



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

KIVIDE TÕSTMISE JA TRANSPORTIMISE HAAGISE ARENDAMINE

DEVELOPMENT OF ROCK LIFTING AND TRANSPORTING TRAILER

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Johannes Matsulevitš

Üliõpilaskood: 221385MATM

Juhendaja: Martin Eerme, täisprofessor tenuuris

Kaasjuhendaja: Maarjus Kirs, teadur

Tallinn 2024

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2024

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2024

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." 2024

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Johannes Matsulevitš,

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

„Kivide tõstmise ja transportimise haagise arendamine“,

mille juhendajad on Martin Eerme ja Maarjus Kirs,

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.

_____ (kuupäev)

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

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Johannes Matsulevitš, 221385MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/22, Tootearendus ja tootmistehnika
Juhendajad: Martin Eerme, täisprofessor tenuuris, 6203270
Maarjus Kirs, teadur, 6203256

Lõputöö teema:

Kivide tõstmise ja transportimise haagise arendamine
Development of Rock Lifting and Transporting Trailer

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kivihaagise kasutamise kogemustel põhinev analüüs ja muudatuste soovitamise algele haagise konstruktsioonile
2. Kivihaagise kasutusvõimalusi laiendavate kontseptsioonide loomine tuginedes turuanalüüsile ja kasutuskogemusele
3. Välja valitud seadmete detailne projekteerimine ning ehitamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kasutuskogemuste analüüs	30.09.2023
2.	Turuanalüüs ja nõuete loetelu	30.11.2023
3.	Kontseptsioonide loomine	15.01.2024
4.	Detailne projekteerimine ja arvutused	30.03.2024
5.	Tööjooniste valmimine	30.04.2024
6.	Seletuskirja vormistamine	15.05.2024

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 20.05.2024

Üliõpilane: Johannes Matsulevitš ".....".....2024. a
/allkiri/

Juhendaja: Martin Eerme ".....".....2024. a
/allkiri/

Juhendaja: Maarjus Kirs ".....".....2024. a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme ".....".....2024. a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
1 SISSEJUHATUS	11
2 LÄHTEÜLESANNE.....	13
2.1 Kasutuskogemuste analüüs.....	13
2.2 Turuanalüüs	15
2.3 Projekteeritavale seadmele esitatavad nõuded	21
2.4 Ohutusnõuded	23
3 KONTSEPTSIOONIDE SELGITUSED JA VALIK	24
3.1 Hüdrojaama kontseptsioon.....	24
3.2 Esimene freesikontseptsioon	25
3.3 Teine freesikontseptsioon	27
3.4 Kolmas freesikontseptsioon ja hindamismaatriks	28
3.5 Rataste ajami esimene kontseptsioon	30
3.6 Rataste ajami teine kontseptsioon.....	32
3.7 Rataste ajami kolmas kontseptsioon ja hindamismaatriks	33
4 DETAILNE PROJEKTEERIMINE JA ARVUTUSED.....	35
4.1 Rataste ajamite projekteerimine	35
4.2 Hüdraulilise jõujaama projekteerimine	47
4.3 Pinnasefreesi projekteerimine.....	51
5 VÕIMALIKUD EDASIARENDUSED	60
KOKKUVÕTE	61
SUMMARY	62
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	63
LISAD.....	68
Lisa 1 Kasutuskogemuste analüüs	69

Lisa 2 Hüdraulikaskeem	72
Lisa 3 Tükitalbel	73
Lisa 4 Illustratsioonid	77
GRAAFILINE OSA.....	79

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö eesmärk on edasi arendada autori bakalaureusetöö käigus valminud, väikestele maastikusõidukitele mõeldud kivide tõstmise ja transportimise haagist ning mõni projekteeritud seade valmis ehitada.

Lõputöö teema on sõnastatud töö autori algatusel. Autor on kahe aasta jooksul saanud kasutada olemasolevat kivihaagist ning selle aja jooksul on tekkinud parem arusaam, milliseid funktsioone oleks kasulik haagisele lisada ning mida oleks võinud kivihaagise esmases prototüübis teisiti teha. Loodavatele seadmetele esitatavad nõuded põhinevad sarnaste seadmete parameetritel, mis on välja selgitatud turuanalüüsi käigus, ning eelnevalt loodud haagise olemusel. Läbivaks teemaks on hüdraulikasüsteemi integreerimine kivihaagisega.

Magistritöös on käsitletud projekteeritavate seadmete kontseptsioonide loomist ning nende võrdlemist hindamismaatriksite alusel. Välja valitud lahenduste kohta on toodud detailsed kirjeldused koos arvutustega, mille teostamiseks on kasutatud nii analüütilisi valemeid kui ka erinevaid tarkvarasid. Teksti sees on toodud *CAD*-mudeleid ja arvutusi iseloomustavad illustratsioonid ning kõigist valmis ehitatavatest detailidest ja koostudest on tehtud tööjoonised, millest mõningad on esitatud graafilises osas.

Autor tänab kõiki lõputöö valmimisel toeks olnud inimesi: Martin Eerme, Maarjus Kirs, Lenart Kivistik, Margus Müür, Martinš Sarkans, Jaan Kers, Aigar Hermaste, Märt Kolnes, Mart Kolnes, Hans Vallner, Hando Kuuskman, Mykola Semeniuk, Tiit Matsulevitš, Eha Karlep, Aleksandra Kurvits-Vahter ja Kuulo Vahter.

Lühendite ja tähiste loetelu

- α – trumlile mõjuva normaaljõu ja selle vertikaalkomponendi vaheline nurk, °
- β – hüdrosilindri pikitelje nurk vertikaalkomponendi suhtes, °
- η_{hj} – hüdrojaama kasutegur
- η_{pump} – pumba mahuline kasutegur
- η_{sil} – silindri mehaaniline kasutegur
- σ_{puit} – puidu survepinge piki kiudu, MPa
- σ_s – silindri kinnitussõrmes tekkiv pinge, Pa
- ω_m – hüdro mootori pöörlemiskiirus mootorit läbiva vooluhulga korral, p · min⁻¹
- ω_r – haagise ratta pöörlemiskiirus, p · min⁻¹
- A – vooliku nõutav ristlõikepindala, m²
- A_A – poldi nõutav arvutuslik ristlõikepindala, m²
- A_{frees} – suurim korruga lõigatav puidu pindala, mm²
- A_{sil1} – silindri kolvivarre poolne nõutav kolvi pindala, m²
- A_{sil2} – valitud silindri kolvivarre poolne kolvi pindala, m²
- A_{sil3} – valitud silindri kolvi pindala, m²
- c_1 – rihma haardenurgast tulenev nurgategur
- c_2 – töökoormusest tulenev dünaamikategur
- d – sõrme läbimõõt, m
- d_{voolik} – vooliku sisediameeter, m
- f – teise ratta veerehõõrdetegur
- f_d – detailidevaheline hõõrdetegur poltliites
- f_t – trumli deformeerivast jõust tulenev veerehõõrdetegur, m
- F_1 – ühele silindri kinnitustala poldile mõjuv jõud, kN
- F_f – suurim võimalik koormus freesile, kg
- F_{Fm1} – esimesele rattale mõjuv veerehõõrdejõud, N
- F_{Fm2} – teisele rattale mõjuv veerehõõrdejõud, N
- F_{frees} – suurim lubatud freesi lõikejõud, N
- $F_{frees, MAX}$ – suurim võimalik freesi lõikejõud, N
- F_{Ft} – kummalegi rattale mõjuv, trumlist tulenev veerehõõrdejõud, N
- F_N – ühele rattale kanduv vertikaalne jõud, N
- F_{N1} – trumli ja rehvi vaheline normaaljõud, N
- F_{N15} – 1,5-kordne rehvi ja trumli vaheline normaaljõud, N
- F_{P1} – puutujasihiline jõud trumli ja rehvi kokkupuutepunktis, N

F_{polt} – poldi nõutav tõmbejõud, kN
 F_{R1} – trumli kaudu ülemisele keeviskoostule rakenduv vertikaalne jõud, N
 F_{sil1} – silindri nõutav jõud tööliikumisel, N
 F_{sil2} – suurim silindri tekitatav jõud lüheneval liikumisel, N
 F_{sil3} – suurim freesi silindri tekitatav jõud pikeneval liikumisel, N
 F_{TP} – puutujasihiliseks jõuks teisendatud, mootorist tulenev pöördemoment ühe rehvi kohta, Nm
 F_{V1} – trumli tekitatav nõutav vertikaaljõud, N
 F_{Vp} – suurim võimalik koormus veopeale, kg
 g – raskuskiirendus, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
 h_m – takistuse kõrgus, mida esimene ratas ületama peab, m
 h_t – rehvi deformeerimise sügavus, m
 k_m – esimese ratta veerehõõrdetegur, m
 k_p – paranduskoefitsient *FEM*-arvutustes
 k_v – paranduskoefitsient sisevälismootori võimsuse leidmiseks
 l – lehtmatali paksus, m
 l_F – silindri ülemise kinnitussõrme jõuõla pikkus, m
 l_{frees} – suurim võimalik freesi lõikelaius, mm
 m – haagise täismass, kg
 M_s – silindri kinnitussõrmes tekkiv paindemoment, Nm
 M_{V1} – hüdroomootori pöörlemisest tulenev pöördemoment, Nm
 n – sisevälismootori pöörlemiskiirus, $\text{p} \cdot \text{min}^{-1}$
 n_r – ratta raadiuse ja trumli raadiuse suhe
 N – nõutav kiilrihmade arv, tk
 N_A – poldi sisejõud, kN
 p – õlirõhk, Pa
 p_2 – õlirõhk freesi silindris, Pa
 p_3 – õlirõhk freesi hüdroomootoris, Pa
 p_k – silindri kinnitussõrme ja lehtmatali vaheline kontaktpinge, Pa
 P – freesi hüdroomootori võimsus, kW
 P_{hj} – nõutav mootori võimsus, W
 P_{hj2} – freesi jaoks nõutav mootori võimsus, W
 P_{max} – valitud mootori maksimaalne võimsus, W
 P_{rated} – ühe rihma nimivõimsus, kW
 q_{frees} – freesi hüdroomootoris nõutav õli vooluhulk, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

q_{hj} – hüdrojaama tekitatav õli vooluhulk, $m^3 \cdot s^{-1}$
 q_{hm} – ühte hüdro mootorit läbiv vooluhulk, $m^3 \cdot s^{-1}$
 q_{max} – suurim võimalik õli vooluhulk valitud mootori puhul, $m^3 \cdot s^{-1}$
 q_{min} – nõutav õli vooluhulk, $m^3 \cdot s^{-1}$
 r_1 – rehvi välisraadius, m
 r_2 – rattaid ringi ajava trumli raadius, m
 R_{ax} – pöörlemisteljel tekkiva reaktsioonijõu horisontaalkomponent, N
 R_{ay} – pöörlemisteljel tekkiva reaktsioonijõu vertikaalkomponent, N
 R_c – silindri kinnituspunktis tekkiv reaktsioonijõud, N
 R_{cx} – silindri kinnituspunktis tekkiva reaktsioonijõu horisontaalkomponent, N
 R_{cy} – silindri kinnituspunktis tekkiva reaktsioonijõu vertikaalkomponent, N
 s_r – voolepiiri nõutav varutegur
 s_{sil} – silindri jõu varutegur
 S – läbilisemise varutegur poltliites
 t_{laast} – suurim laastu paksus kogu laiusega freesimisel, mm
 T_{Fm1} – esimese ratta hõõrdemoment, Nm
 T_{Fm2} – teise ratta hõõrdemoment, Nm
 T_{Ft} – rehvi deformeerumisest tulenev nõutav pöördemoment kummalegi rattale, Nm
 $T_{Trummel1}$ – trumlilt esimesele rattale üle kantav pöördemoment, Nm
 $T_{Trummel12}$ – trumlilt rehvide üle kantava pöördemomendi keskmine väärtus, Nm
 $T_{Trummel2}$ – trumlilt teisele rattale üle kantav pöördemoment, Nm
 v – õli suurim voolukiirus, $m \cdot s^{-1}$
 v_h – haagise liikumiskiirus, $m \cdot min^{-1}$
 V_{hj} – hüdropumba ligikaudne pöördemaht, cm^3
 V_{pump} – valitud hüdropumba pöördemaht, cm^3
 W – ümarraua telg-tugevusmoment, m^3

1 SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärk on laiendada autori bakalaureusetöö raames valminud kivide tõstmise ja transportimise haagise kasutusvõimalusi lisaseadmete abil ning projekteerida ja valmis ehitada üks haagise külge kinnitatav terviklik seade.

Idee sellise täienduse loomiseks tuli autorile olemasoleva väikestele maastikusõidukitele mõeldud kivide tõstmise ja transportimise haagise põhjal (edaspidi kivihaagis), mille peamine kasutusviis on algse projekti järgi kivide tõstmine ja langetamine vintsi ja selle küljes rippuva haaratsi abil ning nende transportimine haagist vedava sõiduki abil. Tänu bakalaureusetöö käigus valminud haagise modulaarsusele on seda olemasolevate moodulite abil võimalik kasutada ka palkide välja vintsimiseks ja transportimiseks ning kontseptsiooni tasandil olevate koostude abil ka puistematerjali ja peenema metsamaterjali veoks, kuid sellega hetkel kasutusvõimalused piirduvad.

Metsanduses ja põllunduses on kasutusel hulgaliselt erinevaid traktori külge kinnitatavaid haakeseadmeid, kuid käesolevas töös võetakse vaatluse alla üksnes sellised seadmed, mida võib aeg-ajalt vaja minna ka mitteprofessionaalsel metsanduse ja põllundusega tegeleval inimesel. Selliste seadmete hulka kuuluvad näiteks heina- ja võsaniidukid, mullafreesid, võsafreesid ja kännufreesid, postipuudid ja postirammijad, oksapurustid ja puulõhkujad. Olemasolevale kivihaagisele täiendavate seadmete lisamine laiendaks oluliselt selle kasutamise võimalusi ning niisugusel seadmel oleks suurem potentsiaal, nii renditurul kui ka väiksemates maamajapidamistes.

Ülalmainitud seadmed on üldjuhul kas traktori külge kinnitatavad või käsitsi liigutatavad, kuid loodava seadme eelis teiste ees on esiteks see, et selle saab haakida iga väikese maastikusõiduki külge, millel on olemas haakekonks, seetõttu ei ole vedukil vaja jõuvõtvõlli ega hüdraulikaväljavõtet. Teiseks on selliste seadmete haagitavus heaks alternatiiviks käsitsi liigutatavatele seadmetele, kuna see vähendaks nende liigutamise vaeva ja muudaks seadme mobiilsemaks. Kolmandaks jääb loodavale mobiilsele haakeseadmele alles ka olemasolev kivihaagise funktsioon.

Magistritöö seletuskiri algab olemasoleva haagise ja selle kasutusvõimaluste laiendamise analüüsiga ning turuanalüüsist ja kasutuskogemustest lähtuvalt määratakse loodavate seadmete olemus ning nende funktsionaalsed ja tehnilised nõuded. Edasi on toodud

seadmete kontseptsioonide kirjeldused ja nende võrdlus, välja valitud lahenduste detailne projekteerimine ja arvutused ning võimalikke edasiarendusi kirjeldav peatükk. Seletuskirja põhiosas on kasutatud tabelleid ning kirjeldusi iseloomustavaid jooniseid, lisaosas on muuhulgas toodud tükitabel ning lõppu on lisatud graafiline osa – tööjoonised.

Kõigi mudelite modelleerimiseks, *FEM*-arvutusteks ning jooniste vormistamiseks on kasutatud SolidWorksi tarkvara. Lisaks *FEM*-arvutustele on tehtud hulk analüütilisi arvutusi, mille abil kontrolliti *FEM*-arvutuste tulemusi ning projekteeriti hüdrauliline jõujaam. Hüdraulikaskeemi koostamiseks ja simuleerimiseks on kasutatud Festo FluidSimi tarkvara, analüütiliste arvutuste kontrollimiseks Robot Structural Analysis Professionali tarkvara ning interpoleerimiseks MATLAB-i tarkvara.

Märksõnad: haagis, hüdraulika, veoajamid, pinnasefrees, magistritöö

2 LÄHTEÜLESANNE

Selles peatükis tuuakse esmalt välja kivihaagise kasutamisel tehtud tähelepanekud ning kirjeldatakse lühidalt, millised olid kasutamisel ilmnenuvad vead ja mida oleks kivihaagise juures võinud projekteerida teisiti. Seejärel arutletakse, milliseid sissejuhatuses mainitud väikesi metsandus- ja põllundustööriistu oleks otstarbekas kivihaagisega integreerida, ning otsustatakse, milliste seadmete projekteerimine ette võetakse. Valitud seadmete kohta tehakse turuanalüüs ning tuginedes kasutuskogemustele ja turu-uuringule luuakse nõuete loetelu, mis seab paika, millistele funktsionaalsetele ja tehnilistele parameetritele peab projekteeritav seade vastama. Seejuures tuuakse välja, millised ohutusnõuded peavad valitud seadmetüübi puhul olema täidetud.

2.1 Kasutuskogemuste analüüs

Valmis ehitatud kivihaagise prototüübi kasutamisel ilmnis hulk üksikasju, millele haagist projekteerides ei osatud tähelepanu pöörata. Nende hulgas on nii mõõtmeid, kasutusmugavust, töökindlust kui ka täpsust puudutavaid asju, millest olulisimad on alljärgnevas kokku võetud. Tähelepanekute täielik ja selgitusi hõlmav loetelu ning juba tehtud muudatused on toodud lisaosas (Lisa 1 Kasutuskogemuste analüüs).

Enim muudatusi vajaks haarats, mis on konstrueeritud haagise jaoks natuke liiga suur, nii avatud asendi korral kui ka väikeste kivide tõstmisel kinnises asendis. Haarats on ka suhteliselt raske ning vajaks teistsugust asendihoidjat, mis asuks haaratsi keskel ning võimaldaks haaratsit fikseerida suuremas ulatuses. Haaratsit saaks optimeerida kergemaks, kui kasutada kitsamaid ja õhemaid haarasid, mis oleks valmistatud näiteks Hardoxi terasest. Täpsuse ja vastupidavuse huvides peaks keermelattide asemel eelistama metallist liugelaagreid ja otsast keermestatud ümarlatte.

Teine tähelepanu vajav asjaolu on vintsi ja selle lisadetailide valik. Vints võiks olla suurema tõstevõimega, kuna eeldatud raskusega kivi ta üles tõsta ei suuda. Eelistama peaks jämedamat trossi. Vintsi puldi ning juhtmete kinnitused peaksid olema vastupidavamad, samas peab juhtmetele jätma koha, mis saaks erandolukorras puruneda ilma vintsi releele kahju tekitamata. Vintsi plokk võiks vastupidavuse huvides olla liugelaagritel ning määratav.

Teleskoopne tarind, mille külge vints kinnitub, võiks olla suurema vertikaalse liikumisulatusega ning selle üles-alla liigutamine võiks toimuda vintsi jõul. Üksteise sees liikuvad torud põhjustavad värvi kulumist ja selle kogunemist torude sisse ning koos muu mustusega raskendab see tarindi liigutamist, samuti selle kõige alumisse asendisse seadmist. Ennetamaks mustuse ja vee kogunemist kinnise toru põhja, peaks selle põhjas olema ava ning ülemises servas tihend või juhikud.

Haagise stabiilsuse säilitamiseks tõstmise ajal peaks haagise tagaosas olema reguleeritavad tugijalad. Kasutatavate sõrmede otsad peaks olema treitud koonusekujuliseks, kuna see lihtsustab nende paigaldamist raskesti joondatavatesse avadesse. Haagisel võiks pinnakattena eelistada kuumtsinkimist, kuna see on löökoormustele vastupidavam. Haagise suure täismassi tõttu ei pruugi väiksemad vedukid seda kallakust üles vedada, seetõttu peaks haagise ratastel olema abimootorid.

Bakalaureusetöö käigus valminud kivihaagise prototüüp on kujutatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1. Valminud kivihaagise prototüüp

Valminud kivihaagise olulisimad tehnilised parameetrid

Tühimass: 260 kg

Täismass: 1460 kg

Kandevõime: 1200 kg

Kogulaius: 1784 mm

Transpordilaius (ilma balanssiirideta): 1340 mm

Pikkus: 2520 mm

Maksimaalne pikkus (avatud tagumise tugitalaga): 3585 mm

Kõrgus hoiustamisel: 1736 mm

Maksimaalne kõrgus tööasendis: 2536 mm

Suurim lubatud kiirus täiskoormuse korral (rataste tootja info põhjal): 15 km/h

Vintsi teoreetiline tõstevõime plokki kasutades: 1814 kg

Veopea tsentri kõrgus maapinnast: 289 mm

2.2 Turuanalüüs

Enne spetsiifilisema turu-uuringu tegemist arutletakse, milliseid seadmeid oleks otstarbekas kivihaagisega integreerida, arvestades nende kasutusviisi ja kasutustihedust ning sobivust olemasoleva kivihaagise konstruktsiooniga. Vaatluse all on järgmiste seadmetüüpide kodukasutajatele mõeldud variandid: heina- ja võsaniidukid, mullafreesid, võsafreesid ja kännufreesid, postipuurid ja postirammijad, oksapurustid ja puulõhkujad.

Oksapurustajad ja puulõhkumismasinad on metsanduses levinud seadmed, mida kasutatakse raiesaaduste töötlemiseks. Mõlemat tüüpi seadet oleks võimalik olemasolevale kivihaagise raamile lisada, kuid kuna neid kasutatakse enamasti ühes asukohas pikemat aega, siis ei ole neid vaja ebatasasel maastikul pidevalt liigutada. Lisaks on turul olemas haagitavad oksapurustajad ning puulõhkumismasinad, millel on olemas sõltumatu jõuallikas [1], [2].

Postipuure ja postirammijaid kasutatakse aiapostide ning vundamendipostide paigaldamisel. Nagu nimigi ütleb, siis postipuuriga puuritakse posti jaoks maa sisse auk, samas kui postirammijaga lüüakse post maa sisse väikeste löökidega [3], [4]. Mõlemad

seadmed töötavad vertikaalsihis ning kivihaagise kõrge raami külge oleks võimalik kinnitada mõlemat seadet. Samas on olemasolevate seadmete eeliseks nende kompaktsus ning selliste masinate paigaldamine kivihaagise laia raami külge muudaks protsessi keeruliseks, eriti kui aiaposte paigaldatakse tihedas metsas või vundamendiposte eritasandilisel ehitusobjektil. Turul leidub ka kompaktsaid haagitavaid postipuure [5]. Kõigil vaadeldud seadmetel on jõuallikaks sõltumatu bensiinimootor.

Heina- ja võsaniidukid on laialdaselt kasutusel hooldamata heinamaade korrastamisel. Nende seadmetega saab niita kõrget heina ning vaadeldava toote puhul väiksemaid puitunud varsi, mille läbimõõt on kuni 5 cm [6]. Sellel ning sellesarnastel seadmetel on lõikeorganiks muruniiduki teradega sarnased terad, mida on tavaliselt rohkem kui üks [7]. Samuti on olemas haagitavad heinaniidukid, millel kasutatakse jõuallikana ühte või mitut bensiinimootorit [8]. Heinaniiduk kasutab heina purustamiseks pöörleva trumli külge kinnitatud haamreid. Heina- ja võsaniidukite miinusena võib välja tuua selle, et neid ei saa kasutada võsast maha jäävate kändude eemaldamiseks.

Mullafreesid kasutatakse põllukultuuride kasvatamisel pinnase ettevalmistamiseks. Mullafreesidel on horisontaalne kettülekandegaga võll, mille küljes on mitu freesitera, mis pinnast läbi segavad [9]. Selle ning teiste sarnaste mullafreeside eelis on see, et nendega pääseb paremini kitsastesse kohtadesse, kuna neil pole külgedel seadme laiust suurendavaid rattaid, samuti on eeliseks mobiilsust suurendav sisepõlemismootor. Samas on käsitsi opereeritavate mullafreeside kasutamine füüsiliselt raske ning need ei ole ette nähtud pinnases esinevate kändude eemaldamiseks. Turul leidub küll traktori külge jäigalt kinnitatavaid mullafreesid, mis kasutavad jõuallikana traktori jõuvõtuvõlli, kuid haagitavaid mullafreesid, millel oleks sõltumatu jõuallikas, autor turuanalüüsi käigus ei leidnud [10].

Võsafreesid (nimetatakse ka metsafreesideks ja pinnasefreesideks) ja kännufreesid on ette nähtud võsa ja kändude eemaldamiseks koos maa-aluse osaga (teatud sügavuseni) ning selle jaoks on nendel seadmetel terad, mis trumli või ketta külge kinnitatuna ringi käivad ja puitmaterjali hakivad [11], [12]. Käsitsi opereeritavaid, integreeritud sisepõlemismootoriga kännufreesid on turul lai valik, seejuures on osa neist võimelised ise sõitma [13]. Haagitavaid kännufreesid autor turult ei leidnud ning tõenäoliselt on põhjus selles, et isesõitvad kännufreesid asendavad haagitavat kännufreesi piisavalt hästi. Samuti on olemas suur valik traktorite ja ekskavaatorite külge kinnitatavaid kännufreesid ja kännupuure [14], [15]. Võsafreeside hulgast ei leitud ühtegi käsitsi opereeritavat ega

haagitavat integreeritud jõuallikaga seadet, kõik esmasel vaatlusel tuvastatud võsafreesid on ette nähtud jäigalt traktori külge või ekskavaatori noole otsa kinnitamiseks [16].

Eelnevale seadmete analüüsile tuginedes võib öelda, et oksapurustajaid ja puulõhkumismasinaid, niisamuti heina- ja võsaniidukeid ei ole mõistlik kivihaagisega integreerida, kuna turul on olemas nende seadmete haagitavad versioonid, millel on sõltumatu jõuallikas. Niisamuti pole otstarbekas olemasoleva haagisega integreerida postipuure ega postirammijaid, kuna turul leiduvad seadmed võimaldavad toimetada ka raskesti ligipääsetavates kohtades.

Samas ei leidu turul haagitavaid, integreeritud jõuallikaga mullafreesid, võsafreesid ja kännufreesid. Mullafreesiga saab segada ilma kändudeta pinnast, samas kui võsafreesid ja kännufreesid võimaldavad pinnasega segada ka soovimatuid kände ja juuri. Esialgse vaatluse põhjal võib öelda, et peamine võsa- ja kännufreeside erinevus on nende tööorgani laius, kännufreesidel on see kitsam. Samas sobib osa võsafreesidest ka suuremate kändude eemaldamiseks ja tänu sellele on võsafreesid universaalsemad [11]. Seepärast otsustatakse, et kivihaagisega integreeritakse iseseisva jõuallikaga seade, mis suudab ühtviisi eemaldada nii kände kui ka peenemat võsa ja teatud sügavuselt ka nende maa-aluse osa.

Alljärgnevalt uuritakse põhjalikumalt turul leiduvaid võsa- ja kännufreesid. Esmalt võetakse vaatluse alla kännufreesid, kusjuures võrreldakse nii käsitsi opereeritavaid, iseliikuvaid kui ka traktori külge kinnitatavaid, pöörleva ketta küljes olevate kõvasulamhammastega kännufreesid. Laiem analüüs aitab saada parema ülevaate peamiste kännufreeside võimsusest ja tehnilistest parameetritest, milleks on lõikepea läbimõõt, terade arv, freesitava kännu suurim soovituslik läbimõõt, freesimise sügavus, hüdraulika olemasolu, seadme mass ja lisaks seadme hind. Seadmete gabariitmõõtmeid ei vaadelda, kuna projekteeritav seade hakkab asuma olemasoleval haagise raamil, mille mõõtmeid ei soovitata muuta.

Niinimetatud kännupuurid, näiteks Dipperfoxi kännupuur, mis kinnitatakse enamasti ekskavaatori noole otsa, jäetakse vaatluse alt välja, kuna nende opereerimiseks on vaja suurt massi, mis puuri kännu sisse surub [15]. Kännufreeside turuanalüüsi tulemused on esitatud tabelis 2.1 ning tabeli kompaktsuse huvides on vaadeldavate seadmete täpsed mudelid toodud nummerdatud loeteluna enne tabelit ja vastav number tabelis tähistab seda mudelit.

1. LASKI F 360 SW/14 [17]
2. LASKI F 460E/27 [18]
3. LASKI F 500 H/35 [19]
4. FRZPRO-54 PTO [20]
5. Bernards STG300 [21]
6. Toro SGR-13 [22]
7. Woodland Mills WG24 [23]
8. LASKI FZ 560 T – M [24]

Tabel 2.1. Mõningate turul saada olevate kännufreeside tehnilised parameetrid. Sulgudes näidatud võimsuse korral puudub seadmel integreeritud jõuallikas ning väärtus on soovituslik ekskavaatori või traktori võimsus

Omadus	1	2	3	4	5	6	7	8
Võimsus, kW	10,5	20,1	26,1	(22,5...37,5)	15	8,7	(11,3...34)	(30)
Lõikepea läbimõõt, mm	350	470	510	600	300	241	610	560
Terade arv, tk	8	12	18	54	9	3	-	30
Kännu suurim läbimõõt, mm	300	800	piiramatu	piiramatu	-	-	piiramatu	piiramatu
Kännu suurim kõrgus, mm	200	300	440	400	-	355	-	650
Freesimise sügavus, mm	120	200	380	200	300	279	-	500
Pöörlemiskiirus, p · min ⁻¹	-	-	-	(540)	-	-	(540)	-
Mass, kg	145	230	775	320	130	109	196	640
Iseliikuv	ei	jah	jah	ei	ei	ei	ei	ei
Hüdraulika olemasolu	ei	ei	jah	jah	ei	ei	ei	jah
Hind, €	4790	9790	26 140	5880	3540	5605	2880	14600

Edasi uuritakse turul saada olevaid võsafreese. Kuna võsafreese ei toodeta integreeritud jõuallikaga, vaid üksnes traktori külge kinnitatavana, siis on nende seadmete puhul antud traktori soovituslik võimsus või mass, mida on freesi kasutamiseks vaja. Sellised freesid on kännufreesidega sarnaselt kinnitatavad nii jäigalt traktori külge kui ka ekskavaatori noole otsa.

Tabelis 2.2 on toodud vaadeldud võsafreeside olulisemad tehnilised parameetrid, sh nõutav võimsus või tarviliku traktori või ekskavaatori mass, freesi tööorgani läbimõõt, freesi laius, terade tüüp ja arv, kännu suurim läbimõõt, hüdraulika olemasolu ja parameetrid, seadme mass, samuti seadme hind. Võsafreeside täpsed nimetused on toodud tabeli ees olevas nummerdatud loetelus ning vastav number tabelis tähistab vaadeldavat mudelit.

1. Ventura TFLHC 100 [25]
2. Tabe THE-100 [26]
3. Plaisance BFH 301-1000 [27]
4. Baumalight MP-360 [28]
5. Brush Hound FX36 [29]
6. Deleks ARH-100 [30]
7. John Deere MH60D [31]
8. Diamond Mowers SK Disc Mulcher Pro X [32]

Tabel 2.2. Mõningate turul saada olevate võsafreeside tehnilised parameetrid. Sulgudes olev pöörlemiskiirus on arvatud teoreetiliselt, tuginedes vooluhulgale ja mootori töömahule

Omadus	1	2	3	4	5	6	7	8
Traktori / ekskavaatori võimsus, kW	-	-	-	22,5...41	-	-	-	-
Traktori / ekskavaatori mass, t	1,5...3	6...12	10...15	-	7...15	3...7	-	-
Lõikeorgani töölaius, mm	1000	1000	1000	1520	910	1000	1520	1219
Lõikeorgani läbimõõt, mm	370	-	300	380	324	127	-	-
Kõvasulam-terade arv, tk	-	26	25...50	74	24	-	30	28
Lendterade / haamrite arv, tk	12/36	-	-	-	-	0/8	-	-
Kännu suurim läbimõõt, mm	30	-	-	25...127	200	50	-	356
Pöörlemiskiirus, p · min ⁻¹	-	(1667...6154)	-	1800	1800...2000	-	-	-
Mass, kg	180	-	650	544	742	290	1240	-
Hüdraulika / kardaan	Hüd- raulika	Hüd- raulika	Hüd- raulika	Kardaan	Hüd- raulika	Hüd- raulika	Hüd- raulika	Hüd- raulika
Hüdraulika vooluhulk, l · min ⁻¹	30...40	75...160	100	-	75...227	65...100	91...170	121<
Hüdraulika rõhk, bar	150...180	180...280	200	-	230	70...140	275	275
Hüdromootori töömaht, cm ³	-	26...45	-	-	-	-	-	-
Hind, €	-	-	-	12 344	-	2780	-	-

Olles tutvunud turul saadaolevate kännufreeside ja võsafreeside tehniliste parameetritega, võib nende kohta teha järgmise kokkuvõtte. Vaadeldud kännufreeside võimsus jääb

vahemikku 9...38 kW ning see on tihedas seoses lõikepea läbimõõduga, mis jääb vahemikku 240...610 mm. Mida suurem on lõikepea läbimõõt, seda rohkem on sellel terasid, vaadeldud juhtudel on kõvasulamteri 3...54. Terade paiknemine ja kuju on eri mudelite puhul üsna erinev, kuid enamasti asetsevad terad pöörleva ketta mõlemal küljel.

Freesitava kännu läbimõõdule enamikul kännufreesidel piirangut ei ole, kuna seadet saab kännu suhtes liigutada, kuid freesimise kõrgust ja sügavust piirab seadme vertikaalsihilise liikumise ulatus. Vaadeldud juhtudel on maapealne freesimisulatus suurem kui maa-alune ulatus, esimesel juhul jääb see vahemikku 200...650 mm ja teisel juhul vahemikku 120...500 mm, ning see sõltub enamasti lõikepea suurusest. Freesi pöörlemiskiiruse kohta pole ühelgi juhul infot antud, sulgudes näidatud väärtused kajastavad sisendina kasutatava kardaanvõlli pöörlemiskiirust. Vaadeldud freesidest on isevedavate ratastega kaks mudelit ning hüdraulika abil töötab kolm mudelit, ülejäänutel on lõikepea seotud mehaaniliselt mootoriga või traktori jõuvõtuvõlliga.

Nagu juba mainitud, siis võsafreese on saada üksnes traktori või ekskavaatori külge kinnitatavana. Kuna võsafreeside valik on üsna suur, siis on võetud vaatluse alla üksnes sellised freesid, mille laius on 1000 mm või sellele kõige lähedasem suurus, mida valitud tootja valmistab, kuna kivihaagisega proovitakse integreerida ligikaudu sellise laiusega võsafreesi.

Võsafreeside puhul on enamasti antud üksnes selle traktori või ekskavaatori mass, millega seadet kasutada saab, ning antud juhul jääb see vahemikku 1,5...15 tonni. Vaid ühel juhul, kui freesi laius on 1520 mm, on antud ekskavaatori soovitatav võimsus – 22,5...41 kW. Vaadeldud võsafreeside tööorganiks (välja arvatud frees number 8) on silindriline rootor, mille läbimõõt jääb vahemikku 127...380 mm ning mille külge on kinnitatud kõvasulamterad, lendterad või haamerterad. Jäigalt kinnitatud kõvasulamterade arv on 24...74, liikuvate lendterade ja haamerterade oma vastavalt 12 ning 8...36 (lendterade ja haamerteradega võsafreesidel saab operaator ise valida, kumba tüüpi terasid kasutatakse). Terade paigutus rootoril on iga freesi puhul erinev.

Freesitavate kändude suurimaid soovitatavaid läbimõõtusid vaadates ilmneb, et kõvasulamteradega on võimalik eemaldada suurema läbimõõduga kändusid (soovitatud kuni 356 mm) kui teiste teradega (soovitatud kuni 50 mm). Freesi pöörlemiskiirus on antud kahel mudelil ja see jääb vahemikku 1800...2000 pööret minutis, ühel juhul on

pöörlemiskiiruste vahemik leitud teoreetiliselt, hüdraulikaõli vooluhulga ja hüdromootori pöördemahu abil (1667...6154 pööret minutis), kuid selle ülemine piirmäär on teiste seadmete pöörlemiskiirusest üle kolme korra suurem, seega tõenäoliselt mittearvestatav väärtus. Üks võsafrees toimib kardaanvõlli kaudu, ülejäänud hüdraulika abil. Hüdraulikaõli soovituslik vooluhulk jääb vahemikku 30...227 liitrit minutis, kusjuures kõvasulamteradega freesidel on see suurem kui teiste terade puhul, õlirõhk on seejuures 70...280 baari. Ühe mudeli puhul on kasutajal võimalik valida sobiva pöördemahuga hüdromootor vahemikus 26...45 cm³.

Võsafrees, mille järjekorranumber on 8, erineb teistest selle poolest, et selle tööorganiks on horisontaalsel tasapinnal (vertikaalse võlli otsas) pöörlev ketas, mille läbimõõt on 1219 mm ja mille alumisele küljele ning välisservale on kinnitatud kõvasulamterad. Ühelgi vaadeldud võsafreesil ei ole antud freesimise suurimat kõrgust maapinnast ega freesimise sügavust, kuna need sõltuvad traktori kinnituse või ekskavaatori noole vertikaalsihilisest liikumisulatusest.

2.3 Projekteeritavale seadmele esitatavad nõuded

Tuginedes olemasoleva kivihaagise geomeetria ja kasutuskogemusele ning turuanalüüsi käigus selgunud kännu- ja pinnasefreeside tehnilistele parameetritele, määratakse nõuded, millele peab loodav seade vastama. Võimaluse korral antakse funktsionaalsetele nõuetele ka ligikaudsed arväärtused, kuid mõnel juhul selguvad viimased alles detailse projekteerimise ja arvutuste käigus. Alapeatüki lõpus on toodud kokkuvõtlik tabel, milles on nõuete loetelu (vt tabel 2.3).

Kuna projekteeritav seade peab lisaks suurematele kändudele suutma eemaldada ka hulgaliselt väikesi kändusid, mis asuvad hõredalt suurema ala peal, siis oleks lõikeorgani kuju silmas pidades efektiivsem kasutada laiemat freesi, mis eemaldaks kändusid korruga laiemal alal. Seetõttu otsustatakse, et kasutatakse kas trumlit või horisontaalsel tasapinnal pöörlevat lõikeorganit, kuna kännufreeside vertikaalne ketas on üsna kitsas.

Lõikeorgani laius peab kokku sobima haagise laiusega, selle esmaseks eesmärgiks seatakse üks meeter, läbimõõt ning terade arv selguvad hiljem. Kuna frees peab suutma eemaldada

ka suuremaid kändusid (läbimõõt kuni 600 mm), kasutatakse jäigalt kinnitatud kõvasulamterasid. Freesimise sügavus peab maapinnast mõõdetuna olema vähemalt 100 mm ning seade peab suutma freesida maapinnast 400 mm kõrgusele ulatuvaid kändusid.

Kasutuskogemuste 31. punkt sedastab, et väikestel vedukitel, nt murutraktoritel, esineb probleeme koormaga kivihaagise kallakust üles vedamisel. Lisaks on pinnasefreesi kasutamisel ette nähtud, et see liigub tavalisele sõidusuunale vastupidises suunas, seega veduki nn tagurpidikäigu säästmiseks peaks teatud ajam haagist aeglaselt tahapoole liigutama. Seetõttu otsustatakse käesoleva töö raames projekteerida ja valmistada haagise rehvide vastu surutavad, eraldi ajamiga trumlid, mida oleks võimalik rehvidest eemale liigutada ning mille pöörlemist oleks võimalik vedukil istudes juhtida. Ajamid ei pea võimaldama suurt liikumiskiirust, küll aga peavad need tekitama üsna suurt pöördemomenti.

Kuna üks projekteeritava seadme olulisimaid omadusi on selle sõltumatus veduki omadustest, peab kivihaagisele lisama iseseisva jõuallika. Arvestades seda, et freesi moodul peab olema haagise küljest kergesti eemaldatav, samuti seda, et rataste ajamid peavad töötama ka ilma freesi moodulita, peab jõuallikas olema kinnitatud kivihaagise raami külge eraldi moodulina. Tuginedes turuanalüüsile ja asjaolule, et freesi moodulit (selle prototüüpi valmis ei ehitata) peab saama võimalikult lihtsasti jõuallikaga ühendada ning et üks jõuallikas peab varustama eri kohtades asuvaid ajameid, otsustatakse haagisega integreerida hüdraulikasüsteem. Selle täpsemad parameetrid selgitatakse välja arvutuste käigus, kuid lähtutakse sellest, et süsteemi rõhk oleks 70...280 baari ning freesi pöörlemiskiirus ligikaudu 1800...2000 pööret minutis.

Tabelis 2.3 on toodud eespool kirjeldatud nõuded kokkuvõtlikul kujul.

Tabel 2.3. Loodava seadme nõuded

Omadus	Nõutav väärtus või funktsiooni olemasolu
Jõuallika võimsus, kW	Selgitatakse välja projekteerimise käigus
Lõikeorgani töölaius, mm	~1000
Lõikeorgani läbimõõt, mm	Selgitatakse välja projekteerimise käigus
Kõvasulamterade arv, tk	Selgitatakse välja projekteerimise käigus, tõenäoliselt 20...60
Kännu suurim läbimõõt, mm	≥600
Kännu suurim kõrgus, mm	≥400
Freesimise sügavus, mm	≥100

Freesi pöörlemiskiirus, $p \cdot \text{min}^{-1}$	~1800...2000
Tühimass, kg	Suurem mass on parem, kuna see hoiab seadet stabiilsena
Isevedavad rattad	≥ 10 meetrit minutis, vedukil istudes juhitavad
Hüdraulika / mehaaniline ajam	Hüdraulika
Hüdraulika vooluhulk, $l \cdot \text{min}^{-1}$	Selgitatakse välja projekteerimise käigus
Hüdraulika rõhk, bar	70...280
Hüdromootorite pöördemaht, cm^3	Selgitatakse välja projekteerimise käigus

2.4 Ohutusnõuded

Loodava isevedavate ratastega võsafreesi puhul on tegemist seadmega, milles esineb kiiresti liikuvaid osi. Neist kõige ohtlikumaks võib pidada freesi moodulit, kus frees teeb kuni 2000 pööret minutis ning lennutab seejuures laiali kändude tükke ja pinnases leiduvaid kive. Seetõttu peab frees olema kolmest küljest ning pealt kaetud, kuid tagumine külg peab jääma avatuks, kuna selle küljega liigub frees kändude kohale. Operaator seisab töö ajal haagise kõrval või istub vedukil, kus tükkide paiskumise võimalus on minimaalne.

