnevalt on leitud tõstmise alghetkel silindrites tekkiv rõhk 175 kN tõstmise korral.

$$p = \frac{F_{sil}}{\frac{\pi * d_{kolb}^2}{4} * i_{sil}} = \frac{175\,000}{\frac{\pi * 107^2}{4} * 2} \approx 10 \text{ MPa} = 100 \text{ bar}, \quad (5.36)$$

kus p – minimaalne vajaminev rõhk, bar,

d_{kolb} - kolvi diameeter, mm,

F_{sil} – silindrile mõjuv jõud, N,

i_{sil} – tõstvate silindrite arv.

Järgnevalt on leitud kallutamise neljandas astmes vajaminev rõhk:

$$p = \frac{F_{sil}}{\frac{\pi * d_{kolb}^2}{4} * i_{sil}} = \frac{35\,000}{\frac{\pi * 61^2}{4} * 2} = 6 \text{ MPa} = 60 \text{ bar}, \quad (5.36)$$

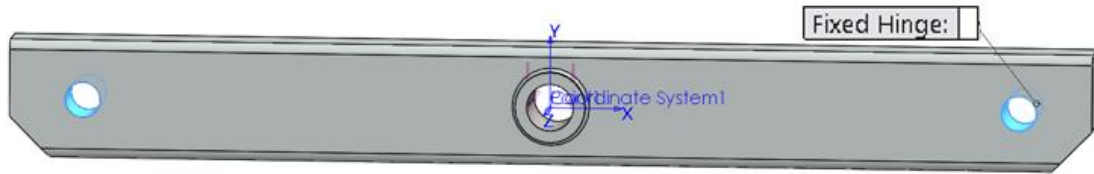
Arvutustest järeldub, et valitud silinder on sobiv.

5.5 Balansiiri tala arvutus

Järgnevalt on esitatud balansiiri tala arvutus. Kasutatav profiil on S355J2 200x120x8 nelikanttoru. Balansiiridele mõjuv jõud $F_{sild} = 170 \text{ kN}$ on eelnevalt leitud punktis 5.1.3. Täiskoormatud haagise korral mõjub ühele balansiirile jõud $F_{balansiir} = 85 \text{ kN}$. Arvutuste käigus arvestatakse, et mõlemale balansiiri talale mõjub võrdne koormus kuna turbarabade näol on tegu tasaste aladega ning haagise suurte mõõtmete tõttu ei teki piisavalt suurt kaldenurka, mis võiks põhjustada märgatavat ühele küljele koormuse nihkumist. Samuti jääb hüdrauliliselt avaneva küljeluugi tõttu koorma maha laadimise ajal parempoolsele balansiirile jääv koormus alla täiskoormatud haagisele mõjuvale koormusele kuna kallutamise eelse luugi tõstmise tõttu väheneb koorma mass ligikaudu 30 %. Arvestades, et tegu on vastutusrikka detailiga, kus esinevad ka avadest tingitud pingete kontsentratsioonid on balansiiri tala arvutamisel kasutatud Solidworks Simulation moodulit ning hiljem kontrollitud tulemusi käsiarvutusega.

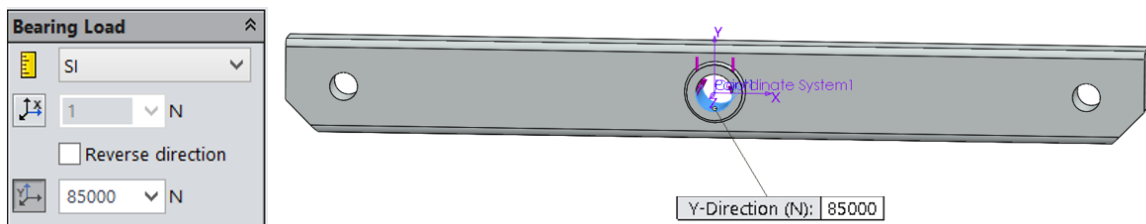
5.5.1 Balansiiri tala FEM analüüs

Kuna puksid on tala külge keevitatud, käsitletakse tala ning pukse ühe detailina. Äärmised puksid ühendatakse pooltelgede koostudega läbi sõrmede. Sellest tulenevalt on kasutatud *fixed hinge* tüüpi kinnitusi (sele 5.14).



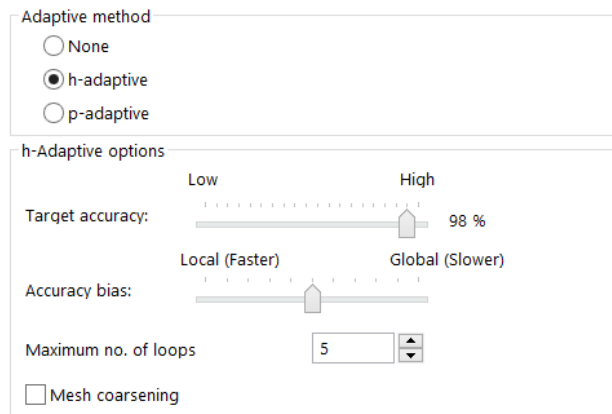
Sele 5.14 Kinnitused

Haagise massist tingitud koormus mõjub läbi sõrme puksile. Sellest tulenevalt on valitud koormuse tüübiks *bearing load*. Jõu suurus on 85 000 N (sele 5.15).



