



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

MEHITAMATA ROOMIKSÕIDUKI AUTOMAATTESTPINK

AUTOMATED TESTING DEVICE FOR UNMANNED GROUND VEHICLE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kristo Tamm

Üliõpilaskood: 178098 MATM

Juhendaja: Kaimo Sonk, lektor

Tallinn 2019

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.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

MEHAANIKA JA TÖÖSTUSTEHNICA INSTITUUT
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kristo Tamm 178098 MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/15 - Tootearendus ja tootmistehnika
Juhendaja(d): Kaimo Sonk, lektor, 6203267
Konsultandid: Rivo Öpik, peainsener, Milrem AS, 55664739, Rivo.Öpik@milrem.com

Lõputöö teema:

Mehitamata roomiksõiduki automaattestpink
Automated testing device for unmanned ground vehicle

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Mehitamata roomiksõiduki automaatse testsüsteemi väljatöötamine
2. Korratava tootmisjärgse testimisvõimekuse loomine
3. Mehitamata roomiksõiduki peenhäälestuse lihtsustamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande täpsustus ja püstitus, turu-uuring	01.03
2.	Ideede genereerimine, disain ning projekteerimine	01.05
3.	Kasutusjuhend, joonised, vormistamine	14.05

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....."201....a

Üliõpilane: Kristo Tamm "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: Kaimo Sonk "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: Rivo Öpik "....."201....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA.....	5
1 SISSEJUHATUS	6
2 TESTSEADME KIRJELDUS	8
2.1 Alusraam	9
2.2 Pidurdusmehhanism	10
2.3 Jõuülekanne	10
3 TURU-UURING	11
3.1 Mainline Dynolog Dynamometers	11
3.2 Dynamiteddynamometers	12
3.3 Mustang Dynamometers	13
3.4 Iowa State University	14
3.5 Turu-uuringu võrdlus	15
4 KONTSEPTSIOONIDE GENEREERIMINE.....	16
4.1 Funktsiooni struktuur.....	16
4.2 Morfoloogiline maatriks	16
4.3 Võimalikud lahendused.....	17
4.3.1 Lahendus 1	18
4.3.2 Lahendus 2	19
4.3.3 Lahendus 3	20
4.4 Lahenduste hindamismaatriks.....	21
5 PROJEKTEERIMINE.....	22
5.1 Alusraam	22
5.2 Pidurdusmehhanism	25
5.2.1 Elektrimootoriga pidurdamine	25

5.2.2 Vedeliku ringi pumpamine	26
5.2.3 Õhuga pidurdamine	27
5.2.4 Lahendus	27
5.3 Jõuülekanne	30
5.3.1 Ühendus flantside ja võlli abil, kasutades Rotex sidurit.....	30
5.3.2 Sõiduki pooltelg.....	31
5.3.3 Kettülekanne	31
5.3.4 Flantsiga jäik ühendus	34
5.3.5 Lahendus	35
6 LÕPLIK DISAIN.....	36
6.1 Elektroonika ja tarkvara	40
6.2 Testseadme tööpõhimõte.....	47
KOKKUVÕTE	48
SUMMARY	49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	51
LISAD 1 - ANDMELEHED	53
LISAD 2 - JOONISED	55

EESSÕNA

Antud lõputöö teema algatati tänu suurepärasele võimalusele töötada töökoja juhina ettevõttes Milrem AS, kes tegeleb mehitamata roomiksõidukite arendamisega. Kuna ettevõtte on arengujärgus, siis on vajadus pidevalt uut majasisest pädevust ning tarkust juurde luua. Masinate tootmisjärgne test on hetkel teostatud välitingimustes ning pole pädevalt korratav. Selle probleemi lahendamiseks otsustas töö autor luua automaatse testseadme, mille abil on võimalik toote kvaliteeti tõsta ning arendusosakonnale lisavõimekust luua.

Töö praktilise osaga on algust tehtud 2018 aastal, mil sai koos peainseneridega sõnastatud ka lõputöö teema ning pandi paika testseadme soovid ning nõudmised. Koostatud on masina töstelaud, millest saab testseadme keskne osa, sidudes omavahel pidurdusmehhanismi ja mehitamata roomiksõiduki.

Lõputöö valmimisele on kaasa aidanud paljud Milrem AS töötajad, erilist tänu soovib töö autor avaldada peainseneridele Lauri Jürgen, Rivo Öpik, Tõnis Jaaniste, tehnoloogidirektorile Siim Nõmme, inseneridele Siim Jürgenstein, Sander Parts, Sander Viitak. Samuti suur tänu lõputöö juhendajale Kaimo Sonk.

Märksõnad: magistritöö, mehitamata roomiksõiduk, automaatne testpink



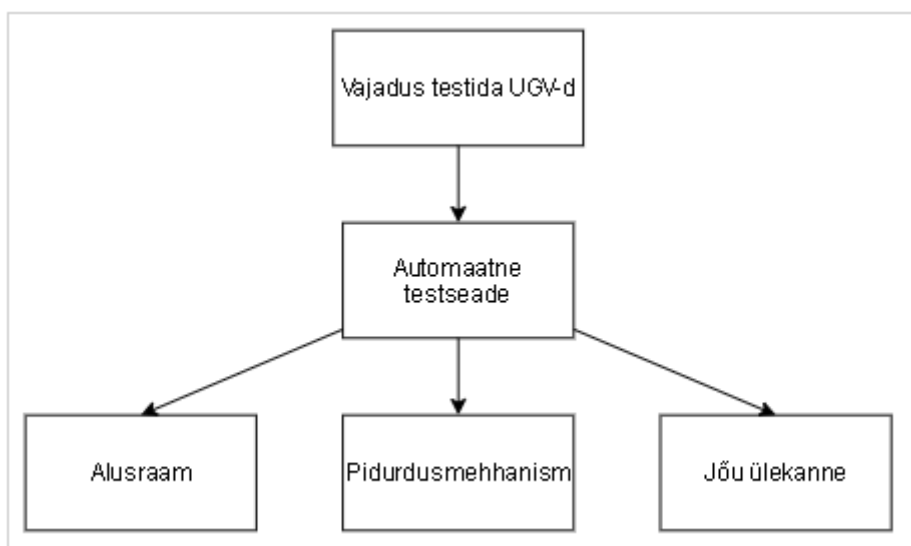
Sele 1.1 Töö autor juhtimas veepumba ning 200 m voolikutega varustatud taaraga UGV-d

Automaatne testseade võimaldab teostada nii UGV tootmisjärgset testi kui ka masina peenhäälestust. Kasutades projekteeritud seadet, tõstetakse masin maapinnast üles, tagades ohutuse ning võimaldades arendusmeeskonnal UGV häälestamise, andmete logimise ning laboritingimustes katsete ja testide läbiviimise. Projekteeritav seade loob võimekuse mõõta ka masina maksimaalset võimsust ning kaotab ära vajaduse peale igat tarkvaramuudatust välitestidele minna. Samuti loob seade võimaluse teostada teste ilma manuaalse juhtimiseta. Masin on võimalik panna automaatsesse testrežiimi, kus teostatakse vastavalt vajadusele funktsionaalsustestid ning võimalik on välja võtta testraport, logi.