Teine tähelepanu vajav koht on rattaid ringi ajavad trumlid, mis on surutud vastu rehve. Teistel sarnastel lahendustel ei ole need osad kaetud, seega operaator peab ise jälgima, et ükski kehaosa ega riideese ei satuks trumli ja rehvi vahele [33]. Kolmandaks, kuna seade sisaldab kõrge rõhu all olevat hüdraulikaõli, peab operaator nii töö kui ka hoolduse ajal jälgima, et torud ja ühendused ei katkeks, see tähendab, et need ei jääks millegi taha kinni, ei jääks millegi vahele ega puutuks kokku teravate servadega.

3 KONTSEPTSIOONIDE SELGITUSED JA VALIK

Haagise täienduste kontseptsioonide loomisel arvestatakse eelkõige alapeatükis 2.3 välja toodud tehnilisi ja funktsionaalseid nõudeid. Kuna paljud arväärtused on antud suures vahemikus ning osa asjade jaoks selguvad need hiljem, siis on võimalik välja pakkuda üsna erisuguseid kontseptsioone. Põhiline on see, et neid täiendusi oleks võimalik kinnitada olemasoleva kivihaagise külge ilma selle esialgset funktsiooni liigselt segamata ja konstruktsiooni nõrgestamata ning et neid oleks mugav kasutada.

Nii nagu bakalaureusetöö puhul, peab ka siin arvestama sellega, et neid täiendusi, mida plaanitakse valmis ehitada, saaks valmistada Tallinna Tehnikaülikoolis olevaid seadmeid kasutades. Erandiks on lehtmetsa laserlõikus ja teraskonstruktsioonide pinnaviimistlus, mis tellitakse allhankena väljastpoolt. Kuna eelistatakse kasutada võimalikult suurel määral standarddetaile ja ostutooteid, siis kontseptsioonide modelleerimise käigus tutvutakse turul saada olevate toodetega, ja mudelid luuakse nende mõõtmeid arvestades. Need tooted peavad sobituma standardsetest terasprofiilidest ja lehtmetsast valmistatud konstruktsioonelementide külge.

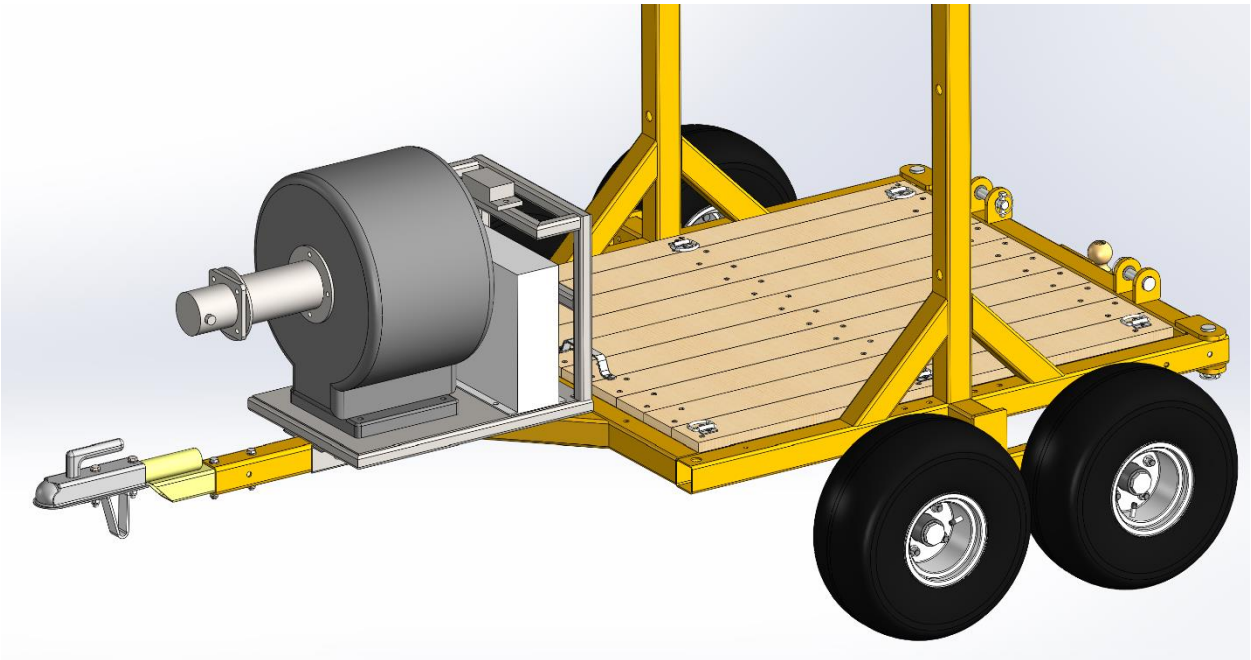
Et suurendada kasutusmugavust ja vastupidavust ning vähendada ootamatuste tekkimise võimalust, arvestatakse kontseptsioonide loomise käigus kivihaagise kasutamisel saadud kogemusi. Mudelid luuakse nii, et haagise laius püsiks olemasolevates piirides, pikkus võib freesi tõttu suurened. Kontseptsioone ei modelleerita väga detailselt, kuna eesmärk on anda ülevaade tööpõhimõttest. Loodud kontseptsioonide hulgas on kolm lahendust pinnasefreesi, üks lahendus hüdrojaama ja kolm lahendust rataste ajami jaoks. Nii rataste ajamid kui ka freesid peavad töötama hüdrojaamast saadava energia abil. Freesi ja ajami kolmanda kontseptsiooni alapeatüki lõpus on freeside ja ajamite lahenduste võrdlemiseks toodud hindamismatriksid, mille alusel tehakse valik detailseks projekteerimiseks.

3.1 Hüdrojaama kontseptsioon

Loodav hüdrojaam on olemuselt väga sarnane olemasolevate mobiilsete hüdrojaamadega, mida kasutatakse metsatehnika jõuallikana [33]. Kasutatakse horisontaalse väntvõlliga kompaktselt sisepõlemismootorit, mille väljundvõlli otsa on sidurikoja kaudu kinnitatud

hüdropump, kusjuures mootor käitab hüdropumpa sidurikojas paikneva siduri vahendusel. Mootor ise on kinnitatud alusraami külge, kuhu on lisatud ka hüdraulikaõli paak. Vajalikud klapid, sealhulgas ülerõhuklapp, ning elektriliselt lülitatav jagaja kinnitatakse samuti hüdrojaama raami külge. Sellest väljapoole jäävate hüdraulikakomponentide hulgas on üksnes voolikud ja hüdraulilised ajamid.

Joonisel 3.1 on kujutatud hüdrojaama, mis on paigutatud kivihaagise tiisli peale. Detailse projekteerimise käigus konstrueeritakse üksnes valmis ehitatav, rataste ajamitele sobiv hüdrojaam. Nii sellel joonisel kui ka järgmistel kontseptsioonide illustratsioonidel on olemasolevad kivihaagise osad kujutatud kollase värviga ning lisatud kontseptsioonid halli värviga.



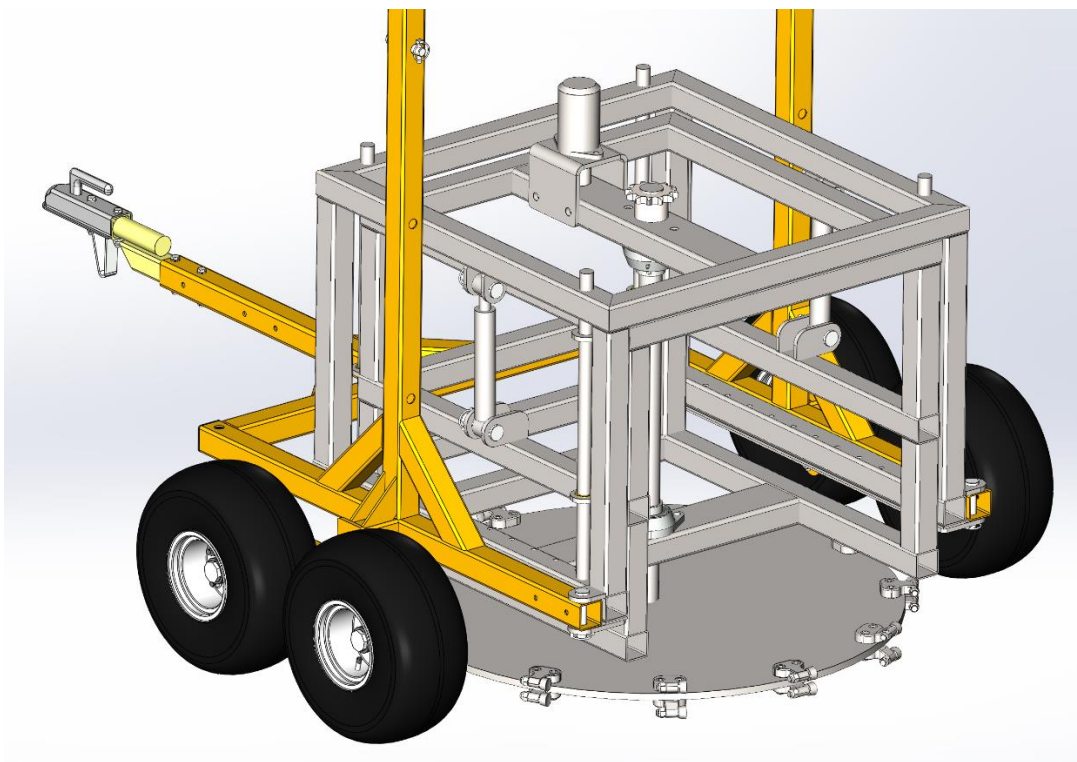
Joonis 3.1. Hüdrojaama kontseptsioon. Haagise tiisliil on eraldi raamile kinnitatud kompaktmootor (tumehall), selle küljes sidurikoda ja hüdropump. Mootori taga on hüdraulikaõli paak (helehall) ning selle kohal raami küljes elektriline jagaja

3.2 Esimene freesikontseptsioon

Kõik pinnasefreeside kontseptsioonid on ette nähtud kinnitamiseks haagise tagaossa ning on mõeldud kasutamiseks selliselt, et haagis liigub freesimise ajal tagasuunas ja freesib

seal olevat materjali. Freeside puhul on oluline see, et freesi tööorgani kõrgust saaks muuta, et võimaldada freesimist maa sees ja samas ka edasilikumist ilma freesimata. Pinnasefreeside kontseptsioonide puhul ei ole modelleeritud materjali laialipaiskumist takistavaid ja üldist ohutust suurendavaid kaitselemente, kuna sel moel on freeside tööpõhimõtte paremini mõistetav.

Esimese freesikontseptsiooni puhul on tegemist ühe suure horisontaaltasandil pöörleva kettaga, mille välisserva on poldidega kinnitatud vaheldumisi eri kujuga kõvasulamhammaste hoidikud ja nende külge ümarad kõvasulamhambad (vt joonis 3.2). Ketas on poldiga kinni võlli alumises otsas ja võlli ajab ülevalt ringi hüdro mootor. Ketast hoidva raami kõrgust reguleeritakse kahe hüdro silindriga ning raami vertikaalsuunaliste lineaarjuhikutena on kasutusel nurkades paiknevad ümarlatid. Freesi välimine raam on jäigalt kinnitatud kivihaagise raami külge.



Joonis 3.2. Pinnasefreesi esimene kontseptsioon. Välimine raam on kinnitatud kivihaagise külge, sisemine raam saab hüdro silindrite abil liikuda vertikaalsihis koos pöörleva freeskettaga

Selle kontseptsiooni puhul võib positiivseks pidada asjaolu, et kändusid ja muud materjali ei hakita üleni tükkideks, vaid lõigatakse need maa sees ligikaudu 100 mm sügavuselt ära, see võimaldab nii aja kui ka kütuse kokkuhoidu. Ära freesitud kändud saaks kerge vaevaga

minema viia, kuid samas võib mõnel juhul olla sooviks, et hakitud materjaliga tasandatakse maapinda. Üks väljakutse antud lahenduse projekteerimisel oleks ka nurkades paiknevate lineaarjuhikute täpne asetus raami valmistamisel, kuna kõik neli juhikut peavad olema suhteliselt täpselt joondatud liikuva raami liugpuksidega.

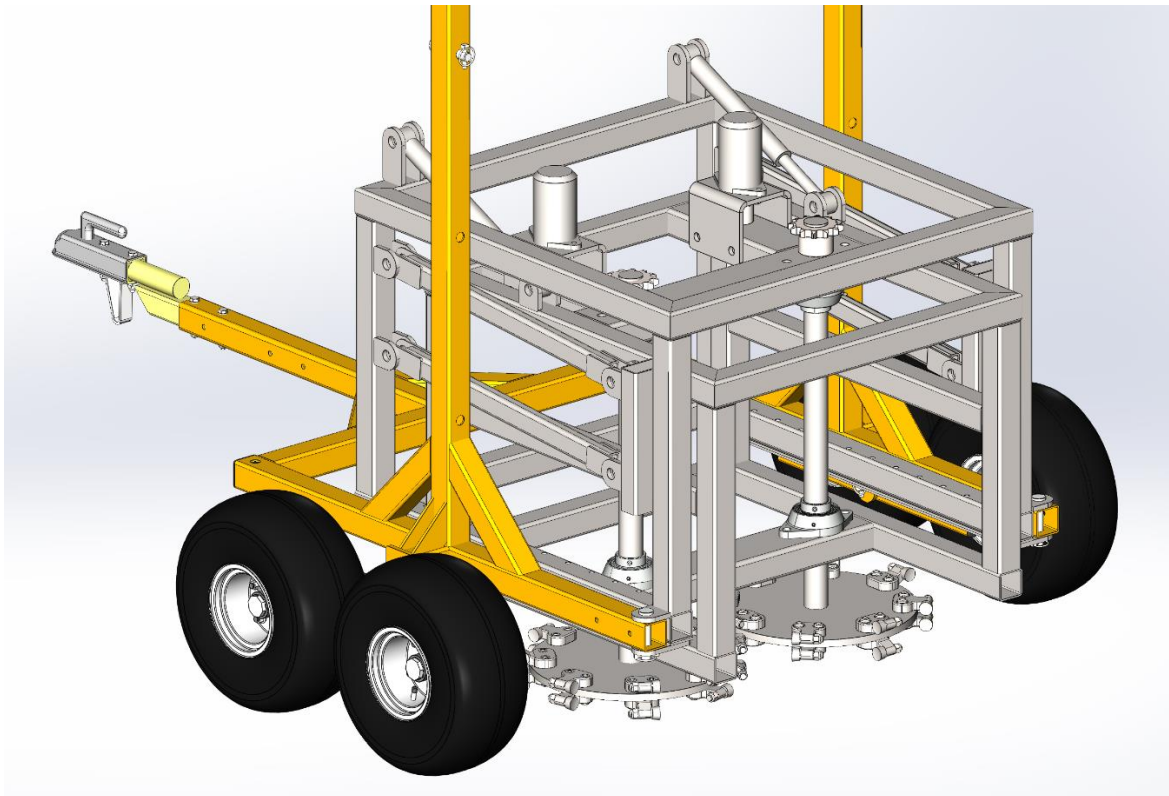
Freesimise sügavus on reguleeritav ning nõutud kõrgusega kändu on selle freesiga võimalik eemaldada, kuid miinusena võib välja tuua asjaolu, et suuremate kui 550 mm läbimõõduga kändude puhul tuleb freesida kahelt poolt, kuna suurema läbimõõduga freesketast on keeruline haagise külge integreerida (laiuse poolest mahub freesi raami vahele kuni 730 mm suurune känd). Ketta saaks viia ka haagisest tahapoole ja siis võiks see olla suurem, kuid sel juhul oleks ketas ise raskem ja haagise raskuskese läheks liiga taha. Lahenduses prooviti freesi raskuskeset hoida haagise raskuskeskme lähedal. Antud lahenduse kontseptsioonis on kogu freesi mooduli mass 314 kg ja sellest freesketta mass koos 24 kõvasulamhambaga on 125 kg. Väga oluline on selle pöörleva massi tasakaal oma pöördlemistelje suhtes.

3.3 Teine freesikontseptsioon

Pinnasefreesi teise kontseptsiooni loomisel oli eesmärgiks esimese kontseptsiooni kahe suurima puudujäägi parandamine. Nendeks on lineaarjuhikute täpsuse nõue ning suhteliselt suur pöörlev ketas. Vertikaalsihiline liikumine on lahendatud paralleelsete liigendite abil, mis hoiavad freesi moodulit kivihaagise suhtes alati sama nurga all, kuid lubavad sellel üles ja alla liikuda. Liikumise tekitamiseks kasutatakse kahte hüdrocilindrit.

Üks suur freesketas on asendatud kahe väiksemaga, see aitab vähendada nende kogumassi ning lihtsustada tasakaalu saavutamist. Freeskettad pöörlevad teineteise suhtes vastupidises suunas ja tõmbavad materjali kahe ketta vahele. See on esimese lahendusvariandiga võrreldes samuti eelis, kuna ühe pöörleva ketta korral võib siis, kui freesimise takistusjõud osutub piisavalt suureks, kogu haagis külgsuunas nihkuda. Freeskettaid ajavad ringi kaks eraldi hüdro mootorit, mis on kinnitatud võllide ülemiste otste juurde.

Freesimise kõrguse ja sügavuse nõue on täidetud, kuid nõutava läbimõduga kännu freesimisel tuleb seda teha mitmelt poolt, kuna alumine võlle toetav tala jääb ette. Konstruktsiooni saaks vähesel määral optimeerida, kui talad jätta konsoolseks ning freesketaid tahapoole viies ketaste läbimõõtu suurendada, kuid see põhjustaks massikeskme nihkumise tahapoole. Joonisel 3.3 on kujutatud teist freesikontseptsiooni, mille puhul freesi mass on 266 kg, kusjuures kumbki freesketas koos 16 kõvasulamhambaga kaalub 26 kg.



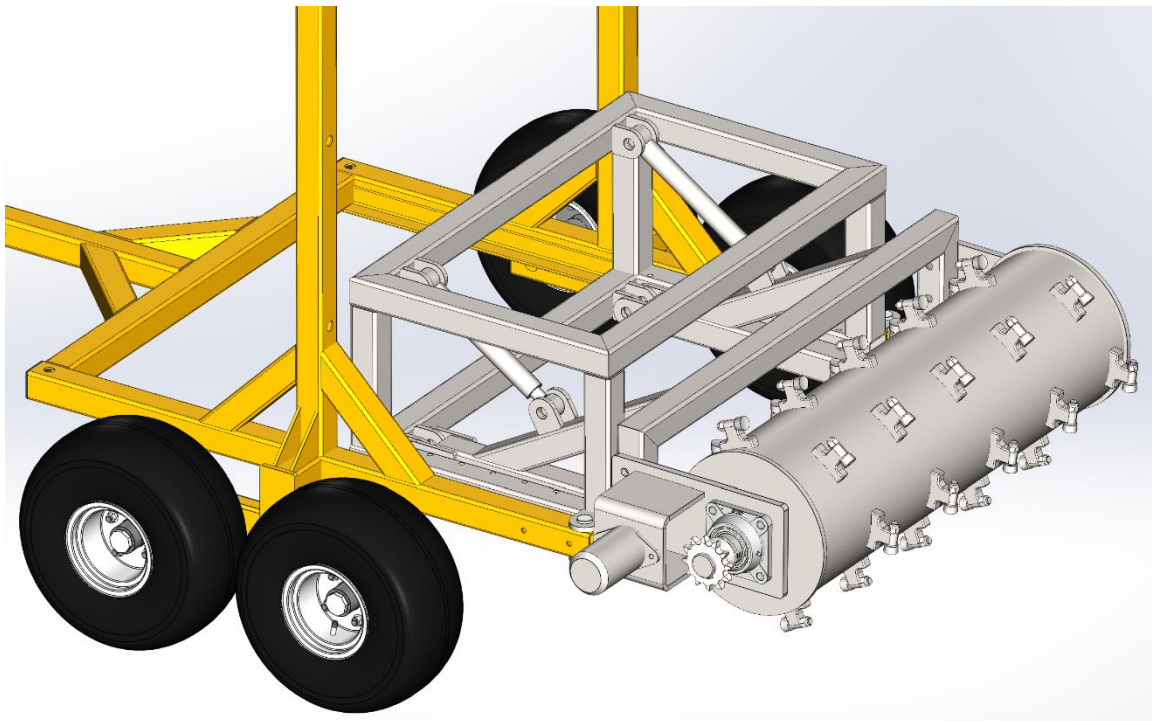
Joonis 3.3. Pinnasefreesi teine kontseptsioon. Välimine raam on kinnitatud kivihaagise külge, sisemine raam saab hüdrotsilindrite ja paralleelsete lülide abil liikuda vertikaalsihis koos kahe vastassuunas pöörleva freeskettaga

3.4 Kolmas freesikontseptsioon ja hindamismaatriks

Kolmas pinnasefreesi kontseptsioon on lahendatud traditsioonilisemal moel: tööorganiks on üks horisontaalse võlli külge kinnitatud pöörlev trummel. Trumli külge on keevitatud terahoidikud ning nende küljes on poltidega kõvasulamterad. Trumlit ajab külje pealt ringi

hüdmootor ning kogu tööorgani tõstmine ja langetamine käib kahe hüdrosilindri abil. Freesi välimine raam on jäigalt kinnitatud kivihaagise raami külge, ning kuna tööorgan ei pea toimimiseks olema kindla nurga all, siis saab see vajalikus ulatuses koos sisemise raamiga pöörduda ümber telje, mis on fikseeritud välimise raami külge.

Kirjeldatud lahendus vastab kõigile neile loetelus toodud nõuetele, mis puudutavad freesitava kännu suurust. Kuni 1000 mm läbimõõduga kändu on võimalik freesida ühelt poolt sellele peale liikudes, kusjuures känd hakitakse üleni tükkideks. Freesimise sügavust piiravad küljel olevad laagrid ja ketiratas, seega suurema trumli läbimõõdu korral oleks pinnast võimalik freesida veel sügavamalt. Sellise freesi lahenduse juures on positiivne ka see, et ei teki ebasoovitavaid külgjõudusid. Miinuseks võib pidada haagise massikeskmest kaugel paiknevat freesi massikeset, kuid vajaduse korral saaks haagise tasakaalustamiseks lisada ballasti. Joonisel 3.4 näidatud kolmanda pinnasefreesi lahenduse mass on 241 kg, millest freesi trummel ja 30 kõvasulamtera moodustavad 134 kg.



Joonis 3.4. Pinnasefreesi kolmas kontseptsioon. Välimine raam on kinnitatud kivihaagise külge, sisemine raam koos pöörleva freesi trumliga saab hüdrosilindrite abil pöörduda ühe telje ümber

Tabelis 3.1 on toodud pinnasefreeside omaduste hindamismatriks, kusjuures kõigil kriteeriumitel on määratud kaal vahemikus 1...3 ning iga kriteeriumit hinnatakse vahemikus 1...5.

Tabel 3.1. Pinnasefreeside hindamismatriks

Parameeter	Kaal	Kontseptsioon 1		Kontseptsioon 2		Kontseptsioon 3	
		Hinne	Kokku	Hinne	Kokku	Hinne	Kokku
Freesimise laius	3	4	12	3	9	5	15
Freesimise kõrgus	1	5	5	5	5	5	5
Freesimise sügavus	1	4	4	4	4	5	5
Freesimise kiirus	2	5	10	4	8	3	6
Kasutamismugavus	3	4	12	1	3	5	15
Freesimisjärgne koristus	2	2	4	2	4	4	8
Kütusekulu freesimisel	1	5	5	4	4	2	2
Võimsustarve	2	4	8	5	10	2	4
Valmistamise keerukus	2	1	2	4	8	4	8
Valmistamise maksumus	3	2	6	3	9	4	12
Hoolduskulud	1	4	4	4	4	3	3
Tõrgete minimeerimine	2	2	4	3	6	5	10
Haagise tasakaal	3	1	3	3	9	5	15
Tööorgani tasakaal	3	2	6	3	9	4	12
Haagise raskuskese	1	4	4	3	3	1	1
Mass	1	3	3	4	4	5	5
Kokku			92		99		126

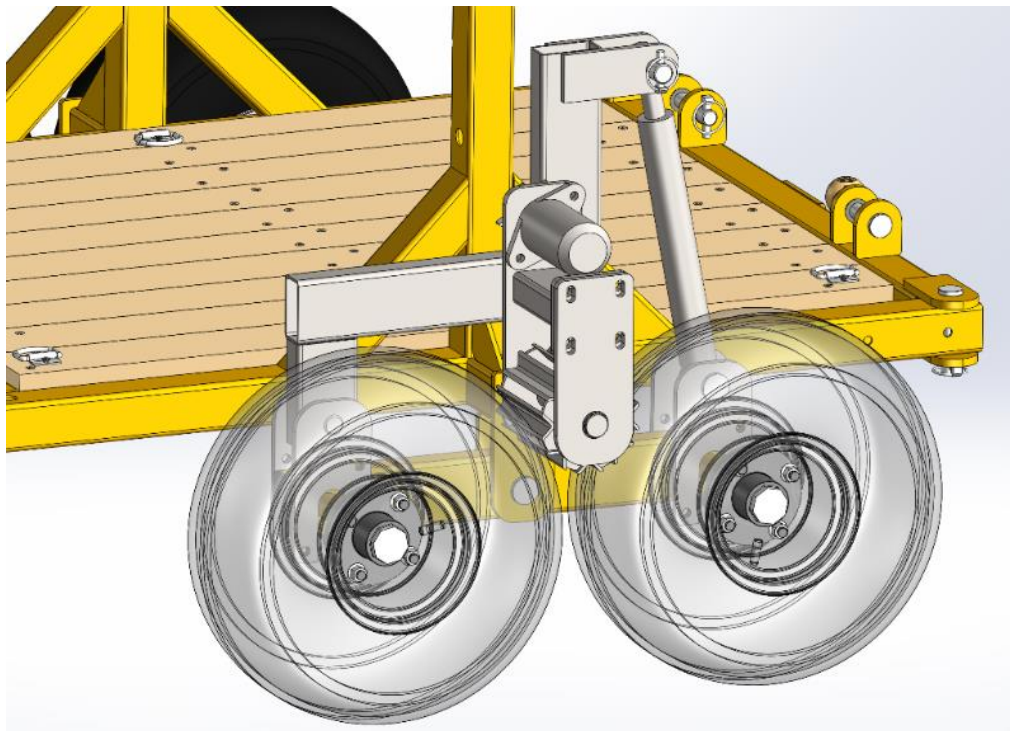
Selgub, et kolme pinnasefreesi hulgast teenib enim punkte kolmas kontseptsioon. Eelkõige on see saavutatud tänu freesimise ulatusele ja kasutusmugavusele ning haagise ja tööorgani tasakaalule ja nende püsivusele. Seega hakatakse detailse projekteerimise käigus konstrueerima kolmanda freesikontseptsiooni põhimõttel toimivat pinnasefreesi.

3.5 Rataste ajami esimene kontseptsioon

Üks olulisimaid rataste ajami omadusi on võimalus ajamit kiiresti ja kerge vaevaga rataste vastu suruda ning neist eemale viia. Seepärast katsetatakse ajami asetust ja liikumisi seitsme erineva kontseptsiooni mudeliga, millest kolm on allpool lahti seletatud. Kuna rattad on balanssiiride küljes, siis nende asend kivihaagise raami suhtes muutub, seega peab terve ajami koost olema kinnitatud balanssiiride külge. Suurimaks väljakutseks kõigi lahenduste puhul osutub ajamite mahutamise olemasoleva kivihaagise laiuse sisse ning selle võimalikkus selgub detailse projekteerimise käigus, kui arvutuste abil selgitatakse muuhulgas välja vajamineva hüdro mootori suurus. Kõigi ajamite kontseptsioonide

illustratsioonidel on rattad kujutatud poolläbipaistvana, et ajami kinnituse ja liikumise põhimõtte oleks paremini arusaadav.

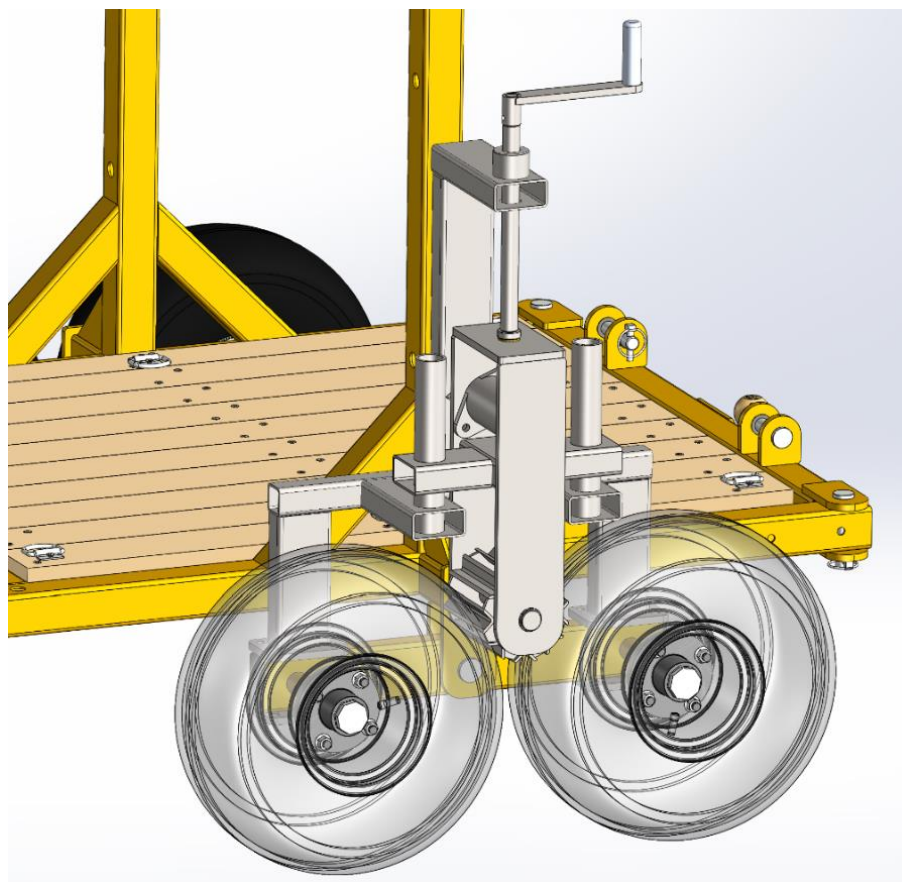
Esimene ajamikontseptsioon (vt joonis 3.5) kujutab endast fikseeritud vahekaugusega, kettülekandega ühendatud hüdromootorit ja trumlit, mis on kinnitatud ümber (pildil) vasakul paikneva telje pöörleva lüli külge. Pöörleva lüli tõstmine ja langetamine toimub hüdrosilindri abil, mis võimaldab ajamit kiiresti ja vähese vaevaga liigutada ning selle asendit täpselt reguleerida. Balanssiiri mõlemas otsas on detailid, mille külge kinnitatakse nii pöörlev lüli kui ka üks hüdrosilindri ots. Negatiivne on see, et kui kasutada kõrguse reguleerimiseks hüdraulilist silindrit, on ajam kallim, kui ta oleks käsitsi reguleeritava lahenduse puhul.



Joonis 3.5. Rataste ajami esimene kontseptsioon. Kõrguse reguleerimine toimub hüdrosilindri abil

3.6 Rataste ajami teine kontseptsioon

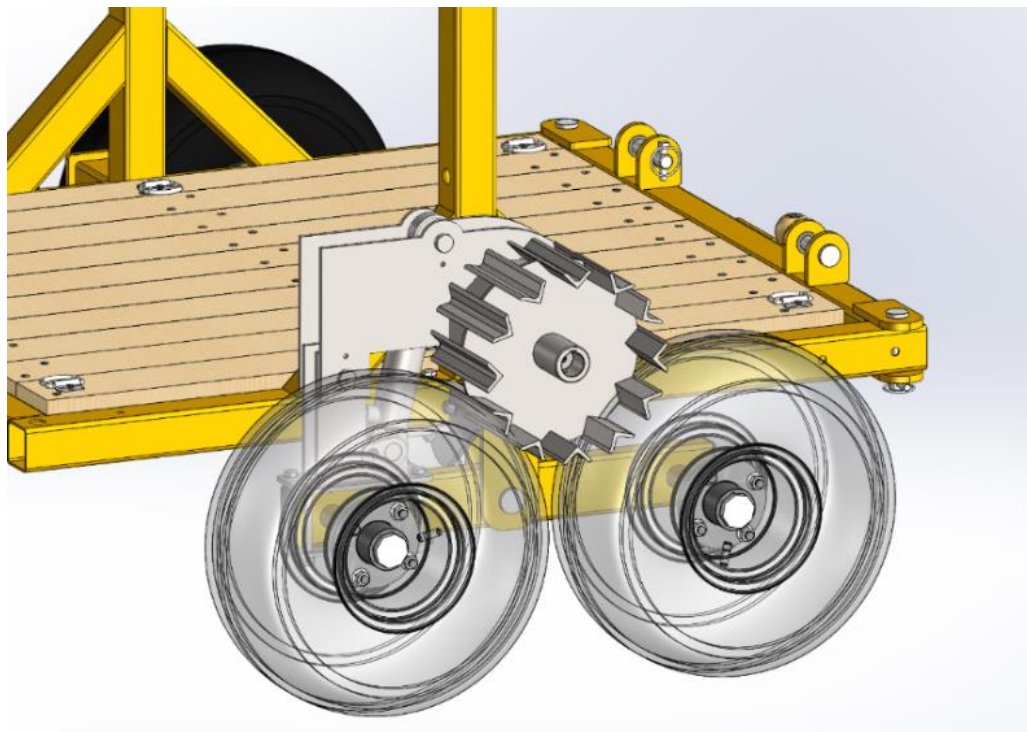
Ajami teise kontseptsiooni (vt joonis 3.6) puhul on tegemist vertikaalsihis liikuva, kettülekanega ühendatud trumli ja hüdmootoriga. Kõrguse reguleerimine toimub trapetskeermelati abil, mida saab käepideme abil keerata, ning kahel pool keermelatti on lineaarjuhikud, mis hoiavad liikuvat moodulit vertikaalsena. Trapetsmutter on seejuures fikseeritud raami külge. Miinusena võib välja tuua, et keermelati abil kõrguse reguleerimine võib osutuda ebamugavaks ja aeganõudvaks, samuti ei ole see lahendus kuigi kompaktne. Nii esimese kui ka teise kontseptsiooni puhul kasutatav kettülekanne muudab lahenduse kallimaks ja raskemaks ning suurendab seadme hooldamise vajadust.



Joonis 3.6. Rataste ajami teine kontseptsioon. Kõrguse reguleerimine toimub trapetskeermelati abil ja ajami mooduli liikumine on vertikaalsihiline

3.7 Rataste ajami kolmas kontseptsioon ja hindamismaatriks

Rataste ajami kolmanda kontseptsiooni (vt joonis 3.7) loomisel seatakse eesmärgiks kettülekandest vabanemine ning kompaktsema konstruktsiooni kasutamine, kusjuures kõrguse reguleerimine peab olema võimalikult mugav. Selle jaoks paigutatakse rattaid ringi ajav trummel otse hüdmootori külge ning kõrguse reguleerimiseks kasutatakse hüdrosilindrit. Koost on kinnitatud haagise esiosa pool oleva balanssiiri otsa külge, mis on lähemal hüdrojaamale. Tänu väiksemale materjalikulule ja kettülekande puudumisele peaks selline lahendus olema eelmisest kahest odavam, samuti on see kompaktsem ja seda on suhteliselt mugav kasutada. Selle lahenduse kasutamisel jäävad ette mõned olemasoleva haagise tugevdusribid, seepärast asendatakse need sama eesmärki täitvate, kuid teises kohas paiknevate tugevdavate detailidega. Haagise balanssiiri kinnituse asukoha tõttu on ka ajami trummel suurem kui kahe esimese kontseptsiooni puhul.



Joonis 3.7. Rataste ajami kolmas kontseptsioon. Kõrguse reguleerimine toimub hüdrosilindriga ning trummel on otse hüdmootori võlli küljes

Tabelis 3.2 on toodud rataste ajamite omaduste hindamismaatriks ning hindamine toimub sama punktisüsteemi alusel kui pinnasefreeside puhul.

Tabel 3.2. Rataste ajamite hindamismatriks

Parameeter	Kaal	Kontseptsioon 1		Kontseptsioon 2		Kontseptsioon 3	
		Hinne	Kokku	Hinne	Kokku	Hinne	Kokku
Kasutamise mugavus	3	4	12	2	6	5	15
Valmistamise keerukus	2	4	8	2	4	5	10
Valmistamise maksumus	3	2	6	4	12	5	15
Haagise laiuse piirides püsimine	1	4	4	4	4	4	4
Haagise esialgse kuju säilimine	2	5	10	5	10	2	4
Haagisega integreerimise lihtsus	2	3	6	3	6	4	8
Kõrguse reguleerimise täpsus	1	5	5	5	5	5	5
Trumli ja hüdro mootori suurus	3	5	15	5	15	1	3
Hoolduskulud	1	2	2	3	3	4	4
Tõrgete minimeerimine	2	2	4	2	4	5	10
Kompaktsus	1	3	3	2	2	5	5
Mass	1	4	4	2	2	5	5
Kokku			79		73		88

Vaadeldud kolme kontseptsiooni hulgas on parima tulemuse saanud viimane, mis täidab oma otstarvet kõige mugavamalt ja mis ei sisalda tõrkeid põhjustada võivat kettülekannet, samas on ka tema omahind tõenäoliselt väikseim. Seepärast valitakse detailseks projekteerimiseks kolmas ajamikontseptsioon.

4 DETAILNE PROJEKTEERIMINE JA ARVUTUSED

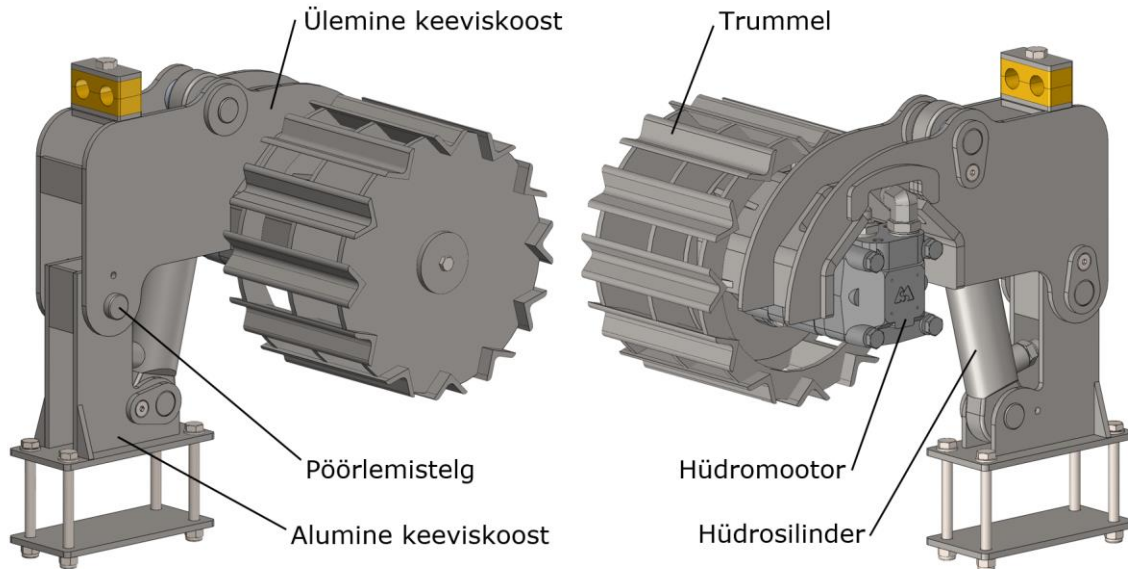
Selles peatükis antakse põhjalik ülevaade haagisele lisanduvate koostude konstruktsioonist ning arvutuste abil põhjendatakse nii ostutoodete valikut kui ka keeviskoostudes kasutatud lehtmetsalli ja terasprofiilide mõõtmeid. Osa arvutusi on tehtud nii *FEMi* abil kui ka analüütiliselt, see kindlustab tulemuste tõepärasuse. Arvutuste tegemisel võetakse varuteguriks 1,5, pinnasefreesi puhul 2. Massi vähendamise eesmärgil valmistatakse lehtmetsalldetailid terasest S355J2, hüdrojaama ja ajamite L-profiilid on valmistatud S235JR terasest ning freesid L-profiilid S355J2 terasest.

Esmalt projekteeritakse rataste ajamid, et selgitada välja täpsed nõuded hüdrojaama kohta. Kuna ajamid ning nende jaoks tarvilik hüdrauliline jõujaam ehitatakse valmis (vt joonis L4.1), siis arvutused ning detailne konstrueerimine teostatakse üksnes ajamite käitamiseks vajaliku hüdrojaama kohta. Kolmandas alapeatükis kirjeldatud pinnasefreesi puhul tuuakse välja peamised arvutused ning leitakse freesid käitamiseks tarviliku hüdrojaama olulisimad parameetrid.

Valmis ehitatavate rataste ajamite ning hüdrojaama kohta on lisaosas toodud detailne tükitabel, koos maksumusega, vt Lisa 3 Tükitabel. Teksti sees on toodud koostusid ja arvutusi iseloomustavad illustatsioonid, millel on 3D mudelite kuvatõmmised ning jõuolukordasid kujutavad skeemid. Kõik keeviskoostud ning pinnakatteta detailid värvitakse enne lõplikku koostamist RAL 1023 pulbervärviga.

4.1 Rataste ajamite projekteerimine

Rataste ajam (vt joonis 4.1) on balanssiiri esiotsa külge kinnitatav seade, mida saab hüdraulilise silindri abil tõsta ja langetada ning mille küljes on rataste vastu surutav trummel, mis saab pöörleva liikumise hüdrauliliselt mootorilt. Seade koosneb lisaks detailidele kolmest peamisest keeviskoostust: alumine keeviskoost, mis kinnitatakse poldidega jäigalt balanssiiri külge, ülemine keeviskoost, mis saab alumise keeviskoostu suhtes teatud ulatuses pöörelda, ning trummel, mis on kinnitatud hüdromootori võlli külge ja mis tööasendis puutub vastu mõlemat ratast. Ülemine ja alumine keeviskoost on lisaks pöörlemisteljele omavahel ühendatud hüdrosilindri abil ning hüdromootor on kinnitatud ülemise keeviskoostu külge.