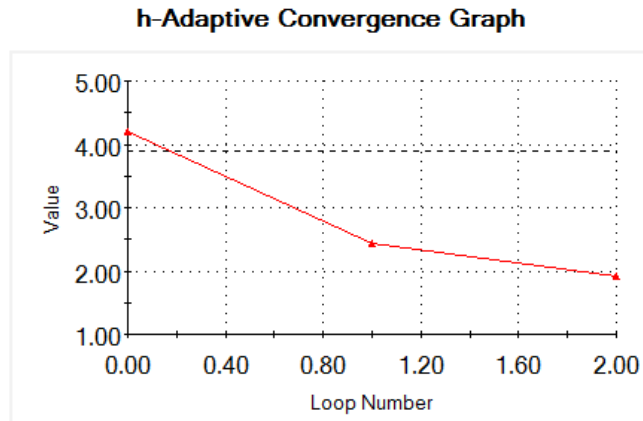
Sele 5.15 Mõjuv jõud

Simulatiooni käigus on kasutatud h-adaptiivset meetodit, kus *mesh*'i elementide suurust vähendatakse kuni viga jääb nõutud piiridesse. Täpsuseks on määratud 98% (Sele 5.16).



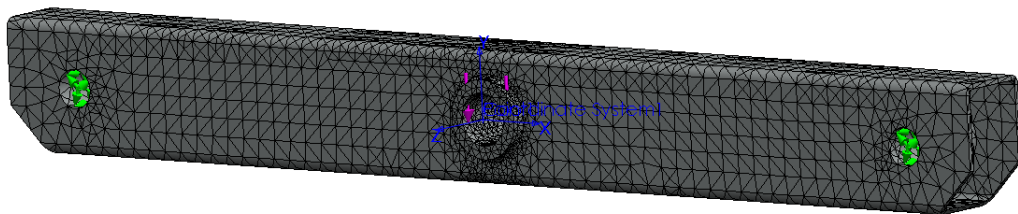
Sele 5.16 H-adaptiivsed parameetrid

Selel 5.17 esitatud graafikust järeldub, et viga koondub nõutud vahemikku teise kordusarvutusega.



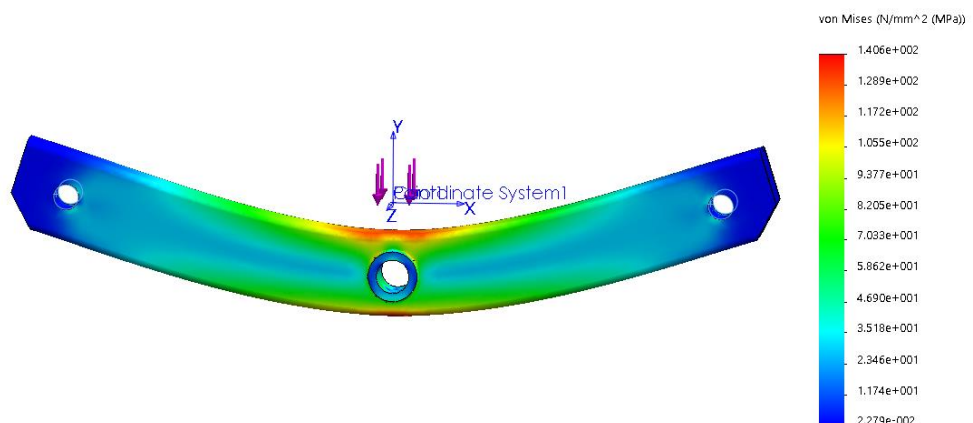
Sele 5.17 Koonduvusgraafik

Järgnevalt on esitatud h-adaptiivse meetodi tulemusel saadud *mesh* (5.18).



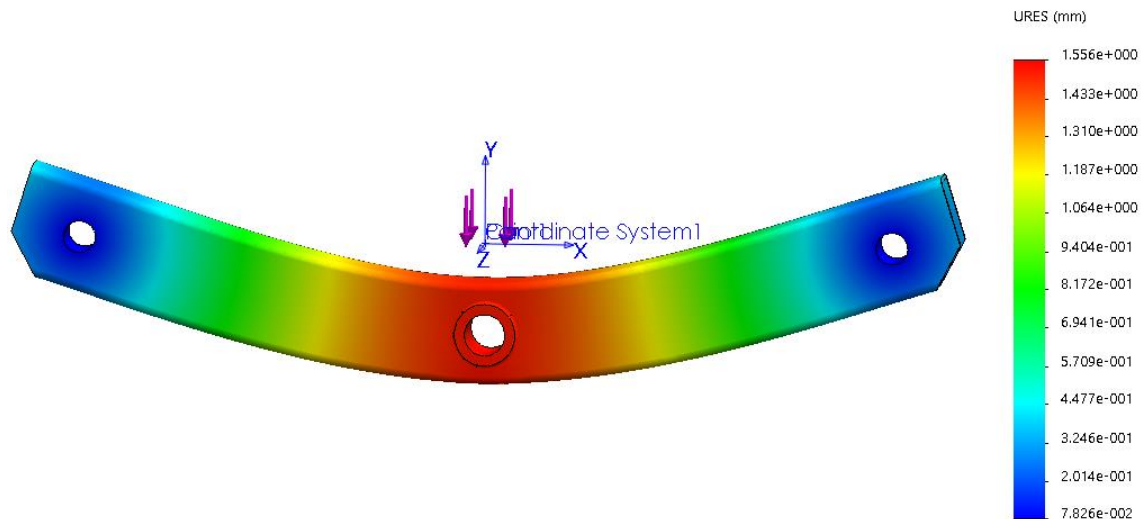
Sele 5.18 Mesh

Maksimaalne pinged antud simulatsioonis on 140,6 MPa (sele 5.19).



Sele 5.19 Pinged

Maksimaalne deformatsioon on 1,5 mm, mis arvestades detaili pikkust 1850 mm on aktsepteeritav (sele 5.20).