Antud töö raames teostatakse UGV testpingi alusraami, veo ülekande ning pidurdusmehhanismi valik koos projekteerimise, seadmete valiku ning praktilise koostamisega. Samuti lahendatakse ära pidurdades tekkiva energia kasutuse probleem ning sõnastatakse nõudmised tarkvarale, mille ülesanne on automaattesti puhul testseadet juhtida.

2 TESTSEADME KIRJELDUS

Milrem AS-i mehitamata roomiksõiduki testimine toimub hetkel järgides ettemääratud testide protseduure, kus on kirjeldatud probleem, soovitud tulemus ning testi täitmise juhend. Paraku on korratavuse tagamiseks vaja igal testil identset keskkonda, seega erinevad näiteks suvel ning talvel tehtavate testide tulemused üksteisest suurel määral. Rolli mängib temperatuur, pinnas, millel sõidetakse, valgus, sademed jne. Saamaks võimalikult identseid tulemusi ning võimaldamaks inseneridel masinat peenhäälestada parima soorituse tagamiseks, on tekkinud vajadus testpingi järele. Hetkel planeeritavatest testidest on 2019. aasta märtsi seisuga võimalik teostada 23-st testist 18 testseadmel, allesjäänud eeldavad mehaanikakomponentide testimiseks maastikul sõitu. Testseade koosneb kolmest osast (sele 2.1): alusraam, pidurdusmehhanism ning jõuülekanne masinalt pidurdusmehhanismile. Antud peatükis kirjeldan iga süsteemi tööpõhimõtet ning visiooni, kuidas peaks testseade töötama. Samuti olen välja toonud nõudmised seadmele, mis kaardistati koos Milrem AS-i peainseneridega ning mis annab edasi ettevõttepoolsed soovid.



Sele 2.1 UGV testseadme plokk skeem

Hakates ettevõttes antud ülesandega tegelema, kaardistasime erinevate osakondadega ära lahendamist vajavad probleemid ning nõudmised, samuti said kirja kõik soovid, mida antud seadmelt oodatakse. Testpinki projekteerides tuleb igat sõlme projekteerides meeles pidada, et lähtutakse etteantud soovidest ning nõudmistest, seeläbi vältides tulevikus probleemide teket. Testseadme soovid ning nõudmised on võetud kokku tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Testseadme soovid ning nõudmised

Soovid/nõudmised:
Võimalik mõõta maksimaalset võimsust
Vastupidavus test/kestvustest teatud arv tunde järjest
Erinevate funktsioonide test
Andmete logimine/kuvamine
Automaattest
Erinevad linnid/lihtne vahetada
Raputusraja imitatsioon
Võimeline linti ringi ajama
Muudetava laiusega
Sõiduk kinnitatud testseadme külge
Testseade kinnitatud ette/taha; külgedele; maa külge
Veosüsteem ja kandev konstruktsioon eraldatud vibropuksidega vms
Võimalik peale sõita
Võimalikult modulaarne
Tõstepunktid
Turvalisus 100% garanteeritud
Peab võimaldama ka muid teste

Järgnevalt on lühidalt kirjeldatud iga automaatse testseadme sõlme eesmärgid ning potentsiaalseid lahendusi.

2.1 Alusraam

Raami eesmärk on UGV-d testimise ajal üleval hoida, sealjuures positioneerida omavahel masin ning pidurdusmehhanism. Raam peab võimaldama masina üles tõstmist kahvelkäru või tõstukiga, seejuures peab võimaldama kõrgemal asendis olles kõrguse fikseerimist. Samuti peab olema raami võimalik jäigalt maa külge kinnitada, vältimaks maksimaalsete koormuste juures liikumist ning ohuolukorra teket.

2.2 Pidurdusmehhanism

Pidurdusmehhanismi ülesanne on rakendada pidurdusjõudu masina veotähikule, millega on võimalik simuleerida erinevate raskustega erineval maastikul sõitu. Pidurdusjõud tuleb viia vastavusse maastikul reaalse olukorraga. Tuleb teostada katsed, mõõtes UGV elektrimootorite voolutugevust ning väändemomenti, mille alusel saab pidurdusmehhanismi viia vastavusse maastikul sõitmisega. Testseade ise ei pea logifaili tekitama graafiku visualiseerimiseks, UGV kasutajaliideses on võimekus juba olemas. Seeläbi on võimalik teostada põhjalikke analüüse ning masinat väga täpselt peenhäälestada.

2.3 Jõuülekanne

Jõuülekanne eesmärk on ühendada omavahel veotähik ning pidurdusmehhanism. Kuna veotähik käib ringi maksimaalselt 240 p/min, siis ei ole ta ideaalne tsentreerimine masina suhtes äärmiselt oluline. Seetõttu on mõningane "viskamine" võimalik. Jõuülekanne peab siluma ära ebatasasused pöörlemisel ning samuti ei pruugi alati olla tagatud masina ja pidurdusmehhanismi samateljelisus, mistõttu peab süsteem olema paindlik, võimaldades sujuvat pidurdusmehhanismi tööd.

3 TURU-UURING

Turu-uuringut läbi viies keskenduti sarnaste lahenduste leidmisele ning ideede kogumisele. Suurem osa turul olemasolevatest dünamomeetritest on ettenähtud autodele. Kuna UGV on pidevalt arengufaasis ning muutuvad nii seadmed kui ka gabariidid, tuleb testseadme projekteerimisel olla äärmiselt paindlik. Projekteeritavaks testseadmeks on sobilikud variandid tööpõhimõtte tasemel turul olemas, kuid neil on vastavalt seatud ülesandele omad puudused. Turul leidub rummu külge kinnitatavaid teistsaldatavaid dünamomeetreid, samuti on erilahendustena maailmas projekteeritud roomiksõidukitele rullikutel töötavaid dünamomeetreid, mida kasutatakse eelkõige põllumajandustehnika ning muu rasketehnika seadistamiseks. Järgnevalt tutvustan erinevaid turul olevaid lahendusi.