Joonis 4.1. Rataste ajami detailne mudel kahes vaates [34], [35]

Esmalt leitakse haagise liikuma panemiseks tarvilik hüdmootori pöördemoment. Selleni jõudmiseks on vaja leida mõlemast rattast tulenevad pöördemomendid, mida on vaja nii maapinna takistuste ületamiseks kui ka trumli ja rehvi kokkupuutepunktis tekkiva rehvi deformatsiooni takistuse ületamiseks. Arvutuste aluseks võetakse haagise täismass, seega ühele rattale kanduv vertikaalne jõud on

$$F_N = \frac{mg}{4} = \frac{1460 \cdot 9,8}{4} = 3577 \text{ N} \quad (4.1)$$

ning ratta raadiuse ja trumli raadiuse suhe on

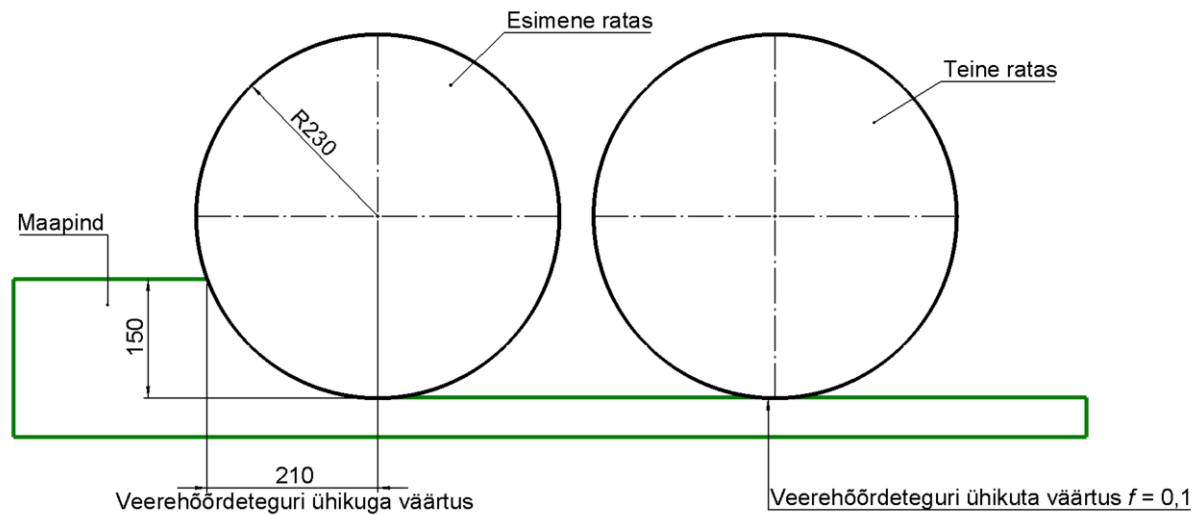
$$n_r = \frac{r_1}{r_2} = \frac{0,23}{0,13} = 1,76. \quad (4.2)$$

Otsustatakse, et esimene ratas peab suutma ületada takistust, mille kõrgus on 150 mm, mis on ligikaudu kolmandik ratta läbimõõdust (vt joonis 4.2). Veerehõõrde teguri (ühikuga) väärtus on kõõlu pikkuse valemist

$$k_m = \sqrt{h_m \cdot (2 \cdot r_1 - h_m)} = \sqrt{0,15 \cdot (2 \cdot 0,23 - 0,15)} = 0,21 \text{ m}. \quad (4.3)$$

Esimesele rattale mõjuv veerehõõrdejõud on

$$F_{Fm1} = \frac{k_m \cdot F_N}{r_1} = \frac{0,21 \cdot 3577}{0,23} = 3357 \text{ N.} \quad (4.4)$$



Joonis 4.2. Arvutuste aluseks olev maapinna geometria, millel haagis peab suutma omal jõul liikuda

Esimese ratta hõõrdemoment on

$$T_{Fm1} = F_{Fm1} \cdot r_1 = 3357 \cdot 0,23 = 769 \text{ Nm} \quad (4.5)$$

ning trumlilt esimesele rattale üle kantav pöördemoment on raadiuste suhet arvestades

$$T_{Trummel1} = \frac{T_{Fm1}}{n_r} = \frac{769}{1,76} = 436 \text{ Nm.} \quad (4.6)$$

Teise ratta jaoks on arvutuskäik analoogne, kuid arvestatakse, et teine ratas ei pea samal ajal kõrget takistust ületama, vaid liigub kõrge rohuga kaetud maapinnal, kus veerehõõrdeteguri ühikuta väärtus on 0,1 [36]. Teisele rattale mõjuv veerehõõrdejõud on

$$F_{Fm2} = F_N \cdot f = 3357 \cdot 0,1 = 335,7 \text{ N,} \quad (4.7)$$

teise ratta hõõrdemoment on

$$T_{Fm2} = F_{Fm2} \cdot r_1 = 335,7 \cdot 0,23 = 77,2 \text{ Nm} \quad (4.8)$$

ning trumlilt teisele rattale üle kantav pöördemoment on raadiuste suhet arvestades

$$T_{\text{Trummel2}} = \frac{T_{\text{Fm2}}}{n_r} = \frac{82}{1,76} = 47 \text{ Nm.} \quad (4.9)$$

Järgmisena on vaja teada trumlist tulenevat, rehvide deformeerumisest tulenevat takistavat pöördemomenti. Kuna trummel deformeerib mõlemat rehvi ligikaudu samal määral, tehakse lihtsustus ja eeldatakse, et trummel kannab mõlemale rehvidele üle sama väärtusega pöördemomenti

$$T_{\text{Trummel12}} = \frac{T_{\text{Trummel1}} + T_{\text{Trummel2}}}{2} = \frac{436 + 47}{2} = 242 \text{ Nm.} \quad (4.10)$$

Trumli ja rehvi kokkupuute punktis tekib trumli raadiust arvestades puutujasihiline jõud

$$F_{\text{P1}} = \frac{T_{\text{Trummel1}}}{r_2} = \frac{242}{0,13} = 1862 \text{ N.} \quad (4.11)$$

Kuna eesmärk on, et trumli ja rehvi vahel ei toimuks läbilibisemist, peab trumli ja rehvi vaheline normaaljõud olema vähemalt sama suur kui puutujasihiline jõud, seega $F_{\text{N1}} = F_{\text{P1}} = 1862 \text{ N}$. Erinevate allikate andmetele tuginedes võib teha ligikaudse üldistuse, et rehvi deformeerimise sügavus leitud jõu korral ja kasutatava 1,7-baarise rõhu puhul on 17 mm [37], [38], [39]. Veerehõõrdeteguri väärtus on kõõlu pikkuse valemi põhjal ja trumli raadiusega arvestades

$$f_t = \sqrt{h_t \cdot (2 \cdot r_2 - h_t)} = \sqrt{0,017 \cdot (2 \cdot 0,13 - 0,017)} = 0,06 \text{ m.} \quad (4.12)$$

Kummalegi rattale mõjuv trumlist tulenev veerehõõrdejõud F_{Ft} on

$$F_{\text{Ft}} = \frac{f_t \cdot F_{\text{N1}}}{r_2} = \frac{0,06 \cdot 1862}{0,13} = 920 \text{ N.} \quad (4.13)$$

Seega peab trummel rehvi deformeerumise tõttu tekitama kummalegi rattale täiendava pöördemomendi

$$T_{\text{Ft}} = F_{\text{Ft}} \cdot r_2 = 920 \cdot 0,13 = 120 \text{ Nm.} \quad (4.14)$$

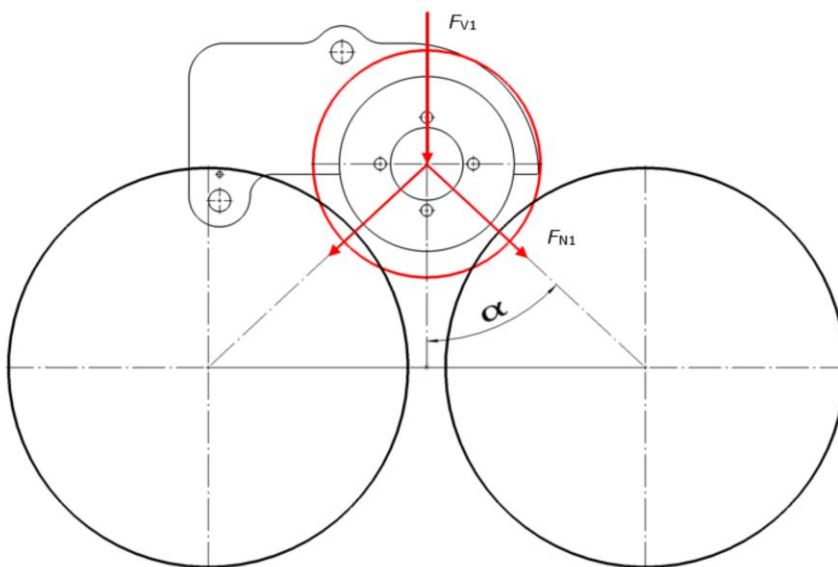
Kõiki pöördemomente arvestades peab trummel suutma tekitada pöördemomenti, mille väärtus on

$$T_{\text{Trummel}} = T_{\text{Trummel1}} + T_{\text{Trummel2}} + 2 \cdot T_{\text{Ft}} = 436 + 47 + 2 \cdot 120 = 723 \text{ Nm.} \quad (4.15)$$

Kuna trummel on hüdroootori võlli küljes, siis kehtib sama nõue ka hüdroootori suhtes.

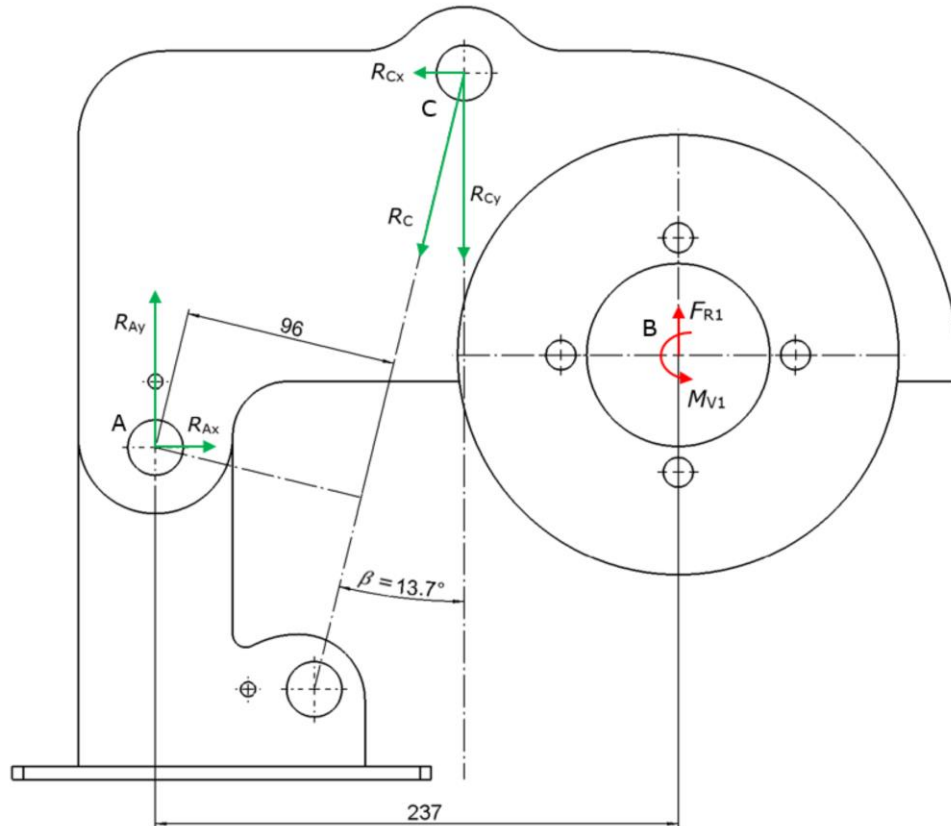
Välja valitud hüdroootori maksimaalne lühiajaline pöördemoment on 740 Nm, kui rõhk on 240 baari ja õli vooluhulk 8 liitrit minutis [40]. Hüdroootori ning veel täpsustamata kolvi läbimõõduga hüdroosilindri mudelisse paigutamise järel selguvad jõu mõjumise asukoht ülemise keeviskoostu pöörlemistelje suhtes ning silindri kinnituspunktide asukohad. Selleks, et leida tarvilikud reaktsioonijõud nii silindri valimiseks kui ka *FEM*-arvutuse tulemuste kontrollimiseks, leitakse esmalt nõutav vertikaalne jõud, mida ülemine keeviskoost trumli kaudu tekitama peab (vt joonis 4.3). Leides mudelist, et normaaljõu ja selle vertikaalkomponendi vaheline nurk on 47° , arvutatakse, et

$$F_{V1} = 2 \cdot \cos \alpha \cdot F_{N1} = 2 \cdot \cos 47^\circ \cdot 1862 = 2538 \text{ N.} \quad (4.16)$$



Joonis 4.3. Nõutava trumli poolt tekitatava jõu vertikaalkomponendi leidmine. Punase ringjoonega on tähistatud trummel ning selle all paiknevate mustade ringjoontega on tähistatud rattad

Reaktsioonijõudude analüütiliseks leidmiseks punktides A ja C koostatakse joonisel 4.4 kujutatud skeem ning lahendatakse tasakaaluvõrrandid. Punktis B, kus mõjub jõud F_{R1} , mis on vastassuunaline, kuid sama väärtusega kui F_{V1} , asub ka vastupäeva mõjuv hüdroootori pöörlemisest tulenev pöördemoment, mille väärtus on 740 Nm (leiti, et vastupäeva mõjuv pöördemoment tekitab suuremaid reaktsioonijõudusid kui päripäeva mõjuv pöördemoment).



Joonis 4.4. Keeviskoostudele mõjuva jõu ja pöördemomendi (punased nooled) ning reaktsioonijõudude (rohelised nooled) skeem. Vajaminevad vahekaugused ja nurk on võetud mudelist

Koostatakse tasakaaluvõrrandid

$$\sum x = R_{Ax} - R_{Cx} = 0 \quad (4.17)$$

$$\sum y = R_{Ay} - R_{Cy} + F_{R1} = 0 \quad (4.18)$$

$$\sum M_A = F_{R1} \cdot 0,237 - R_C \cdot 0,096 + M_{V1} = 0 \quad (4.19)$$

ja leitakse ligikaudsed lahendid

$$2538 \cdot 0,237 - R_C \cdot 0,096 + 740 = 0 \quad (4.20)$$

$$R_C = \frac{2538 \cdot 0,237 + 740}{0,096} = 13\,974 \text{ N} \quad (4.21)$$

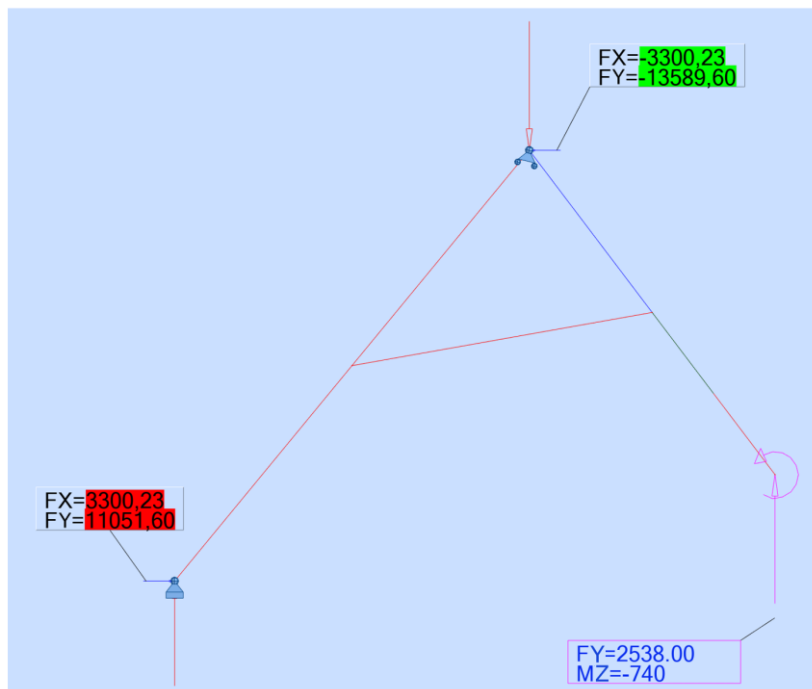
$$R_{Cy} = \cos \beta \cdot R_C = \cos 13,7^\circ \cdot 13\,974 = 13\,576 \text{ N} \quad (4.22)$$

$$R_{Cx} = \sin \beta \cdot R_C = \sin 13,7^\circ \cdot 13\,974 = 3309 \text{ N} \quad (4.23)$$

$$R_{Ax} = R_{Cx} = \sin \beta \cdot R_C = \sin 13,7^\circ \cdot 13974 = 3309 \text{ N} \quad (4.24)$$

$$R_{Ay} = \cos \beta \cdot R_C - F_{R1} = \cos 13,7^\circ \cdot 13\,974 - 2538 = 11\,038 \text{ N}. \quad (4.25)$$

Neid tulemusi kontrollitakse programmiga Robot Structural Analysis Professional ning leitakse, et ülaltoodud analüütiline arvutuskäik on õige (vt joonis 4.5). Programmist saadud tulemused on tänu ümardamata sisendväärtustele täpsemad kui ülal arvatud tulemused, seetõttu võetakse arvesse programmi poolt arvatud väärtuseid.



Joonis 4.5. Robot Structural Analysis Professionaliga arvatud reaktsioonijõudude väärtused (punased ja rohelised)

Joonisel 4.5 kujutatud silindri kinnituspunkti reaktsioonijõu komponentidest (rohelised) leitakse nõutav silindri jõud tööliikumisel

$$F_{\text{sil1}} = \sqrt{3300^2 + 13\,590^2} = 13\,985 \text{ N.} \quad (4.26)$$

Teades, et hüdraulikasüsteemi rõhk peab hüdmootori tõttu olema ligikaudu 240 baari, ning võttes silindri mehaaniliseks kasuteguriks 0,95, arvutatakse silindri nõutav kolvivarre poolne kolvi pindala, kuna tööliikumine on antud juhul silindri lühenev liikumine.

$$A_{\text{sil1}} = \frac{F_{\text{sil1}}}{p \cdot \eta_{\text{sil}}} = \frac{13\,985}{2,4 \cdot 10^7 \cdot 0,95} = 6,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 614 \text{ mm}^2 \quad [41] \quad (4.27)$$

Valitakse hüdsilinder, mille kolvi läbimõõt on 40 mm, kolvivarre läbimõõt 22 mm ning kasulik pindala 877 mm² [41], [42]. Selline silinder suudab lüheneval liikumisel tekitada jõu

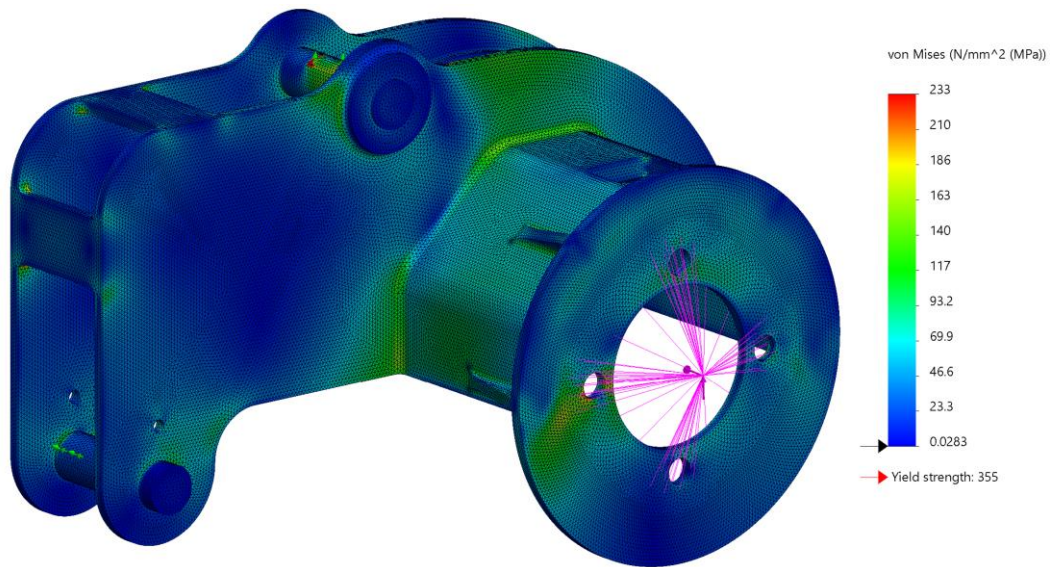
$$F_{\text{sil2}} = A_{\text{sil2}} \cdot p \cdot \eta_{\text{sil}} = 8,77 \cdot 10^{-4} \cdot 2,4 \cdot 10^7 \cdot 0,95 = 19\,984 \text{ N,} \quad (4.28)$$

seega silindri jõu varutegur on

$$s_{\text{sil}} = \frac{F_{\text{sil2}}}{F_{\text{sil1}}} = \frac{19\,984}{13\,985} = 1,43. \quad (4.29)$$

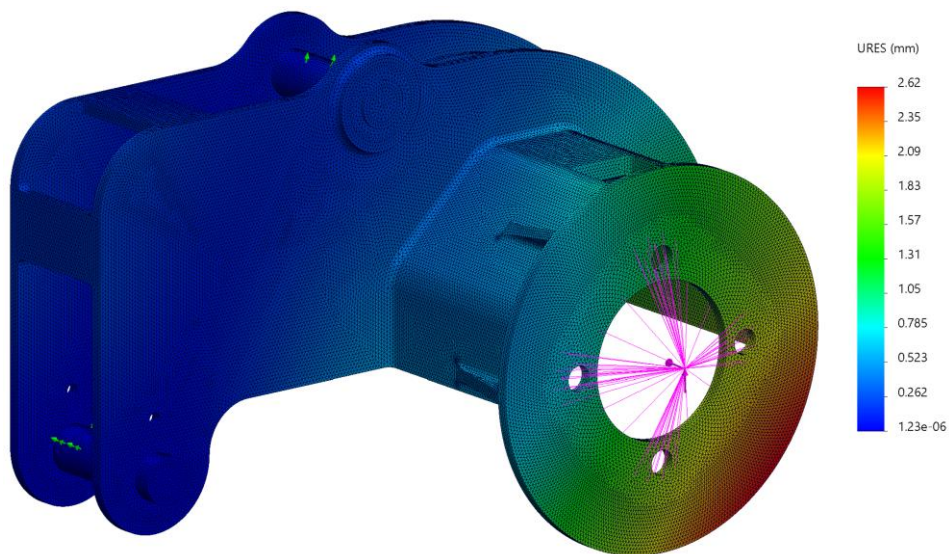
Teades kõiki olulisi rajatingimusi, teostatakse ülemise ja alumise keeviskoostu ning trumli kohta *FEM*-arvutused, kusjuures elemendi suurim lubatud pikkus on 2 mm. Voolepiiri nõutav varutegur on 1,5, kuna siis peavad keeviskoostud vastu ka silindri maksimaalse jõu rakendumisel. Arvutusi alustatakse ülemisest keeviskoostust, kuna sel moel saadakse ligikaudu teada, kui suured pöördemomendid mõjuvad pöörlemistelje kaudu alumisele keeviskoostule.

Ülemisele keeviskoostule rakendatakse *remote force*'i abil nii jõud kui ka pöördemoment, kusjuures jõud mõjub pinnale, kus paikneb hüdmootori kinnitusflants. Silindri kinnituspunkti modelleeritakse sõrm, mis on toetatud ainult silindri pikitelje suunas. Pöörlemisteljele modelleeritakse samuti sõrm ning viimase pöörlemine ümber oma pikitelje jäetakse vabaks, takistatud on ka selle teljesihiline liikumine. Keeviskoostudes on kõigi sõrmede puhul nende kinnitused asetatud reaalsel olukorda võimalikult täpselt jäljendavatesse kohtadesse, see tähendab, et on arvestatud nii laagrite laiuse kui ka iteratsioonide käigus selgunud lehtmehalli paksusega. Modelleeritud on ka keevisõmblused. Joonisel 4.6 on kujutatud *FEM*i abil saadud pinged, mis tekivad ülemises keeviskoostus.



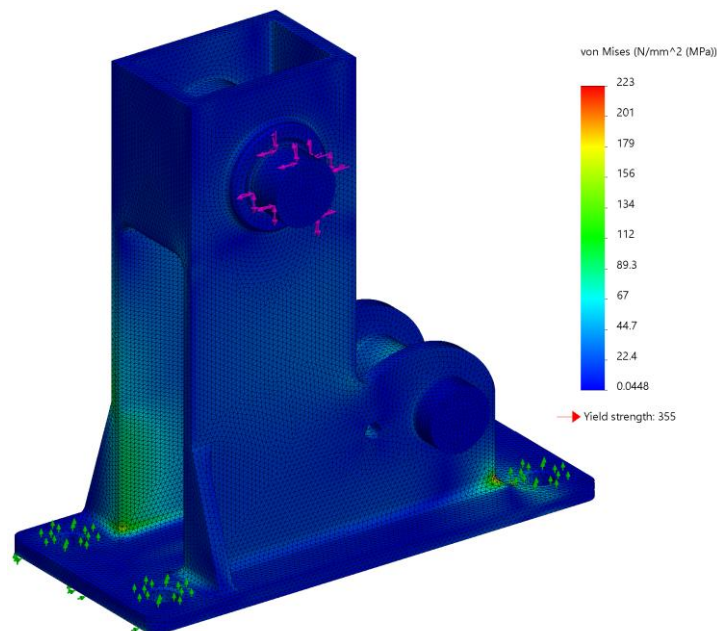
Joonis 4.6. Ülemises keeviskoostus tekkivad pinged

Selgub, et suurimad pinged tekivad avade servades ja osas nurkades, kuid need ei ületa 233 MPa, seega tugevusvaru on piisav. Silindri kinnitussõrmes tekkivaid pingeid siin arvesse ei võeta, kuna silindri otstes paiknevad sfäärilised laagrid aitavad koormust ühtlasemalt jaotada. Optimeerimise käigus lisati mõnda kohta tugevdusribisid ja tugevdavaid detaile, sh silindri kinnitusava juures paiknevad flantsid. Lehtmetaili paksus on kõikjal 6 mm, välja arvatud paremal nähtav painutatud lehtmetaildetail, mis on 10 mm paksune. Jooniselt 4.7 võib välja lugeda, et suurimad deformatsioonid on 2,62 mm, ja seda loetakse sobivaks väärtuseks.



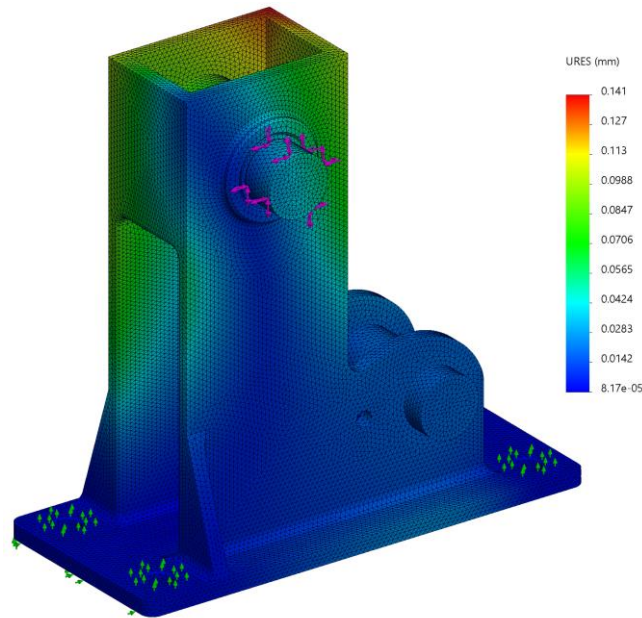
Joonis 4.7. Ülemises keeviskoostus tekkivad deformatsioonid

Alumisele keeviskoostule rakendatakse suurim võimalik silindrist tulenev tõmbejõud silindri kinnitusavas paikneva sõrme kaudu (vt joonis 4.8). Pöörlemisteljele modelleeritud sõrme kaudu rakendatakse joonisel 4.5 punasega kujutatud reaktsioonijõud ning pöördemomendid ümber x- ja y-telje. Pöördemomentide ligikaudsed väärtused leitakse FEM-arvutusest ning arvestades FEMi ja Robot Structural Analysis Professional'i programmist saadud ülejäänud tulemuste keskmise erinevusega, korrutatakse need paranduskoefitsiendiga $k_p = 1,08$ ja saadakse, et pöördemoment ümber x-telje on 245 Nm ja ümber y-telje 168 Nm. Alumine keeviskoost on simulatsioonis kinnitatud seibide alla jäävate pindade ning kahe ristuva serva kaudu, lisaks on alumisele pinnale pandud tugi, mis jäljendab balanssiiri tala.



Joonis 4.8. Alumises keeviskoostus tekkivad pinged

Suurimad alumises keeviskoostus tekkivad pinged jäävad 223 MPa piirsesse, see annab samuti piisava varuteguri voolepiiri suhtes. Arvutuste käigus on lisatud tugevdavaid plaate ja tugevdusribisid ning selles koostus on kõik lehtmetallidetailid 6 mm paksusest terasest. Pöörlemisteljel paikneva keevitatud puksi siseläbimõõt on 28 mm ja välisläbimõõt 40 mm. Joonisel 4.9 on kujutatud alumises keeviskoostus tekkivaid deformatsioone, nende suurim väärtus on 0,14 mm.



Joonis 4.9. Alumises keeviskoostus tekkivad deformatsioonid

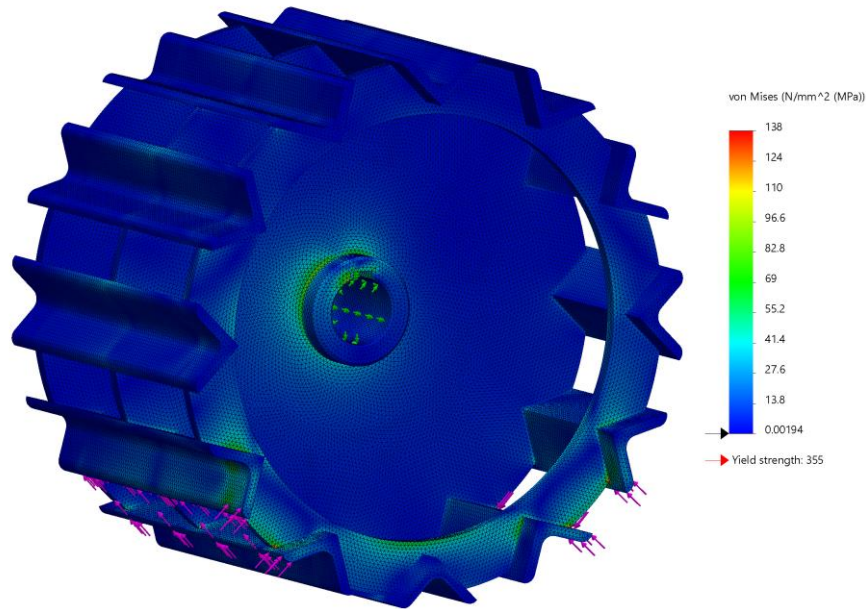
Trumli tugevust kontrollitakse olukorras, kui normaalkoormus ei lange kasutatavate L-profiilide keskele, vaid trumli ja rehvi vahele sattunud prahi tõttu ühele profiilide otsale (vt joonis 4.10). Mudelist leitakse, millistele terasprofiilidele koormus tööasendis korruga mõjub, ning nende otstele rakendatakse 1,5-kordne normaalkoormus

$$F_{N15} = F_{N1} \cdot 1,5 = 1862 \cdot 1,5 = 2793 \text{ N.} \quad (4.30)$$

Lisaks mõjub L-profiilidele mootorist tulenev pöördemoment 740 Nm, mis kahe rehvi peale jaotatuna ja trumli puutujasihiliseks jõuks teisendatuna on

$$F_{TP} = \frac{M_{V1}}{2 \cdot r_2} = \frac{740}{2 \cdot 0,13} = 2846 \text{ N.} \quad (4.31)$$

Trumli keskel paiknev liistusoonega muhv on keevitatud lehtmetsalli külge ning muhvi sisepind on *FEM*-arvutuses määratud ühe vabadusastmega pöörlemisteljeks. Ühele liistusoone küljele on rakendatud ühes suunas toimiv tugi, mis jäljendab liistu poolt põhjustatud takistust.



Joonis 4.10. Trumli keeviskoostus tekkivad pinged

Arvutuse tulemusel selgub, et suurim pinge, 138 MPa, tekib liistusoones. L-profiilides, mis on valmistatud terasest S235J2, on suurim pinge 120 MPa, seega on nõutav varutegur voolepiirile tagatud. Pingete vähendamise jaoks on trumli mõlemasse otsa lisatud lehtmetailist plaadid. Kõik plaadid on 6 mm paksusest terasest ning L-profiilide mõõt on 30x30x5 mm. Liistusoonega muhvi siseläbimõõt on 32 mm ning välisläbimõõt 50 mm. Trumli keeviskoostu suurim deformatsioon on 0,15 mm.

Kõigi kirjeldatud keeviskoostude *FEM*-arvutuste tulemusi analüüsidis võib öelda, et nõutud varutegur on kogu ajami puhul saavutatud. Siiski tehakse kinnitussõrmede ja lehtmetaili ühenduspunktide kohta kontaktpinge arvutus ning ülemise keeviskoostu silindri sõrme kohta paindepinge arvutus, kuna viimase puhul on jõuõlg pikem kui teistes kinnitussõrmedes.

Kõigi sõrmede läbimõõt on 25 mm ning kasutatakse kalibreeritud ümarlatti terasest S355J2. Ühte sõrme otsa keevitatakse 6 mm paksusest lehtmetailist flants, mille pöörlemist ümber pikitelje ja liikumist pikitelje sihis takistab kruvi, mis paigaldatakse läbi flantsi ülemise ja alumise keeviskoostu keermestatud avadesse. Pöörlemisteljel paikneb sõrm tefloniga kaetud, äärikuga liugelaagritel, mis on laagriliimiga kinnitatud alumise keeviskoostu puksi sisse. Silindri otstes on sõrmed paigaldatud läbi sfääriliste laagrite, kusjuures silindri liikumist sõrmede telgede sihis takistavad alumiiniumist vahepuksid.

Kontaktpinge arvutatakse suurima jõu ja suurima eeldatava pinge mõjumise asukohas, milleks on ilma tugevdusflantsideta silindri kinnituspunkt. Aluseks võetakse silindri suurim jõud, mis kandub 25 mm sõrme kaudu kahe 6 mm paksuse lehtmatalldetaili avadesse. Kontaktpinge on

$$p_k = \frac{F_{\text{sil2}} \cdot 0,5}{l \cdot d} = \frac{19\,984 \cdot 0,5}{0,006 \cdot 0,025} = 66,6 \text{ MPa} [43]. \quad (4.32)$$

Silindri ülemise kinnitussõrme jõuõla pikkuseks võetakse 30 mm. Kasutatava 25 mm ümarräua telg-tugevusmoment on

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,025^3}{32} = 1,53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 1,53 \text{ cm}^3 [43] \quad (4.33)$$

ning paindemoment

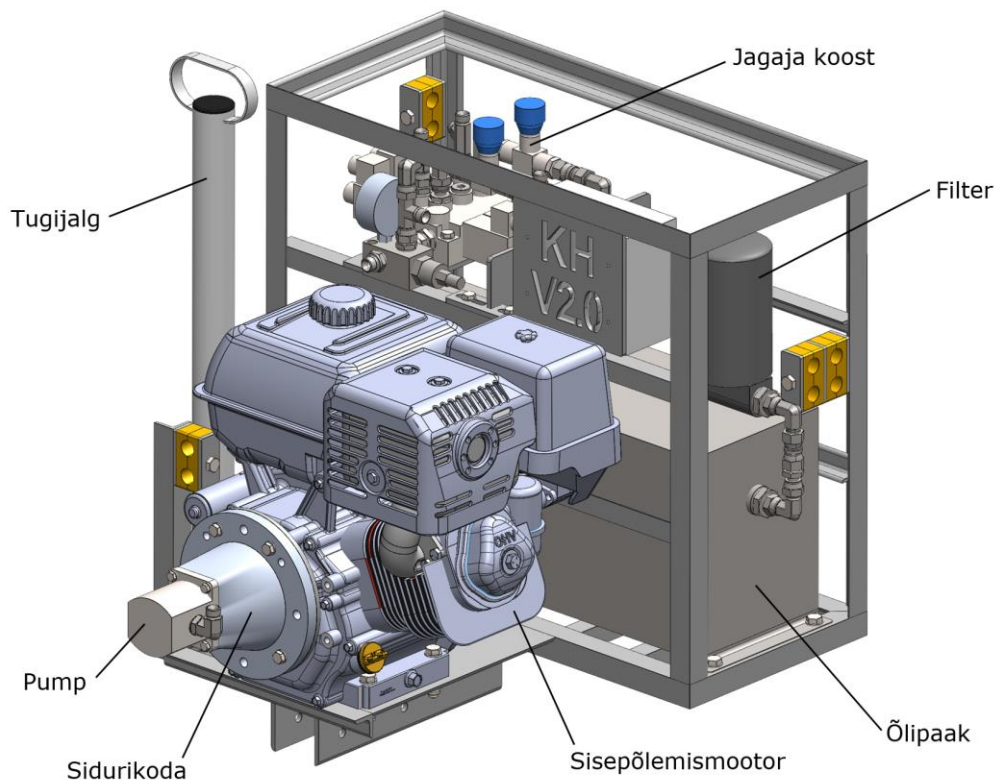
$$M_s = F_{\text{sil2}} \cdot 0,5 \cdot l_f = 19\,984 \cdot 0,5 \cdot 0,03 = 300 \text{ Nm}, \quad (4.34)$$

seega tekib paindepinge

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W} = \frac{300}{1,53 \cdot 10^{-6}} = 196 \text{ MPa}. \quad (4.35)$$

4.2 Hüdraulilise jõujaama projekteerimine

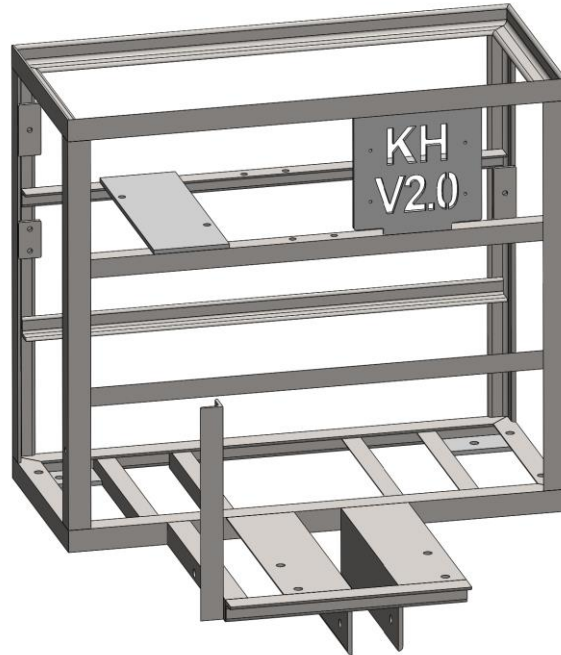
Hüdrauliline jõujaam on kivihaagise tiisli peale paigaldatav seade, mis tekitab hüdraulilist energiat ajamites olevate hüdromootorite ja hüdrosilindrite käitamiseks. Hüdrojaamas tekitab õlivoolu hüdropump, mis on kinnitatud sisepõlemismootori külge sidurikoja abil. Mootori kõrval on õlireservuaar koos filtriga ning õlipaagi kohal paikneb solenoididega hüdrauliline jagaja, millega õlivoolu juhitakse. Joonisel 4.11 on kujutatud hüdrojaama detailset mudelit.



Joonis 4.11. Hüdrojaama detailne mudel [35], [44]

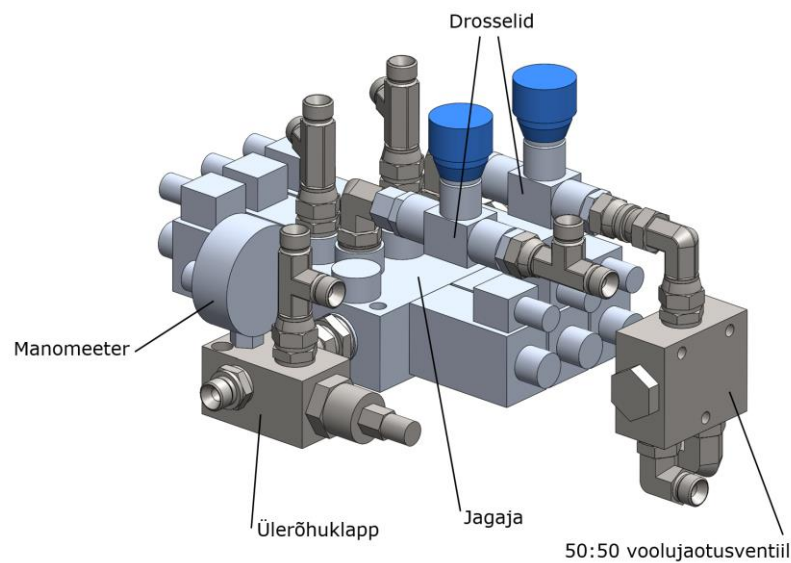
Hüdrojaama raami keeviskoost (vt joonis 4.12) koosneb L-profiilidest ning mõnest lehtmetaildetailist. Raam kinnitatakse haagise külge nelja poldiga, kusjuures kaks polti paiknevad nendes tiisli avades, kuhu esialgse kivihaagise projekti järgi sai kinnitada tugijala või tugiratta. Seepärast on raamile lisatud terasprofiil, mille külge tugijalg kinnitatakse. Ölipaagi all ning külgedel on kasutatud väiksemaid L-profiile, mis kaitsevad mahutit kivide ja okste tekitatavate löökide eest.