Sele 5.20 Deformatsioon

5.5.2 Balansiiri tala käsiarvutus

Kontrollimaks FEM analüüsi käigus saadud tulemusi, on oluline teostada käsiarvutused. Kuna käsiarvutuste eesmärk on ennekõike kontrollida suurusjärku veendumaks, et analüüsi käigus pole eksitud koormuste ning kinnituste määramisel, käsitletakse profiili kui läbi puurimata ning puksiga toestamata tala. Järgnevalt on leitud tekkiv paindemoment:

$$M_{Balansiir} = \frac{F_{balansiir} * L_{puksid}}{4} = \frac{85\,000 * 1,6}{4} = 34\,000 \text{ Nm}, \quad (5.37)[36]$$

kus $F_{balansiir}$ – balansiirile mõjuv jõud, N,

L_{puksid} –pukside vaheline kaugus, m,

$M_{Balansiir}$ – paindemoment, Nm.

Leiame tekkiva paindepinge:

$$\sigma_{Balansiir} = \frac{M_{Balansiir}}{W} = \frac{34\,000}{238,59} = 142,5 \text{ MPa}, \quad (5.38)[36]$$

kus $\sigma_{Balansiir}$ – Paindepinge, MPa,

W – ristlõike telgvastupanumoment, cm^3 [37].

Kuna käsiarvutuse tulemus ühtib FEM analüüsiga saame leitud pinge väärtusi lugeda sobivaks. Järgnevalt on leitud pinge varutegur:

$$S = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{Balansiir}} = \frac{355}{142,5} \approx 2,5, \quad (5.39)$$

kus S – varutegur,

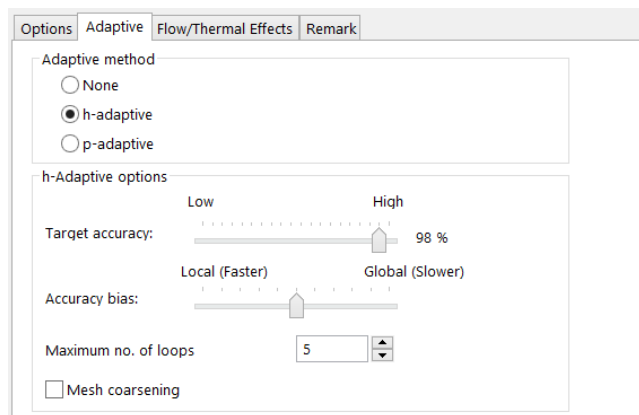
σ_{lim} – S355 terase voolepiir, MPa.

5.6 Tagumise veokonksu arvutus

Järgnevalt on esitatud tagumise veokonksu tugevusarvutus. Tagumist veokonksu on põhjalikumalt kirjeldatud punktis 5.2.9. Detaili ebastandardse geomeetria tõttu on teostatud nii FEM analüüs kui ka käsiarvutus.

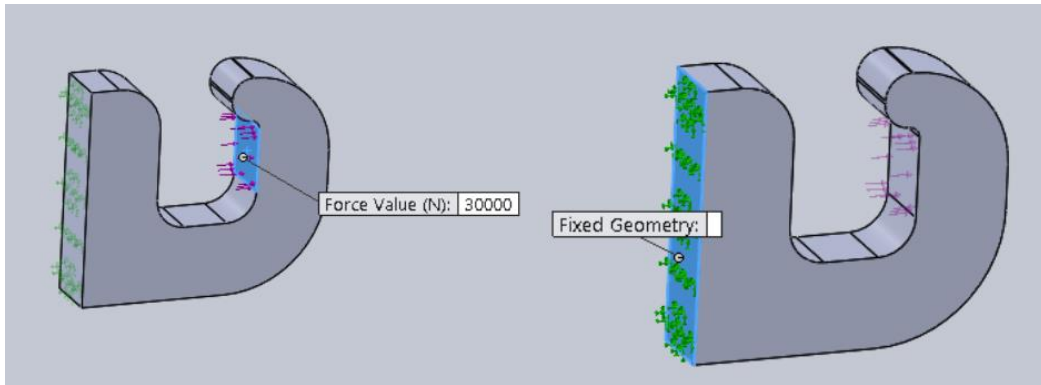
5.6.1 Tagumise veokonksu FEM analüüs

Järgnevalt on esitatud tagumise 40 mm paksuse veokonksu FEM analüüs. Kuna veokonksu peamiseks funktsiooniks on tagurdatava kinni jäänud haagise suunamine läbi köie, on rakendatavaks jõuks valitud tõmbamiseks kasutatava köie lubatud töökoormuse järgi 30 kN. Käesoleva tugevuskontrolli käigus on kasutatud SolidWorks Simulation moodulit. Tagamaks arvutuse täpsuse on kasutatud h-adaptiivset meetodit. Simulatsiooni tulemus loetakse sobivaks kui erinevus eelmise arvutusega jääb 2% piiresse (sele 5.21).



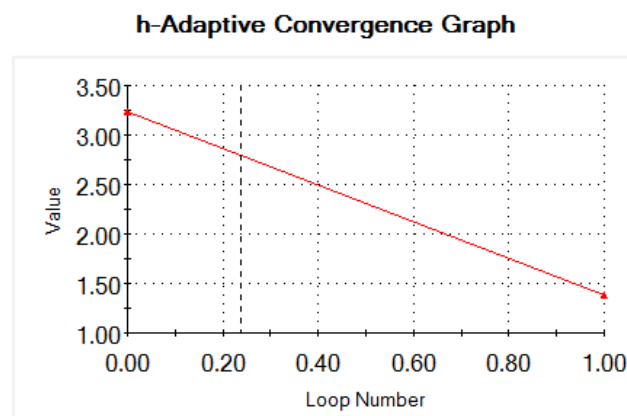
Sele 5.21 h-adaptiivne meetod

Mõjuvad jõud ning kinnitused on esitatud seel 5.22. Kuna veokonks on raami külge keevitatud on fikseerimis meetodina kasutatud *fixed geometry*. Köielt edasi kanduv jõud 30 000 N rakendub konksu siseküljele.