3.1 Mainline Dynolog Dynamometers

Mainline Dynolog Dynamometers on Austriaalas baseeruv erinevate auto dünamomeetrite tootja, kes tarnib oma tooteid üle kogu maailma. Valisin nende kataloogist Portable ProHub Chassis Dynamometers seeria toote, mille puhul saab valida kas 2000 või 3000 hobujõulise mudeli vahel. Seade võimaldab kinnitamist rattarummi külge (sele 3.1) ning tegu on teistsaldatava dünamomeetriga. Andmeid on võimalik lugeda tootega kaasatuleva programmi abil, mis kuvab soovitud väärtused ekraanile. Testseadmel on võimaldatud 10 kraadine kalle igas suunas, mis kompenseerib ideaalse masina või testseadme paigutuse ning kerge viskamise. Hinnapakkumisele tootja ei vastanud, dünamomeetrite foorumi kohaselt jääb antud toote hind 75 000 € juurde [1].



Sele 3.1 Rummu külge kinnitatav teistsaldatav dünamomeeter [2]

3.2 Dynomiteddynamometers

Sarnast lahendust pakub veel üks ettevõtte, Dynomiteddynamometers (sele 3.2), kelle tootevalikus on samuti 2000 ja 3000 hobujõulised mudelid. Toodete tööpõhimõte on sama, mõlemad pakuvad erinevaid kinnitusflantse ning sobivad kõikidele autodele, alustades tänavasõidu autodest kuni kiirendusautodeni välja. Sarnaselt eelnevale tootele pidurdatakse ka siin elektrimootoriga, energia muundatakse soojusenergiaks ja köetakse õhku. Hinnapäringule tootja ei vastanud, sarnaste toodete hinnad jäävad 50 000 – 100 000 € piiridesse, olenevalt kaasatulevatest lisadest ning tarkvarast.



Sele 3.2 Rummu külge kinnitatav dünamomeeter [3]

3.3 Mustang Dynamometers

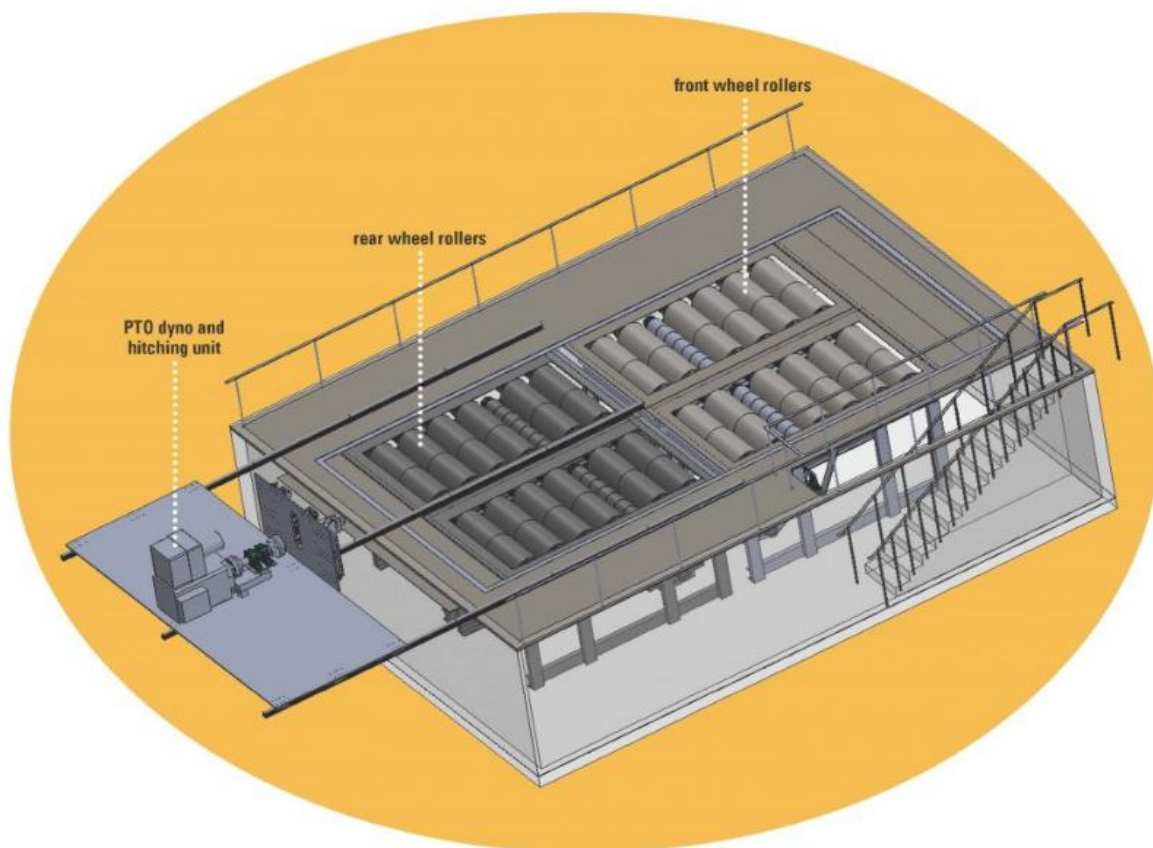
Roomiksõidukitele pakutavatest lahendustest on välja töötatud erinevatele põllumajandus- ja rasketehnikale erilahendusi, mis on projekteeritud vastavalt masinatele. USA-s baseeruv Mustang Dynamometer on välja töötanud Caterpillari roomiksõidukitele testseadme, mille abil saab ettevõtte testida nii ratastel sõidukeid kui ka roomiksõidukeid (sele 3.3). Süsteem lubab eraldiseisvalt testida ühte roomikupoolt, kui teine on seiskunud. Samuti lubab süsteem koormata roomiksõidukit, kui mõlemad roomikud on pidurdatud seiskumiseni. Sellisel juhul on võimalik hüdraulikasüsteemile avaldada suurt koormust, testides lekkeid ning survele vastupanu. Testseade võimaldab Caterpillaril teostada nii tootejärgset testi kui ka arendada välja uusi lahendusi ning neid testida. Testseade on lahendatud rullikute abil, mida pidurdatakse elektrimootoriga.



Sele 3.3 Roomiksõiduki dünamomeeter [4]

3.4 Iowa State University

Iowa State University on välja töötanud põllumajandustehnika testimiseks dünamomeetri ratastel ning kummiroomikutel masinatele (sele 3.4). Seade võimaldab võimsusi kuni 450 kW, kiirustega kuni 80 km/h. Samuti on võimaldatud iga ratta või roomiku eraldi pöörlemine ning pidurdamine. Testseadme võimekustest parema ülevaate annab sele 3.5.