Raamil on lisaks kinnitusavadele ka avad ölipaagi, sisepõlemismootori ning jagaja koostu jaoks. Kõik hüdrojaamas kasutatavad lehtmetaildetailid on ehituskulude optimeerimise mõttes valmistatud 6 mm paksusest terasplaadist, nagu ka ajamites olevad detailid. Põhiraam on sarnaselt ajamite trumlites kasutatud profiilidega tehtud 30x30x5 mm L-profiilist, tugifunktsiooni täitvad talad on 25x25x4 mm profiilist ning esiosas paiknevate suurte L-profiilide mõõdud on 90x90x6 mm.



Joonis 4.12. Hüdrojaama raami keeviskoostu mudel

Jagaja koostus (vt joonis 4.13) on lisaks elektriliselt juhitavale hüdraulilisele jagajale ka ülerõhuklapp koos manomeetriga, drosselid nii silindrite kui ka hüdrovõrkude kiiruse juhtimiseks ning 50:50 voolujaotusventiil, mis paneb takistusest sõltumata sama kiirusega ringi käima nii vasaku kui ka parema ajami hüdrovõrki. Jagaja on kolme sektsiooniga, et haagisele oleks edaspidi võimalik lisada veel üks hüdrauliline seade.



Joonis 4.13. Hüdraulilise jagaja koostu mudel [35]

Hüdrojaama nõutava võimsuse arvutamiseks on esmalt vaja määrata nõutav vooluhulk. Kasutatava hüdro mootori minimaalne soovituslik vooluhulk on 8 liitrit minutis, seega kahe sellise mootori jaoks on tarvilik vooluhulk 16 liitrit minutis. Nõutav rõhk süsteemi jaoks on 240 baari ning kasutegur kõiki kadusid arvestades 0,75. Hüdrojaama käitava mootori minimaalne võimsus on

$$P_{hj} = \frac{p \cdot q_{min}}{\eta_{hj}} = \frac{2,4 \cdot 10^7 \cdot 2,6 \cdot 10^{-4}}{0,75} = 8534 \text{ W} = 8,54 \text{ kW} \quad [42]. \quad (4.36)$$

Valitakse mootor, mille maksimaalne võimsus on 8,7 kW [45]. Sellega on suurim võimalik õli vooluhulk teadaoleva rõhu ja kasuteguri juures

$$q_{max} = \frac{P_{max} \cdot \eta_{hj}}{p} = \frac{8700 \cdot 0,75}{2,4 \cdot 10^7} = 2,72 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 16,3 \text{ liitrit minutis}. \quad (4.37)$$

Teades, et mootori pöörlemiskiirus on 3600 pööret minutis, peaks hüdropumba pöördemaht olema ligikaudu

$$V_{hj} = \frac{q_{max} \cdot 1000}{n} = \frac{16,3 \cdot 1000}{3600} = 4,53 \text{ cm}^3. \quad (4.38)$$

Valitakse esimese seeria hüdropump, mille pöördemaht on 4,7 cm³, nominaalne rõhk 240 baari ja maksimaalne rõhk 280 baari [46]. Konstantse kiiruse korral on pumba mahuline kasutegur 0,95, seega hüdrojaama tegelik tootlikkus on

$$q_{hj} = \frac{V_{pump} \cdot n \cdot \eta_{pump}}{1000} = \frac{4,7 \cdot 3600 \cdot 0,95}{1000} = 2,68 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 16,1 \text{ liitrit minutis} \quad (4.39)$$

ja ühte hüdro mootorit läbib vooluhulk

$$q_{hm} = q_{hj} \cdot 0,5 = 16,1 \cdot 0,5 = 8,05 \text{ liitrit minutis}. \quad (4.40)$$

Mootori andmelehel antud vooluhulkade ja vastavate pöörlemiskiiruste abil MATLABiga interpoleerides saadakse 240 baari juures mootori pöörlemiskiiruseks, kui vooluhulk on 8,05 liitrit minutis, 12,2 pööret minutis. Kuna tegemist on otseajamiga, mille puhul trummel on hüdro mootori võlli küljes ilma ülekandeta, on sama pöörlemiskiirus ka trumlil. Haagise ratta pöörlemiskiirus on trumli ja ratta raadiuse suhet arvestades

$$\omega_r = \frac{\omega_m}{n_r} = \frac{12,2}{1,76} = 6,9 \text{ pööret minutis.} \quad (4.41)$$

Teades ratta raadiust, leitakse haagise liikumiskiirus:

$$v_h = \omega_r \cdot r_1 \cdot 2 \cdot \pi = 6,9 \cdot 0,23 \cdot 2 \cdot \pi = 10,0 \text{ meetrit minutis,} \quad (4.42)$$

seega nõutav kiirus on saavutatud. Väiksema koormuse korral on haagise liikumiskiirus suurem ja ulatub kuni 23 meetrini minutis.

Viimasena arvutatakse hüdrovoolikute minimaalne soovituslik siseläbimõõt. On teada, et 240-baarise rõhu korral peaks voolukiirus olema kuni 5,5 meetrit sekundis, ning teada on ka vooluhulk [42]. Vooliku väikseim siseläbimõõt on

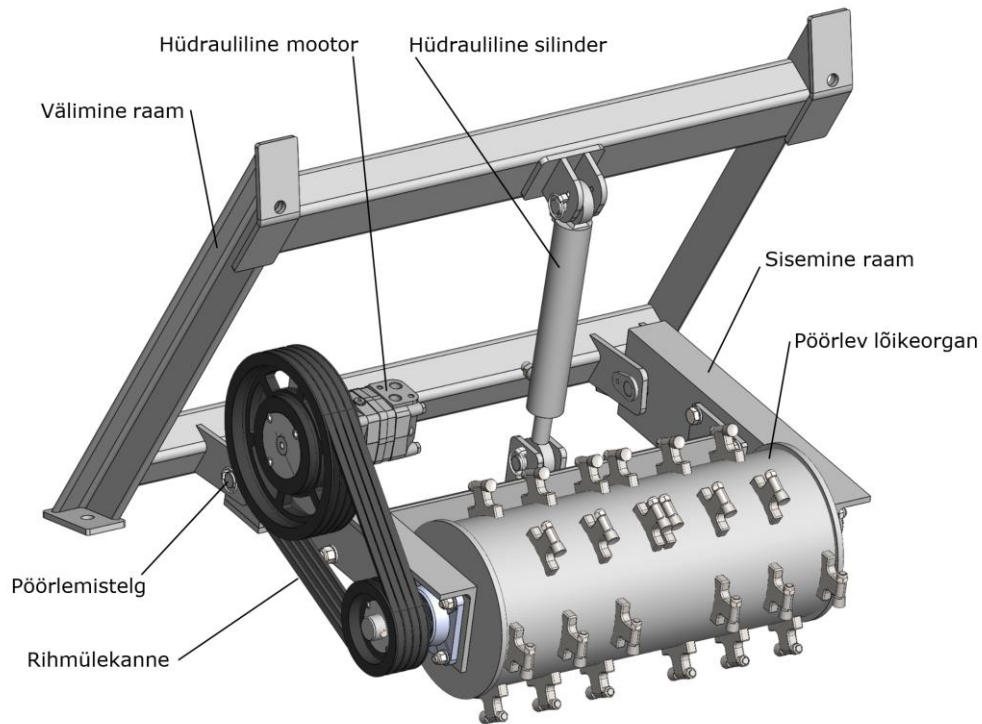
$$q_{hj} = A \cdot v \rightarrow \left(\frac{d_{voolik}}{2}\right)^2 \pi = \frac{q_{hj}}{v} \rightarrow d_{voolik} = \sqrt{\frac{q_{hj} \cdot 4}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{2,68 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 5,5}} = 0,0078 \text{ m} = 7,8 \text{ mm} [43]. \quad (4.43)$$

Takistuse ja rõhukadude vähendamiseks otsustatakse kasutada kahekihilist hüdrovoolikut, mille siseläbimõõt on 10 mm. Hüdraulikaõli reservuaari soovituslik maht mobiilsete seadmete korral on ühe- kuni kahekordne vooluhulk minutis [42]. Saadaolevate paakide hulgast valitakse mahuti, mille suurus on 25 liitrit. Festo FluidSimi tarkvara abil kogu kivihaagise jaoks koostatud hüdraulikasüsteemi skeem on toodud lisaosas, vt Lisa 2 Hüdraulikaskeem.

4.3 Pinnasefreesi projekteerimine

Pinnasefrees on seade, mis kinnitatakse haagise raami keskossa ja mille abil on võimalik purustada kändusid ning neid ümbritsevat pinnast koos juurtega (vt joonis 4.14 ja joonis L4.2). Frees koosneb kolmest peamisest keeviskoostust: pöörlev lõikeorgan, sisemine raam ja välimine raam. Lõikeorgan on kinnitatud sisemise raami külge ning seda käitab rihmülekande kaudu hüdromootor, sisemine raam on pöörlemistelje kaudu ühendatud välimise raamiga, kusjuures selle kõrgust reguleeritakse hüdrosilindri abil. Kogu koost on

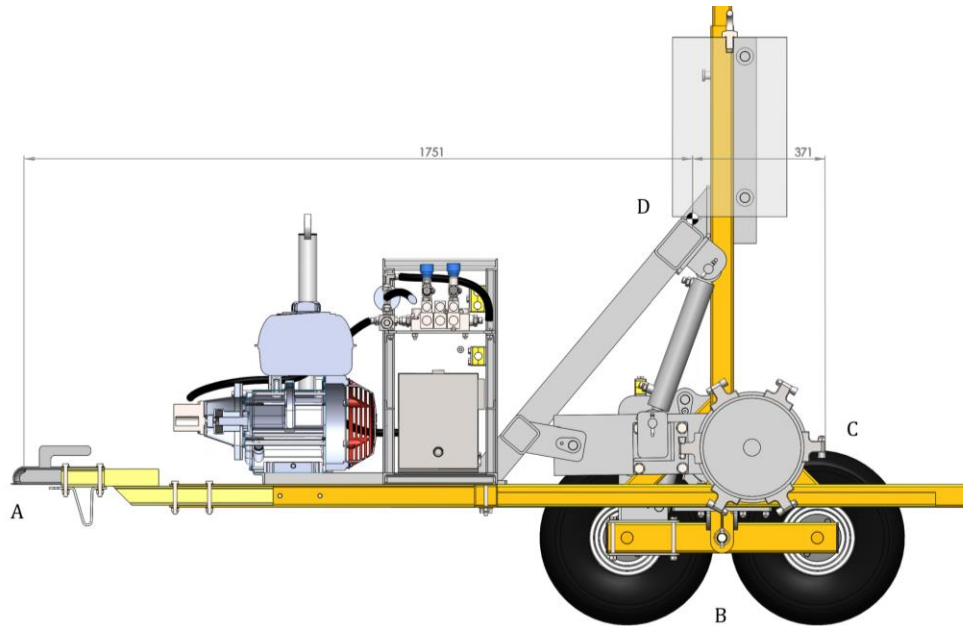
ohutuse tagamiseks kolmest küljest ümbritsetud kaitseplekkide ning lehtkummist detailidega. Freesi kohale raami külge kinnitatakse ballast, mille abil saavutatakse haagise lubatud täismass. See võimaldab freesimisel kasutada löikejõudu, mis on võimalikult lähedane haagise täismassist tulenevale raskusjõule.



Joonis 4.14. Pinnasefrees ilma kaitseplekkide ja lehtkummist detailideta [34], [47], [48]

Alljärgnev freesi projekteerimise alapeatükk käsitleb üksnes freesi mooduli üldiseid arvutusi. Kui selline frees valmis ehitada, peaks põhjalikult kontrollima nii freesi dünaamilisi koormusi kui ka haagise raami vastupidavust freesist tulenevatele koormustele ning vibratsioonile.

Freesi projekteerimisel lähtuti esmalt sellest, et frees suudaks tekitada võimalikult suurt löikejõudu nii, et haagise rattad oleks freesimise ajal maapinnaga kontaktis. Lubatud löikejõu leidmiseks modelleeriti freesi ligikaudne koost ning selle kohale ballast, seejärel sai mudelist leida haagise raskuskeskme ja freesi lõikava osa vahelise kauguse ($DC = 371$ mm) ning raskuskeskme ja veopea tsentri vahelise kauguse ($AD = 1751$ mm) (vt joonis 4.15). Oluline on see, et haagise raskuskese D on balanssiiride pöörlemisteljest B veopea ehk punkti A pool, kuna see ennetab haagise kaldumist tahapoole ja sellega kaasnevat veduki ebastabiilsust, mis tekiks siis, kui veokuulile mõjuks ülespoole suunatud jõud.



Joonis 4.15. Haagise läbilõige koos freesimise lubatud jõudu määravate punktide ja raskuskeskme vahelise kaugusega

Selleks, et leida sellist freesimise löikejõudu, mille ületamisel haagise rattad maapinnaga kontakti kaotavad, koostatakse võrrandisüsteem. Teada on löikude DC ja AD pikkus ning see, et punktis D asub haagise täismass 1460 kg.

$$\begin{cases} 1751 \cdot F_{vp} = 371 \cdot F_f \\ F_{vp} + F_f = 1460 \end{cases} \quad (4.44)$$

$$F_{vp} = 1460 - F_f \quad (4.45)$$

$$1751 \cdot (1460 - F_f) = 371 \cdot F_f \quad (4.46)$$

$$2122 \cdot F_f = 2\,556\,460 \quad (4.47)$$

$$F_f = 1204 \quad (4.48)$$

$$F_{vp} = 1460 - 1204 = 256 \quad (4.49)$$

Seega ei tohi löikejõud freesimisel ületada

$$F_{\text{frees, MAX}} = F_f \cdot g = 1204 \cdot 9,8 = 11\,800 \text{ N.} \quad (4.50)$$

Kui haagise rattad ei puutu vastu maapinda, langeb veopeale koormus 256 kg, mis tähendab, et kasutatav veduk ning haagise veopea peavad olema selle koormuse jaoks sobivad.

Pinnasefreesi tööorganiks on laagripukkil paiknev trummel, mille välispinnale on keevitatud terahoidjad. Nende külge kinnituvad vahetatavad kõvasulamist terad. Trumlil on kuus teljesihilist rida terasid ning terad paiknevad selliselt, et trumli täispöörde jooksul on freesitav ala kaetud kogu trumli laiuselt. Teljesihiliste jõudude vähendamiseks asetsevad terad freesi tagantpoolt vaadatuna sümmeetriliselt ning arvestatakse, et freesimisel on kännuga kontaktis kaks rida terasid ehk kolmandik freesi laiusest.

Järgmisena arvutatakse suurim lubatav freesi laius. Selle jaoks määratakse esmalt, et puidu freesimisel kogu freesi laiusest on laastu keskmine paksus kuni 1 mm ning lubatav löikejõud on 90% haagise kergitamiseks vajaminevast jõust. Arvestatakse, et kännu freesimisel põhjustab puidu eemaldumist piki kiudu mõjuv survejõud. Puidu survepinge piki kiudu on kuni 49,2 MPa [49]. Suurim lubatav freesimise jõud on

$$F_{\text{frees}} = 0,9 \cdot F_{\text{frees, MAX}} = 0,9 \cdot 11\,800 = 10\,620 \text{ N} \quad (4.51)$$

ning suurim korruga lõigatav puidu pindala

$$A_{\text{frees}} = \frac{F_{\text{frees}}}{\sigma_{\text{puit}}} = \frac{10\,620}{49,2} = 215 \text{ mm}^2 \quad (4.52)$$

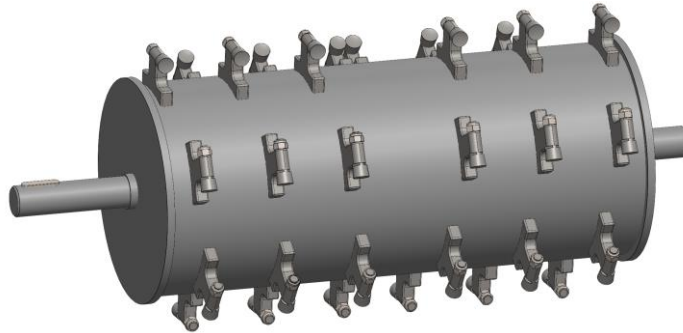
ja laastu paksusest tulenevalt on suurim freesi lõikelaius

$$l_{\text{frees}} = 3 \cdot \frac{A_{\text{frees}}}{t_{\text{laast}}} = 3 \cdot \frac{215}{1} = 645 \text{ mm}. \quad (4.53)$$

Kui freesi kasutamisel ilmneb, et haagis hakkab muutuma ebastabiilseks, peab operaator haagise liikumiskiirust (freesitava laastu paksust) vähendama. Väiksemate kändude ja pinnase freesimisel on võimalik freesida paksemaid laastusid ehk liikuda kiiremini.

Projekteeritud trumlil on kokku 36 tera, igas reas 6 tera (vt joonis 4.16). Trumli freesiva osa laiuseks kujuneb 620 mm ning terad on paigutatud väikese ülekattega. Lõiketerade

tipust mõõdetuna on trumli läbimõõt 390 mm ning löikeorgani kogumass on 66 kg. Trumli völli läbimõõt on keskosas 45 mm ning laagrite ja rihmaratta kohal 40 mm.



Joonis 4.16. Pinnasefreesi tööorgan

Pöörlemiskiiruse ja hüdmootori valikul lähtutakse turuanalüüsi käigus leitud pinnasefreeside parameetritest. Pöörlemiskiirus võiks olla ligikaudu 1800...2000 pöret minutis ning hüdmootori pöördemaht seejuures 26...45 cm³ (vt tabel 2.2). Nendele parameetritele vastavate mootorite hulgast eelistatakse suurema väljundvõimsusega hüdmootorit. Valitakse hüdmootor, mille pöördemaht on 80 cm³, suurim pidev võimsus 15,5 kW, suurim pidev vooluhulk 75 liitrit minutis ning pöörlemiskiirus selle vooluhulga juures on sõltuvalt rõhust 842...930 pöret minutis, kusjuures suurim pidev rõhk on 170 baari [50].

Selleks, et muuta pöörlemiskiirus freesile sobivaks, kasutatakse kiirendavat ülekannet 2:1, mille tulemusel on freesi pöörlemiskiirus 1684...1860 pöret minutis. Sel juhul on ka hüdmootori kaks korda suurem pöördemaht sobilik, kuna kiirendava ülekande tõttu on freesile rakenduv pöördemoment võrreldav sellega, mida tekitaks 40 cm³ 1:1 ülekandega hüdmootor.

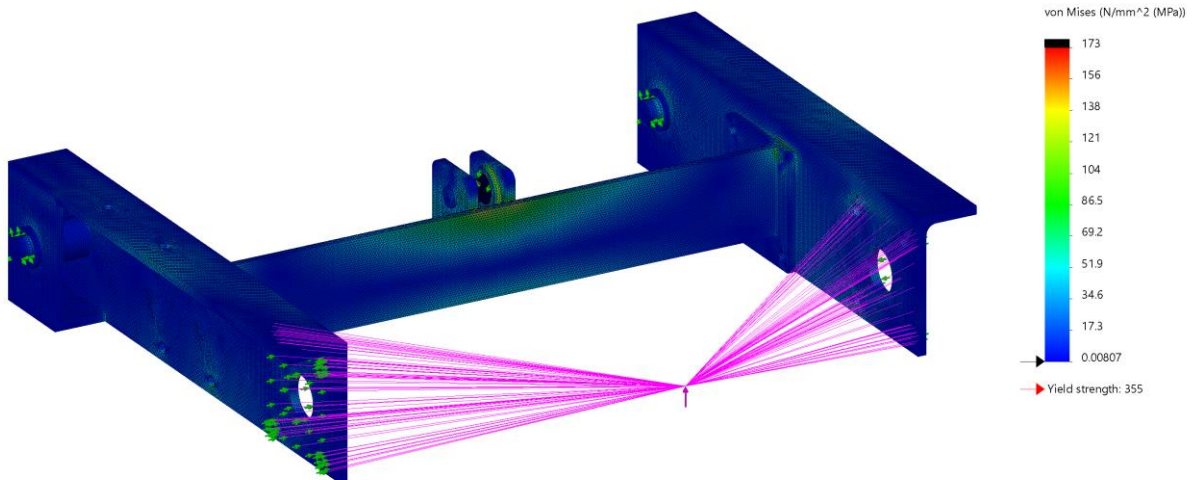
Teades hüdmootori võimsust ning väiksema rihmaratta pöörlemiskiirust, saab arvutada ülekande nõutavad parameetrid. Otsustatakse, et kasutatakse kiilrihmülekannet, kuna see toimib äkilise ülekoormuse korral puruneva kaitseelemendina. Tulenevalt ülekantavast võimsusest ning pöörlemiskiirusest kasutatakse SPA kiilrihma ning otsustatakse, et väiksema rihmaratta diameeter on 150 mm. Sellise diameetriga rihmaratta korral on ühe rihma nimivõimsus MATLABi abil interpoleerides 6,92 kW, juhul kui pöörlemiskiirus on 2000 pöret minutis. [43]

Selleks, et leida nõutavat rihmade arvu, leitakse, et rihma haardenurgast tulenev nurgategur on 1,08 ning töökoormusest tulenev dünaamikategur on 1,3. Nõutav rihmade arv on

$$N = \frac{P \cdot c_1 \cdot c_2}{P_{\text{rated}}} = \frac{15,5 \cdot 1,08 \cdot 1,3}{6,92} = 3,15, \quad (4.54)$$

seega kasutatakse nelja kiilrihma. Neljarealsed kiilrihmarattad kinnitatakse trumli ning hüdromootori võlli külge koonuspukside abil. [43]

Järgmisena tehakse *FEM*-tugevusarvutus freesi sisemisele raamile, kusjuures lihtsustamiseks on poltliited asendatud keevisliidetega (poltide nõutav suurus arvutatakse hiljem eraldi). Raami pöörlemisteljele modelleeritakse kaks sõrme ning nende pöörlemine ümber oma pikitelje jäetakse vabaks, kõik teised liikumised on takistatud. Silindri kinnituspunkti modelleeritakse samuti sõrm, mis on toetatud üksnes silindri pikitelje suunas. Sisemisele raamile rakendatakse *remote force*'i abil jõud $F_{\text{frees, MAX}}$, kusjuures jõud mõjub pindadele, kus paiknevad laagripukid (vt joonis 4.17).



Joonis 4.17. Freesi sisemise raami pinged

Joonisel 4.17 kujutatud *FEM*-arvutuses ei võeta arvesse silindri kinnitussõrme ja selle tugipindadel tekkivaid pingeid (tähistatud musta värviga), kuna sõrme puhul kontrollitakse kontaktpinget ja paindepinget käsiarvutustega. Suurimad raamis tekkivad pinged jäävad 173 MPa piiresse ning suurim deformatsioon on seejuures 1,96 mm.

Silindri kinnituspunktis tekkiv reaktsioonijõud on paranduskoefitsiendiga arvestades 37 kN, seega kasutatav hüdrosilinder peab pikeneval liikumisel tekitama vähemalt selle väärtusega jõu. Valitakse hüdrosilinder, mille kolvi läbimõõt on 50 mm ja kolvivarda läbimõõt 28 mm ning käigupikkus 250 mm [51]. Selline silinder suudab pikeneva liikumise ja 220-baarise rõhu korral tekitada jõu

$$F_{\text{sil3}} = A_{\text{sil3}} \cdot p_2 \cdot \eta_{\text{sil}} = 19,6 \cdot 10^{-4} \cdot 2,2 \cdot 10^7 \cdot 0,95 = 41 \text{ kN} [42], [43]. \quad (4.55)$$

Sisemise raami külgtalasilid ühendava keeviskoostu kinnituspoltide arvutamisel võetakse aluseks silindri maksimaalne jõud ning seatakse eesmärgiks, et poltidele ei tohi mõjuda löikejõud. Poltide hulk on 8, seega ühele poldile mõjub jõud

$$F_1 = \frac{F_{\text{sil3}}}{8} = \frac{41}{8} = 5,13 \text{ kN}. \quad (4.56)$$

Kasutatakse polte, mille tugevusklass on 8.8, ja nende tinglik voolepiir on 580 MPa. Nõutav varutegur läbilibisemisele on 2 ning kinnitatavate detailide vaheline hõõrdetegur on 0,15. Poldis tuleb tekitada tõmbejõud

$$F_{\text{polt}} = S \cdot \frac{F_1}{f_d} = 2 \cdot \frac{5,13}{0,15} = 68,4 \text{ kN} \quad (4.57)$$

ning poldi väändedeformatsiooniga arvestades on poldi sisejõud

$$N_A = 1,3 \cdot F_{\text{polt}} = 1,3 \cdot 68,4 = 88,9 \text{ kN}. [52] \quad (4.58)$$

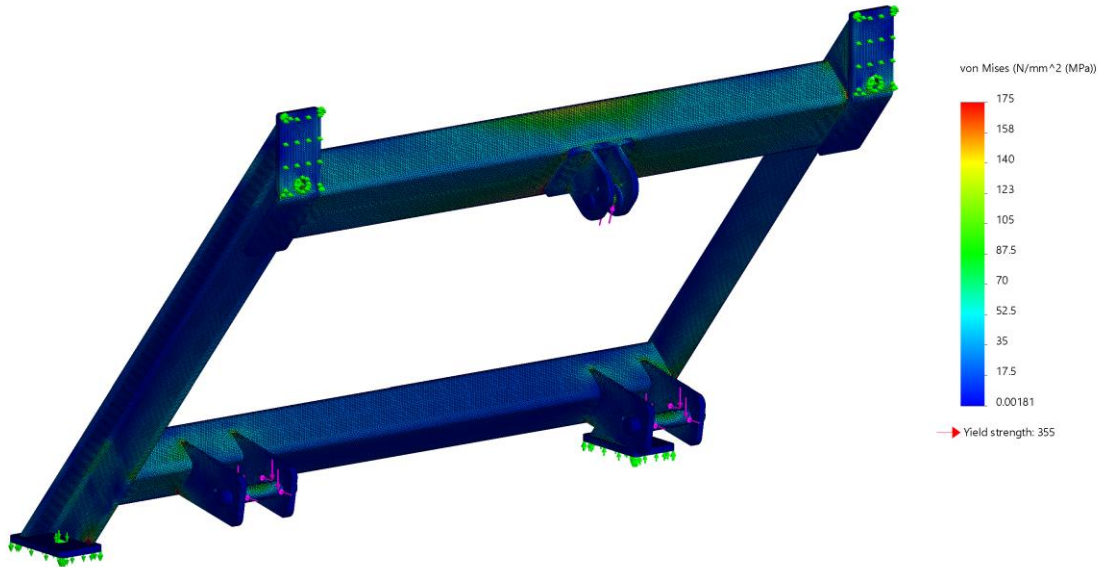
Poldi nõutav arvutuslik ristlõikepindala on

$$A_A \geq \frac{N_A}{\sigma_{\text{Pf}}} = \frac{88,9 \cdot 10^3}{580 \cdot 10^6} = 154 \text{ mm}^2, \quad (4.59)$$

seega valitakse M16 poldid, mille arvutuslik ristlõikepindala on 157 mm² [43], [52].

Freesi välimise raami *FEM*-arvutusel fikseeritakse raam kinnitusavade kaudu ning lisatakse ühesuunalised toed pindadele, mis toetuvad vastu haagise raami. Välimisele raamile mõjub kaks jõudu: üks, mis tuleneb silindrist, ning teine, mis mõjub pöörlemisteljel ja mis on jaotatud kahe hinge peale. Silindri kinnituspunkti modelleeritud sõrmele lisatakse silindri

liikumissuunas mõjuv jõud F_{sil3} ning hingede kohale modelleeritud sõrmedele lisatakse freesi sisemise raami *FEM*-arvutusest leitud ja parandatud reaktsioonijõud kahe jõuvektoriga (vt joonis 4.18).



Joonis 4.18. Freesi välimise raami pinged

Jooniselt 4.18 selgub, et suurim pinge freesi välimises raamis on 175 MPa, seega tugevusvaru on piisav. Suurim läbipaine on seejuures 1,32 mm. Raamile on lisatud tugevust suurendavaid lehtmetailist plaate ning pöörlemisteljel olevate plaatide kuju on optimeeritud selliselt, et pinged oleksid paremini hajutatud.

Viimaks tehakse ligikaudne arvutus freesi käitamiseks tarviliku sisepõlemismootori valikuks. On teada, et freesi jaoks nõutav vooluhulk on 75 liitrit minutis ning et rõhk peab olema 170 baari. Kuna haagis peab samal ajal ajamite hüdro-mootorite abil aeglaselt edasi liikuma, korrutatakse tulemus koefitsiendiga 1,2. Nõutav sisepõlemismootori võimsus on

$$P_{hj2} = \frac{p_3 \cdot q_{frees}}{\eta_{hj}} \cdot k_v = \frac{1,7 \cdot 10^7 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}}{0,75} \cdot 1,2 = 34 \text{ kW [42]}. \quad (4.60)$$

Sellise võimsusega mootorite ning sobilike hüdraulikaõlipaakide suurust arvestades ei mahuks need olemasoleva kivihaagise raamile ära. Projekteeritud pinnasefreesi jaoks peaks olemasolevat haagise raami suurendama ning tõenäoliselt ka tugevdama. Pinnasefreesi maksumus on ligikaudu 2500 eurot ning selle käitamiseks tarviliku hüdraulilise jõujaama maksumus on hinnanguliselt 9000 eurot.

Tabelis 4.1 on toodud projekteeritud seadmete tehnilised parameetrid. Aluseks on võetud nõuete tabel (vt tabel 2.3), kuid siin on ajamite ning freesi jaoks tarviliku hüdrojaama parameetrid eraldi välja toodud.

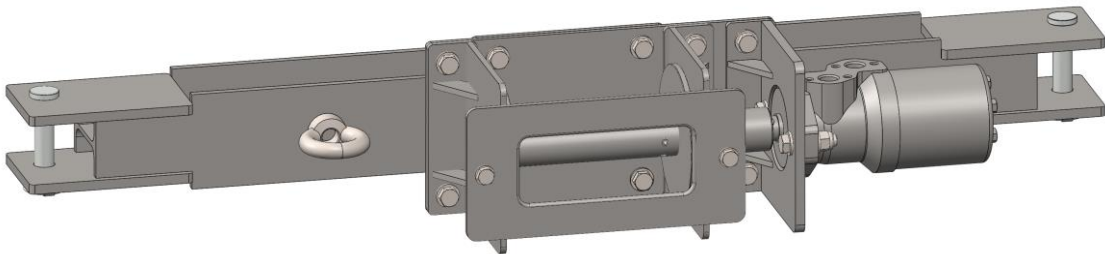
Tabel 4.1. Projekteeritud seadmete tehnilised parameetrid

Omadus	Nõutav väärtus või funktsiooni olemasolu
Jõuallika võimsus ajamite jaoks, kW	8,7
Jõuallika võimsus ajamite ja freesi jaoks, kW	34
Lõikeorgani töölaius, mm	620
Lõikeorgani läbimõõt, mm	390
Kõvasulamterade arv, tk	36
Kännu suurim läbimõõt, mm	600
Kännu suurim kõrgus, mm	437
Freesimise sügavus, mm	109
Freesi pöörlemiskiirus, $p \cdot \text{min}^{-1}$	1684...1860
Tühimass koos valmis ehitatavate seadmetega, kg	445
Tühimass koos freesi mooduliga, kg	1460
Isevedavad rattad	10...23 meetrit minutis, elektriliselt juhitavad
Hüdraulika / mehaaniline ajam	Hüdraulika
Hüdraulika vooluhulk valmis ehitatavate seadmete jaoks, $l \cdot \text{min}^{-1}$	16,1
Hüdraulika vooluhulk freesi ja ajamite jaoks, $l \cdot \text{min}^{-1}$	90
Hüdraulika rõhk valmis ehitatavate seadmete jaoks, bar	240
Hüdraulika rõhk freesi ja ajamite jaoks, bar	Freesi mootor 170, freesi silinder 220, ajamite mootorid ja silindrid 240
Hüdromootorite pöördemaht ajamite jaoks, cm^3	250
Hüdromootorite pöördemaht freesi jaoks, cm^3	80

5 VÕIMALIKUD EDASIARENDUSED

Kivihaagisele lisatud hüdrauliline jõujaam annab võimaluse integreerida haagisega hulgaliselt erinevaid hüdraulika abil töötavaid seadmeid. Lisaseadmete olemust piiravad üksnes olemasoleva haagise konstruktsioon ning hüdrojaama võimekus. Ehitatud hüdrojaamas on kasutusel kolmesektsiooniline elektrohüdrauliline jagaja, see tähendab, et üks sektsioon on ette nähtud lisaseadme juhtimiseks. Selle külge kinnitatakse kiirliitmikud, mis võimaldavad erinevaid seadmeid kiiresti ja mugavalt jagajaga ühendada.

Ühe edasiarendusena plaanitakse ehitada hüdrauliline vints, millega saab metsast palke välja tõmmata. Joonisel 5.1 kujutatud vints kinnitatakse haagise tagumises osas paiknevate avade kaudu haagise külge ja haagis ankurdatakse rihma abil esiosas olevate avade kaudu piisavalt suure puu külge. Vintsi kohta on tehtud tugevusarvutused ning tema maksimaalne tõmbevõime on kasutatava 400 cm³ hüdromootori ja 40 mm läbimõõduga võlli korral 26,8 kN. Kasutades ühte plokiratast ja vasakul pool paiknevat aasa on tõmbevõime kahekordne ehk ligikaudu 5,3 tonni, haagise raami tugevus selle jõu mõjumisel on arvutustega kontrollitud. Vintsi trossi mahakerimiseks ei ole tarvis hüdromootorit jagaja abil käitada, selleks otstarbeks paigaldatakse vintsi juurde sobiv hüdrauliline ventiil, mis muudab mootori pöörlemise ülejäänud hüdraulikast sõltumatuks ja lubab trossi trumliit käsitsi maha kerida.



Joonis 5.1. Kivihaagisele lisatav hüdrauliline palgiveovints (mõni detail pole veel mudelisse lisatud)

Põhjus, miks käesoleva töö autor otsustas ostmise asemel hüdraulilise vintsi ise projekteerida ja ehitada, on see, et ise valmistamisel saadakse hinnas ligikaudu 50-protsendiline kokkuhoid. Autoril on kogemus elektriliste vintside kasutamisest palkide väljaveol, kuid need ei ole mõeldud pikaajaliseks pidevaks vintsimiseks ning need kuumenevad kiiresti üle. Hüdraulilised vintsid seevastu on sellistes rakendustes tavapärased, sest õli saab hüdroõli paagis vahepeal jahtuda.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida, mil viisil oleks võimalik olemasoleva kivihaagise kasutusvõimalusi laiendada ning projekteerida ja ehitada üks terviklik seade, mis muudaks haagise kasutamise võimalikuks ja põhjendatuks rohkemate kasutajate jaoks.

Lähteülesande paika seadmise käigus analüüsiti, milliste seadmete integreerimine kivihaagisega oleks mõistlik, ning tuginedes turuanalüüsile ja kasutuskogemustele otsustati, et kivihaagisega integreeritakse pinnasefrees ning rehvide vastu surutavad ajamid, mis aitavad liigutada haagist juhul, kui veduk seda ei suuda. Mõlemad seadmed saavad energiat hüdrauliliselt jõujaamalt, mis samuti ise konstrueeritakse. Lähteülesande peatüki lõpus toodi loodavate seadmete kohta esitatavate nõuete loetelu, olulisimad nõuded on seotud freesitavate kändude suuruse ning hüdraulilise jagaja juhtimisega.

Kolmandas peatükis käsitleti projekteeritavate seadmete eri kontseptsioone. Üks olulisi arvesse võetavaid asjaolusid oli see, et kivihaagis peab säilitama kivide tõstmise ja transportimise funktsiooni, seega tuleb haagise olemasolevas konstruktsioonis teha võimalikult väikesi muudatusi. Modelleeriti kolm kontseptuaalset lahendust pinnasefreesi kohta, kolm lahendust rataste ajami kohta ning üks hüdraulilise jõujaama kontseptsioon. Hindamismaatriksite abil leiti, millised lahendused täidavad nõudeid kõige suuremal määral.

Neljandas peatükis kirjeldati projekteeritavaid seadmeid detailselt ning arvutuste abil selgitati välja mõjuvad jõud, leiti hüdrauliliste täiturseadmete nõutavad parameetrid ning kontrolliti keeviskoostude tugevust *FEM*-arvutuste abil. Kuna valmis plaanitakse ehitada üksnes ajamid koos hüdrojaamaga, siis konstrueeritud hüdrojaam sobib ajamite käitamiseks, kuid mitte pinnasefreesi jaoks. Arvutuste käigus selgus, et pinnasefreesi jaoks oleks vaja tunduvalt suuremat hüdrojaama, mis olemasoleva haagise raamile ei mahuks, peale selle oleks tõenäoliselt vaja freesida haagise konstruktsiooni tugevdada.

Projekteeritud hüdrojaam annab võimaluse integreerida haagisega teisi väiksemaid hüdraulika abil töötavaid seadmeid, millest ühte on käsitletud võimalike edasiarenduste peatükis. Valmis ehitatavate ajamite ning hüdrojaama kohta käiv tükitabel on toodud lisaosas, kus on ka mõningad illustratsioonid ja hüdraulikaskeem. Magistritöö lähteülesandes seatud eesmärgid on autori hinnangul saavutatud ning haagise täienduste prototüübi valmimise järel saab nende töökindlust paremini hinnata ja edasisi arendusi planeerida.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to explore ways to expand the usage options of an existing rock lifting and transporting trailer and to design and build a complete device that would make the trailer's usage possible and justified for more users.

In the process of establishing the initial task, it was analysed which equipment would be reasonable to integrate with the trailer, and based on market analysis and user experience, it was decided that a forestry mulcher and wheel drives, which will help move the trailer if the towing vehicle cannot do it, will be integrated with the trailer. Both devices are powered by a hydraulic station, which is also self-constructed. At the end of the task establishment chapter, a list of requirements for the equipment to be created was given, with the most important ones being the size of the stumps to be mulched and the control mechanism of the hydraulic distributor.

In the third chapter, different concepts of the devices to be designed were discussed. One of the most important considerations was that the trailer must maintain the functionality of lifting and transporting rocks with as few changes as possible to the existing design of the trailer. Three conceptual solutions for a mulcher, three solutions for a wheel drive and one concept for a hydraulic station were modelled. With the help of evaluation matrices, it was found out which solutions fulfil the requirements to the greatest extent.

In the fourth chapter, the devices to be designed were described in detail, and with the help of calculations, the effective forces were determined, the required parameters of the hydraulic actuators were found, and the strength of the welded assemblies was checked using FEM calculations. Since it is planned to build only the wheel drives together with the hydraulic station, the designed hydraulic station is suitable for operating the wheel drives, but not the mulcher. During the calculations, it turned out that a much larger hydraulic station would be needed for the mulcher, which would not fit on the existing trailer frame, and it would probably be necessary to make the trailer structure stronger for the forestry mulcher.