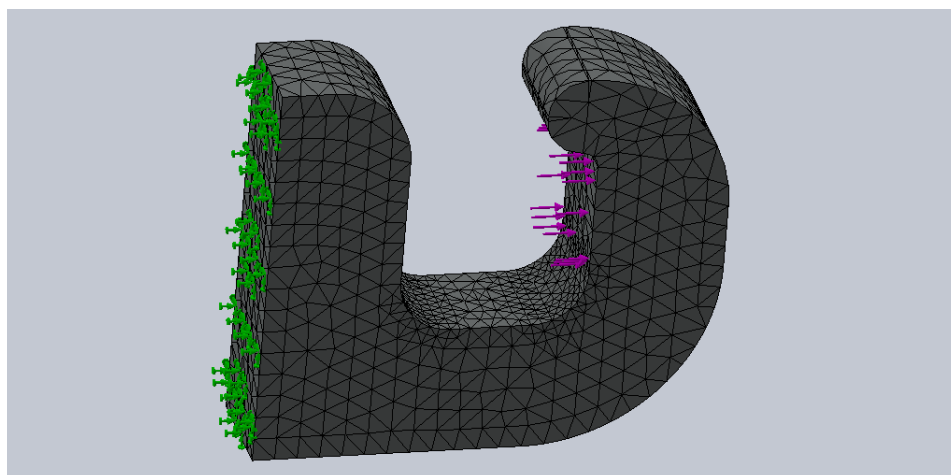
Sele 5.22 Rakenduv jõud ning kinnitused

Viga koondub nõutud vahemikku esimese arvutusega (sele 5.23)



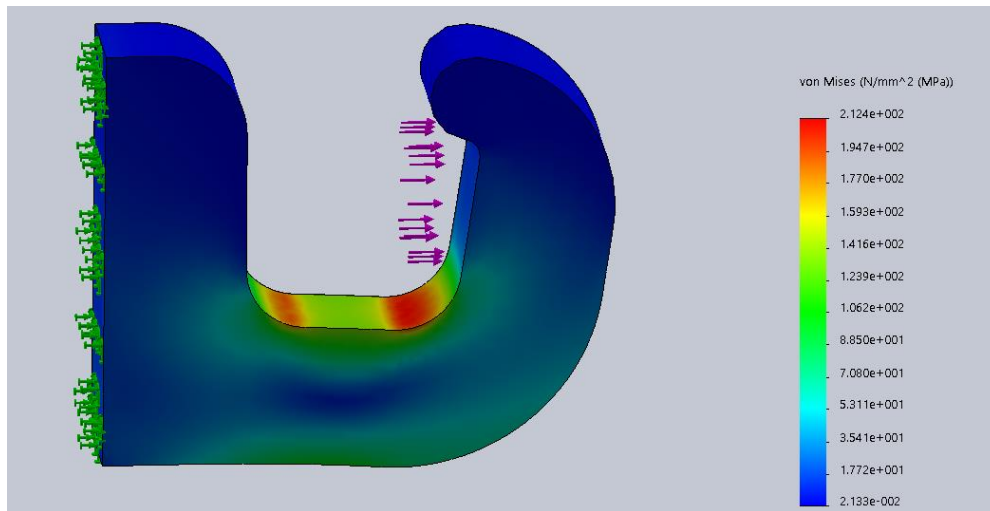
Sele 5.23 Koonduvus

H-adaptiivse meetodi tulemusel saadud *mesh* on esitatud seel 5.24.



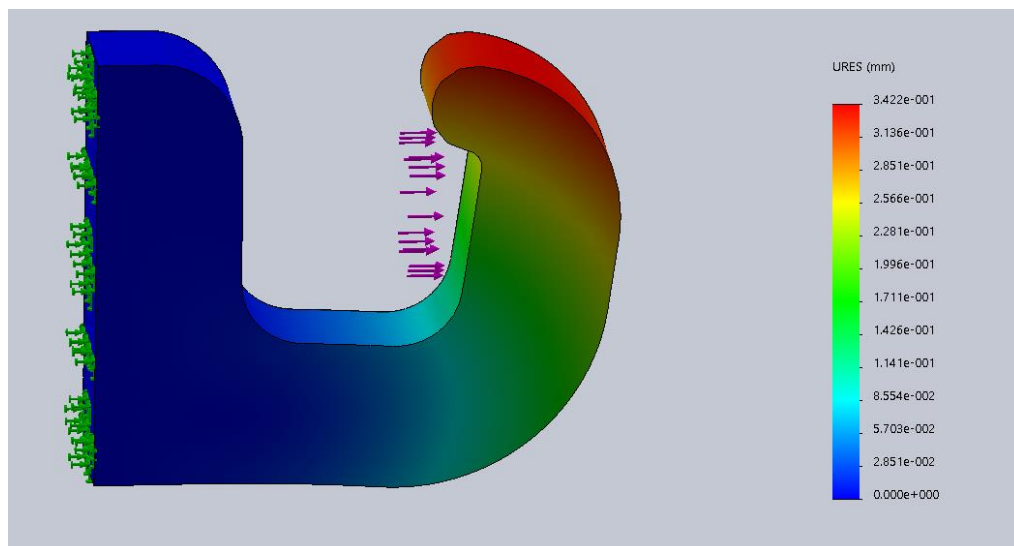
Sele 5.24 *Mesh*

Selel 5.24 on esitatud detaili pinged. Maksimaalne pinge on 213 MPa. Arvestades, et S355J2 terase voolepiir paksuses kuni 40 mm on 345 MPa, saame varuteguriks 1,6.



Sele 5.25 Pinged

Selel 5.26 on esitatud deformatsioonid. Maksimaalne deformatsioon on 0,3 mm.