Sele 3.4 Põllumajandustehnika dünamomeeter [5]

Vehicle Chassis Dynamometer capabilities

- Wide range of off-highway vehicles, including tractors, combines, sprayers, rubber-tracked equipment and wheel loaders
- Absorbing or motoring up to 450 kW (600 Hp) per corner, with independent loading at four corners
- Wide range of speeds from 5 to 80 km/h
- PTO Dynamometer to absorb or motor up to 250 kW (350 Hp) at 1000 rpm, and 85 kW (115 Hp) at 540 rpm
- Vehicle weights up to 311 kN (70,000 lbs)
- Wheelbases from 1.5-4.3 m (60-170 in)
- Minimum inside tire width of 762 mm (30 in)
- Maximum outside tire width of 4.3m (170 in)
- Total horizontal tractive draft forces 222 kN (50,000 lbs)
- Simultaneous loading of Chassis and PTO Dynamometer
- Regenerative AC Dynamometers (Power generation in absorption mode)
- Accommodates both tires and tracks

Sele 3.5 Põllumajandustehnika dünamomeetri võimekus [5]

3.5 Turu-uuringu võrdlus

Põhilised võrreldavate toodete parameetrid on välja toodud tabelis 3.1, millest selgub, et ükski seade ei vasta täpselt etteantud soovidele ning nõudmistele, mistõttu tuleb projekteerida täpselt TheMIS-le vastav seade, mis rahuldab kõikide osakondade soove ning võimaldab teostada tootmisjärgset testimist kui ka peenhäälestamist. Esimesed kaks toodet oleksid potentsiaalselt kasutatavad, kuid nõuavad masina osalist demonteerimist ning hind ületab oluliselt projekti planeeritava maksumuse. Viimased kaks toodet on kapitaalsemad, mille projekteerimisele tuleks mõelda juba seeriatootmist tehes, kus toode on paigas ning oluline on testimise kiirus ning seadmete usaldatavus ja pikk eluiga. Samuti peab olema selleks ettenähtud ruum, kuna seadmed on kas äärmiselt raskesti teisaldatavad või pole seda praktiliselt üldse, olles kapitaalselt sisse ehitatud. UGV testseadme üks põhilisi argumente peab olema tänases päevas tema kiire teisaldatavus ning soodne maksumus, kuid samas usaldusväärsete tulemustega testseade, mis ei eelda masina demonteerimist ning on lihtsasti kasutatav.

Tabel 3.1 Turu-uuringu võrdlus

	Toode 1	Toode 2	Toode 3	Toode 4
Hind	75 000 €	75 000 €	Pole teada	Pole teada
Kasutusmugavus	Nõuab demonteerimist	Nõuab demonteerimist	Lihtne	Lihtne
Teisaldatavus	Ideaalne	Ideaalne	Raskendatud	Äärmiselt keeruline
Maksimaalne võimsus	2000-3000 hj	2000-3000 hj	Pole teada	4x450 kW
Kasutatav ruumiksõidukiga	Raskendatud	Raskendatud	Ideaalne	Ideaalne
Masina mõõdud	Pole piiri	Pole piiri	Pole teada	4,3 m x 4,3 m
Pidurdusmehhanism	Elektrimootor	Elektrimootor	Elektrimootor	Elektrimootor
Pöörlemiskiirus	500 km/h	Pole teada	Pole teada	5-80 km/h
Ühe roomiku pöörlemine	Jah	Jah	Jah	Jah

4 KONTSEPTSIOONIDE GENEREERIMINE

4.1 Funktsiooni struktuur

Kasutatakse funktsiooni struktuuri tabelit (tabel 4.1) tervikpildi loomiseks kogu süsteemi ja tööprotsessi ülesandest. Luues funktsiooni struktuuri saab selgeks, milliseid funktsioone peab UGV testseade täitma, millistesse sõlmedesse on vaja lisaseadmeid, kuidas on täidetud ohutusnõuded ning kirjeldatud kogu süsteemi protsessid.

Tabel 4.1 Funktsiooni struktuur

Tootmisest väljub UGV >>>	UGV ettevalmistus tootejärgseks testiks	>>>	Pidurdusmehhanismi ühendamine	>>>	Testi käivitamine
	UGV tõstmine		Fikseerimine ja joondamine		Ohutuse tagamine
	Tõsteseadme fikseerimine		Kinnitamine		Tulemuste logimine
	Kinnitamine		Genereeritava voolu kasutus		Raporti väljastamine

Funktsiooni struktuuri tabelist selgub, et lisaks alusraamile, jõuülekandele ning pidurdusmehhanismile tuleb mõelda veel ka lisaseadmete lahenduste peale. Igas etapis tuleb mõelda ohutusele, samuti on vajalik testseadme seadistamine ning koodi kirjutamine automaatsesti tarbeks. Tulemuste logimine ning raporti väljastamine eeldavad juhtarvuti olemasolu ning tarkvara, mis suudaks tulemusi kuvada. Probleem on ka genereeritava voolu kasutus ning seadmete täpne fikseerimine ning kinnitamine, et tagada testide korratavus ja ohutus.

4.2 Morfoloogiline maatriks

Morfoloogiline maatriks (tabel 4.2) leiab funktsioonistruktuurist saadud funktsioonidele kandjad. Iga projekteeritava seadme sõlmed on eraldi välja toodud ning antud lahendeid saab kasutada hindamismaatriksis optimaalseima lahenduse leidmiseks. Morfoloogiline maatriks võimaldab võimalikult palju erinevaid lahendusi genereerida ning valida nende seast antud ülesande lahendamiseks parim.

Tabel 4.2 Morfoloogiline lahenduste maatriks

Pidurdusmehhanism	Elektrimootorid	Vedeliku pumpamine	Õhuga pidurdamine	Mehaaniline
Juhtimine	Ostutootena kontrollid	Loome eraldi juhtmooduli	Manuaalne	
Juhtarvuti	Arduino	PC	Raspberry pi	Sülearvuti
Koostamine	Koostame majasiseselt	Tellime detailid		
Vibratsioon/lööök	Pneumo	Hüdro	Elektriline	Puudub
Ülekanne	Jäik ühendus (võllülekanne)	Kompenseeriv sidur	Kettülekanne	Õhkratas
Tarkvara	Loome vastavalt vajadusele	Kasutame turul leiduvat		
Info lugemine	Salvestame logi kontrollitist	loome eraldi keskkonna	Kasutame turul leiduvat	
Masina kinnitus	Kinnitusasasid pörandasse	Alusraam fikseerib UGV		
Ohutus	Ohunupp	Sekundaarsed pidurid	Kinnitus	mehaaniline tõke
Sõidu imiteerimine	Rullikud	Lintidel	Lindid õhus vabalt ringi	
Raami materjal	Teras	Alumiinium	Komposiit	
Energia kasutus	Tagasi akupakki	Soojusülekanne	Vooluvõrku müümine	
Võimekus	Tootmisjärgne testimine	Maksimaalne võimsus	Uute arenduste test	
Modulaarsus	Muudetavad gabariidid	Teisaldatav	Ka ratassõidukid	Muudetav võimsus