The designed hydraulic station gives the opportunity to integrate other small hydraulic-powered devices with the trailer, one of which is discussed in the chapter on possible further developments. In the Appendices, bill of materials for the wheel drives and the hydraulic plant is given, along with some illustrations and a hydraulic diagram. According to the author, the goals set in the aim of the master's thesis have been achieved, and after the completion of the prototypes of the hydraulic devices, their reliability can be better assessed and further developments can be planned.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

1. Varsta veebilehekülg, „Oksapurustaja.“ Varsta.ee. Vaadatud 04.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.varsta.ee/product/oksapurustaja/>
2. Melit AP veebilehekülg, „Puulõhkuja ALTO HH-110.“ Melit.ee. Vaadatud 04.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://melit.ee/kataloog/metsatehnika/halumasinad/puulohkuja-alto-hh-110/>
3. Tööriistakeskuse veebilehekülg, „Pinnasepuur STIHL BT 131.“ Tööriistakeskus.ee. Vaadatud 04.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://tooriistakeskus.ee/product/pid/12244/bid/12277>
4. Mets24 veebilehekülg, „Aiaposti rammija VR-100.“ Mets24.ee. Vaadatud 04.10.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&product_id=1324
5. Agraarkeskuse veebilehekülg, „POSTIPUUR PB-100.“ Pytitalu.ee. Vaadatud 04.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.pytitalu.ee/toode/postipuur-pb-100/>
6. Estem Tehnikakaubad veebilehekülg, „Võsaniiduk Toro BRC-28.“ Estem.ee. Vaadatud 07.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.estem.ee/et/latt-ja-trimmerniidukid/3665/V%C3%B5saniiduk+Toro+BRC-28-23522.html>
7. Aiatahe veebilehekülg, „Võsaniiduk HRT 110 Swing Ecotech.“ Aiataht.ee. Vaadatud 07.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://aiataht.ee/hooldusniidukid-vosaniiduk--2x-horisontaal-teradega-hrt-110-swing-ecotech>
8. Mets24 veebilehekülg, „ATV kõrgerohu purusti Bernards 150cm ja 37hj mootoriga.“ Mets24.ee. Vaadatud 07.10.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&path=65_92&product_id=1033
9. Mehka veebilehekülg, „HUSQVARNA TF 435P.“ Mehka.ee. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://mehka.ee/ee/product/husqvarna-tf-435p967101301>
10. Agromachinery veebilehekülg, „Mullafrees DFL-135.“ Agromachinery.ee. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: https://agromachinery.ee/teised_tooted/mullafrees-dfl-135/
11. Melker Baltik veebilehekülg, „Metsafreesid.“ Melkerbaltik.eu. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.melkerbaltik.eu/pood/maastikuhooldustehnika/plaisance-pinnasefreesid/metsafreesid/>
12. Mets24 veebilehekülg, „Kännufrees Lumag BSF 15.“ Mets24.ee. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&path=65_121&product_id=553

13. Laski veebilehekülg, „Kännufrees LASKI F 500H/27.“ Laski.voog.com. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://laski.voog.com/tooted/kannufreesid/kannufreesid/f-500h-27>
14. Mets24 veebilehekülg, „Kännufrees WG24 PTO.“ Mets24.ee. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&product_id=679
15. Dipperfoxi veebilehekülg, „Stump Crusher 850 Pro.“ Dipperfox.com. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://dipperfox.com/product/>
16. Taure veebilehekülg, MeriCrusher tootekataloog. Taure.ee. Vaadatud 13.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://taure.ee/wp-content/uploads/2018/05/MeriCrusher-ENG.pdf>
17. Aiatahe veebilehekülg, „Kännufrees LASKI F360SW/14.“ Aiataht.ee. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://aiataht.ee/kannufreesid-kannufrees-laski-f360sw-14-mootor-kohler>
18. Aiatahe veebilehekülg, „Kännufrees LASKI F 460E/27 H 25hj 18,6kW iseliikuv.“ Aiataht.ee. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://aiataht.ee/kannufreesid-kannufrees-laski-f-460e-27-mootor-kohler-ch-740-h-25hj-18-6kw-iseliikuv>
19. Aiatahe veebilehekülg, „Kännufrees LASKI F 500 H/35.“ Aiataht.ee. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://aiataht.ee/kannufreesid-kannufrees-laski-f-500-h-35-bs-vanguard-mootor-buldoosriqa>
20. Mets24 veebilehekülg, „Kännufrees FRZPRO-54 PTO.“ Mets24.ee. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&path=65_121&product_id=1496&sort=p.price&order=ASC&limit=100
21. Mets24 veebilehekülg, „Kännufrees Bernards STG300.“ Mets24.ee. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&path=65_121&product_id=1666&sort=p.price&order=ASC&limit=100
22. LECinfo veebilehekülg, „TORO SGR-13 STUMP GRINDER.“ LECinfo.com. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.lecinfo.com/products/toro-sgr-13-stump-grinder>
23. Mets24 veebilehekülg, „Kännufrees WG24 PTO.“ Mets24.ee. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&path=65_121&product_id=679&sort=p.price&order=ASC&limit=100

24. Aiatähe veebilehekülg, „Kännufrees LASKI FZ 560 T – M.“ Aiatäht.ee. Vaadatud 17.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://aiataht.ee/kannufreesid-kannufrees-laski-fz-560-t-m-traktor-pto-540-rpm>
25. Saunderton veebilehekülg, „TFVLHC – TARIM (1,5-3t).“ Saunderton.ee. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://saunderton.ee/toode/tfvlhc-tarim-15-3t/>
26. Tabe tootekataloog. Tabe-hammers.com. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.tabe-hammers.com/wp-content/uploads/2016/05/mulching-tabe-2016.pdf>
27. Melker Baltik veebilehekülg, „Võsafreesid.“ Melkerbaltik.eu. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.melkerbaltik.eu/pood/maastikuhooldustehnika/plaisance-pinnasefreesid/vosafreesid/>
28. Baumalight veebilehekülg, „MP360 Fixed Tooth Mulcher for Power Take Off on a Tractor.“ Baumalight.com. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://baumalight.com/brush-mulchers/en/mp360.php>
29. Valley Tool veebilehekülg, „FX36 Defender Excavator Forestry Mulcher.“ Valleytoolmfg.com. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://valleytoolmfg.com/brushhound/fx36-defender-forestry-mulcher/>
30. Deleks veebilehekülg, „Excavator Mulcher Head - 100cm - hydraulic shredder.“ Deleks.eu. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.deleks.eu/en/p/607/forestry-mulcher-of-100cm-for-mini-excavators-hydraulic-shredder-mod-arh-100>
31. John Deere tootekataloog, „Compact construction equipment attachments.“ Deere.com. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://www.deere.com/assets/pdfs/common/products/sync/dkaattach-compact-construction-attachments.pdf>
32. Diamond Mowers veebilehekülg, „SK Disk Mulcher Pro X.“ Diamondmowers.com. Vaadatud 20.10.2023. [Online.] Saadaval: <https://diamondmowers.com/products/skid-steer-attachments/sk-disc-mulcher-pro-x/>
33. Mets24 veebilehekülg, „ATV Metsaveohaagis 3,6m tõstukiga ja ratta veoga.“ Mets24.ee. Vaadatud 26.11.2023. [Online.] Saadaval: https://mets24.ee/index.php?route=product/product&path=20_69&product_id=1563
34. GrabCAD veebilehekülg, „Library - Hydraulic orbit motors.“ GrabCAD.com. Vaadatud 21.04.2024. [Online.] Saadaval: <https://grabcad.com/library/library-hydraulic-orbit-motors-1>

35. CADENAS GmbH, Hansa-Flex 3D mudelite kataloog. Vaadatud 18.02.2024. [Online.] Saadaval: https://hansa-flex.partcommunity.com/3d-cad-models/sso/adapter-hansa-flex?info=hansa_flex%2Fhydraulics%2F1_line_engineering%2F1_6_adapter&cwid=4912
36. T. C. Petterson and S. D. Gooch, „Rolling Resistance of ATV Tyres in Agriculture,” in *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, Cambridge University Press, vol. 1, May 2020, pp. 2561 – 2570, doi: 10.1017/dsd.2020.75. Vaadatud 11.02.2024. [Online.] Saadaval: <https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-design-society-design-conference/article/rolling-resistance-of-atv-tyres-in-agriculture/ECD7544F00543D596B2D0EB3DD639516>
37. A. S. Anifantis, M. Cutini, M. Bietresato, „An Experimental-Numerical Approach for Modelling the Mechanical Behaviour of a Pneumatic Tyre for Agricultural Machines,” *Applied Sciences*, 2020, 10, Art. no. 3481, doi: 10.3390/app10103481. Vaadatud 14.02.2024. [Online.] Saadaval: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/10/3481>
38. P. Jilek and O. Voltr, „Radial Tire Deflection of Road Vehicle in Dependence on Temperature,” *Perner's Contacts*, vol. 11, no. 4, pp. 54 – 60, Dec. 2016. Vaadatud 14.02.2024. [Online.] Saadaval: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/570>
39. P. Baranowski, P. Bogusz, P. Gotowicki and J. Malachowski, „Assessment of mechanical properties of offroad vehicle tire: Coupons testing and FE model development,” *Acta Mechanica et Automatica*, vol. 6, no. 2, Jan. 2012. Vaadatud 14.02.2024. [Online.] Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/268293803_Assessment_of_mechanical_properties_of_offroad_vehicle_tire_Coupons_testing_and_FE_model_development#pf5
40. Hydrolider veebilehekülg, „Hydraulický motor SMS 250 absorpce: 250cm³/ot otáčky: 310ot/min.” Hydrolider.cz. Vaadatud 17.02.2024. [Online.] Saadaval: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicky-motor-SMS-250-absorpce-250cm3ot-otacky-310otmin/7782
41. Hydrolider veebilehekülg, „Hydraulický válec dvojčinný CJ2F 40/22/70 U25W.” Hydrolider.cz. Vaadatud 29.02.2024. [Online.] Saadaval: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicky-valec-dvojcinny-CJ2F-402270-U25W./19012
42. R. Soots, *Hüdraulika ja hüdroseadmed*. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2009.
43. A. Hermaste, P. Kulu, T. Otto, P. Põdra, *Mehaanikainseneri käsiraamat*, teine väljaanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2021.

44. D. Broast. (16. oktoober 2015). „Honda GX390.“ GrabCAD.com. Vaadatud 04.03.2024. [Online.] Saadaval: <https://grabcad.com/library/honda-gx390-1>
45. Honda Engines veebilehekülg, „GX390.“ Honda-engines-eu.com. Vaadatud 04.03.2024. [Online.] Saadaval: <https://www.honda-engines-eu.com/en/products/engines/gx390>
46. Hydrolider veebilehekülg, „Hydraulické čerpadlo, směr otáček: na pravou stranu, výkon: 7,05L / min, objem: 4,70 cm³ / ot.“ Hydrolider.cz. Vaadatud 07.03.2024. [Online.] Saadaval: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicke-čerpadlo%2C-smer-otacek-na-pravou-stranu%2C-vykon-7%2C05L-min%2C-objem-4%2C70-cm3-ot/14506
47. TraceParts veebilehekülg, „A7-SPA V-Belt Taper-Pulleys SPA.“ TraceParts.com. Vaadatud 21.04.2024. [Online.] Saadaval: <https://www.traceparts.com/en/product/michaud-chailly-a7spa-vbelt-taperpulleys-spa-a74spa1502517?Product=10-24082020-068566&PartNumber=A7-4SPA150-2517>
48. SolidComponents veebilehekülg, „Taper bushes.“ SolidComponents.com. Vaadatud 21.04.2024. [Online.] Saadaval: <https://solidcomponents.com/?company=SCCRE86GC&office=2371&page=39781>
49. D. W. Green, „Wood: Strength and Stiffness,“ in Encyclopedia of Materials: Science and Technology. Elsevier Science, 2001, pp. 9732-9736. Vaadatud 23.04.2024. [Online.] Saadaval: <https://charles-oneill.com/aem341/Lesson07a-WoodMaterials.pdf>
50. Hydrolider veebilehekülg, „Hydraulický motor SMS 80 absorpce: 80 cm³ / ot otáčky: 930 ot / min.“ Hydrolider.cz. Vaadatud 22.04.2024. [Online.] Saadaval: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicky-motor-SMS-80-absorpce-80cm3ot-otacky-930otmin/7899
51. Hydrolider veebilehekülg, „Hydraulický válec dvojčinný 50/28/250 U25.“ Hydrolider.cz. Vaadatud 22.04.2024. [Online.] Saadaval: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicky-valec-dvojcinny-5028250-U25/10581
52. P. Pödra. (2016). Põikkoormatud lihtne keermesliide [loengumaterjal].

LISAD

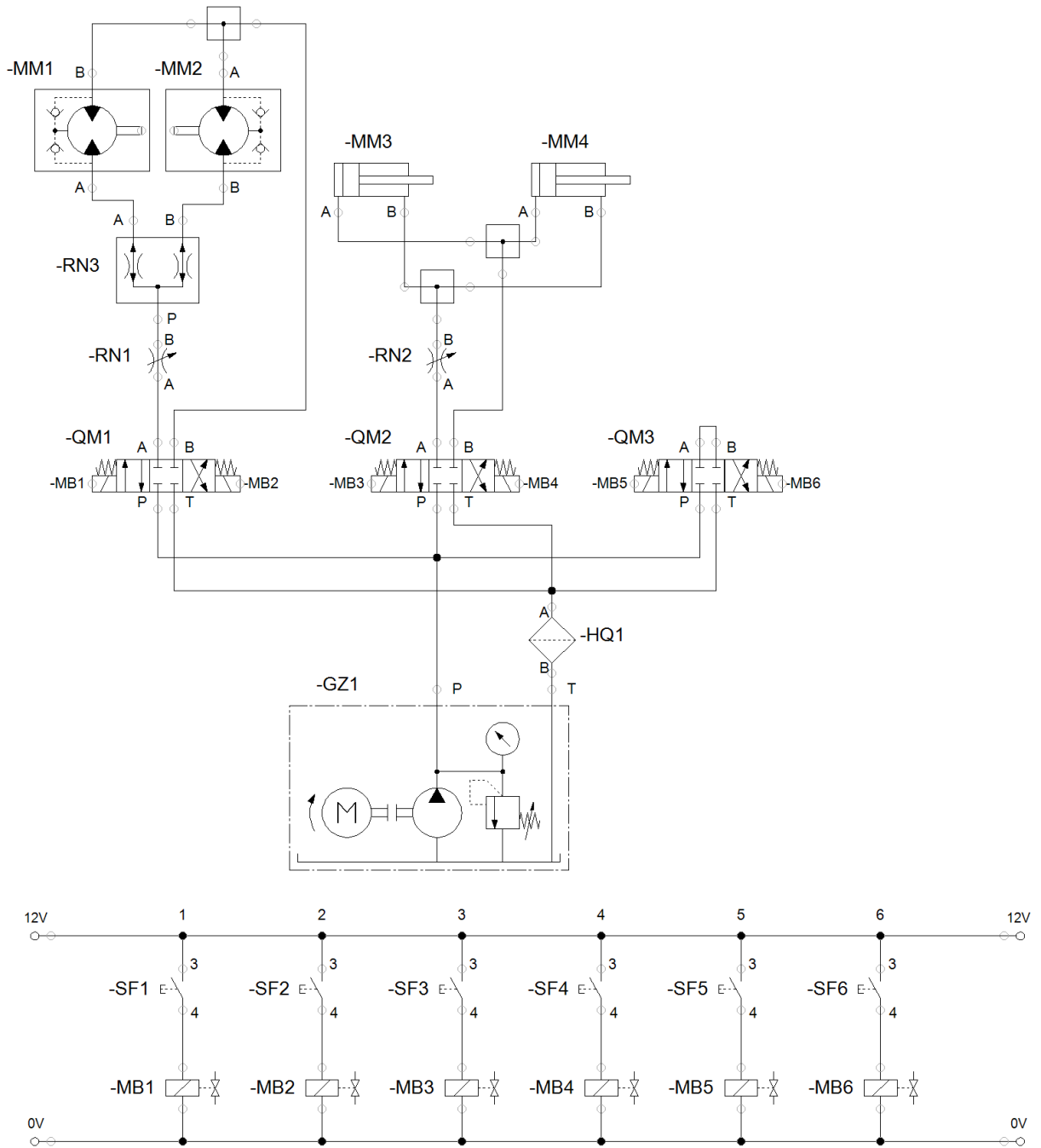
Lisa 1 Kasutuskogemuste analüüs

1. Haaratsil peaks plastist liugelaagrite asemel kasutama metallist liugelaagreid (asendatud).
2. Haaratsil peaks M24 keermelattide asemel kasutama otstest keermestatud 25 mm ümarlatte, mida saaks kergemini liugelaagritega kombineerida.
3. Haaratsi haarad peaks olema valmistatud kulumiskindlast terasest, näiteks Hardox 450.
4. Haaratsi haarade geometriat võiks optimeerida otstest kitsamaks, sest esiteks, otsale ei mõju nii suur paindemoment kui liitekohta lähedal, teiseks, see muudaks haaratsi kergemaks, ning kolmandaks, kitsam haara ots mahuks paremini üksteise lähedal asuvate kivide vahele ning maa sees paiknevate kivide korral peaks vähem kaevama.
5. Kolme haaraga haarats oleks efektiivsem, kuna kivi on harva kontaktis kõigi nelja haaraga.
6. Konstrueeritud haarats on olemasoleva kivihaagise jaoks natuke liiga suur, kuna esiteks, haaratsi kasutamine risti haagise pikiteljega on raskendatud, ning teiseks, väikeste kivide tõstmisel on haaratsi kõrgus selline, et see ei pruugi koos kiviga vintsi ja haagise põhja vahele ära mahtuda (vt ka punktid 19 ja 24).
7. Haaratsi asendi hoidja võiks paikneda haaratsi keskel, et haarats ei kisuks tühjana tõstmise ajal viltu, samuti peaks asendihoidja tööulatus olema suurem, kuna mõnikord on vaja tõsta kinnisemas asendis olevat haaratsit.
8. Haaratsi haaradel võiksid olla stopperid, mis takistaksid haaradel üksteisest nii-öelda üle minna, kuna sel juhul on haaratsi raskuse tõttu tema uuesti paika seadmine üsna keeruline.
9. Haaratsi võiks kinnitada sõidu ajaks puidust põhja külge, kuna ta liigub sõidu ajal ettepoole üle ääre ning mõnel juhul vajub üks haar tiisli ja selle tugevduskolmnurga vahelisse avasse, kust on seda samuti raske kätte saada (kinnitamiseks saab kasutada puidust alusel olevaid veorihma aasasid, vt ka punkt 39).
10. Vintsil peaks olema suurem tõstevõime, antud juhul on tõstevõimet mingil määral suurendatud sellega, et vintsi trossi on tehtud lühemaks.
11. Vintsi juhtimispuldi kinnitus võiks olla stabiilsem, veel mugavam oleks juhtmevaba pult.
12. Vintsi tross võiks olla jämedam, kuna peenike tross kulub kiiremini läbi.
13. Vedruterasest vintsi trossi suunaja teeb trossile rohkem kahju kui kasu, kuna trossi kiud jäävad suunaja nurkade taha kinni ja see tekitab trossile lahtiseid teravaid kiudusid (lehtmetailist suunaja eemaldati ja selgus, et see on katki läinud).

14. Vintsil võiks olla küljes trossi juhtrullikud või klüüs, mis ei laseks trossil ühte serva koguneda, kui seda trumlile keritakse (serva kogunenud tross vajub kivi tõstes raskuse all aeg-ajalt keskme poole, see tekitab vintsile ja kogu haagisele suure löökoormuse).
15. Vintsi konks võiks olla suurem ja vastupidavam lukustusvedruga, vintsi kõrval oleva aaspoldi asemel peaks olema keermelatt, mille mõlemas otsas on aasmutter (ülemist aasmutrit oleks mugav kasutada vintsi ja haaratsit hoidva, teleskoopselt muudetava kõrgusega tarindi ülestõstmisel, vt ka punkt 23).
16. Vintsi juhtmed ei tohiks olla kinnitatud liimitavate klambritega, kuna need tulevad kergesti lahti (need on asendatud kaablisidemetega).
17. Vintsi juhtmetel võiks ühes kohas olla kergesti purunev ühendus, et vältida kahju tekitamist vintsi releele, kui haagise lahtivõtmise järel unustatakse pistik lahti ühendada.
18. Vintsi ja haaratsi vahel olev tõsteplokk oli ebakvaliteetne, selle asemel on valmistatud uus plokk, mis on projekteeritud kulumiskindlamaks.
19. Vintsi ja haaratsit hoidev teleskoopne tarind võiks olla fikseeritav umbes 100...150 mm kõrgemal, et mahutada paremini haaratsit väikeste kivide tõstmisel (vt ka punkt 6).
20. Kõrgemal asetsev tarind võiks tulla kasuks ka suuremate kivide tõstmisel, kuna nii mahuks haaratsi ja vintsi vahele kaks plokiratast (kui haagise suurimat lubatud koormust ei ületata).
21. Teleskoopset tarindit hoidvate vertikaaltalade avade asukohti peaks optimeerima selliselt, et jätta ruumi nende talade põhja kogunevale mustusele, mis ei lase tarindil lõpuni alla liikuda ja siis ei saa tarindi alumisse asendisse fikseerimiseks sõrmi avadesse paigaldada (soovitav oleks puurida vertikaaltalade kohale külgtaladesse avad).
22. Teleskoopsel tarindil peaks olema ka keskel avad, et võimaldada tarindi alumise asendi korral kinnitada sinna tagumine eemaldatav tugitala, mida on vaja palkide vedamisel.
23. Teleskoopse tarindi ülestõstmine on tema raskuse ja torude vahele koguneva mustuse tõttu üsna vaevarohke, seetõttu kasutatakse tema ülestõstmiseks vintsi, mille tross paigutatakse üle kõrgel asetseva tala ja mille konks kinnitatakse aaspoldi külge ja seejärel vintsitakse (siin oleks mugav ülevalpool asetsev aasmutter, vt ka punkt 15, lisaks võiks vertikaaltalade ülemises otsas olla tihendid või juhikud).
24. Haagise raam peaks olemasoleva haaratsi mahutamiseks olema pikem ja laiem (vt ka punkt 6).
25. Haagise tagaosas peaks olema muudetava kõrgusega tugijalad, mis kivi tõstes maha lükatakse, kuna väikese massiga veduki korral on oht, et haagis kaldub kivi tõstes

- tahapoole (eriti kallaku peal) ning tõstab veduki tagumise otsa üles (probleemi ilmnedes lisati tugijalad).
26. Plastist otsakorgid ei püsi paigal, seetõttu tuleks nende üleüldine vajadus läbi mõelda (osa kõrge eemaldati).
 27. Tagumise tugitala välimisel küljel võiks olla veokuul, mille külge saaks haakida täiendava haagise, näiteks palkide vedamiseks (veokuul lisati tagumisele küljele).
 28. Kui tugitala või teleskooparindit teatud asendisse fikseeritakse, on nende avade seadmine ühele teljele ja seega ka sõrmede paigaldamine avadesse mõnikord raskendatud, seetõttu peaks eelistama koonusekujulise otsaga sõrmi (sõrmede otsad treiti koonusekujuliseks).
 29. Raam võiks olla üleni kuumtsingitud, sel juhul ei põhjustaks löögid värvi eemaldumist.
 30. Balanssiiride kinnituskohas võiks sõrme ühes otsas olla keevitatud flants, mis takistaks sõrme pöörlemist ja võimaldaks kasutada nelja liugelaagri asemel kahte, kuna siis oleks sõrm raami suhtes fikseeritud.
 31. Väike veduk ei jaks koormaga haagist kallakust üles vedada, seetõttu peaks haagise ratastel olema abimootorid.
 32. Veopea kinnituse pöörlev funktsioon ei ole haagise kasutuskohas seni vajalikuks osutunud, kuna suhteliselt tasasel maal ei kaldu haagis nii suurel määral külgsuunda.
 33. Pöörleva veopea kinnituse positiivne asjaolu on see, et see võimaldab muuta veopea kõrgust vastavalt veduki veokuuli kõrgusele (kaks võimalikku asendit).
 34. Paigaldatud veopea, mis müüdi koos pöörleva veopea kinnitusega, on väga ebakvaliteetne, kuna see tuli lukusti puudumise tõttu veokuuli otsast kergesti ära (veopea on asendatud uuega).
 35. Tiisel võiks olla kuni 100 mm pikem, et mahutada paremini selle peale liigutatavat puidust põhja ka siis, kui haagise ja veduki pikiteljed on teineteise suhtes külgnurga all.
 36. Tiisli küljele tugiratta jaoks puuritud avad võivad osutada kasulikuks projekteeritavate lisaseadmete kinnitamisel.
 37. Puidust põhjal olevaid koormakinnitusaasasid ei ole kivi kinnitamiseks vaja, kuid need osutuvad kasulikuks haaratsi kinnitamisel sõidu ajaks (vt ka punkt 9).
 38. Puidust põhja alumisel küljel võiks kahel pool servades olla 50x100 mm prussid, mille peal saaks põhi libiseda, kui seda tiisli peale tõmmatakse, kuna vastasel juhul jääb põhi selle all risti paiknevate prusside tõttu haagise esiserva taha kinni (prussid on põhja servadesse lisatud).

Lisa 2 Hüdraulikaskeem



Joonis L2.1. Hüdraulikasüsteemi skeem koos solenoide juhtivate lülitite elektriskeemiga

Lisa 3 Tükitabel

Tükitabelis on toodud haagise arenduste ehitamiseks vajaminevad komponendid, nende kogus ning maksumus. Tükitabelis ei võeta arvesse projekteerimisele ning valmistamisele minevaid kulusid (v.a pulbervärvimine).

Tabel L3.1. Tükitabel valmis ehitatavate seadmete kohta

Toode või teenus	Tähis	Hind, €	Kogus	Kokku, €
Hüdraulikakomponendid				
3-sektsiooniline elektriline jagaja	81.10.40.032.1	420,00	1	420,00
Ülerõhuklapp	HKV01230006	40,67	1	40,67
Kahesuunaline drossel	81.35.00.210.1	25,00	2	50,00
Voolujaotusventiil 50:50	81.35.55.031	105,30	1	105,30
Hüdraulikaõli filter	81.47.00.011.1	29,00	1	29,00
Hüdraulikaõli paak 25 l	81.41.01.025	175,99	1	175,99
Hüdraulikaõli pump 4,70 cm ³	81.40.09.470	105,98	1	105,98
Hüdraulikaõli 25 l	MGE-46V	80,83	1	80,83
Hüdrauliline silinder 40/22/70	81.29.00.0070	92,02	2	184,04
Hüdrauliline mootor 250 cm ³	81.37.20.250	207,60	2	415,20
Manomeeter	81.52.00.016	7,73	1	7,73
Üleminek sirge 3/4 vk - 3/8 vk	GHB06HB12	2,44	4	9,76
Üleminek sirge 1/2 vk - 3/8 vk	GHB06HB08	1,65	4	6,60
Üleminek sirge 3/8 vk - 3/8 vk	GHB06	0,98	6	5,88
Üleminek sirge 3/8 sk - 3/8 vk	GAB06HB	2,07	5	10,35
Üleminek sirge 3/8 sk - 3/8 sk	GAB06	3,29	2	6,58
Üleminek sirge M16x1,5 vk - 3/8 vk	GEHMO16HB06	1,10	4	4,40
Üleminek 90° kontramutriga 3/8 vk - 3/8 vk	W90HROK06HB	6,47	2	12,94
Üleminek 90° kontramutriga 1/2 vk - 1/2 vk	W90HROK08HB	6,10	2	12,20
Üleminek 90° 3/8 sk - 3/8 vk	W90AB06HB	4,27	4	17,08
Üleminek 90° 1/2 sk - 1/2 vk	W90AB08HB	4,88	2	9,76
Üleminek 90° 3/8 vk - 3/8 vk	W90HB06	4,15	3	12,45
Kolmik 3/8 sk - 3/8 vk - 3/8 vk	LAB06HB	8,95	4	35,80
Kork 3/8 vk	VHR90-3/8ED	1,22	2	2,44
Hüdraulikatihend 1/4" isetsentreeruv	08BS921	0,24	1	0,24
Hüdraulikatihend 1/2" isetsentreeruv	08BS925	0,37	4	1,48
Hüdraulikatihend 3/8" isetsentreeruv	08BS923	0,37	12	4,44
Hüdraulikatihend 3/4" isetsentreeruv	08BS927	0,43	4	1,72
Hüdraulikatihend M16 isetsentreeruv	08BS9229	0,31	4	1,24
Vooliku kinnitusklamber 1ne 20 mm	81.73.02.020	1,20	2	2,40
Vooliku kinnitusklamber 2ne 20 mm	81.73.03.020	1,20	10	12,00
Voolik 3/8 sk 90° - 3/8 sk, 400 mm	H.V.3/8	7,54	1	7,54
Voolik 3/8 sk - 3/8 sk, 500 mm	H.V.3/8	6,53	1	6,53
Voolik 3/8 sk 90° - 3/8 sk, 750 mm	H.V.3/8	8,61	1	8,61

Tabel L3.1 järg

Toode või teenus	Tähis	Hind, €	Kogus	Kokku, €
Voolik 3/8 sk 90° - 3/8 sk, 850 mm	H.V.3/8	8,92	1	8,92
Voolik 1/2 sk - 3/8 sk, 1600 mm	H.V.3/8	10,22	2	20,44
Voolik 3/8 sk 90° - 3/8 sk, 1900 mm	H.V.3/8	12,11	1	12,11
Voolik 3/8 sk - 3/8 sk, 1300 mm	H.V.3/8	8,97	1	8,97
Voolik 3/8 sk 90° - 3/8 sk, 1600 mm	H.V.3/8	11,20	1	11,20
Voolik 3/8 sk - 3/8 sk, 1600 mm	H.V.3/8	9,88	1	9,88
Voolik 3/8 sk 90° - 3/8 sk, 1500 mm	H.V.3/8	10,89	1	10,89
Voolik 3/8 sk - 3/8 sk, 1200 mm	H.V.3/8	8,66	1	8,66
Hüdraulikakomponendid kokku				1898,25
Lehtmetall				
Trumli kinnitusseib	KH.07.00.04A	0,84	2	1,68
Ajami ülemise keeviskoostu välimine külg	KH.07.01.01A	8,78	2	17,56
Ajami ülemise keeviskoostu sisemine külg	KH.07.01.02A	8,80	2	17,60
Tugevdusplaat 1	KH.07.01.03A	0,62	8	4,96
Tugevdusplaat 2	KH.07.01.04A	0,78	4	3,12
Tugevdusflants	KH.07.01.05A	0,73	4	2,92
Ajami painutatud detail	KH.07.01.06A	31,12	2	62,24
Tugevdusribi 1	KH.07.01.07A	0,24	8	1,92
Hüdromootori kinnitusplaat	KH.07.01.08A	6,55	2	13,10
Alumise keeviskoostu kinnitusplaat	KH.07.02.01A	3,67	4	14,68
Alumise keeviskoostu vertikaalplaat	KH.07.02.02A	3,68	4	14,72
Tugevdusribi 2	KH.07.02.03A	0,28	4	1,12
Trumli plaat	KH.07.03.01A	8,63	4	34,52
Trumli plaat 2	KH.07.03.02A	9,11	2	18,22
Kinnitussõrme flants	KH.07.04.01A	0,85	6	5,10
Balanssiiri tugevdusdetail 1	KH.09.01.01A	5,80	2	11,60
Balanssiiri tugevdusdetail 2	KH.09.01.02A	3,43	4	13,72
Sidurikoja vaheflants	KH.10.00.01A	6,64	1	6,64
Hüdrojaama raami kinnitusplaat	KH.10.01.01A	1,31	2	2,62
Hüdrojagaja kinnitusplaat	KH.10.01.02A	5,67	1	5,67
Juhtmekarbi kinnitusplaat	KH.10.01.10A	7,93	1	7,93
Voolujaotusventiili tugiplaad	KH.10.02.01A	4,07	1	4,07
Voolujaotusventiili tugiplaadi kinnitus	KH.10.02.02A	1,34	2	2,68
Lehtmetall kokku				268,39
Metallprofiilid				
L-profiil 90x90x6 S235JR, l = 620	DIN EN 10056-1 - 90 x 90 x 6	15,36	1	15,36
L-profiil 30x30x5 S235JR, l = 11 630	DIN EN 10056-1 - 30 x 30 x 5	61,23	1	61,23
L-profiil 25x25x4 S235JR, l = 3730	DIN EN 10056-1 - 25 x 25 x 4	14,68	1	14,68
Pöörlemistelje keevispuks S355	KH.07.02.04A	2,46	2	4,93

Tabel L3.1 järg

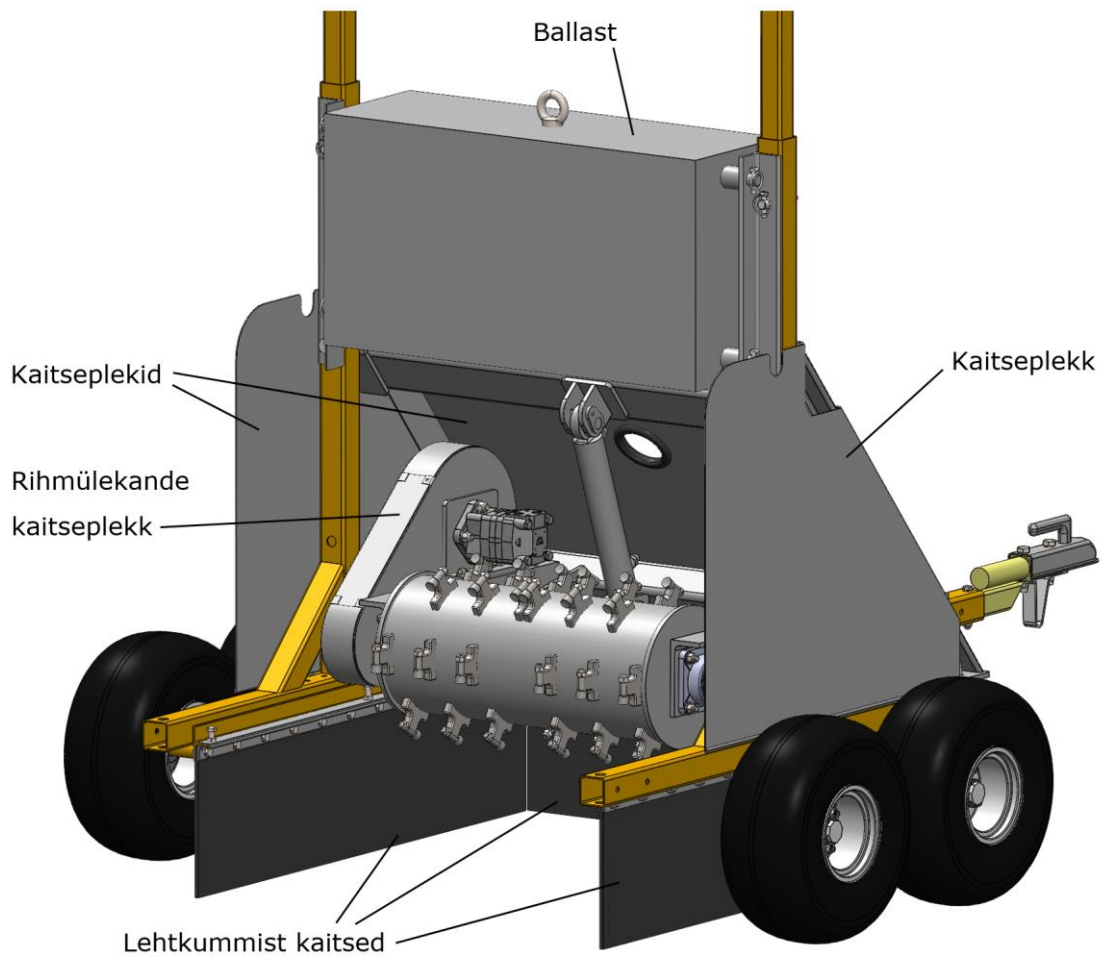
Toode või teenus	Tähis	Hind, €	Kogus	Kokku, €
Kinnitussõrm S355J2+H9	KH.07.04.02A	1,26	4	5,02
Lühem kinnitussõrm S355J2+H9	KH.07.05.02A	0,80	2	1,61
Distantspuks 1 6082	KH.07.00.01A	0,88	2	1,76
Distantspuks 2 6082	KH.07.00.02A	0,61	2	1,22
Distantspuks 3 6082	KH.07.00.03A	0,32	4	1,26
Metallprofiilid kokku				107,06
Muud ostutooted				
Võlli muhv 32 mm	81.37.20.500	15,60	2	31,20
Haagise tugijalg 48 x 700 mm	PV300278	15,20	1	15,20
Haagise tugijala kinnitus	PV0102	6,37	1	6,37
Mootor Honda GX390	GX390SXQ4	1150,00	1	1150,00
Mootoriõli 4-takti 0,6 l	OLO001	3,14	2	6,28
Sidurikoda 1. seeria pumbale	LS201	38,55	1	38,55
Vahesiduri pool 1. seeria pumbale	ND65P1	12,32	1	12,32
Vahesiduri pool 25 mm liistvõllile	ND65MC33	23,18	1	23,18
Vahesiduri elastne element	ND62R	6,22	1	6,22
Äärikuga liugelaager	SKF PCMF 252816.5 E	5,19	4	20,74
Pukside ja laagrite liim Loctite 648	HK31417	11,50	1	11,50
Kleebitav neodüümmagnet	S-20-01-STIC	1,05	6	6,30
Muud ostutooted kokku				1327,86
Standardtooted				
Polt	ISO 7380 - M5 x 16 - 10.9	0,14	4	0,56
Polt	ISO 4014 - M6 x 55 - 8.8	0,21	3	0,63
Polt	ISO 4017 - M6 x 20 - 8.8	0,08	4	0,32
Lukustusmutter	ISO 7040 - M6 - 8	0,12	3	0,36
Seib	ISO 7089 - 6 - 200 HV	0,02	10	0,20
Seadekruvi	ISO 4026 - M6 x 10 - 45H	0,12	1	0,12
Polt	ISO 4014 - M8 x 55 - 8.8	0,26	3	0,78
Polt	ISO 4014 - M8 x 60 - 8.8	0,28	1	0,28
Polt	ISO 4017 - M8 x 25 - 8.8	0,14	4	0,56
Polt	ISO 4017 - M8 x 50 - 8.8	0,26	4	1,04
Lukustusmutter	ISO 7040 - M8 - 8	0,09	10	0,90
Seib	ISO 7089 - 8 - 200 HV	0,03	22	0,66
Sisekuuskantpolt	ISO 10642 - M8 x 12 - 8.8	0,14	6	0,84
Keermevarras	DIN 975 - M8 x 180 - 8.8	0,31	2	0,62
Polt	ISO 4014 - M10 x 55 - 8.8	0,43	4	1,72
Polt	ISO 4014 - M10 x 90 - 8.8	0,71	10	7,10
Polt	ISO 4014 - M10 x 100 - 8.8	0,79	6	4,74
Polt	ISO 4014 - M10 x 110 - 8.8	1,20	8	9,60
Polt	ISO 4017 - M10 x 25 - 8.8	0,30	4	1,20
Polt	ISO 4017 - M10 x 30 - 8.8	0,17	2	0,34

Tabel L3.1 järg

Toode või teenus	Tähis	Hind, €	Kogus	Kokku, €
Lukustusmutter	ISO 7040 - M10 - 8	0,18	34	6,12
Seib	ISO 7089 - 10 - 200 HV	0,09	68	6,12
Polt	ISO 4017 - M12 x 50 - 10.8	0,78	8	6,24
Lukustusmutter	ISO 7040 - M12 - 10	0,34	8	2,72
Seib	ISO 7089 - 12 - 300 HV	0,22	16	3,52
Prismaliist	DIN 6885 - A - 8 x 7 x 40	0,72	1	0,72
Standardtooted kokku				57,45
Elektrikaubad				
Klemm 8 x 2,5 mm ²	2273-208	0,61	2	1,22
Klemm, avatav 2 x 4 mm ²	221-412	0,47	8	3,76
Juhtmeotsahülss kraega 0,75 mm ² , 100 tk	APF0.75-8	1,59	1	1,59
Juhtmeotsahülss kraega 1,5 mm ² , 100 tk	APF1.5-8	1,95	1	1,95
Juhtmeotsahülss kraega 10 mm ² , 10 tk	270822/10	1,26	1	1,26
Juhe 1,5 mm ² , punane	1931249	0,45	4	1,80
Juhe 1,5 mm ² , must	1931247	0,45	4	1,80
Kummikaabel 2 x 0,75 mm ²	H05RR-F	0,82	3	2,46
Kummikaabel 7 x 1,5 mm ²	H07RN-F	3,81	5	19,05
Harukarp 160 x 135 x 77 IP65	1SL0854A00	8,85	2	17,70
Läbiviik + kontramutter 9 - 18 mm	V-TEC PG21+LGR	2,23	2	4,46
Kummiläbiviik 5 - 7 mm	VET PG9	0,37	10	3,70
DIN latt 15 cm	DR750150	0,48	1	0,48
Ridaklemm DIN latile	SL/7	1,04	2	2,08
Elektrikaubad kokku				63,31
Muud kulud				
Tarne	-	35,12	1	35,12
Pulbervärvimine	-	110,00	1	110,00
Tööriistad	-	24,61	1	24,61
Muud kulud kokku				169,73
Haagise arendamise ehituskulud kokku				3902,05

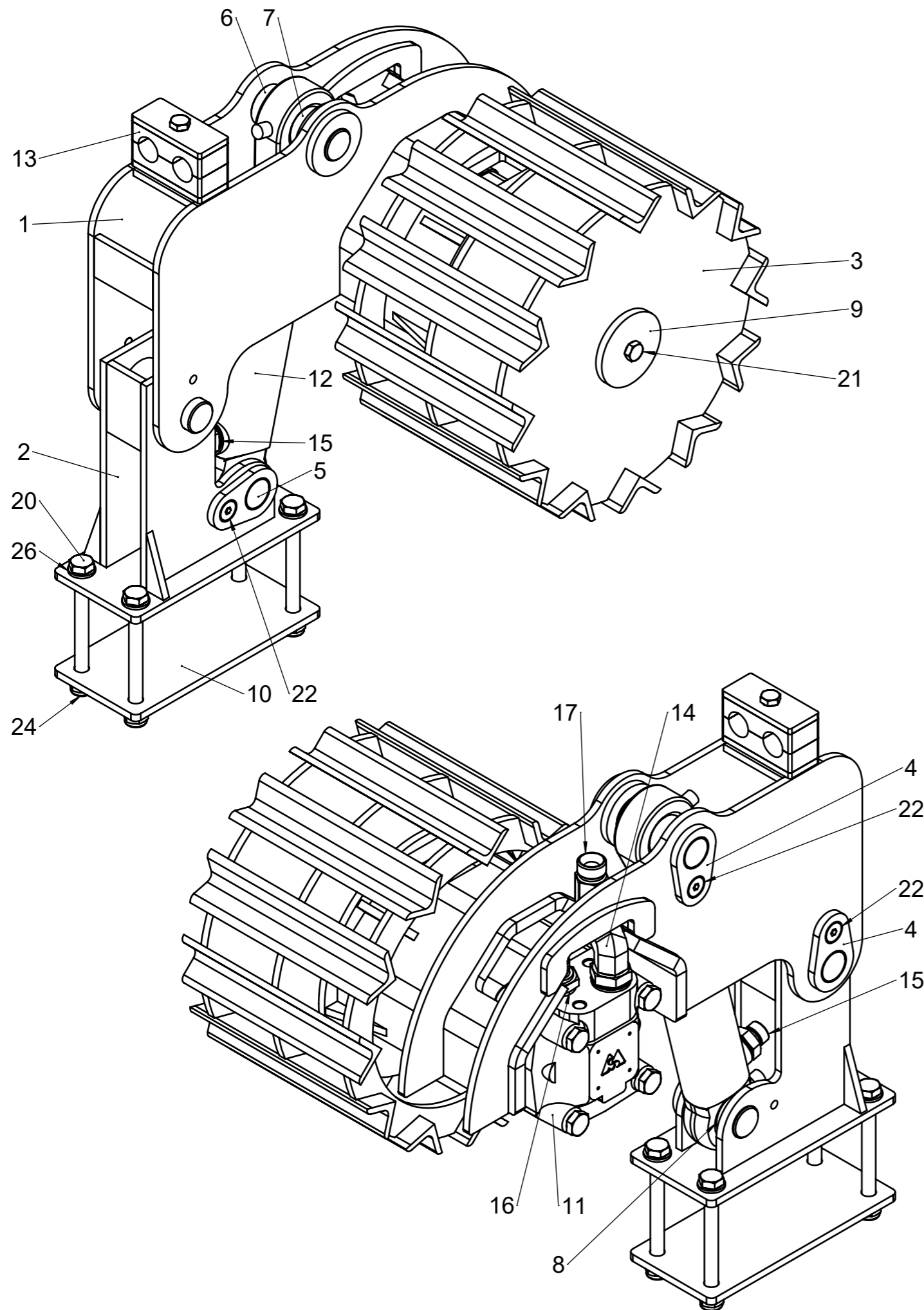


Joonis L4.1. Valmis ehitatavad seadmed (hüdrauliline jõujaam ning rataste ajamid) haagise külge paigutatuna



Joonis L4.2. Pinnasefrees haagise külge paigutatuna

GRAAFILINE OSA



MÄRKUSED:

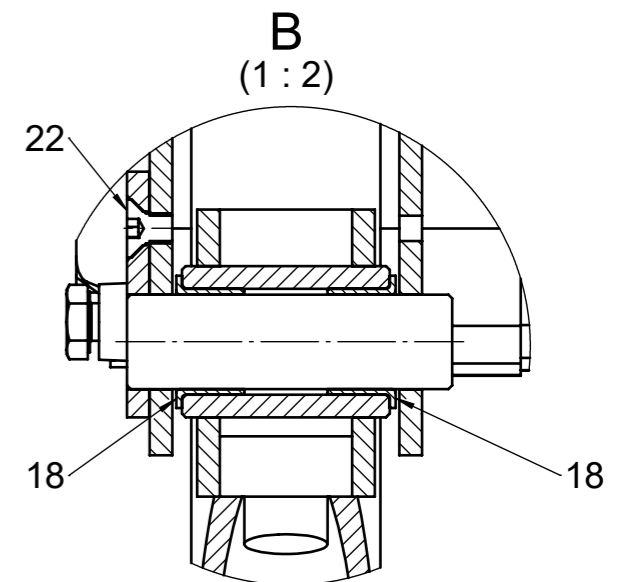
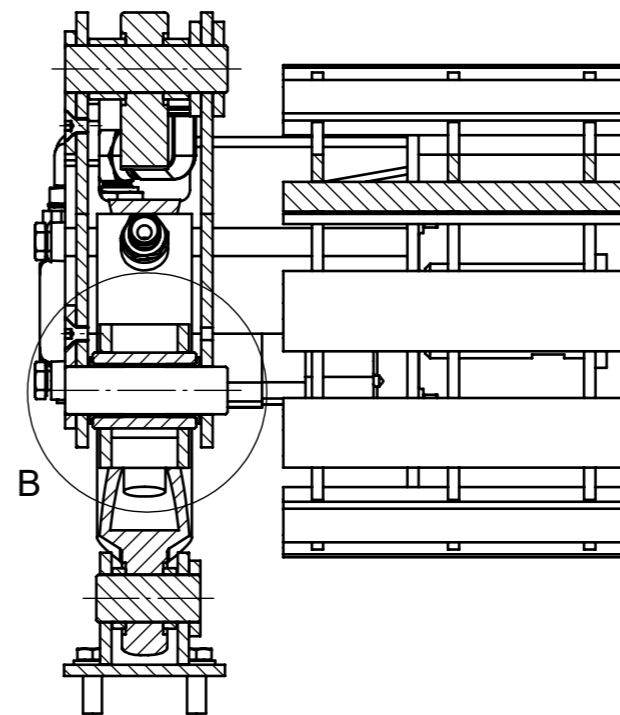
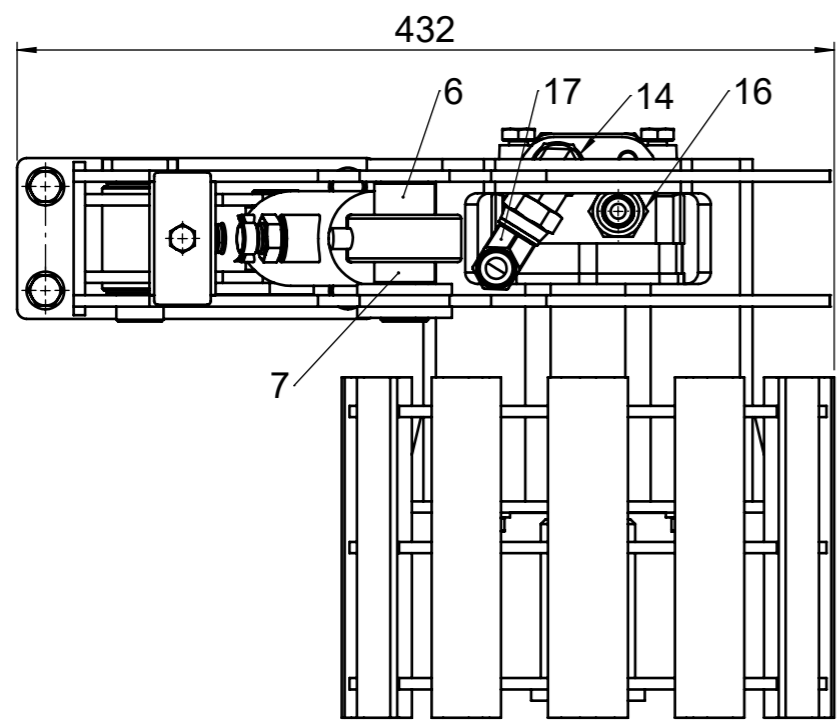
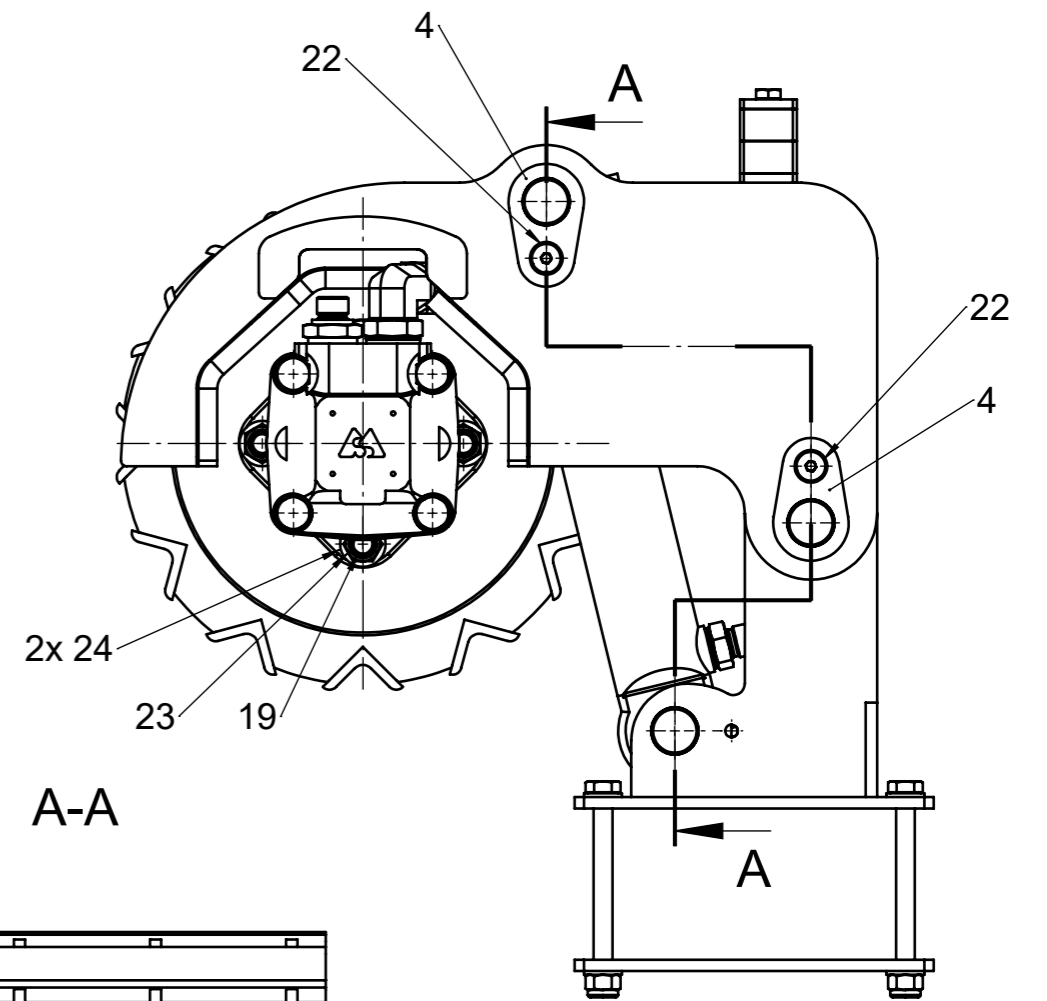
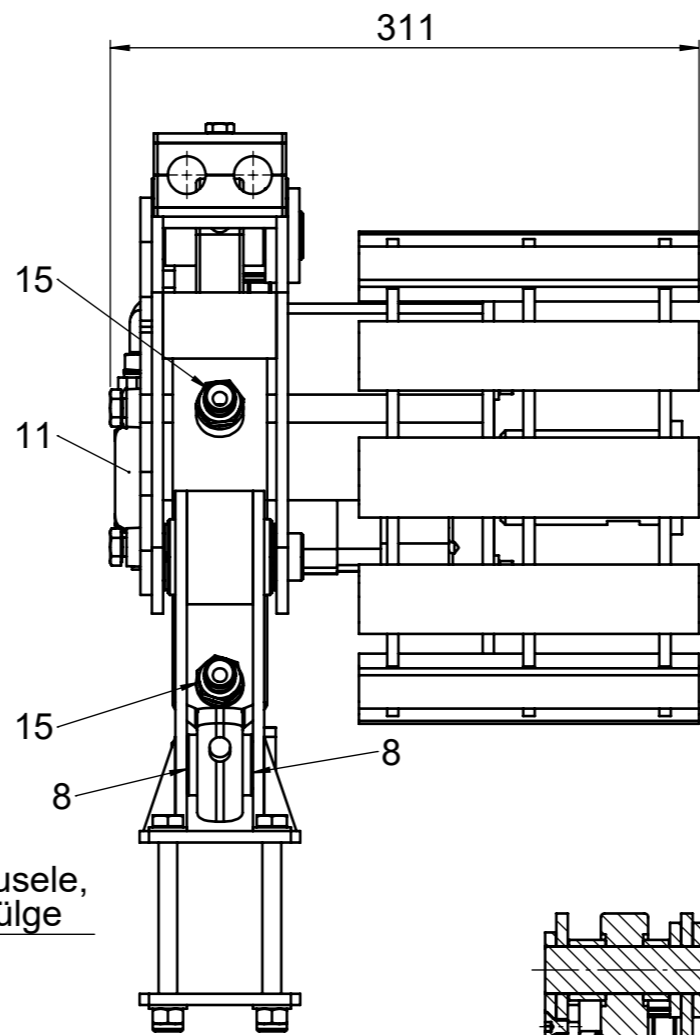
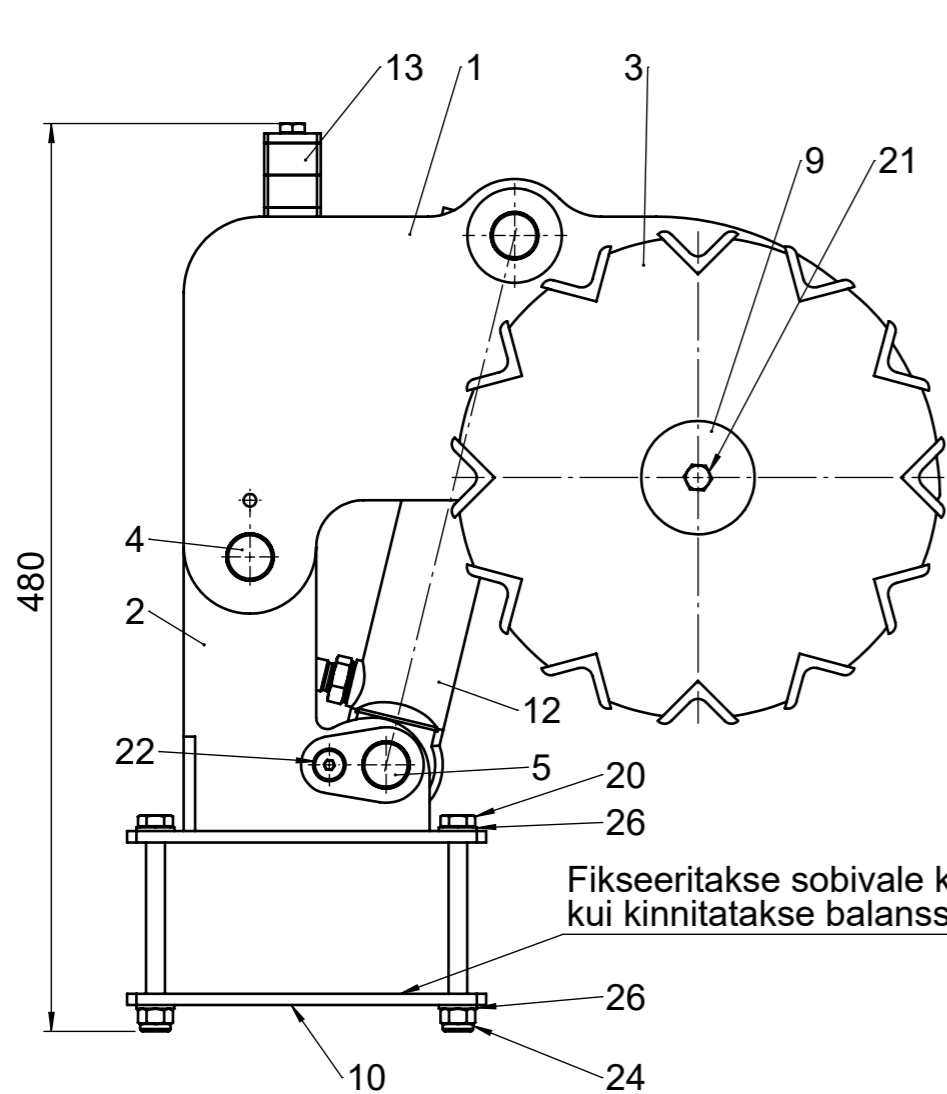
1. Pos 3 ja Pos 11 ühendatakse prismaliistuga, mis tarnitakse koos hüdro mootoriga
2. Pos 13 kinnituspolt tarnitakse koos voolikuklambri koostuga

26	8	ISO 7089 - 10 - 200 HV	Seib	-	-
25	8	ISO 7089 - 12 - 300 HV	Seib	-	-
24	4	DIN EN ISO 7040 - M10 - 8	Lukustusmutter	-	-
23	4	DIN EN ISO 7040 - M12 - 8	Lukustusmutter	-	-
22	3	ISO 10642 - M8 x 12 - 8.8	Polt	-	-
21	1	ISO 4014 - M8 x 55 - 8.8	Polt	-	-
20	4	ISO 4014 - M10 x 110 - 8.8	Polt	-	-
19	4	ISO 4017 - M12 x 45 - 10.8	Polt	-	-
18	2	SKF PCMF 252816.5 E	Äärikuga liugelaager	-	-
17	1	W90 AB 08 HB	Üleminek nurk 1/2 sk - 1/2 vk	-	0.18
16	1	G HB 06 HB 08	Üleminek sirge 1/2 vk - 3/8 vk	-	0.09
15	2	GE HMO 16 HB 06	Üleminek sirge M16x1,5 vk - 3/8 vk	-	0.06
14	1	W90 HROK 08 HB	Üleminek nurk kontra-mutriga 1/2 vk - 1/2 vk	-	0.18
13	1	81.73.03.020	Voolikuklamber 2ne	-	0.2
12	1	81.29.00.0070	Hüdrauliline silinder	-	3.24
11	1	81.37.20.250	Hüdrauliline mootor	-	7.32
10	1	KH.07.02.01A	Alumise keeviskoostu kinnitusplaat	1.0570 (S355J2+N)	0.7
9	1	KH.07.00.04A	Trumli kinnitusseib	1.0570 (S355J2+N)	0.1
8	2	KH.07.00.03A	Distantpuks 3	EN AW-6082	0.01
7	1	KH.07.00.02A	Distantpuks 2	EN AW-6082	0.02
6	1	KH.07.00.01A	Distantpuks 1	EN AW-6082	0.02
5	1	KH.07.05.00A	Sõrme lühem keeviskoost	-	0.3
4	2	KH.07.04.00A	Sõrme keeviskoost	-	0.4
3	1	KH.07.03.00A	Trumli keeviskoost	-	10.2
2	1	KH.07.02.00A	Ajami alumine keeviskoost	-	2.6
1	1	KH.07.01.00A	Vasaku ajami ülemine keeviskoost	-	9.3
Pos	Hulk	Tähis	Nimetus	Materjal	Mass

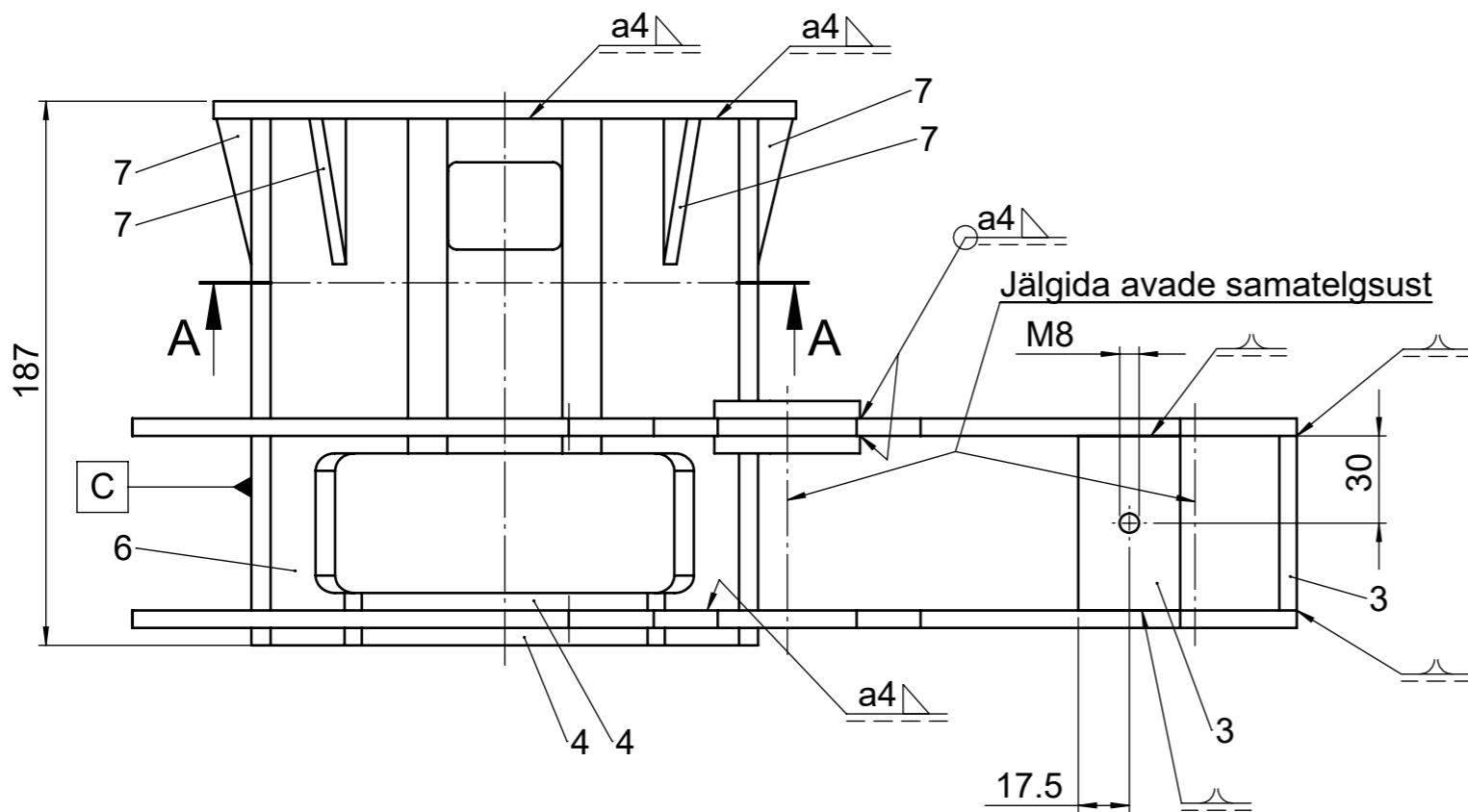
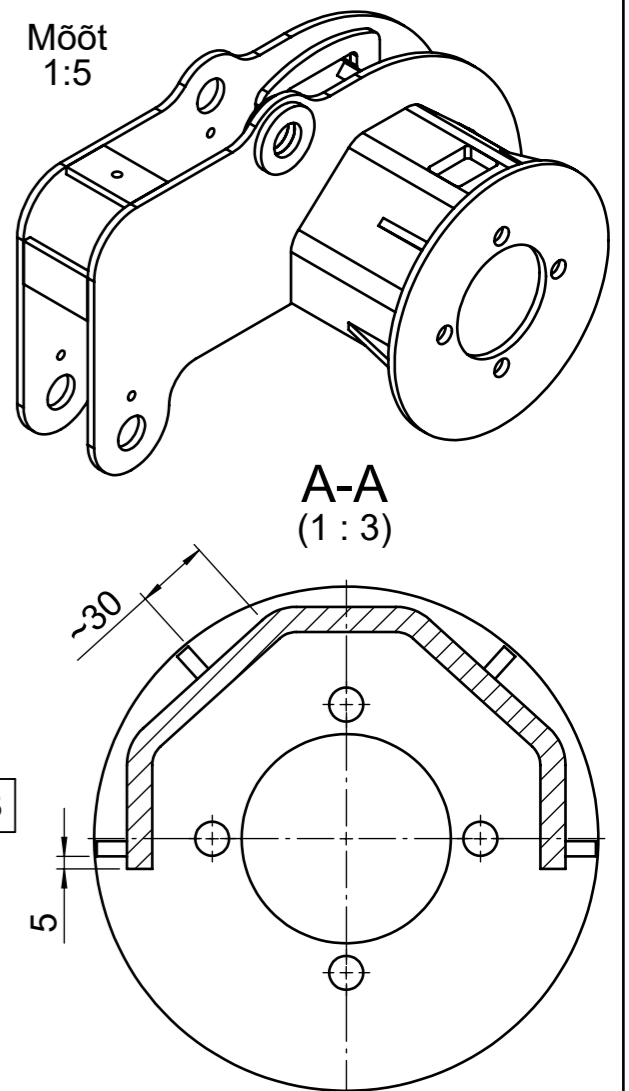
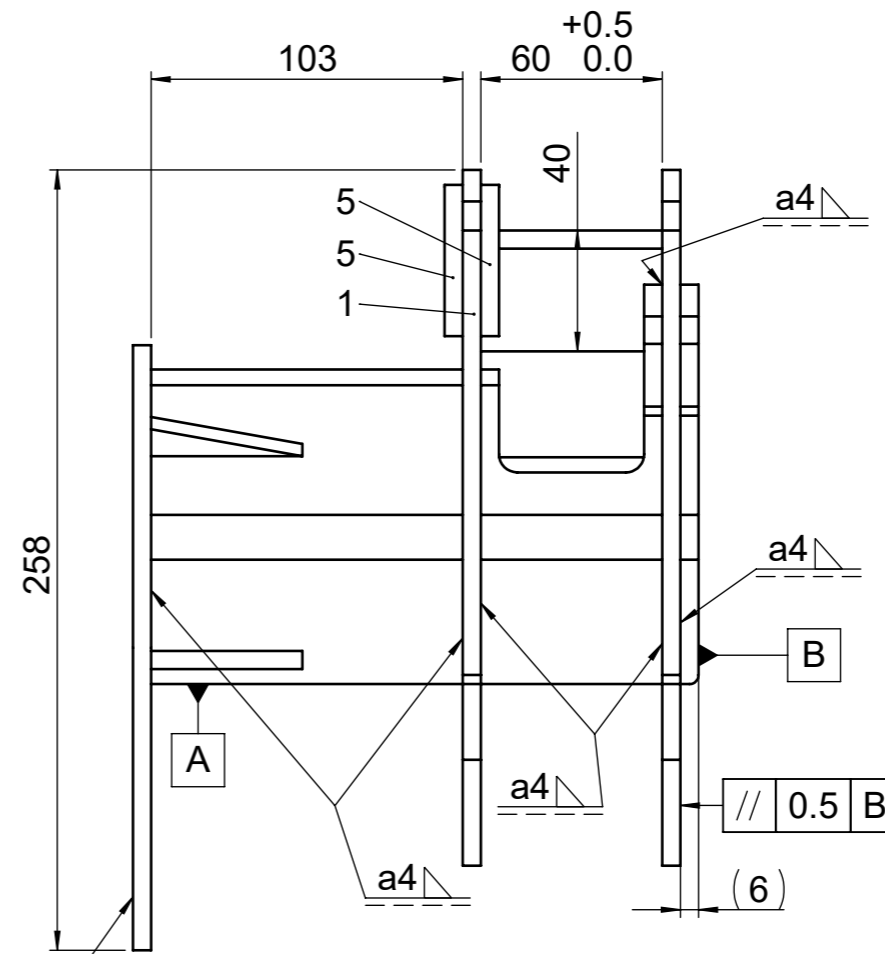
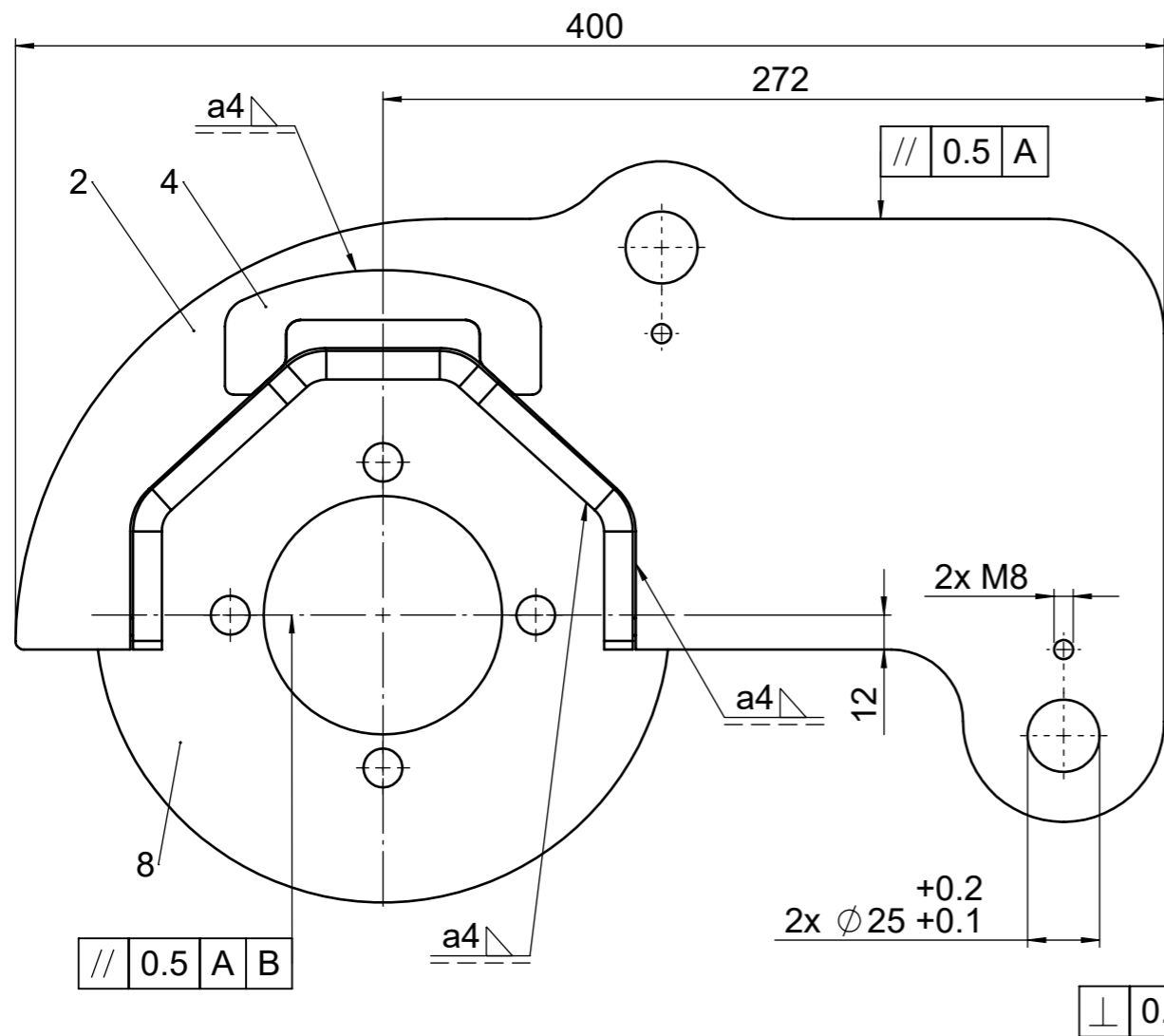
	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	-	-	29.8	1:3.5

Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:	Vasakpoolne ajam
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme		
Kinnitas:			

TAL TECH	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 2	Formaat: A3	Tähis: KH.07.00.00A
-----------------	--	----------------	----------------	-------------------------------



	Materjal:	-	Märkimata piirhälbed:	-	Mass:	29.8	Mõõt:	1:4
Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:		Vasakpoolne ajam				
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme							
Kinnitas:								
	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht:	2 / 2	Formaat:	A3	Tähis:	KH.07.00.00A	



MÄRKUSED:

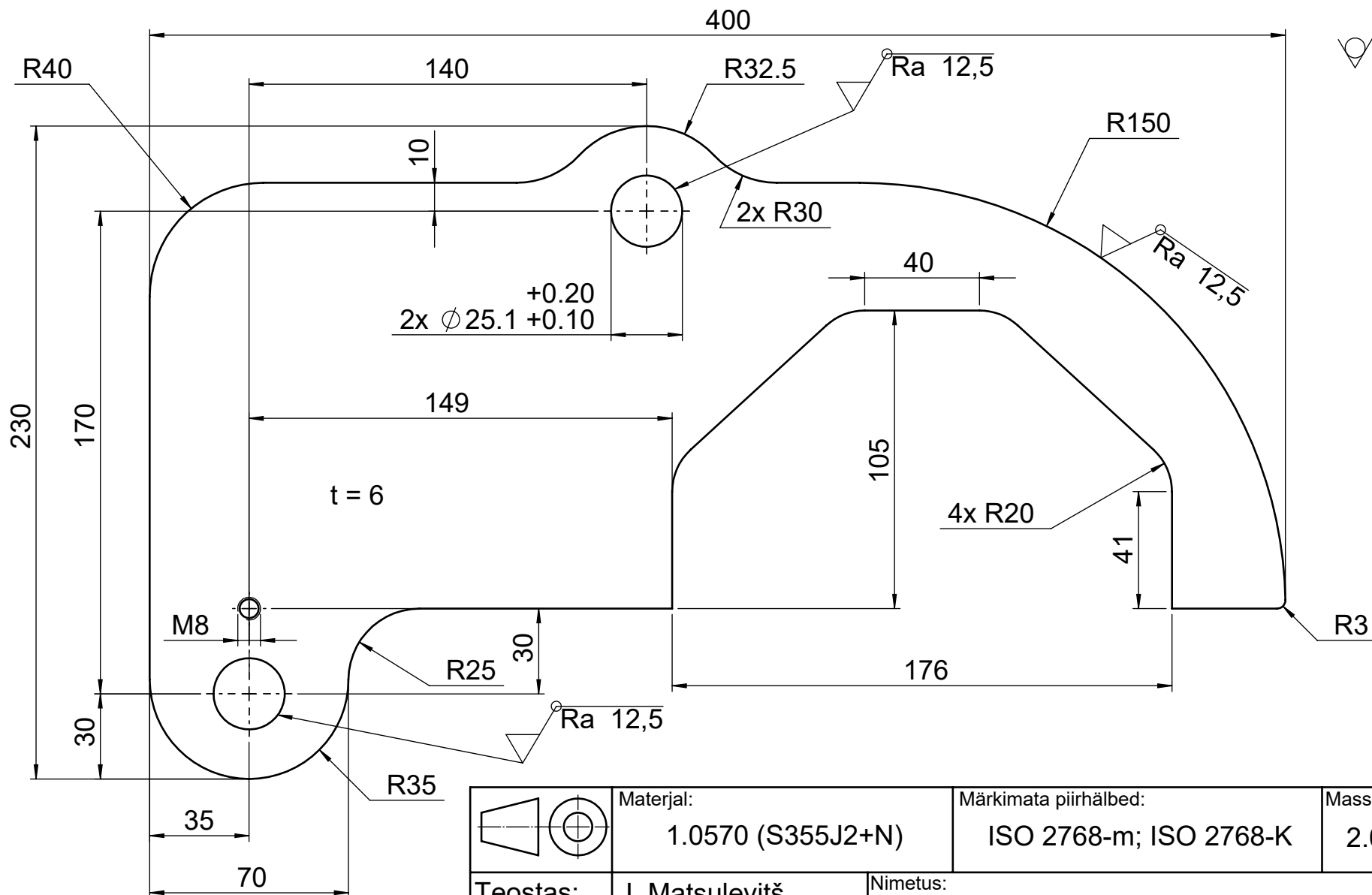
1. Pinnatöötlus: Pulbervärv RAL 1023
2. Keevisõmbluste juures paiknevad servad võib vajadusel faasida
3. Pos 4 ja Pos 5 paigutada Pos 1 ja Pos 2 kuju järgi
4. Pos 7 kõik servad keevitada a3 nurkõmblustusega

8	1	KH.07.01.08A	Hüdro mootori kinnitusplaat	1.0570 (S355J2+N)	1.2
7	4	KH.07.01.07A	Tugevdusribi 1	1.0570 (S355J2+N)	0.01
6	1	KH.07.01.06A	Ajami painutatud detail	1.0570 (S355J2+N)	3.4
5	2	KH.07.01.05A	Tugevdusflants	1.0570 (S355J2+N)	0.1
4	2	KH.07.01.04A	Tugevdusplaat 2	1.0570 (S355J2+N)	0.1
3	2	KH.07.01.03A	Tugevdusplaat 1	1.0570 (S355J2+N)	0.1
2	1	KH.07.01.02A	Ajami ülemise keeviskoostu sisemine külg	1.0570 (S355J2+N)	2.0
1	1	KH.07.01.01A	Ajami ülemise keeviskoostu välimine külg	1.0570 (S355J2+N)	2.0
Pos	Hulk	Tähis	Nimetus	Materjal	Mass

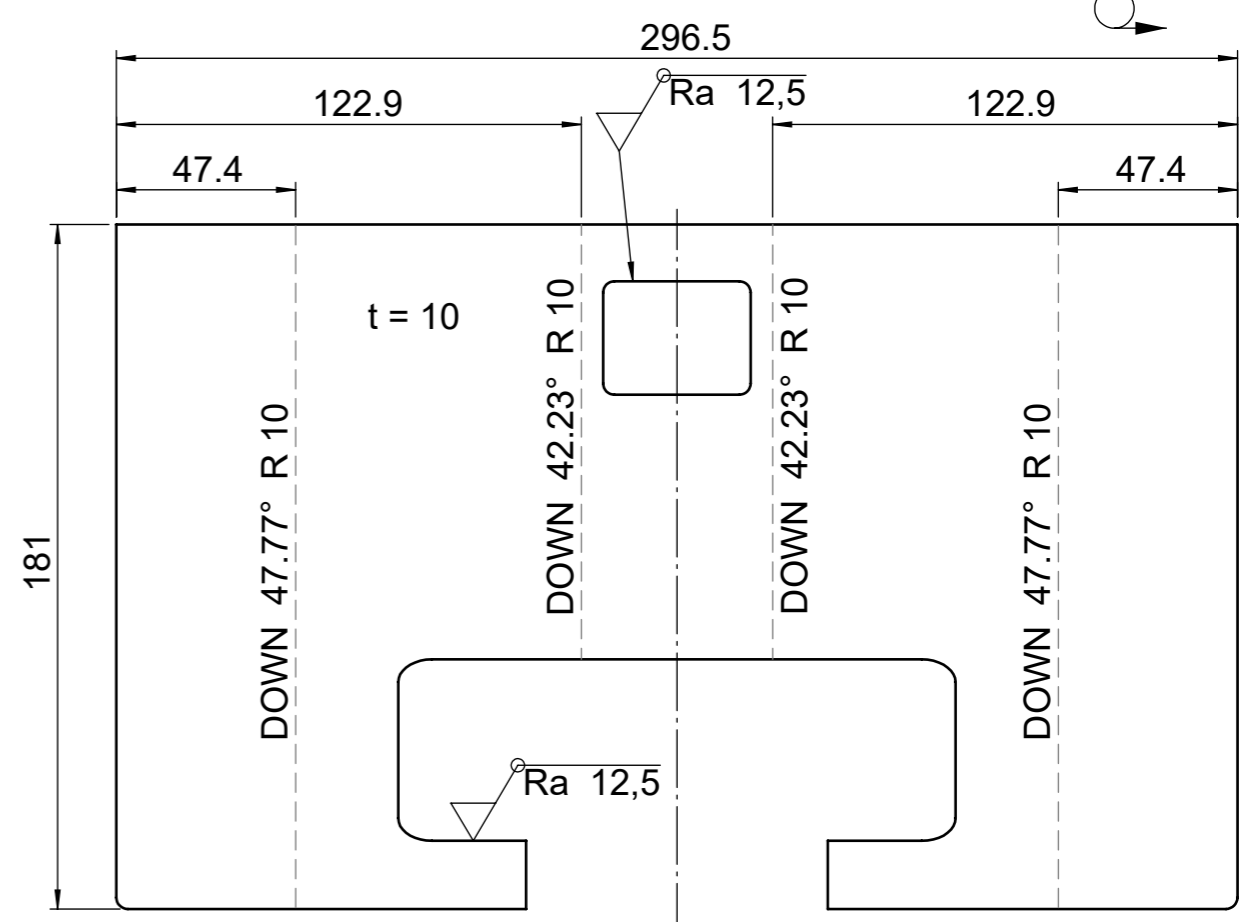
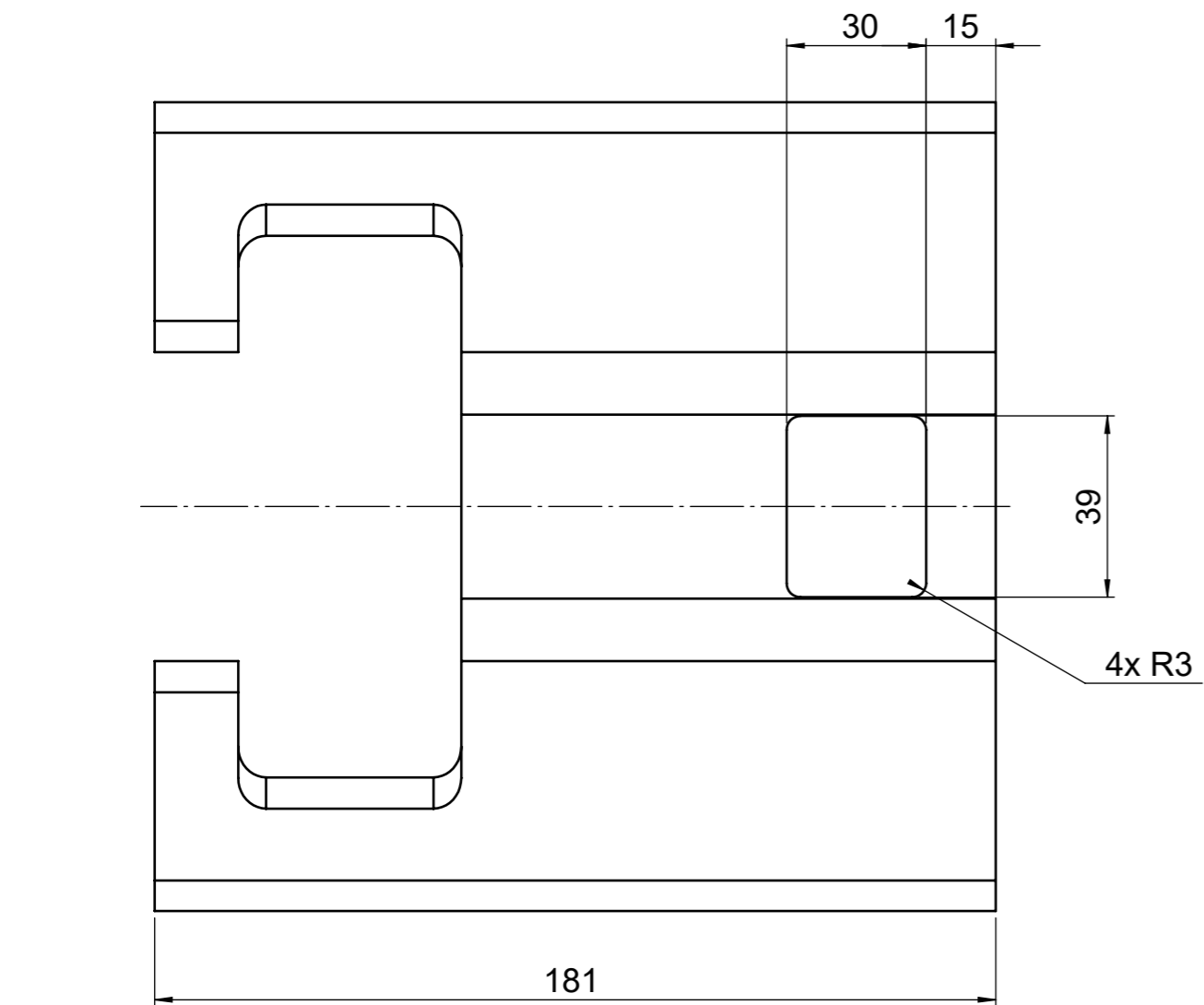
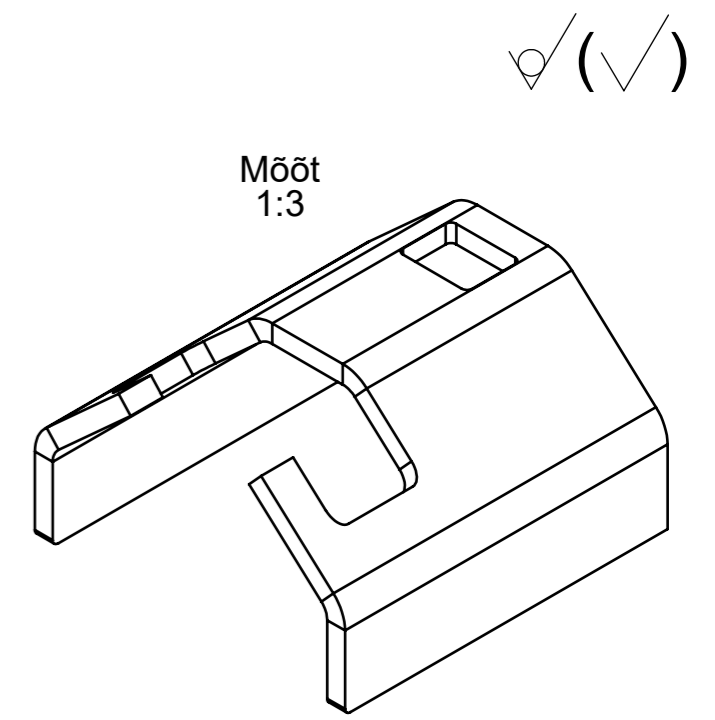
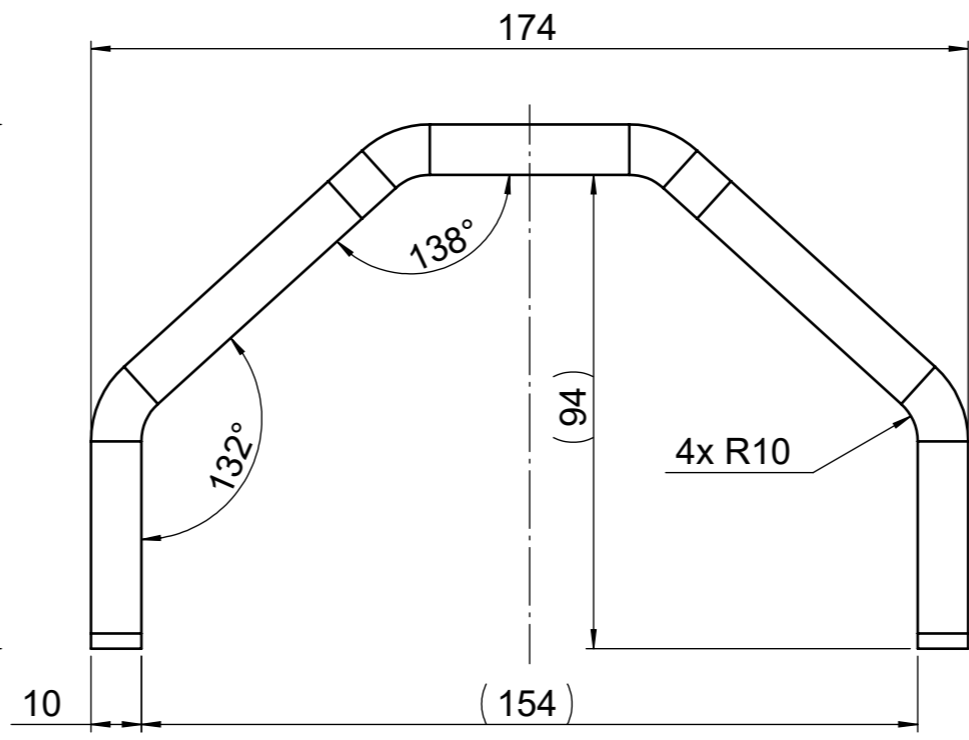
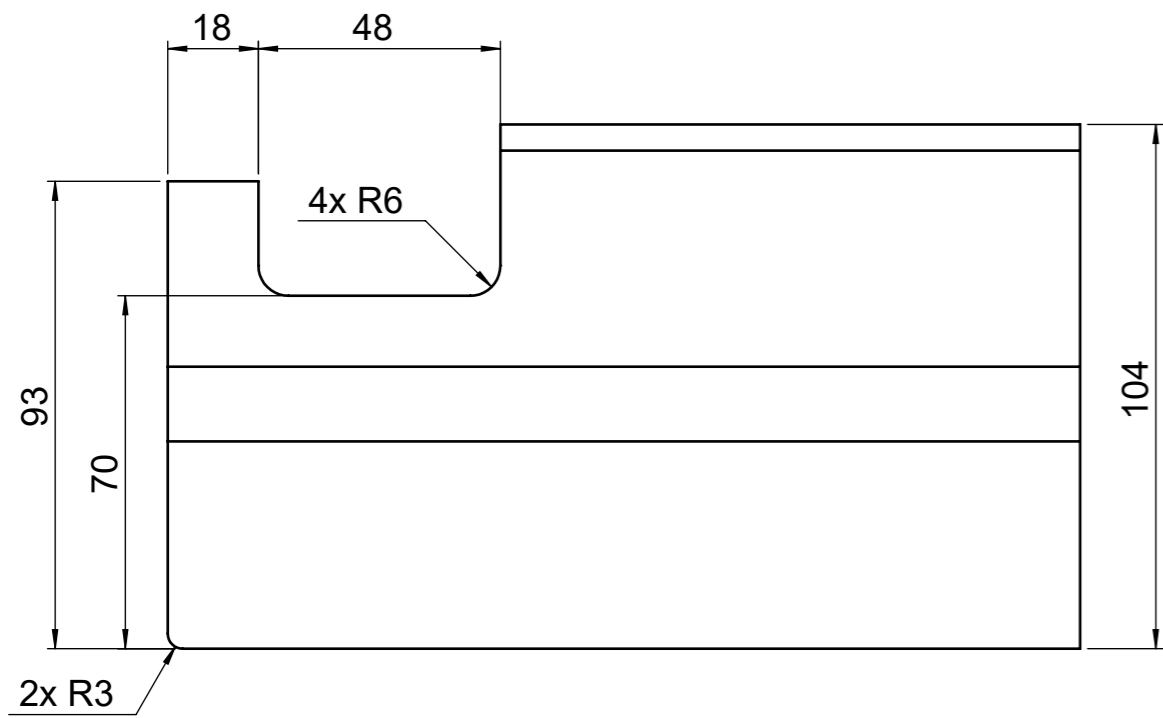
	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	-	-	9.3	1:2.5

Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:	Vasaku ajami ülemine keeviskoost
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme		
Kinnitas:			

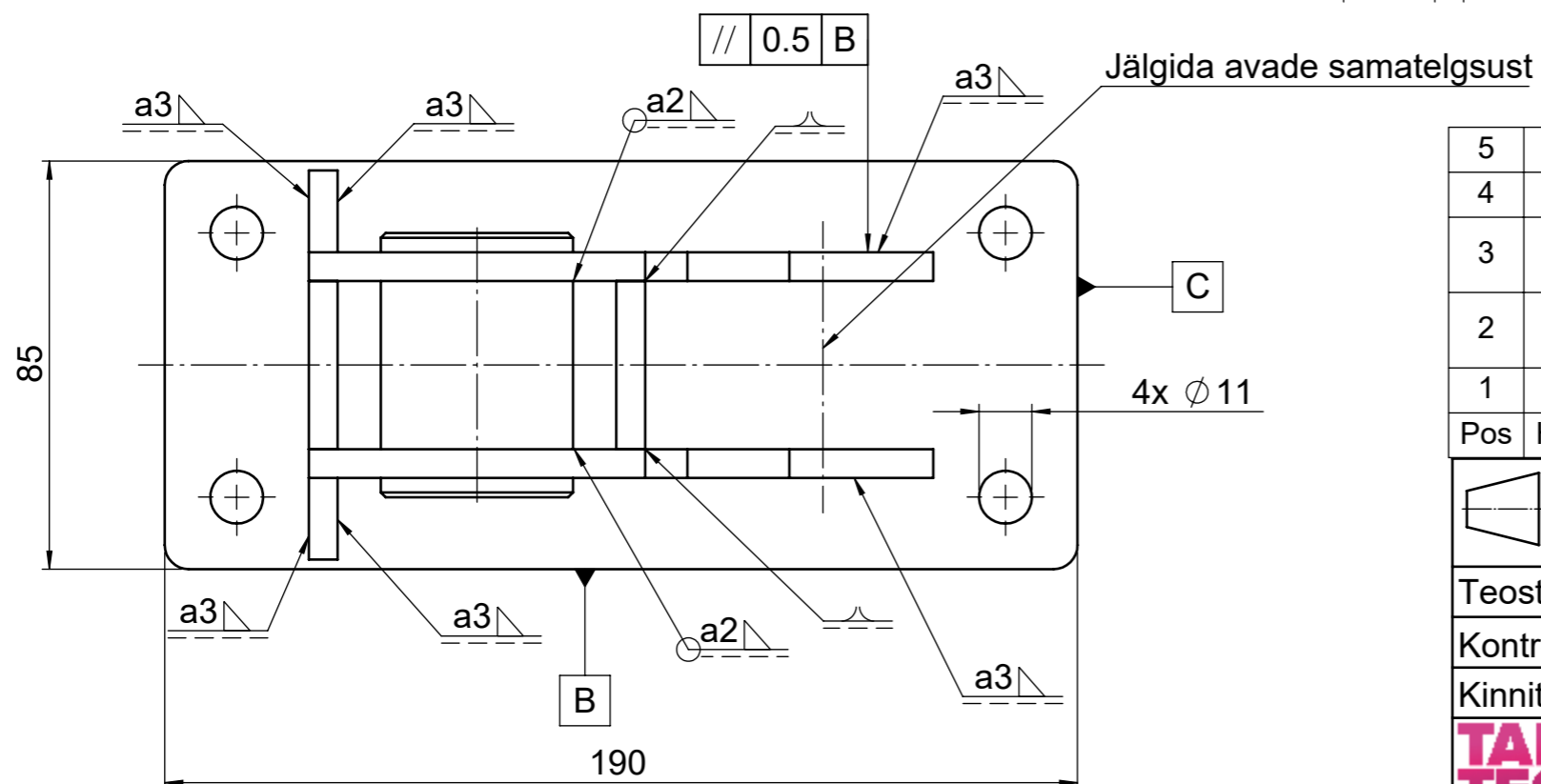
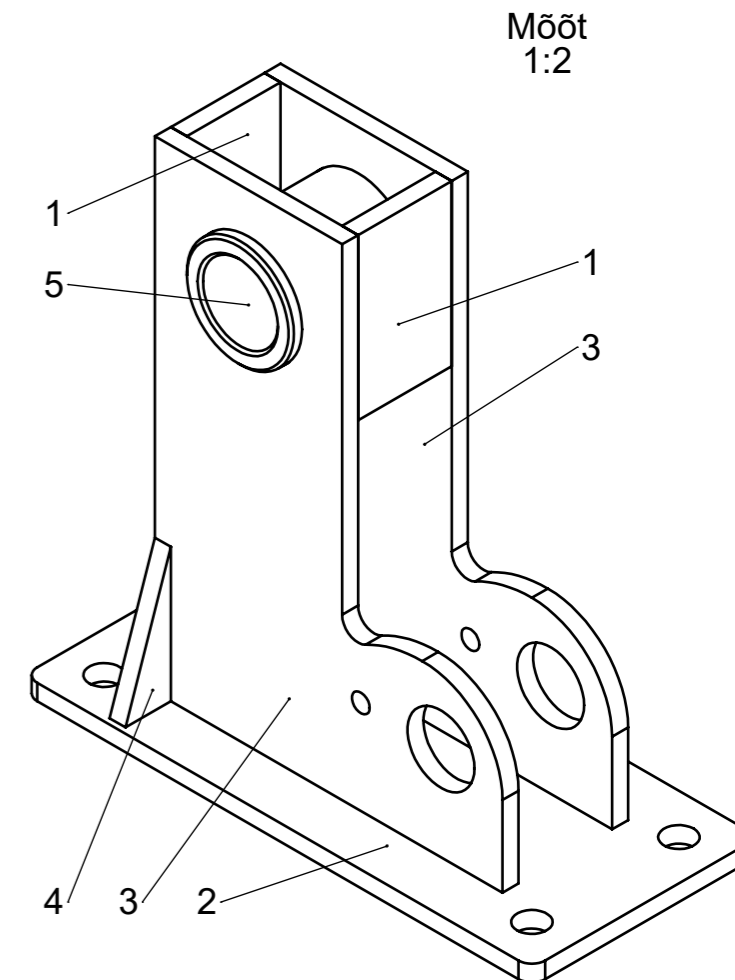
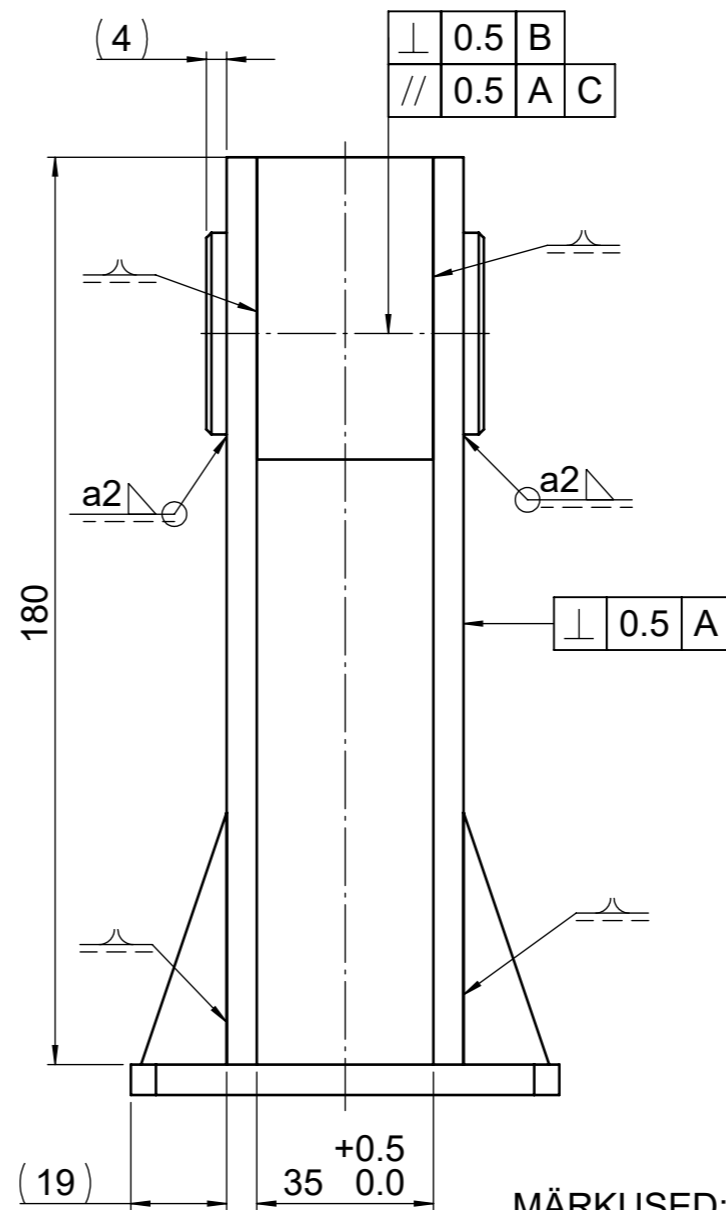
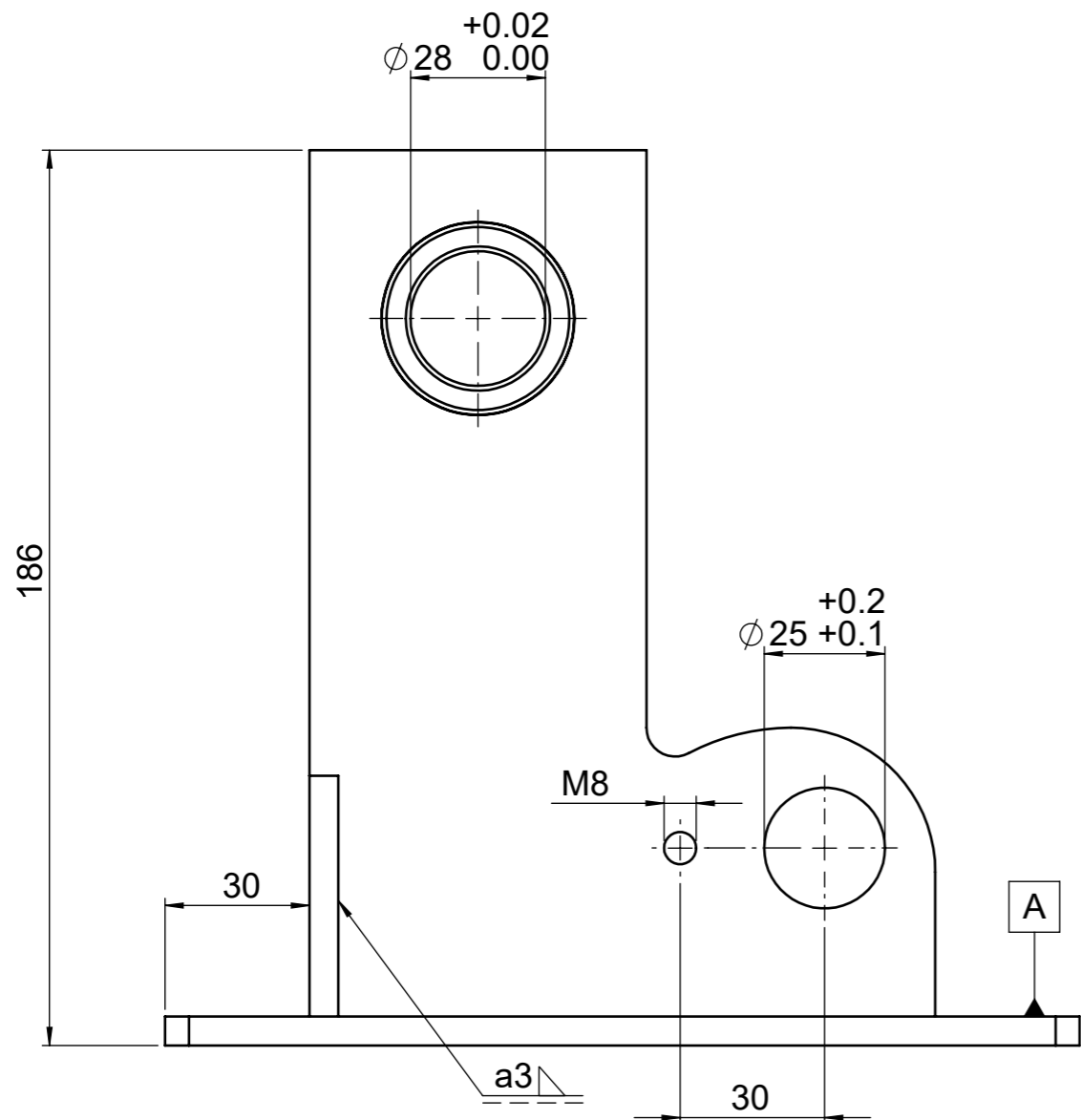
	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 1	Formaat: A3	Tähis: KH.07.01.00A
--	--	----------------	----------------	-------------------------------



	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mööt:
	1.0570 (S355J2+N)	ISO 2768-m; ISO 2768-K	2.0	1:2
Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus: Ajami ülemise keeviskoostu välimine külg		
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme			
Kinnitas:				
	Tallinna Tehnikaülikool	Leht:	Formaat:	Tähis:
	Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	1 / 1	A4	KH.07.01.01A



	Materjal:	1.0570 (S355J2+N)	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass:	3.4	Mõõt:	1:1.5
	Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:					
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme	<h3>Ajami painutatud detail</h3>						
Kinnitas:								
	Tallinna Tehnikaülikool	Leht:	1 / 1	Formaat:	A3	Tähis:	<h3>KH.07.01.06A</h3>	
	Mehaanika ja tööstustehnika instituut							
Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086								



MÄRKUSED:

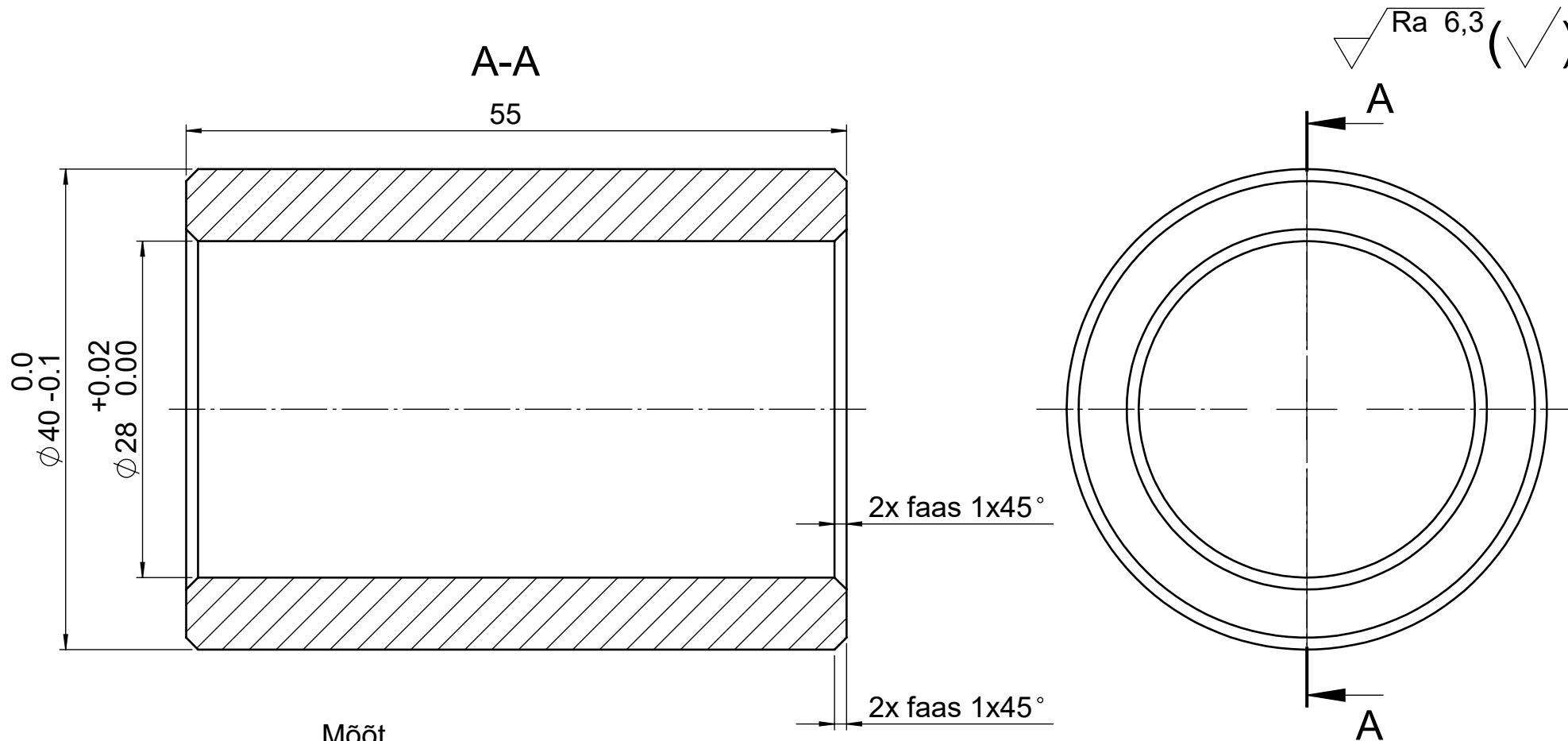
1. Pinnatöötlus: Pulbervärv RAL 1023
2. Keevisõmbluste juures paiknevad servad võib vajadusel faasida
3. Pos 5 keevitada enne Pos 1 keevitamist

Pos	Hulk	Tähis	Nimetus	Materjal	Mass
5	1	KH.07.02.04A	Pöörlemistelje keevispuks	S355	0.3
4	2	KH.07.02.03A	Tugevdusribi 2	1.0570 (S355J2+N)	0.02
3	2	KH.07.02.02A	Alumise keeviskoostu vertikaalplaat	1.0570 (S355J2+N)	0.7
2	1	KH.07.02.01A	Alumise keeviskoostu kinnitusplaat	1.0570 (S355J2+N)	0.7
1	2	KH.07.01.03A	Tugevdusplaat 1	1.0570 (S355J2+N)	0.1

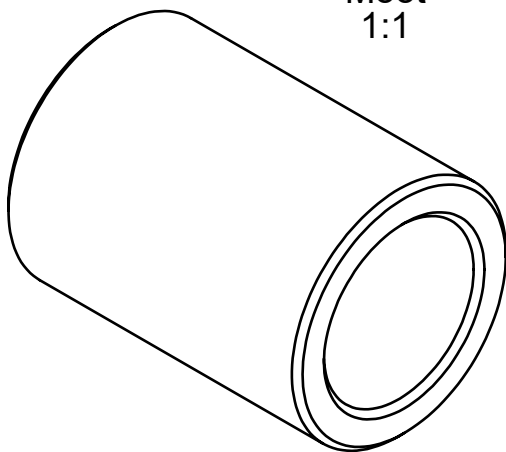
	Materjal:	-	Märkimata piirhälbed:	-	Mass:	2.6	Mõõt:	1:1.5
--	-----------	---	-----------------------	---	-------	-----	-------	-------

Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:	Ajami alumine keeviskoost		
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme				
Kinnitas:					

TAL TECH	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht:	1 / 1	Formaat:	A3	Tähis:	KH.07.02.00A
---------------------	--	-------	-------	----------	----	--------	---------------------

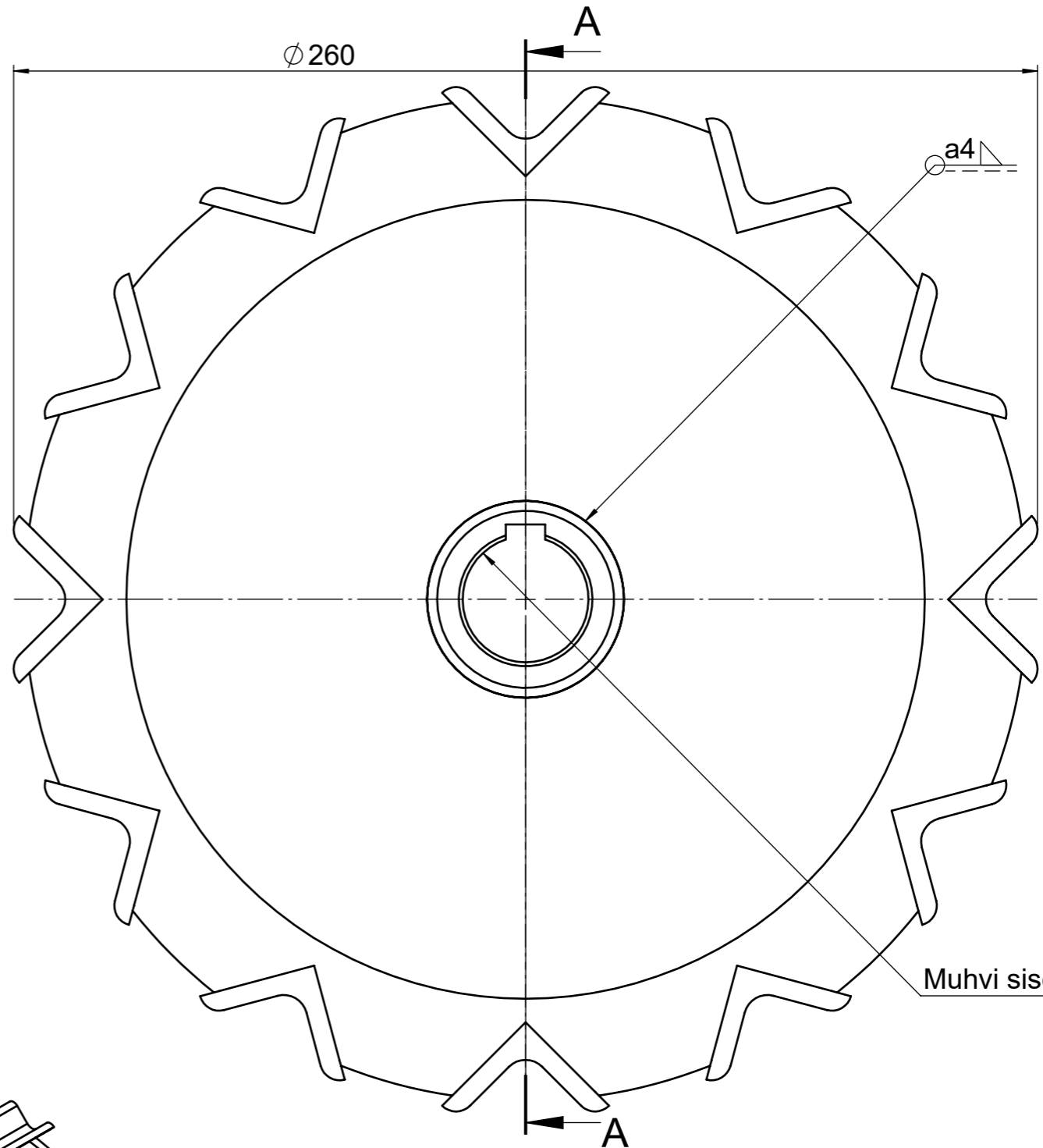
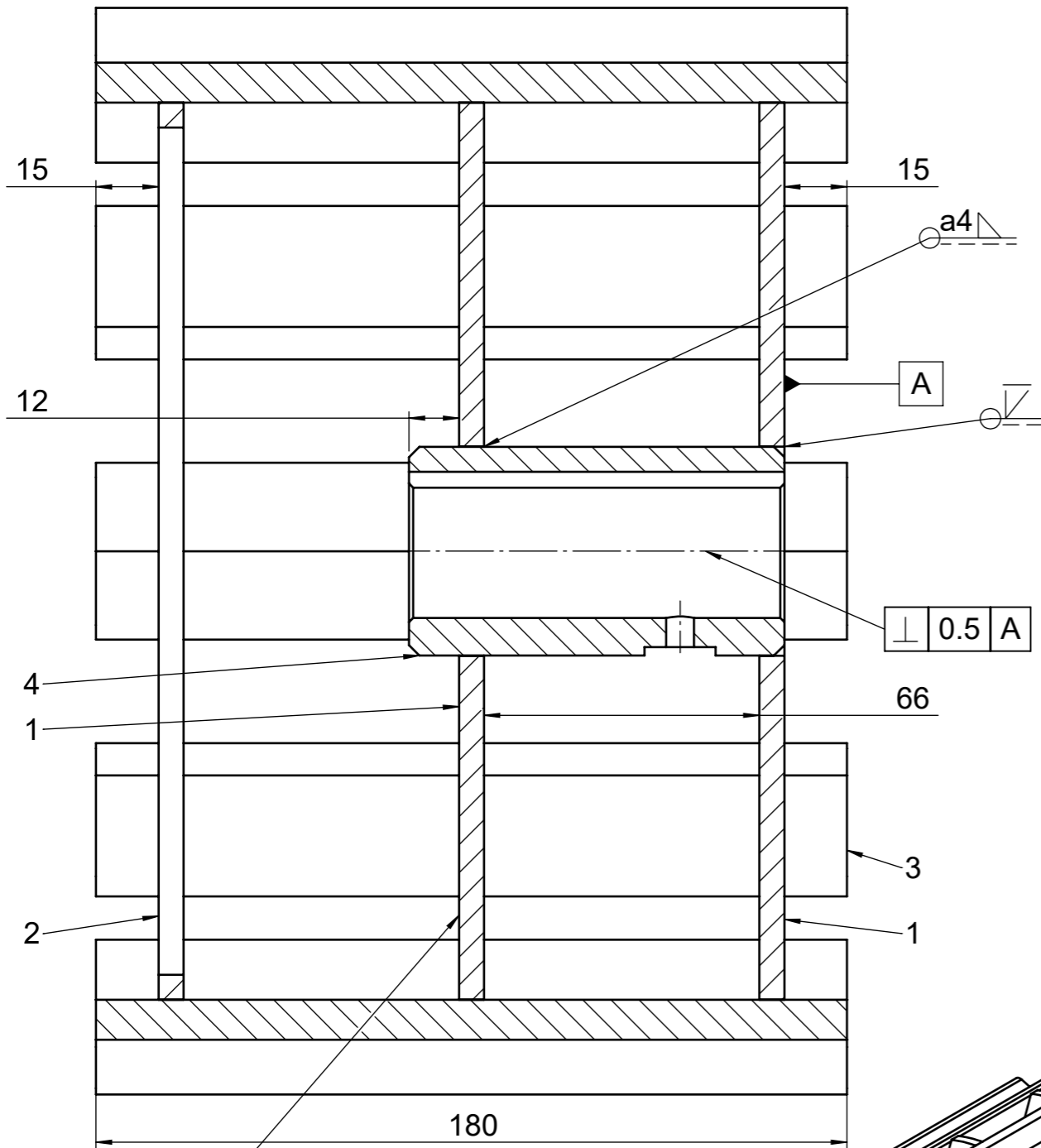


Mõõt
1:1



	Materjal:	S355	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass:	0.3	Mõõt:	2:1
	Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:					
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme	<h2>Pöörlemistelje keevispuks</h2>						
Kinnitas:								
	Tallinna Tehnikaülikool	Leht:	1 / 1	Formaat:	A4	Tähis:	<h2>KH.07.02.04A</h2>	
	Mehaanika ja tööstustehnika instituut							
Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086								

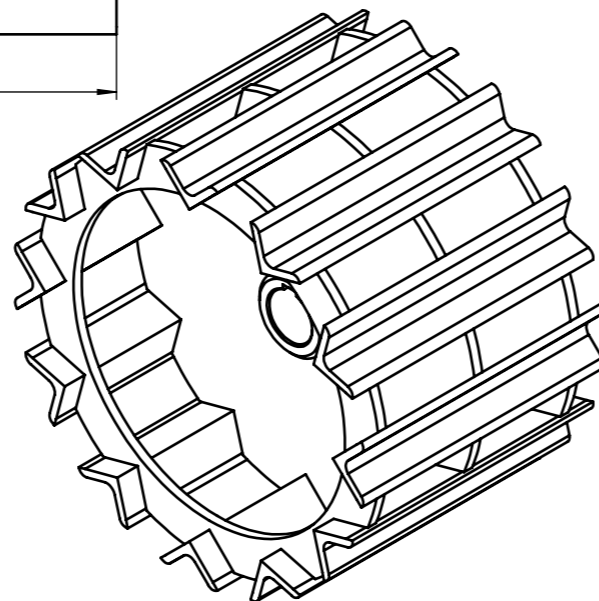
A-A



Muhvi sisepinda ei värvita

$\sqrt{0.5} A$

Mõõt
1:4



Pos	Hulk	Tähis	Nimetus	Materjal	Mass
4	1	81.37.20.500	Muhv	1.0570 (S355J2+N)	0.8
3	12	DIN EN 10056-1 - 30 x 30 x 5	L-profiilvarras, l = 180 mm	1.0037 (S235JR)	0.4
2	1	KH.07.03.02A	Trumli plaat 2	1.0570 (S355J2+N)	0.7
1	2	KH.07.03.01A	Trumli plaat	1.0570 (S355J2+N)	2.1

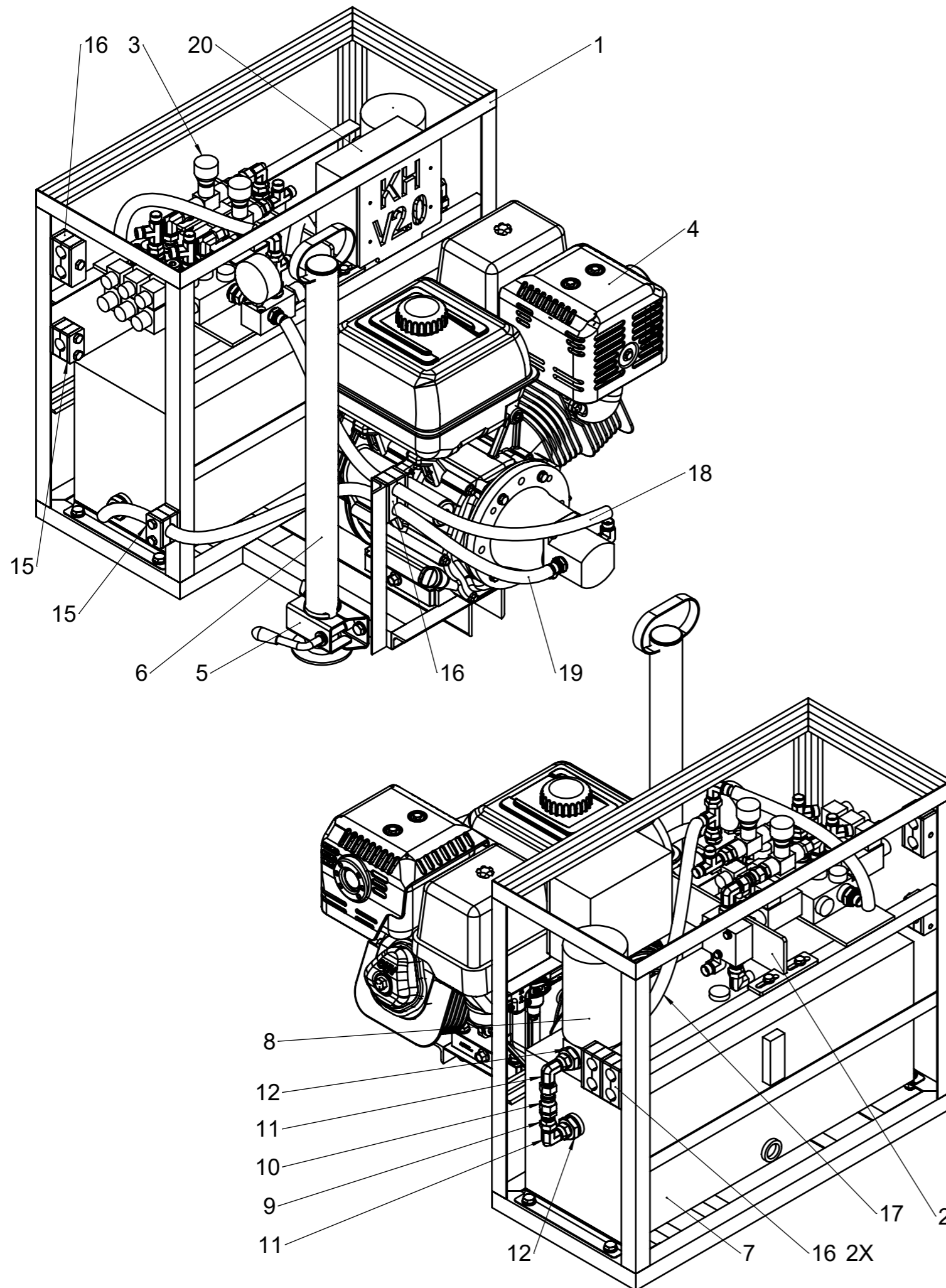
Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
-	-	10.2	1:1.5

Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:	Trumli keeviskoost
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme		
Kinnitas:			

TAL TECH	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 1	Formaat: A3	Tähis: KH.07.03.00A
-----------------	--	----------------	----------------	-------------------------------