Sele 5.26 Deformatsioonid

5.6.2 Tagumise veokonksu käsiarvutus

Käsiarvutusega kontrollitakse FEM analüüsiga leitud kõrgeima pingega lõiget. Koormusolukord on esitatud selel 5.27. Järgnevalt on esitatud kõvera varda tugevustingimus:

$$[\sigma]_{max} = \sigma_M + \sigma_N = \frac{6FR_{paine}}{bh^2} K_1 + \frac{F}{bh} \leq [\sigma], \quad (5.40)[38]$$

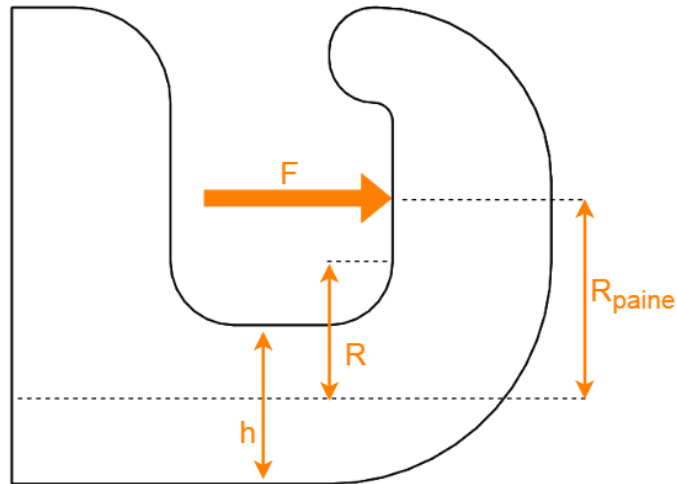
kus $[\sigma]_{max}$ – summarne normaalpinge, Pa,

$[\sigma]$ – lubatav normaalpinge, Pa,

σ_M – punkti paindepinge, Pa,

σ_N – punkti pikkepinge, Pa,

F – vardale mõjuv jõud, N,
 R_{paine} – paindemomenti põhjustav õlg, m,
 b – veokonksu paksus, m,
 h – veokonksu laius, m,
 K_1 – võrdetegur.



Sele 5.27 Koormusolukord

Järgnevalt on leitud võrdetegur K_1 leidmiseks vajalik varda indeks C [38]:

$$C = \frac{2R}{h} = \frac{2 * 0,045}{0,05} = 1,8, \quad (4.41)[38]$$

kus R – varda kõverusraadius, m,

C – varda indeks.

Järgnevalt on leitud varda kõverusest ning ristlõike geomeetriast sõltuv võrdetegur K_1 [38]:

$$K_1 = \frac{3C - 1}{3(C - 1)} = \frac{3 * 1,8 - 1}{3 * (1,8 - 1)} = \frac{4,4}{2,4} = 1,83, \quad (4.42)[38]$$

Paigutades leitud väärtused kõvera varda tugevustingimusse saame pingeks ohtlikus ristlõikes:

$$\begin{aligned}
 [\sigma]_{max} &= \sigma_M + \sigma_N = \frac{6FR_{paine}}{bh^2} K_1 + \frac{F}{bh} = \frac{6 * 30000 * 0,067}{0,04 * 0,05^2} * 1,83 + \frac{30000}{0,04 * 0,05} \\
 &= 221 * 10^6 + 15 * 10^6 = 236 * 10^6 = 236 \text{ MPa} \quad (5.40)[38]
 \end{aligned}$$

Arvestades, et terase S355J2 voolepiir paksuses kuni 40 mm on 345 MPa, saame varuteguri väärtuseks 1,46. Kuna lihtsustatud käsiarvutuste ning FEM analüüsi käigus leitud pinged jäävad samasse suurusjärku saame lugeda FEM analüüsi tulemust õigeks ning leitud varutegurit sobivaks.

5.7 Omahinna arvutus

Järgnevalt on esitatud ülevaatlik haagise omahinna arvutus. Käesolev alapeatükk on jagatud kolme punkti vahel. Neist esimene käsitleb töötajate ning pinkide kulu. Teises punktis loetletakse haagises kasutatavad ostutooted. Viimases punktis esitatakse lõplik ühe haagise omahind.

5.7.1 Töötajate ning pinkide kulu

Operatsioonide hindade sisse on arvestatud töötajate palgad, seadmete amortisatsioon, energiakulu, hoolduskulud, proportsionaalne pinnahõivekulu ning pinkide kulumaterjalide hind. Operatsioonide jaoks kulunud aja sisse on arvestatud tegevusaeg, ooteaeg, seadistamise aeg ning plaanivälise seisakute aeg. Projekteerimisele kulunud aeg on jagatud nelja valminud haagise vahel. Tabelis 5.1 on esitatud ettevõtte siseselt teostatud operatsioonide hinnad.

Tabel 5.1 Ettevõtte siseselt teostatud operatsioonide hinnad

Operatsioon	Aeg (h)	Tunnitasu (eur)	Hind kokku (eur)
Keevitamine	115	27	3 105
Treimine	48	27	1 296
Freesimine	4	27	108
Lukksepatööd	64	20	1 280
Plasmalõiklus	4	27	108
Lintsaagimine	36	20	720
Haaveldamine	4	20	80
Värvimine	8	20	160
Komplekteerimine	16	20	320
Projekteerimine	40	25	1 000
Katsetamine	4	30	120
Kokku			8 967

Ainsaks sisseostetud teenuseks oli rehvide monteerimine, mille hind on esitatud tabelis 5.2.

Tabel 5.2 Ettevõtte väliselt teostatud operatsioonid

Operatsioon	Kogus (tk)	Ühiku hind (eur)	Hind kokku (eur)
Rehvide monteerimine	8 tk	18	144

Tabelis 5.3 on esitatud teostatud operatsioonide kogumaksumus.