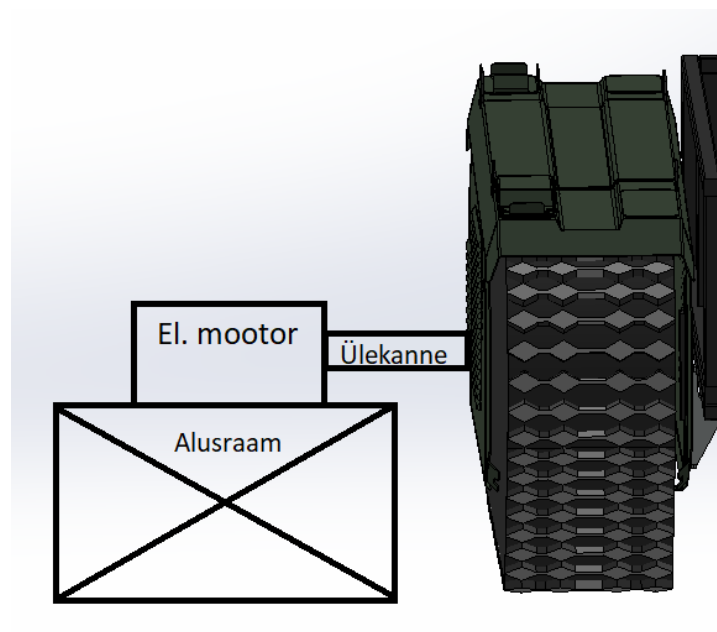
Parima lahenduse leidmiseks jaotatakse variandid kolme alagruppi - alusraam, ülekanne ning pidurdusmehhanism ning leitakse igale grupile parimad lahendused. Nende kombineerimisel on võimalik genereerida kokkuvõttes vastavalt hindamismaatriksile UGV testseadmeks kõige sobilikum lahendus.

4.3 Võimalikud lahendused

Allolevates peatükkides kirjeldan erinevaid lahendusi vastavalt morfoloogilise- ning hindamismaatriksi tulemustele. Kõik lahendused eeldavad lisaks mehaanikale ka elektroonikat ning tarkvara. Kuna projekti eelarve on väike, kasutatakse ära kõik laos olevad komponendid ning tarkvara kirjutatakse majasiseselt. Kuna elektroonikakomponendid on olemas ning tarkvara loomine ei ole selle lõputöö eesmärk, keskendutakse algselt mehaanikale, pidades tarkvara- ning elektroonikainseneridega pidevalt nõu. Viimaseid teemasid käsitletakse antud töö hilisemates peatükkides. Võimalikud lahendused on genereeritud tabeli 4.2 abil, võttes esialgu arvesse seadme tööpõhimõtte ning konstruktsiooni.

4.3.1 Lahendus 1

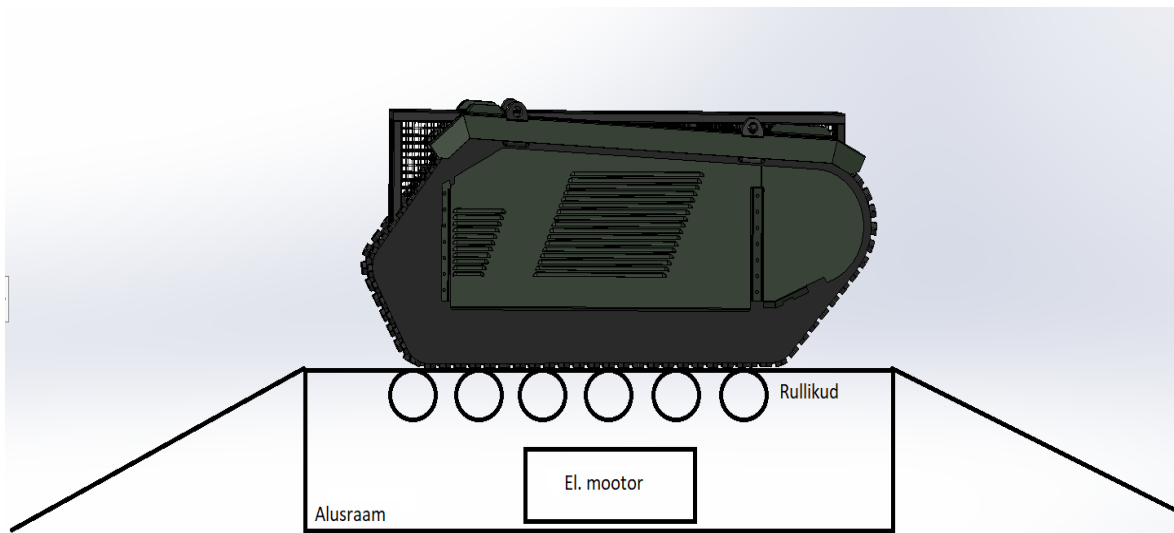
Esimese lahenduse (sele 4.1) puhul on elektrimootor ühendatud võllülekande abil veotähiku külge, mis omakorda on ühendatud UGV küljes oleva elektrimootori ja ülekandega. Elektrimootorit läbi kontrolleri pidurdades on teostatud UGV koormamine. Nii masin kui ka testseade on omaette alusraami peal, mis võimaldab linnid õhus ohutult testida ning kõrgust vastavalt maapinnale reguleerida. Antud lahendus on modulaarne ning kergesti transporditav. Lahendus võimaldaks suurt mobiilsust ning paindlikkust, kuna testi asukoht pole fikseeritud. Testseadme kasutamiseks tuleb projekteerida spetsiaalne flants, mida on võimalik poldida ketaspiduri kinnituspunktide külge. Äärmiselt oluline on mõlema seadme jäigalt kinnitamine, et tagada maksimaalne ohutus testimisel. Lahenduse suureks miinuseks on tema sõltuvus masina disainist. Samuti tuleb igat testi alustades eemaldada UGV-lt detaile, hetkel arenduses oleva uue prototüübi puhul on vajalik eemaldada ka raami lisatugevdus, mis võib olla potentsiaalselt ohtlik tegevus.