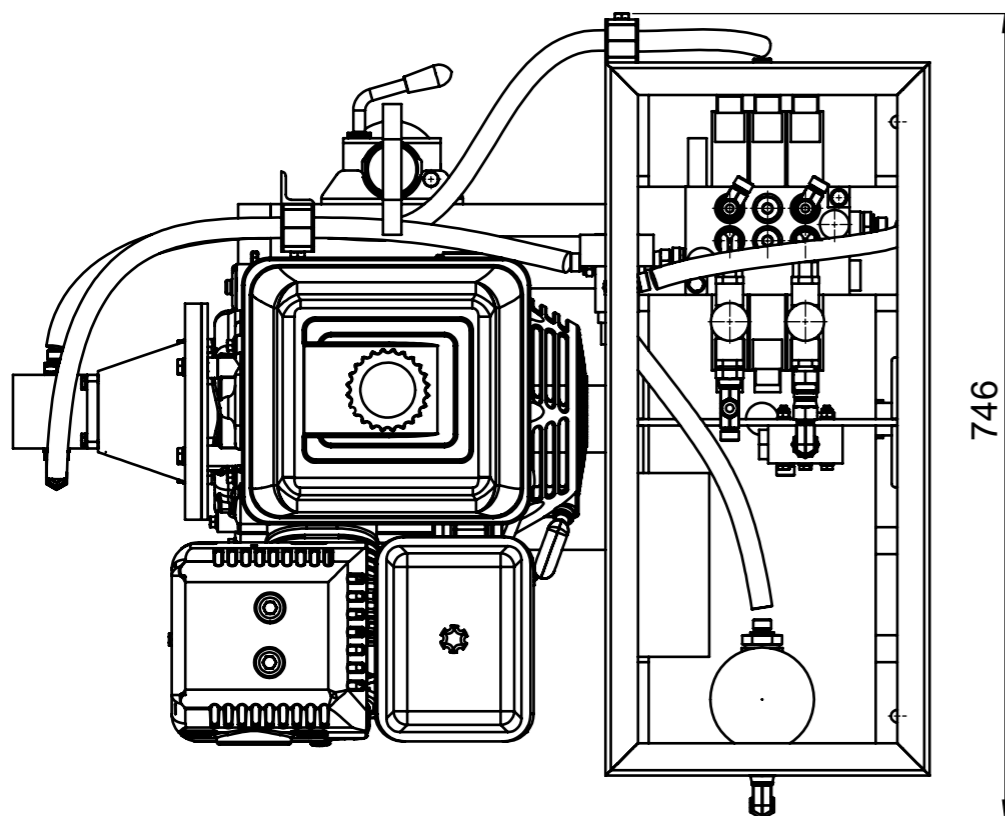
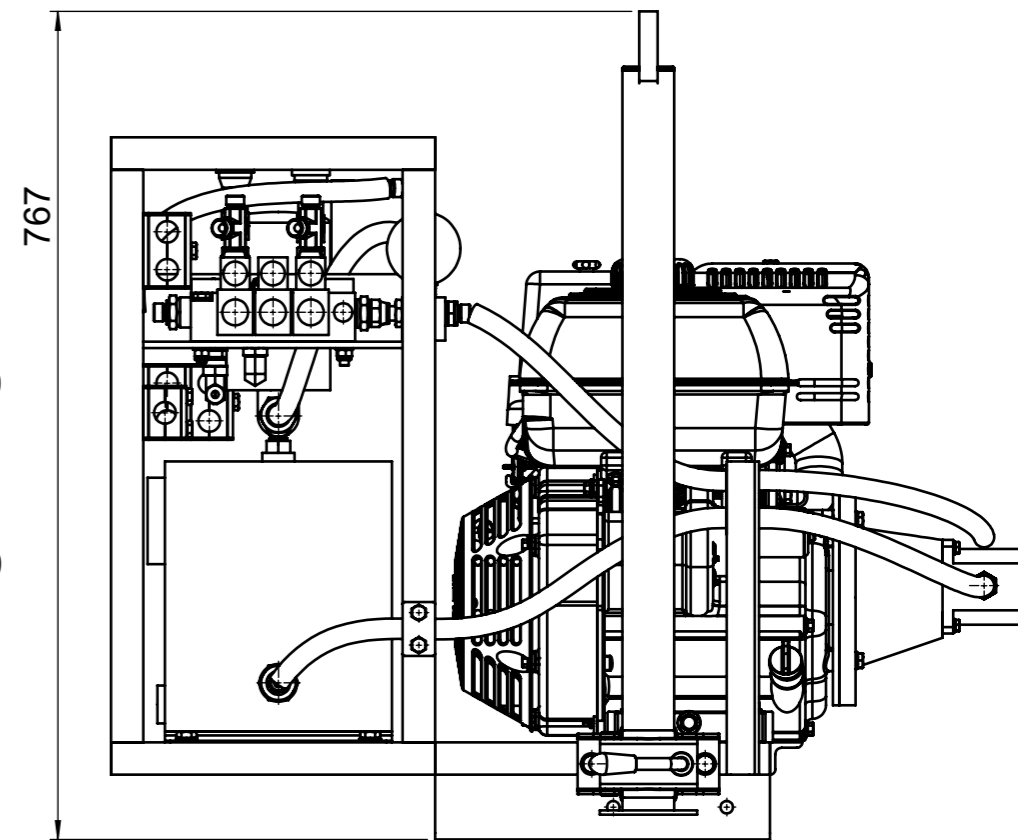
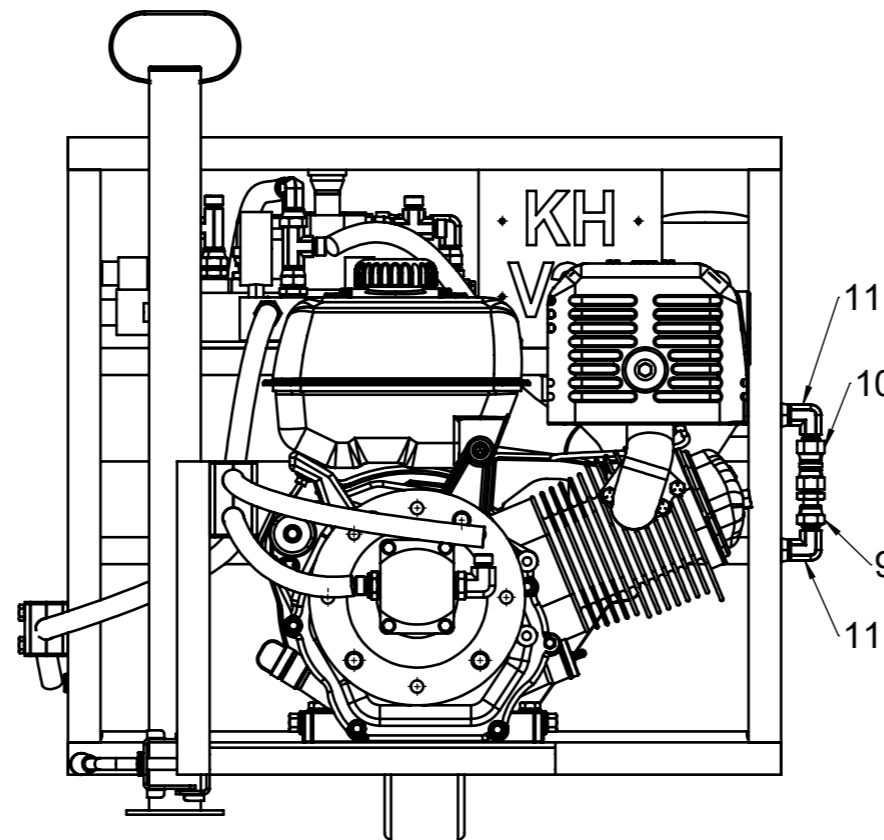
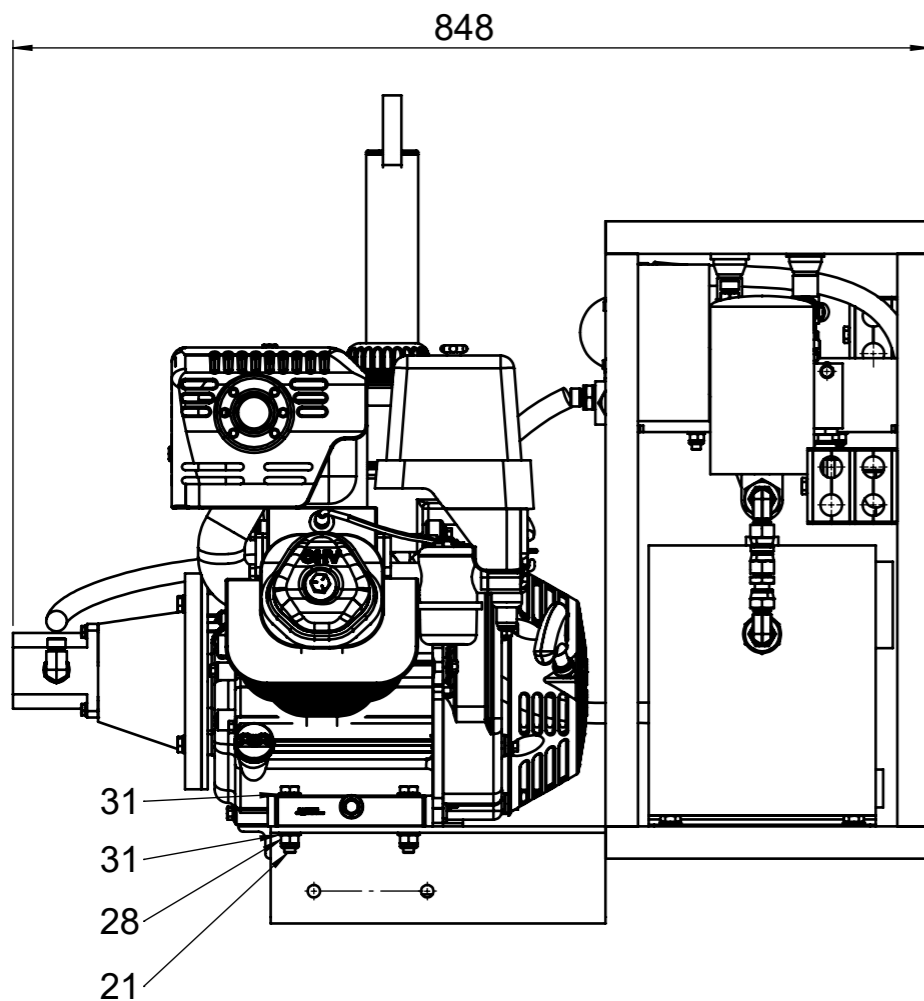
MÄRKUSED:

1. Pinnatöötlus: Pulbervärv RAL 1023
2. Keevisõmbuste juures paiknevad servad võib vajadusel faasida
3. Pos 3 keevitada ligipäsetavates kohtades a4 nurkõmbusega Pos 1 ja Pos 2 külge



34	4	ISO 7380 - M5 x 10 - 10.9	Metallikruvi	-	-
33	6	ISO 7089 - 6 - 200HV	Seib	-	-
32	12	ISO 7089 - 8 - 200HV	Seib	-	-
31	20	ISO 7089 - 10 - 200HV	Seib	-	-
30	3	DIN EN ISO 7040 - M6 - 8	Lukustusmutter	-	-
29	6	DIN EN ISO 7040 - M8 - 8	Lukustusmutter	-	-
28	10	DIN EN ISO 7040 - M10 - 8	Lukustusmutter	-	-
27	4	ISO 4017 - M8 x 25 - 8.8	Polt	-	-
26	4	ISO 4017 - M10 x 25 - 8.8	Polt	-	-
25	2	ISO 4017 - M10 x 30 - 8.8	Polt	-	-
24	3	ISO 4014 - M6 x 55 - 8.8	Polt	-	-
23	1	ISO 4014 - M8 x 55 - 8.8	Polt	-	-
22	1	ISO 4014 - M8 x 60 - 8.8	Polt	-	-
21	4	ISO 4014 - M10 x 55 - 8.8	Polt	-	-
20	1	1SL0854A00	Juhtmekarp	-	0.1
19	1	H.V.3/8	Hüdrovoolik 3/8", l = 850 mm	-	0.8
18	1	H.V.3/8	Hüdrovoolik 3/8", l = 750 mm	-	0.7
17	1	H.V.3/8	Hüdrovoolik 3/8", l = 500 mm	-	0.5
16	4	81.73.03.020	Voolikuklamber 2ne	-	0.2
15	2	81.73.02.020	Voolikuklamber 1ne	-	0.2
14	1	W90 HROK 06 HB	Üleminek nurk kontramutriga 3/8 vk - 3/8 vk	-	0.11
13	1	G HB 06	Üleminek sirge 3/8 vk - 3/8 vk	-	0.06
12	4	G HB 06 HB 12	Üleminek sirge 3/4 vk - 3/8 vk	-	0.12
11	2	W90 AB 06 HB	Üleminek nurk 3/8 sk - 3/8 vk	-	0.10
10	1	G AB 06	Üleminek sirge 3/8 sk - 3/8 sk	-	0.08
9	1	G AB 06 HB	Üleminek sirge 3/8 sk - 3/8 vk	-	0.07
8	1	81.47.00.011.1	Hüdraulikaõli filter	-	0.85
7	1	81.41.01.025	Hüdroõli paak	-	8.2
6	1	PV300278	Haagise tugijalg	-	1.8
5	1	PV0102	Haagise tugijala kinnitus	-	0.6
4	1	KH.10.04.00A	Hüdraulilise jõuallika koost	-	35.4
3	1	KH.10.03.00A	Hüdraulikajagaja koost	-	12.9
2	1	KH.10.02.00A	Voolujaotusventiili tugikoost	-	1.1
1	1	KH.10.01.00A	Hüdrajaama raami keeviskoost	-	27.4

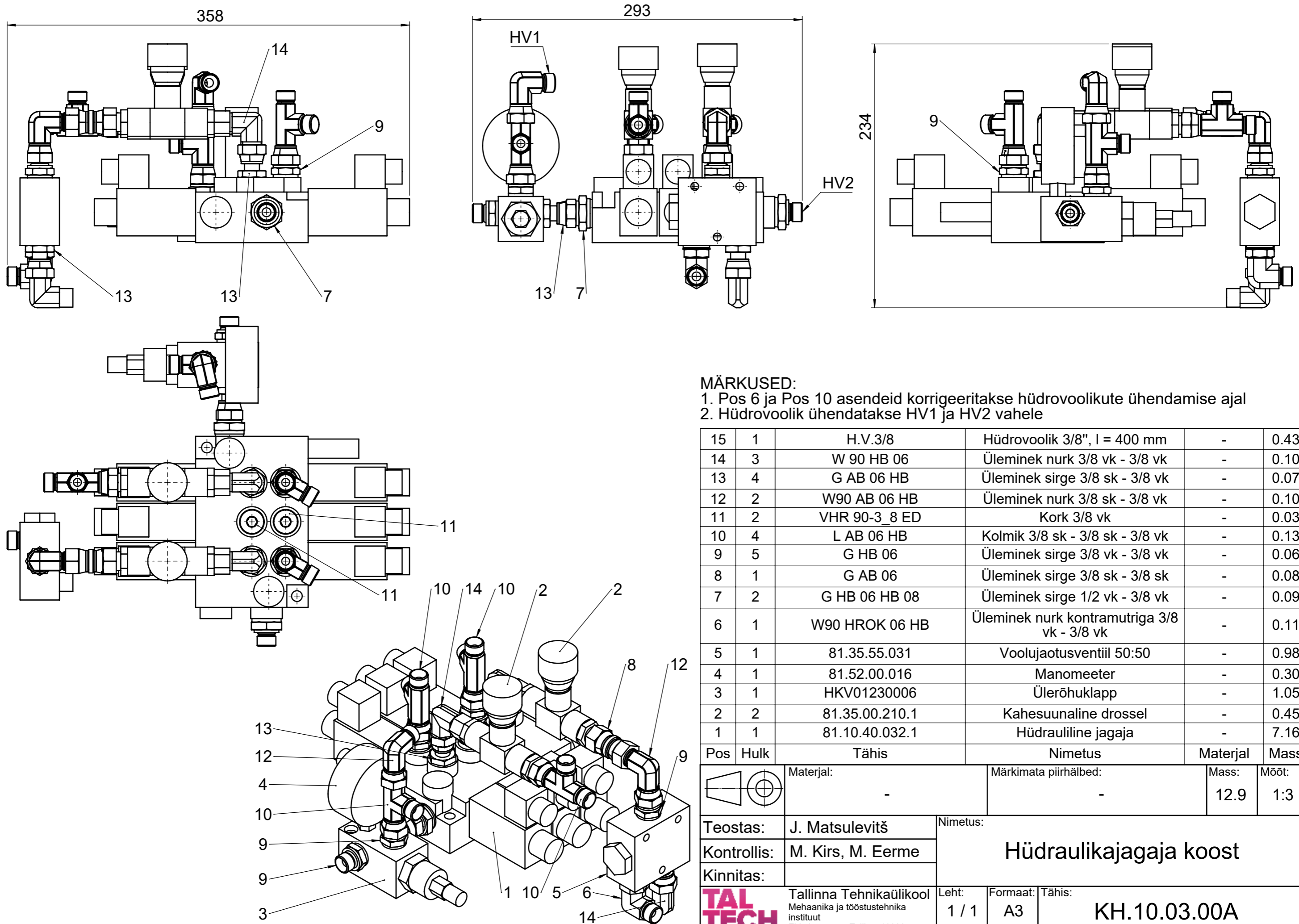
Pos	Hulk	Tähis	Nimetus	Materjal	Mass
		Materjal:		Märkimata piirhälbed:	
		-		Mass:	Mõõt:
		-		93.2	1:7
Teostas:		J. Matsulevitš		Nimetus: Hüdrauliline jõujaam	
Kontrollis:		M. Kirs, M. Eerme			
Kinnitas:					
TAL TECH		Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 2	Formaat: A3	Tähis: KH.10.00.00A



MÄRKUSED:

1. Pos 2 kinnitamiseks Pos 1 külge kasutatakse 4x Pos 27, 4x Pos 29 ja 8x Pos 32, Pos 2 asend on reguleeritav
2. Pos 3 komponent voolujaotusventiil kinnitatakse Pos 2 külge 3x Pos 24, 3x Pos 30 ja 6x Pos 33 abil
3. Pos 3 kinnitatakse Pos 1 külge 1x Pos 22, 1x Pos 23, 2x Pos 29 ja 4x Pos 32 abil
4. Pos 4 kinnitatakse Pos 1 külge 4x Pos 21, 4x Pos 28 ja 8x Pos 31 abil
5. Pos 5 kinnitatakse Pos 1 külge 2x Pos 25, 2x Pos 28 ja 4x Pos 31 abil
6. Pos 6 kinnitub Pos 5 külge ja selle kõrgus on reguleeritav
7. Pos 7 kinnitatakse Pos 1 külge 4x Pos 26, 4x Pos 28 ja 8x Pos 31 abil
8. Pos 20 kinnitatakse Pos 1 külge 4x Pos 34 abil
9. Pos 15 ja Pos 16 kinnitatakse Pos 1 külge näidatud kohtadesse kaasasolevate poltide abil
10. Pos 17, Pos 18 ja Pos 19 ühendatakse joonisel näidatud viisil, kusjuures voolikud peavad läbima Pos 15 ja Pos 16 nii, nagu joonisel näidatud
11. Pos 8 ühendatakse Pos 7 külge näidatud foruliitmike abil nii, et filtri pikitelg oleks võimalikult lähedal vertikaalasendile

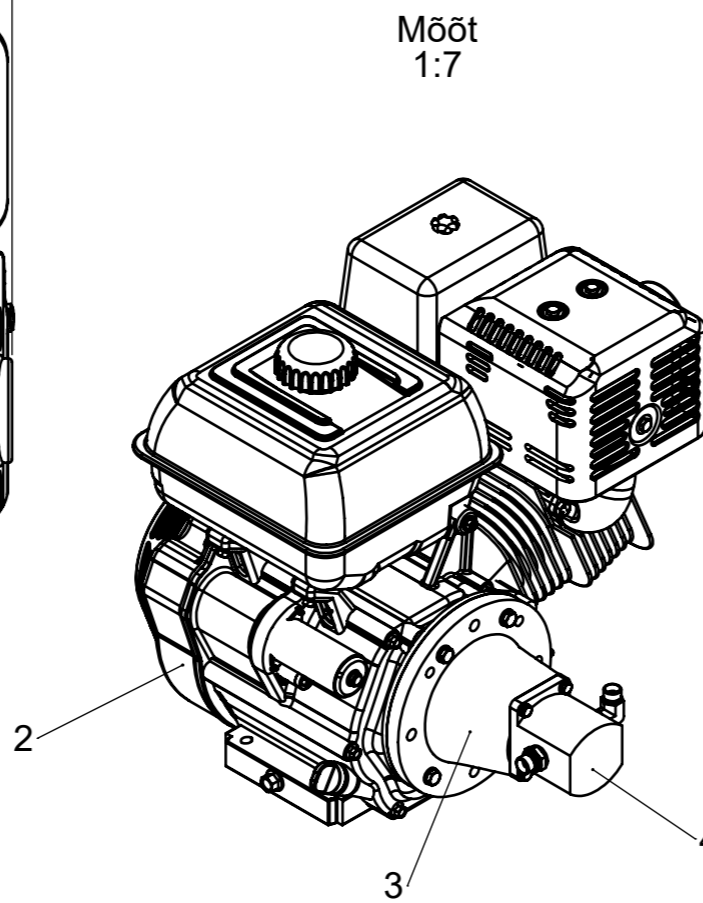
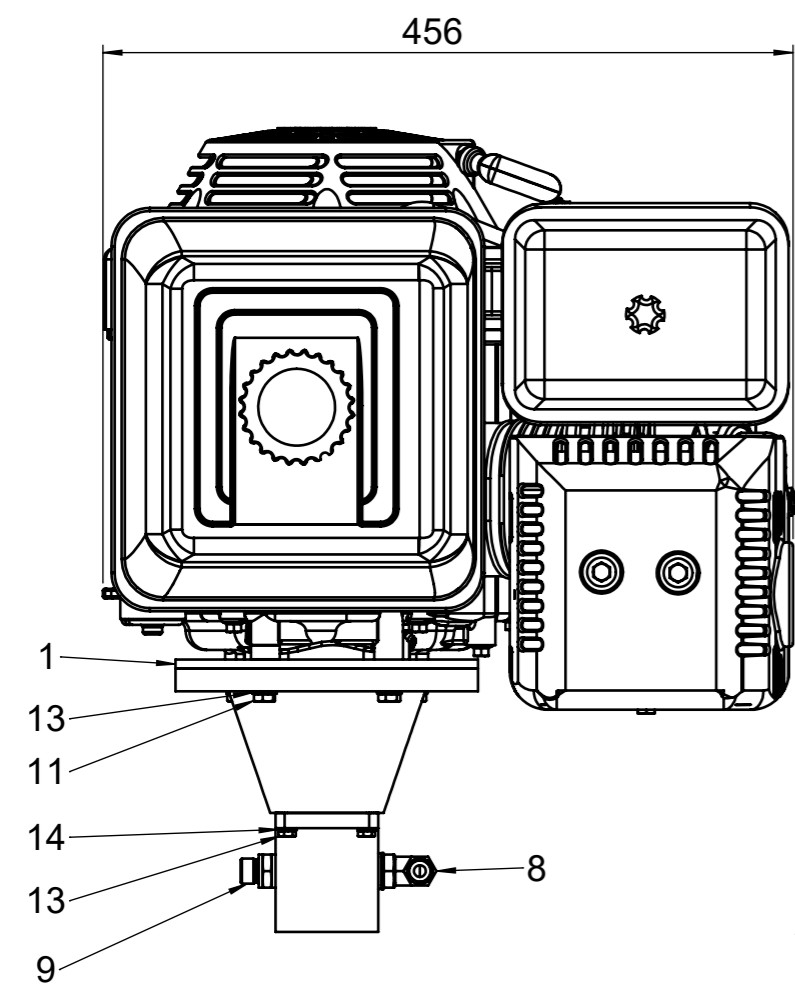
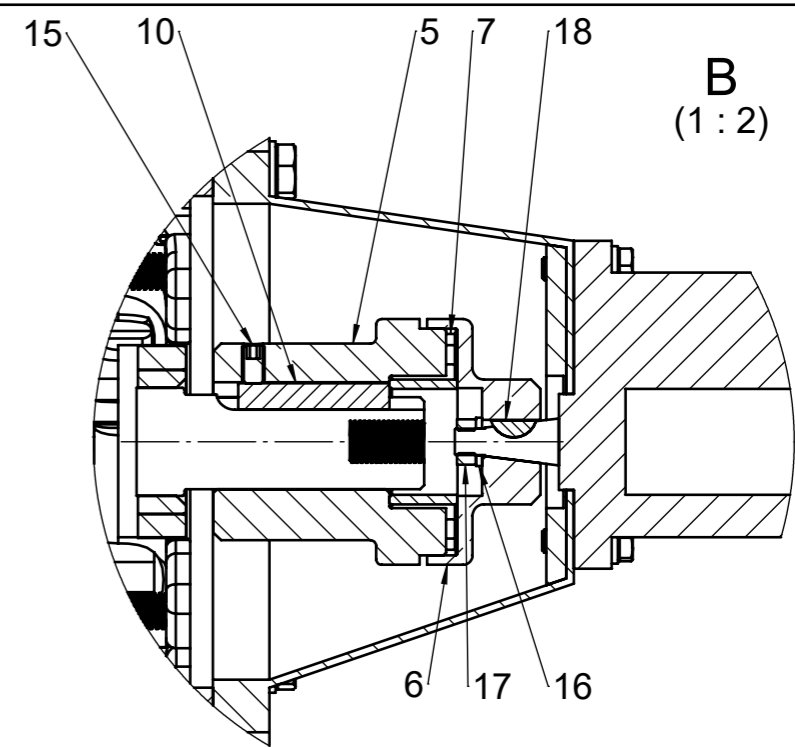
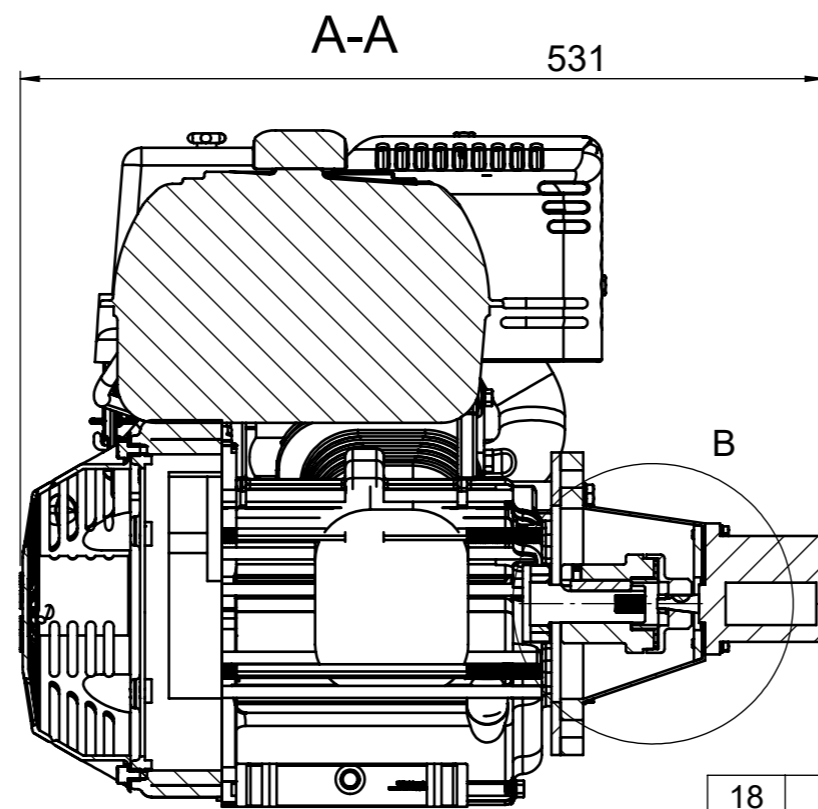
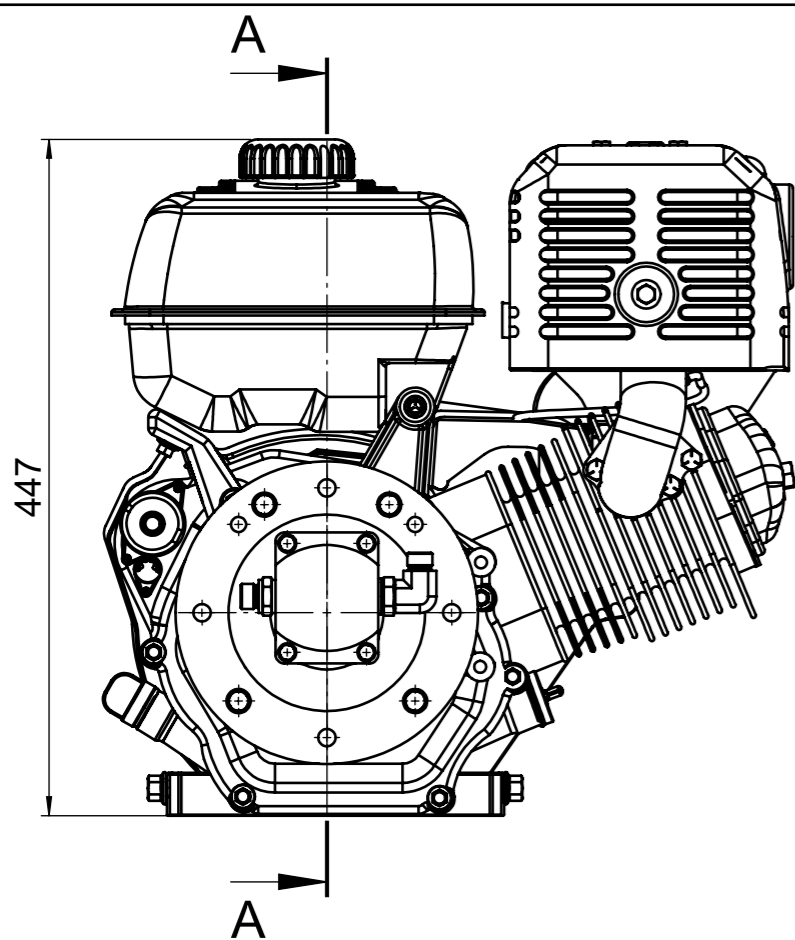
	Materjal:	-	Märkimata piirhälbed:	-	Mass:	93.2	Mõõt:	1:7
Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:		Hüdrauliline jõujaam				
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme							
Kinnitas:								
	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht:	2 / 2	Formaat:	A3	Tähis:	KH.10.00.00A	



MÄRKUSED:
 1. Pos 6 ja Pos 10 asendeid korrigeeritakse hüdrovoolikute ühendamise ajal
 2. Hüdrovoolik ühendatakse HV1 ja HV2 vahele

15	1	H.V.3/8	Hüdrovoolik 3/8", l = 400 mm	-	0.43
14	3	W 90 HB 06	Üleminek nurk 3/8 vk - 3/8 vk	-	0.10
13	4	G AB 06 HB	Üleminek sirge 3/8 sk - 3/8 vk	-	0.07
12	2	W90 AB 06 HB	Üleminek nurk 3/8 sk - 3/8 vk	-	0.10
11	2	VHR 90-3_8 ED	Kork 3/8 vk	-	0.03
10	4	L AB 06 HB	Kolmik 3/8 sk - 3/8 sk - 3/8 vk	-	0.13
9	5	G HB 06	Üleminek sirge 3/8 vk - 3/8 vk	-	0.06
8	1	G AB 06	Üleminek sirge 3/8 sk - 3/8 sk	-	0.08
7	2	G HB 06 HB 08	Üleminek sirge 1/2 vk - 3/8 vk	-	0.09
6	1	W90 HROK 06 HB	Üleminek nurk kontramutriga 3/8 vk - 3/8 vk	-	0.11
5	1	81.35.55.031	Voolujaotusventiil 50:50	-	0.98
4	1	81.52.00.016	Manomeeter	-	0.30
3	1	HKV01230006	Ülerõhuklapp	-	1.05
2	2	81.35.00.210.1	Kahesuunaline drossel	-	0.45
1	1	81.10.40.032.1	Hüdrauliline jagaja	-	7.16

Pos	Hulk	Tähis	Nimetus	Materjal	Mass
		Materjal:		Märkimata piirhälbed:	
		-		Mass:	Mõõt:
		-		12.9	1:3
Teostas:		J. Matsulevitš		Nimetus:	
Kontrollis:		M. Kirs, M. Eerme		Hüdraulikajagaja koost	
Kinnitas:					
TAL TECH		Tallinna Tehnikaülikool	Leht:	Formaat:	Tähis:
		Mehaanika ja tööstustehnika instituut	1 / 1	A3	KH.10.03.00A
		Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086			



Mõõt
1:7

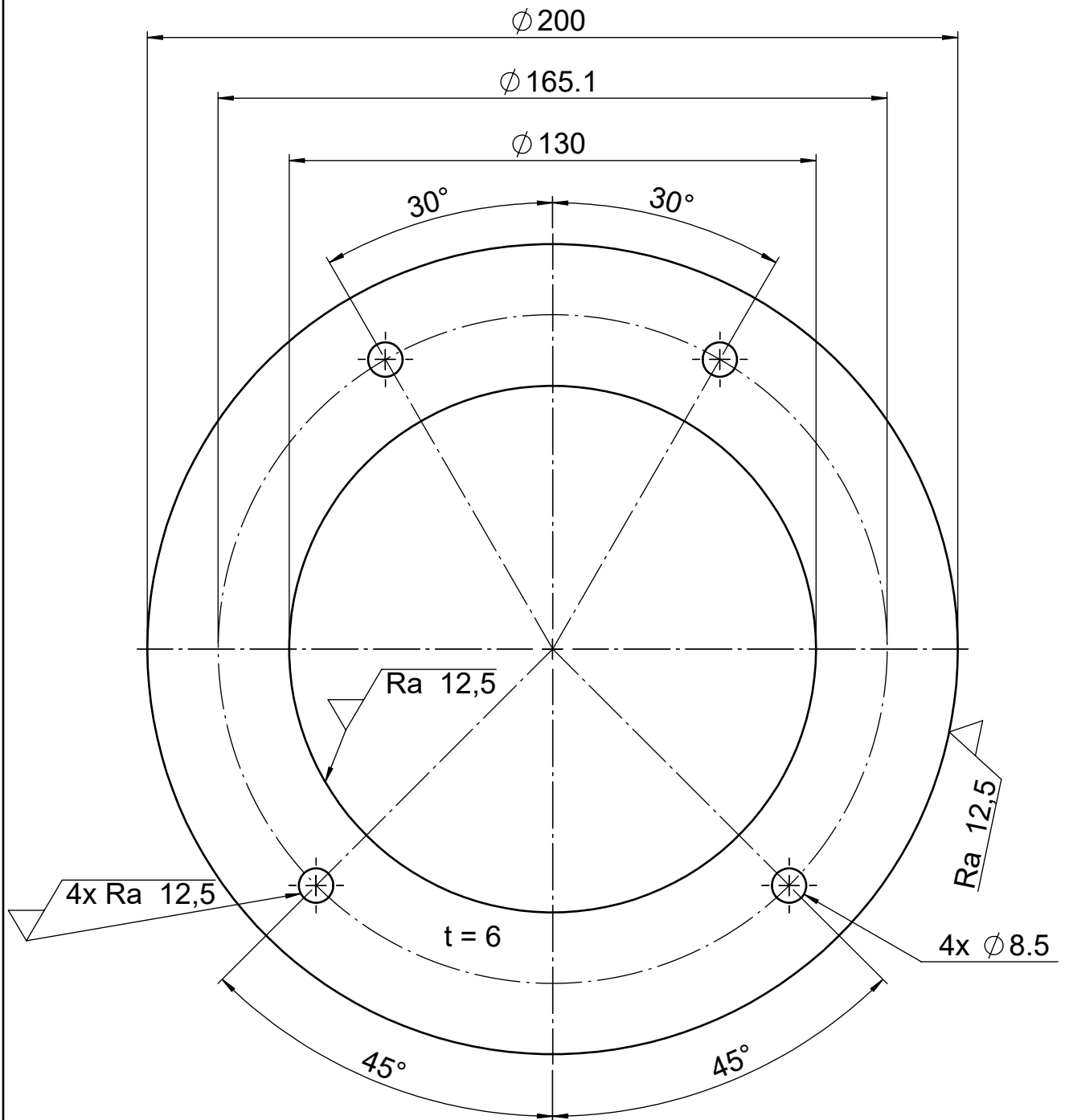
MÄRKUSED:
1. Pos 19, Pos 20 ja Pos 21 tarnitakse koos hüdraulikaõli pumbaga

18	1	DIN 6888 - 2,4 x 4,5	Segmentliist	-	-
17	1	ISO 4032 - M7 - 8	Mutter	-	-
16	1	DIN 127 - B - 7	Seib	-	-
15	1	ISO 4027 - M6 x 12 - 45H	Seadekruvi	-	-
14	4	ISO 7089 - 6 - 200 HV	Seib	-	-
13	4	ISO 7089 - 8 - 200HV	Seib	-	-
13	4	ISO 4017 - M6 x 20 - 8.8	Polt	-	-
11	4	ISO 4017 - M8 x 50 - 8.8	Polt	-	-
10	1	DIN 6885 - A - 8 x 7 x 45	Prismaliist	-	-
9	1	G HB 06	Üleminek sirge 3/8 vk - 3/8 vk	-	0.06
8	1	W90 HROK 06 HB	Üleminek nurk kontramutriga 3/8 vk - 3/8 vk	-	0.1
7	1	ND62R	Vahesiduri elastne element	-	0.02
6	1	ND65P1	Vahesiduri pumba pool	-	0.1
5	1	ND65MC33	Vahesiduri mootori pool	-	0.2
4	1	81.40.09.470	Hüdraulikaõli pump	-	1.4
3	1	LS201	Sidurikoda	-	0.6
2	1	GX390SXQ4	Sisepõlemismootor Honda GX390	-	31.7
1	1	KH.10.00.01A	Sidurikoja vaheflants	1.0570 (S355J2+N)	0.8
Pos	Hulk	Tähis	Nimetus	Materjal	Mass

	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	-	-	35.4	1:5

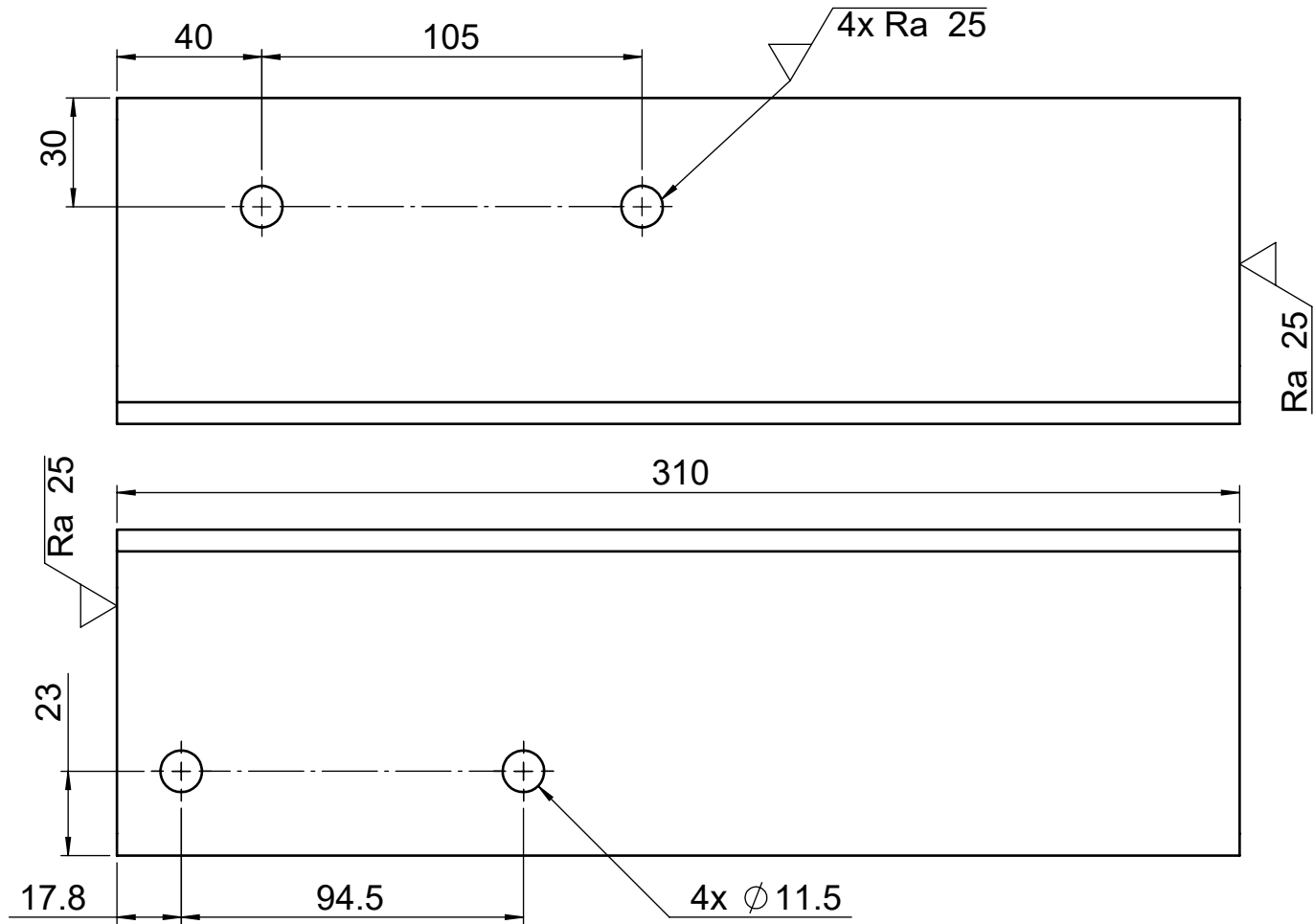
Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus:	Hüdraulilise jõuallika koost
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme		
Kinnitas:			

TAL TECH	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 1	Formaat: A3	Tähis: KH.10.04.00A
-----------------	--	----------------	----------------	-------------------------------

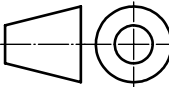



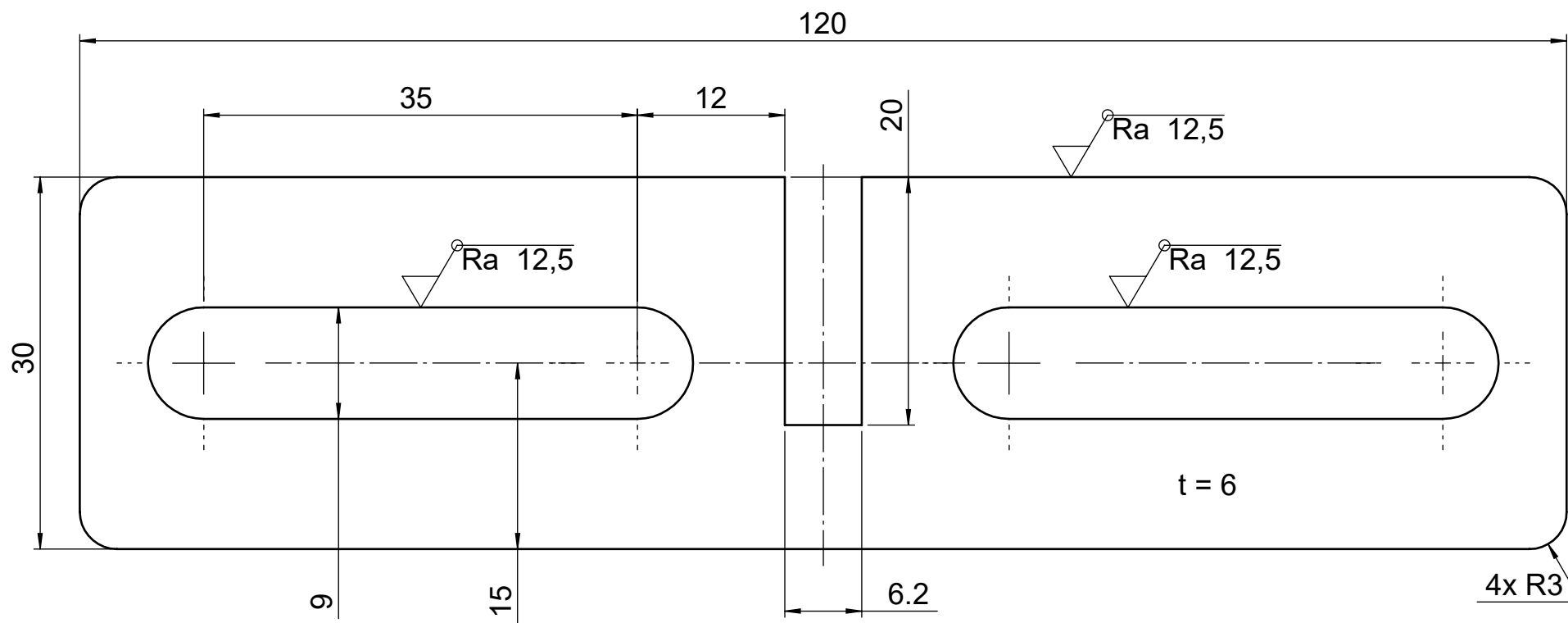
MÄRKUSED:
1. Pinnatöötlus: Pulbervärv RAL 1023

	Materjal: 1.0570 (S355J2+N)	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass: 0.8	Mööd: 1:1.5
Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus: Sidurikoja vaheflants		
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme			
Kinnitas:				
	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 1	Formaat: A4	Tähis: KH.10.00.01A



MÄRKUSED:
1. Profiil: DIN EN 10056-1 - 90 x 90 x 6

	Materjal:	1.0037 (S235JR)	Märkimata piirhälbed:	ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass:	2.5	Mõõt:	1:2	
	Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus: Parem L-profiil tiisli külge						
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme								
Kinnitas:									
	Tallinna Tehnikaülikool	Leht:	1 / 1	Formaat:	A4	Tähis:			
	Mehaanika ja tööstustehnika instituut							KH.10.01.04A	
Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086									



	Materjal: 1.0570 (S355J2+N)	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass: 0.1	Mööd: 2:1
Teostas:	J. Matsulevitš	Nimetus: Voolujaotusventiili tugiplaadi kinnitus		
Kontrollis:	M. Kirs, M. Eerme			
Kinnitas:				
	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 1	Formaat: A4	Tähis: KH.10.02.02A