Tabel 5.3 Operatsioonide hinnad kokku

Operatsiooni liik	Hind (eur)
Ettevõtte siseselt teostatud operatsioonid	8 967
Ettevõtte väliselt teostatud operatsioonid	144
Kokku	9 111

5.7.2 Ostutooted

Ostutooted on jagatud mitmesse väiksemasse gruppi. Neist esimesena on esitatud standardsed kinnitusvahendid (tabel 5.4).

Tabel 5.4 Kinnitusvahendid

Toode	Kogus (tk)	Tüki hind (eur)	Hind kokku (eur)
DIN 931 10.9 M 20 x 150	10	4,81	48,1
DIN 931 10.9 M 24 x 200	3	10,87	32,61
DIN 985 10 ZN Nylock M 20	26	0,768	19,968
DIN 985 10 ZN Nylock M 24	3	1,794	5,382
EN 14399-6 300HV 20	36	0,29	10,44
EN 14399-6 300HV 24	6	0,39	2,34
DIN 933 10.9 M 12 x 45	8	0,72	5,76
DIN 933 10.9 M 10 x 45	8	0,39	3,12
DIN 931 10.9 M 20 x 200	16	6,69	107,04
DIN 931 10.9 M 6 x 35	4	0,21	0,84
DIN 912 12.9 M 8 x 40	4	0,28	1,12
DIN 985 10 ZN Nylock M 10	4	0,52	2,08
DIN 125 140HV tüüp A 10,5	4	0,07	0,28
DIN 125 140HV tüüp B 31	4	0,66	2,64
DIN 94 ZN 6,3 x 63	10	0,15	1,5
DIN 934 8 M 20	20	0,33	6,6
DIN 985 8 ZN Nylock M20	20	1,87	37,4
DIN 975 M20	10	18,36	183,6
DIN 103 tr 30x6 Keermelatt	1	45,75	45,75
DIN 103 tr 30x6 Mutter	1	18,17	19,17
DIN 580 M27	4	7,48	29,92
Kokku			565

Tabelis 5.5 on esitatud rataste hind.

Tabel 5.5 Rataste ostuhind

Toode	Kogus (tk)	Tüki hind (eur)	Hind kokku (eur)
Voltyre 21,3 R 24 DR-108 Tyrex-Agro TT Rehvid	8	380	3 040
DW18Lx24 Veljed	8	73	584
Kokku			3 624

Hüdraulika elemendid on esitatud tabelis 5.6.

Tabel 5.6 Hüdraulika elemendid

Toode	Kogus (tk)	Tüki hind (eur)	Hind kokku (eur)
Hüdrosilinder 50/30/900	2	184	368
Teleskoopsilinder 3047	2	500	1000
Kiige CULLA 3	2	80	160
Kronstein SUP 040	4	12	48
Kolmik L12 mutriteta	2	2,429	4,858
Hüdrovoolik 3/8" 4,0 m	2	10,766	21,532
Hüdrovoolik 3/8" 3,5 m	2	10,209	20,418
Üleminek/adapter VK 3/8"	4	0,5	2
Hüdraulikatihend 3/8" isetsentreeruv	4	0,15	0,6
Hüdraulika toru, tsingitud 12-1,5	12	3,387	40,644
Torujätk 12 L	2	0,583	1,166
Lõikurrõngas 12 mm	8	0,17	1,36
Mutter 12L toruühendus	8	0,205	1,64
HÜDROVOOLIK 3/8"-90 4,5 m	2	12,48	24,96
Hüdraulikatihend 3/8" isetsentreeruv	4	0,15	0,6
Klamber 12mm, paaris	8	1	8
Klamber 18 mm paaris	11	1,5	16,5
Hüdraulikatihendid 1/2" isetsentreeruv	2	0,2	0,4
Kiireühendus 1/2" pistik sk ISO-A	2	1,6	3,2
Kiirühenduse kaitse ISA 1/2"	2	0,5	1
Kolmik vk 1/2"	1	3,45	3,45
Hüdrovoolik 1/2-90 0,6m	2	4,808	9,616
Üleminek/adapter Nurk 1/2" SK-VK	2	3	6
Hüdrovoolik 1/22"-90 3,7	1	12,555	12,555
Klamber torudele/voolikutele 22mm	6	1,1	6,6
Üleminek/adapter VK 1/2"	1	0,639	0,639
Hüdraulikatihend 1/2" isetsentreeruv	1	0,2	0,2
Kiirühenduse kaitse ISA 1/2"	1	0,5	0,5
Kiirühendus 1/2" pistik sk ISO-A	1	1,65	1,65
Kokku			1 784

Järgnevalt on esitatud haagise valmistamiseks kasutatud terasprofiilide hind (tabel 5.7).

Tabel 5.7 Terasprofiilide hind

Toode	Hind (eur)
Terasprofiilid	3 037

Ülejäänud ostutooted on esitatud tabelis 5.8.

Tabel 5.8 Ülejäänud ostutooted

Toode	Kogus	Ühiku hind (eur)	Hind kokku (eur)
Koonuskummi amort 50x40x10	2 tk	7,6	15,2
Veosilmus 25T	1 tk	95,83	95,83
Lehtvõrk P38	2 tk	18,58	37,16
51106 SKF	1 tk	12,4	12,4
Kett lühike lüli 12x60x41	4 m	16	64
Värv Temacoat RM-40	60 l	8	480
Silikoon Penosil U värvitu 310ML	12 tk	3,56	28,48
Portelukkk SPP	2 tk	10	20
Haagise rumm 100 mm	4	379.17	1 516.68
Kokku			2 270

Tabelis 5.9 on leitud ostutoodete kogumaksumus.