Sele 4.1 Võimalik lahendus kasutades elektrimootorit koos võllülekandega pidurdamiseks

4.3.2 Lahendus 2

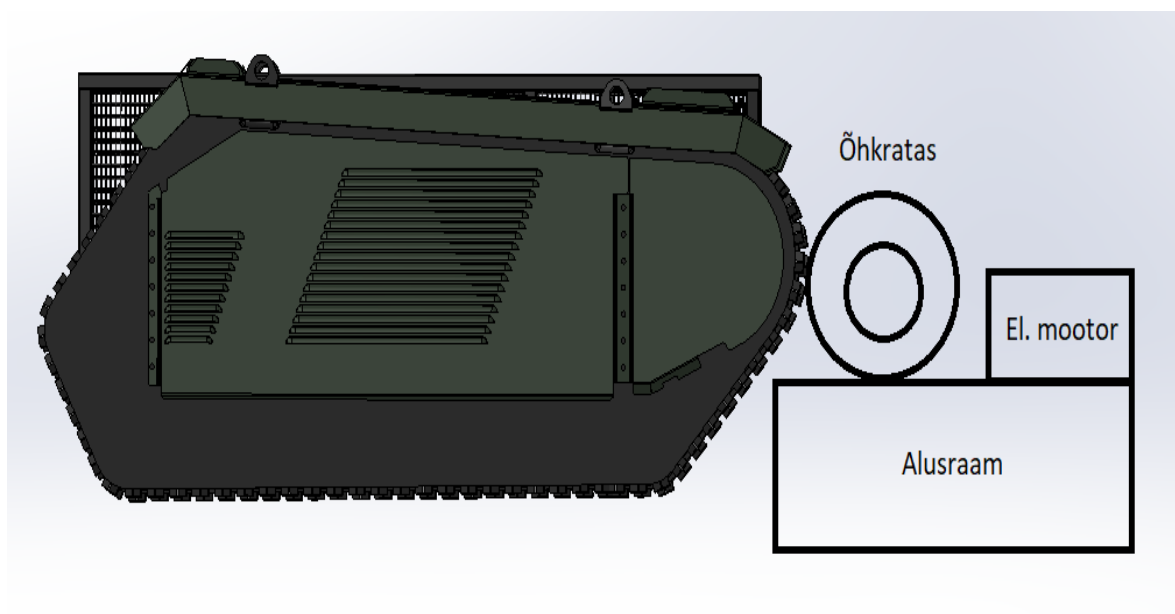
Teise lahenduse (sele 4.2) puhul on malli võetud klassikalisest auto dünamomeetrist, kus masina jõud suunatakse otse lindilt veorullikutele, mida pidurdab elektrimootor, mõõtes pidurdamiseks kulunud energiat. Sellise lahenduse puhul ei ole tegemist kuigi modulaarse lahendusega, kuid on kõige kiirem masina seadistuse koha pealt, masin tuleb vaid maapinna külge kinnitada. Samas on tegu üpriski ohtliku lahendusega, kuna kinnitusvahendi purunemisel võib UGV kujutada endast suurt ohtu. Samuti on seadme ehitus võrreldes teiste lahendustega äärmiselt kallis ning eeldab kapitaalset ehitust. Seade pole kergesti transporditav ning masina disaini muutudes ümberehitus on problemaatiline. Antud seade on otstarbekas, kui arendusfaas on läbi ning toodetakse suurt seeriat, mille käigus on kindel toote disain ning ettetulevad muudatused pigem vähetähtsad.



Sele 4.2 Võimalik lahendus kasutades traditsioonilist rullikutega dünamomeetrit

4.3.3 Lahendus 3

Kolmanda lahenduse (sele 4.3) puhul on tegu samuti modulaarse süsteemiga, mille puhul ei pea ühtegi lisaseadet masina külge kinnitama. Õhkratas suunatakse vastu linti, mis ajab ringi pidurdavat elektrimootorit. Samas tuleb korratavuse tagamiseks saavutada identne jõud, millega õhkratas vastu linti surutakse. Nii masin kui ka testseade on oma raami peal, mis tagab ohutuse, kuna lindid on maast lahti. Samuti on testseadet võimalik kergesti transportida ning hoiustada, kuna ruumikasutus on minimaalne. Seadmega on võimalik masinale koormust anda tõmmates UGV järgalt vastu õhkratast, mis on omakorda ühendatud elektrimootoriga, mida pidurdades on võimalik valida vastav koormus, nagu test ette näeb.



Sele 4.3 Võimalik lahendus kasutades elektrimootori külge ühendatud õhkratast

4.4 Lahenduste hindamismaatriks

Tabel 4.3 Lahenduste hindamismaatriks

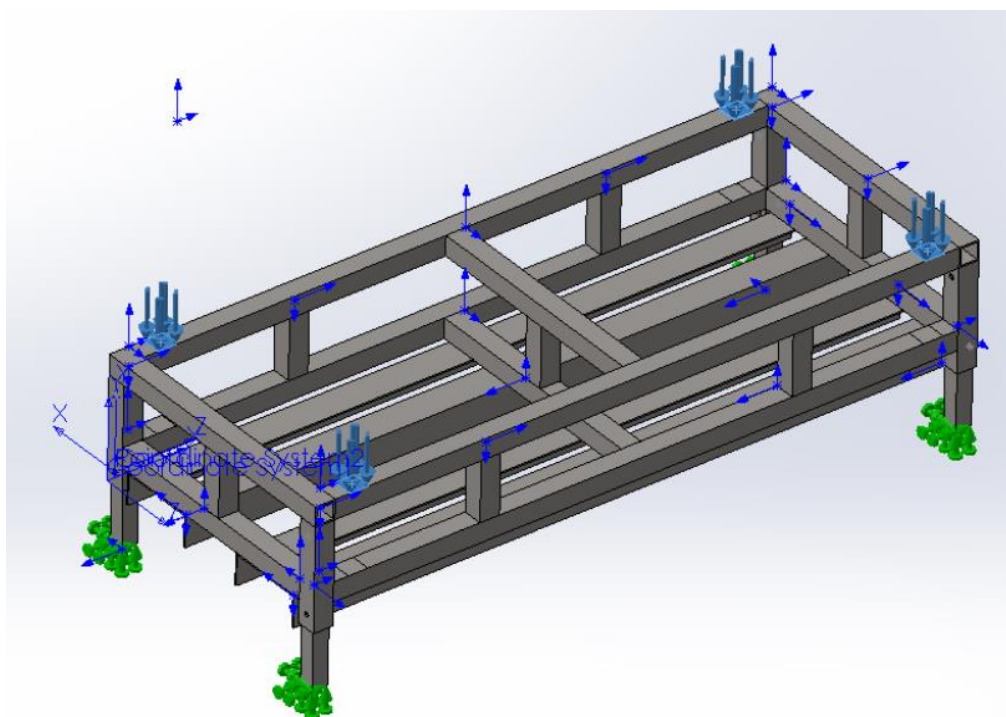
Soovid/nõudmised:	punktid 1-5			
	Kaal	Lahendus 1	Lahendus 2	Lahendus 3
Maksimaalne võimsus	3	5	5	5
Kestvustest	3	5	5	5
Erinevate funktsioonide test	3	5	3	5
Set-up aeg	3	3	5	4
Automaattest	3	5	5	5
UGV pööramine	3	5	3	5
Raputusraja imitatsioon	1	1	3	1
Võimeline UGV linti ringi ajama	2	3	3	3
Muudetava laiussega	3	5	1	3
Sõiduk kinnitatud testseadme külge	3	1	5	5
Testseade kinnitatud maa külge	2	3	5	3
Vedrustatud pidurdussüsteem	2	1	1	5
Võimalik peale sõita	2	1	5	3
Võimalikult modulaarne	3	5	1	4
Tõstepunktid	1	3	3	3
Turvalisus 100% garanteeritud	3	3	3	3
Peab võimaldama ka muid teste	1	3	1	3
Kokku		149	143	167