Tabel 5.9 Ostutoodete kogumaksumus

Toode	Hind (eur)
Standardsed kinnitusvahendid	565
Ratastega seotud ostutooted	3 624
Hüdraulika komponendid	1 784
Teras	3 037
Ülejäänud ostutooted	2 270
Kokku	11 282

5.7.3 Lõplik omahind

Haagise lõplik omahind on esitatud tabelis 5.10.

Tabel 5.10 Lõplik omahind

Kulu	Hind (eur)
Tootmiskulud	9 111
Ostutooted	1 1282
Kokku	20 393

Arvestades juurde veel tabelis kajastamata lisakulutused nagu näiteks transport kujuneb haagise omahinnaks ligikaudu 21 000 eurot. Varem toodetud haagiste ning seadmete põhjal on haagise minimaalne kasutusaeg 12 aastat ehk aastase amortisatsiooni väärtuseks on prognoositavalt 1 750 eurot ühe haagise kohta. Haagise igapäevane hooldus piirdub liigendite määrimisega. Esimeseks eeldatavaks remonditööks on viie aastase kasutamise järgne hüdrovoolikute vahetus.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli projekteerida turbaveohaagis mahuga 40 m³ parendamiseks OÜ Rakvere Põllumajandustehnika turba kaevandamise võimekust.

Töö esimeses peatükis kirjeldati peamisi turbaveohaagisele esitatavaid nõudeid. Nõuded jagati kolme alapeatükki. Neist esimeses kirjeldati tootmispiiranguid. Teises alapeatükis keskenduti funktsionaalsetele nõuetele lähtudes turba kaevanduse eripärast. Peamiseks sisendiks funktsionaalsete nõuete määramisel oli ettevõtte turba kaevandamisega tegeleva personali esitatud nõuded ning soovitusel. Viimases alapeatükis käsitleti ohutust ning kirjeldati võimalike riske.

Teises etapis tutvuti erinevate tootjate poolt pakutavate haagistega. Turuanalüüsisist järeldus, et teiste ettevõtete poolt pakutavate toodete hulgas puudus haagis, mis oleks katnud kõiki lähteülesandes esitatud funktsionaalseid nõudeid. Peamisteks miinusteks olid laadimiskõrguse muutmise võimaluse puudumine, tühjendusluugi avatuse sõltuvus kasti kallakust, redeli puudumine kasti hooldamiseks ning suured transpordimõõtmel.

Järgnevas osas keskenduti haagise projekteerimisele. Käsitletavas peatükis kirjeldati igat koostu eraldi alapeatükis lähtudes haagise valmistamise järjekorrast. Projekteerimise peatükis kirjeldati ka materjalide ning värvi valikut. Valminud haagise peamiseks erinevuseks võrreldes turul olevate küljele tühjendatavate haagistega on laadimiskõrguse muutmise võimalus, tiisli eemaldatavus transpordi mõõtmete vähendamiseks ning kõikide lähteülesandes püstitatud funktsionaalsete nõuete täitmine.

Viimases peatükis teostati haagisega seotud arvutused. Valdav enamus arvutustest olid seotud haagise konstruktsiooni tugevuse kontrolliga keskendudes peamiselt tiislile. Ohutuse tagamiseks käsitleti mitut erinevat koormusolukorda, milleks olid äkkpidurdus ning kinni jäänud haagise väljatõmbamine. Lisaks tugevusarvutustele teostati ka omahinna arvutus.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to design a peat trailer with a 40 m³ capacity to improve OÜ Rakvere Põllumajandustehnika peat production efficiency.

In the first phase, main requirements were described for peat trailer. Requirements were divided into three main sections. The first section discussed production limits. Second section focused on functional requirements based on specifics of peat mining. The main source of information for functional requirements came from companies peat mining personnel. The last section focused on safety and described possible risks.

The next chapter was to explore peat trailers offered by other companies. The main conclusion of market research was that there was not a single product to fulfill all requirements discussed in first chapter. In general the main shortcomings of other products on the market were gate opening dependency of tilt angle, missing possibility to change loading height, missing ladder for maintenance work and large transportation dimensions.

The third chapter focused on peat trailer design. In this chapter, each subassembly was discussed in separate sections based on manufacturing order. Design chapter also included finding proper materials and paint for trailer. The main difference of designed trailer compared to other side tilting trailers on the market is a possibility to change loading height, removable drawbar to reduce transportation size and fulfilment of all functional requirements described in the first chapter.

The last phase described calculations. A majority of the calculations were strength calculations focused on drawbar. Different load scenarios were discussed to ensure the safety of the product including sudden braking and extracting stuck trailer. Besides strength calculations, production costs were also calculated.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. OÜ Rakvere Põllumajandustehnika kodulehekülg [*Online*]
<http://www.rpmt.ee/> (04.02.2020)
2. MTÜ Eesti Turbaliit kodulehekülg. Esileht [*Online*]
<https://www.turbaliit.ee/> (05.02.2020)
3. MTÜ Eesti Turbaliit kodulehekülg. Kaevandamine. [*Online*]
<https://www.turbaliit.ee/kaevandamine/> (05.02.2020)
4. MTÜ Eesti Turbaliit kodulehekülg. Soo [*Online*]
<https://www.turbaliit.ee/soo/> (05.02.2020)
5. Maa-ameti kodulehekülg [*Online*]
<https://www.maaamet.ee/et/uudised/maavarade-kaevandamismahud-pole-suurenenud> (05.02.2020)
6. Turba kaevandamise aastamäär ning kriitilise ja kasutatava varu suurus, Vabariigi Valitsus, RT I, 28.12.2016, 3
7. Kaevandamise ohutusõnõuded, Majandus- ja kommunikatsiooniminister, RT I, 20.06.2017, 22
8. AS Ramsi Turvas kodulehekülg [*Online*]
<https://www.ramsiturvas.ee/et/multifunctional-trailer-rpt-26-s-product-description/> (04.02.2020)
9. AS Elva E.P.T. kodulehekülg [*Online*]
<http://www.elvaept.ee/?p=111&lang=en> (04.02.2020)
10. Oy Peatmax kodulehekülg [*Online*]
<http://www.peatmax.com/en/products/harvesters/milled%2bpeat%2btrailer%2bwith%2bdrive%2bjpv-45v.html> (04.02.2020)
11. Oy Suokone MeriPeat kodulehekülg. Tükkturba seadmed. [*Online*]
<https://www.meripeat.com/en/products/sod-peat-production> (04.02.2020)
12. UAB UGB kodulehekülg [*Online*]
<http://ugb.lt/en/product/durpiu-puspriekabe-gp1-21-kopijuoti/> (04.02.2020)
13. OÜ Lavinton kodulehekülg [*Online*]
<https://lavinton.ee/tooted/tavalised-vorgud/> (18.02.2020)
14. Baltic Protrailers OÜ kodulehekülg
<http://protrailers.ee/toode/veoauto-porteluk-spp/> (25.03.2020)
15. Tööriistamarketi kodulehekülg. Kummiamort [*Online*]
<https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/koonuskummiamort-50x40xm10> (15.02.2020)
16. Tööriistamarketi kodulehekülg. Veosilmus [*Online*]
<https://tooriistamarket.ee/et/veosilmus-25-t> (17.02.2020)

17. Baltic Bolt OÜ kodulehekülg. DIN 931 10.9 [*Online*]
<https://www.balticbolt.ee/Products/IndexByGroup?groupId=94> (29.01.2020)
18. Baltic Bolt OÜ kodulehekülg. DIN 985 10 ZN Nylock [*Online*]
<https://www.balticbolt.ee/Products/IndexByGroup?groupId=1112> (29.01.2020)
19. Baltic Bolt OÜ kodulehekülg. EN 14399-6 300 HV [*Online*]
<https://www.balticbolt.ee/Products/IndexByGroup?groupId=842> (29.01.2020)
20. Trabiflex teleskoopsilindrite kataloog (2020)
21. Oy Suokone MeriPeat kodulehekülg. Freesturba seadmed. [*Online*]
<https://www.meripeat.com/en/products/milled-peat-production> (06.02.2020)
22. Tööriistamarket. Haagiserumm [*Online*]
<https://www.tooriistamarket.ee/et/haagiserumm100mm-10x280x335-max75t>
(08.01.2020)
23. Baltyre Eesti AS kodulehekülg [*Online*]
<https://www.baltyre.com/ee/katalog/polnohospodarske-pneu/vo-21-3-r-24-dr108-tyrex-agro/> (04.02.2020)
24. UAB Baltyre Lietuva kodulehekülg [*Online*]
<https://b2b.baltyre.lt/Tel.+37068789890/product/wheel/253> (04.02.2020)
25. Baltic Bolt OÜ kodulehekülg. DIN 975 8.8 [*Online*]
<https://balticbolt.ee/Products/IndexByGroup?groupId=250> (30.01.2020)
26. Baltic Bolt OÜ kodulehekülg. DIN 934 [*Online*]
<https://balticbolt.ee/Products/IndexByGroup?groupId=897> (30.01.2020)
27. Baltic Bolt OÜ kodulehekülg. DIN 985 8 Nylock [*Online*]
<https://balticbolt.ee/Products/IndexByGroup?groupId=3249> (30.01.2020)
28. Alas-Kuul AS kodulehekülg [*Online*]
<https://www.alas-kuul.ee/tugikuullaager-51105-skf> (02.02.2020)
29. Tööriistamarket kodulehekülg. Tõsteaas [*Online*]
<https://tooriistamarket.ee/et/tõsteaas-m27-polt-din580> (17.02.2020)
30. Tikkurila AS kodulehekülg. [*Online*]
https://new.tikkurila.ee/toostusvarvid/tooted/temacoat_rm_40 (01.04.2020)
31. ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon koduleht [*Online*]
<http://www.fao.org/3/x5872e/x5872e0b.htm#9.1%20Introduction>
(07.03.2020)
32. Määrus (EL) 2015/68, millega täiendatakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrust (EL) nr 167/2013 seoses põllu- ja metsamajandusmasinate tüübikinnituse saamiseks vajalike pidurdustõhususe nõuetega, Euroopa Liidu Teataja L 17/1, 15.10.2014, L17/36
33. Tugevusõpetus / R. Kinasošvili. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus, 1963.
34. Masinaehitaja käsiraamat II / üldtoimetaja H. Lepikson. Tallinn: Valgus, 1971

35. MHE0061 Masinatehnika loengumaterjal [*Online*]
<http://www.tlu.ee/~saarsulo/masinaopetus/MHE0061-Loengukonspekt.pdf>
(02.21.2020)
36. Mehaanikainseneri käsiraamat / üldtoimetaja P. Kulu. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2012.
37. B2B Metal kodulehekülg [*Online*]
<http://www.b2bmetal.eu/rectangular-structural-hollow-sections---hss-of-en-10219-cold-formed-steel-rectangular-sections> (12.02.2020)
38. Tugevusanalüüsi alused. Kõverate varraste tugevus [*Online*]
http://data.vk.edu.ee/KAUGOPE/Kaugope_RDER_2.kursus/Tugevusopetus_I_1/Kaugoppe/Tugevusanaluusi%20alused/14_Koverate_varraste_tugevus.pdf
(10.03.2020)
39. Tööriistamarketi kodulehekülg. Keermelatt trapetskeermega [*Online*]
<https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/keermelatt-trapetskeermega-tr30x6-1m> (22.02.2020)
40. Tööriistaarketi kodulehekülg. Mutter trapetskeermega [*Online*]
<https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/mutter-trapetskeermega-tr30x6>
(22.02.2020)

LISAD

Lisa 1. Joonised