Tuginedes hindamismaatriksile (tabel 4.3) osutus kolme potentsiaalse variandi vahel valituks kolmas lahendus (sele 4.3). Selle eeliseks räägivad lihtne ülesehitus, soodne hind, UGV-d ei pea modifitseerima testimiseks ning testseade võimaldab rakendamist ükskõik millise generatsiooni masina peal. Teiste lahenduste puhul tuleb vastavalt sõidukile modifitseerida kas testseadet või UGV-d ise, suurendades testiks ettevalmistusaega.

5 PROJEKTEERIMINE

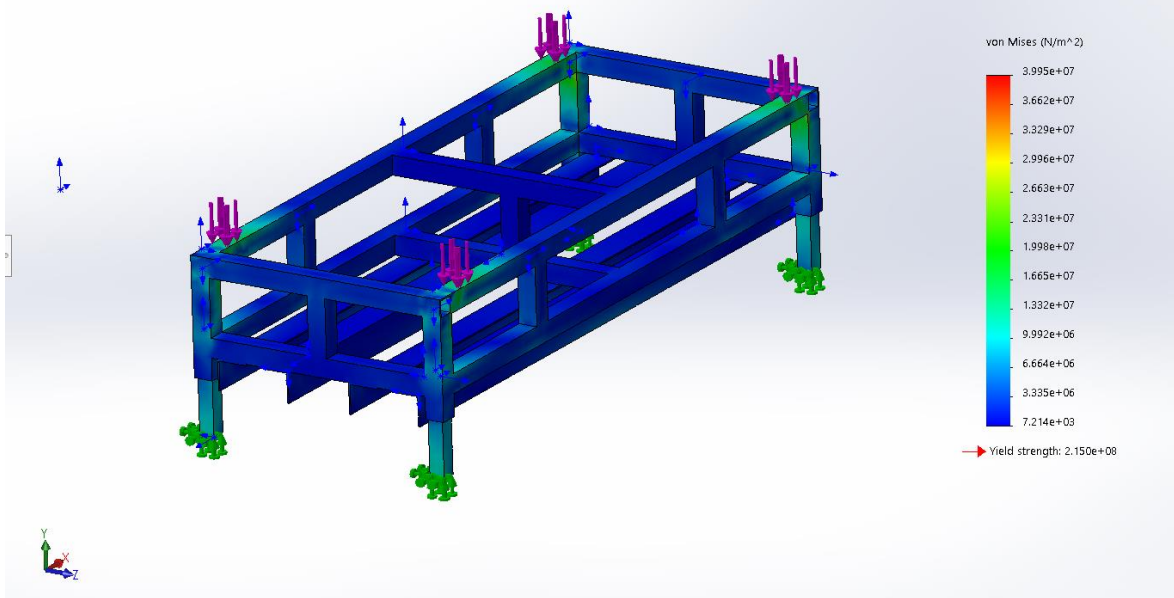
5.1 Alusraam

Alusraami projekteerimise valikul tuleb lähtuda järgmistest valikutest: konstruktsioon, materjal, tõstetavus, kinnitus. Projekti üheks tähtsaimaks faktoriks on võimalikult väike eelarve, seega alusraami disainimist alustades vaatasin laoseisu ning vastavalt sellele tegin esmase materjalivaliku. Raami projekteerimisel kasutasin S235 terasest 50x50x4 nelikanttoru, kõrguse muutmiseks sisestas raami 40x40x4 pikendatavad jalad, mille asendi saab kinni poldida. Vastavalt olemasolevale materjalile teostas tugevusarvutused, mille tulemusena on antud materjal alusraami ehituseks piisav. Masina kinnitamiseks on prototüübi puhul koormarihmad, raam võimaldab mitmest erinevast kohast kinnitamist. Pidurdusmehhanismi raam tuleb eraldiseisvana, sõiduki raami külge polditavana. Pidurdusmehhanismi raami puhul kasutan samuti S235 terasest 50x50x4 nelikanttoru. Allolevatel pildidel on kujutatud survepinge konstruktsioonile, tõstelaud on kinnitatud jäigalt neljast punktist ning koormus on jaotunud 4 tasapinna peale, imiteerides masina pooliühendavaid talasid. Iga punktile mõjub 5000 N, reaalne masina maksimaalne kaal on 2 t, millega on ka arvutused tehtud. Materjali S235 piirpinge on 235 MPa, maksimaalne mõjuv koormus konstruktsioonile on ~40 MPa (sele 5.2). Reaalsetes tingimustes on masina kaal ~1,3 t, seega mõjuvad tegelikkuses veelgi väiksemad jõud. Seel 5.1 on kujutatud roheliste nooltega kinnituspunktid ning siniste nooltega mõjuvad jõud.



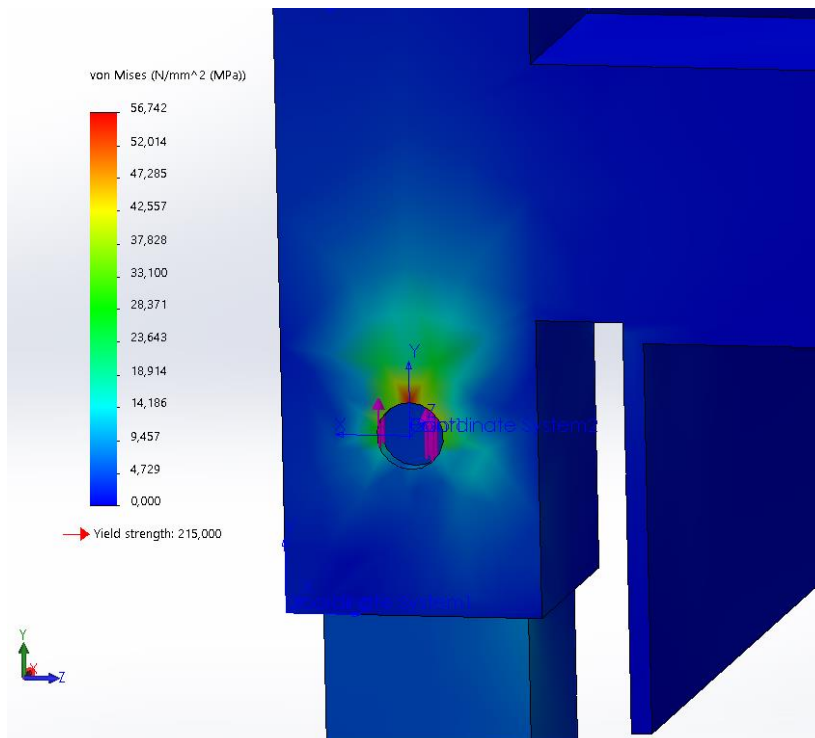
Sele 5.1 Lisatud jõud ning kinnituspunktid

Model name: Tõstelaud_assy
 Study name: Static 1(-Default-)
 Plot type: Static nodal stress Stress1
 Deformation scale: 1



Sele 5.2 Konstruktsiooni tugevusarvutus

Sele 5.3 on kujutatud FEM-itud tift, mis hoiab paigal väljatõmmatavaid jalgu. Kasutasin “*Bearing load*”, imiteerimaks reaalselt avale ja tiftile mõjuvaid koormusi. Jõud avalduvad igale jalal olevale läbivale avale, ehk kaheksale punktile kogu konstruktsiooni lõikes, 2500 N iga pinna kohta. Analüüsist selgus, et põhikonstruktsiooni jalale mõjus maksimaalselt 56 MPa, hetkel kasutusel olevad DIN 912 8.8 tugevusklassiga M12 poldile on aga lubatud maksimaalselt 800 MPa [6].



Sele 5.3 Tifti tugevusarvutus

Teostatakse käsiarvutuse poldi lõikele, et veenduda FEM arvutuse täpsuses.

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (5.1)$$

Kus:

τ = lõikepinge

Q = põikjõud

A = poldi ristlõikepindala

$$A = \pi * r^2 \quad (5.2)$$

Kus:

r = raadius

$$A = \pi * 6 \text{ mm}^2 = 113,04 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{5000}{113,04} = 44,23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Selgub, et FEM arvutus jääb sarnasesse suurusjärku, seega usaldatakse arvutust ning M12 polt on tiftina kasutamiseks piisav.

Järgnevalt pildid masina töstelauast (sele 5.4, 5.5), mille töö autor projekteeris ja valmistas 2018 a. suvel UGV testimiseks ning sealt sai alguse vajadus projekteerida lisaks töstelauale ka testseade, muutes testimise kiiremaks, efektiivsemaks ning produktiivsemaks. Antud töö raames teostati raamile kerged modifikatsioonid ning loodi mudel, joonis ning teostati tugevusarvutused. Pidurdusmehhanismi raami projekteerimine toimub järgnevas peatükis, kui on teostatud komponentide valik ning on teada jõuülekanne.



Sele 5.4 Masina töstelaua pealtvaade



Sele 5.5 Projekteeritud masina töstelaud/testseadme alusraam

5.2 Pidurdusmehhanism

Pidurdusmehhanismi valikul kaaluti kolme varianti: pidurdamist elektrimootoriga, pumbates vett või pidurdades õhuga. On veel erinevaid variante, kasutades näiteks mehaanilist pidurit, kuid testseadme eesmärk on sooritada kestvusteste, mille pikkus on mõõdetav tundides. Seega peab pidurdusmehhanism võimaldama pikka järjestikust tööd. Allolevates alapeatükkides kirjeldatakse iga lahenduse tööpõhimõtet ning tuuakse välja eelised ning puudused.

5.2.1 Elektrimootoriga pidurdamine

Elektrimootoriga pidurdades käitub mootor generaatorina, genereerides elektrienergiat. UGV testseadme pidurdusmehhanismis ühenduks masin läbi ülekande elektrimootori külge, millele läbi kontrolleri saab saata käsklusi erineva jõuga pidurdamiseks. Seeläbi on vaja genereeruv energia kuhugile paigutada, kas tagastada inverteriga vooluvõrku, tagastada UGV akupakki, kütta õhku vms. Järgnevalt tuuakse välja elektrimootoriga pidurdamise kasuks ja kahjuks rääkivad punktid.

Eelised:

- Pidurdusjõudu saab täpselt ette anda ning reguleerida
- Ei nõua lisainvesteeringuid (seadmed olemas)

- Logifailide tekitamine kerge
- Suur majasisene pädevus ja kogemus antud valdkonnaga
- Saadud energiat on võimalik uuesti ringlusesse saata
- Kompaktne ja suhteliselt hooldusvaba
- Modulaarne

Puudused:

- Elektrienergia tuleb kuhugile suunata
- Seadmed nõuavad programmeerimist
- Seadmed on kallid (ei mängi antud töö raames rolli)
- Süsteemi ehitus on keeruline

5.2.2 Vedeliku ringi pumpamine

Pidurdades UGV-d vedelikku ringi ajades, kantakse pöördliikumine UGV tähiku poolt läbi ülekande üle pumbale, mille ülesanne on vett pumbata. Pidurdusjõudu saab reguleerida vee hulgaga, kasutades vastavaid kraane või reguleerides kas kõrgust või vee ringluse pikkust. Antud lahendus eeldab kapitaalsemat testseadme ehitust ning ringi aetava vedeliku olemasolu. Samuti pole seadme kontrollimine ning algseadistamine kiire ega lihtne, eeldab pikka ettevalmistust.

Eelised:

- Süsteemi ehitus lihtne
- Koormust saab mehaaniliselt muuta
- Pidurdusjõudu on võimalik välja arvutada või anduritega mõõta
- Süsteemi maksumus küllaltki odav

Puudused:

- Süsteem pole paindlik
- Suur ruumivajadus
- Pikk *set-up* aeg.
- Vajab vedeliku olemasolu
- Oht leketele
- Andmete lugemine keerukas, eeldab tarkvara kirjutamist
- Andmete täpsus kaheldav

5.2.3 Õhuga pidurdamine

Õhuga pidurdamise tööpõhimõte on ühendada tiiviku labad läbi ülekande UGV tähiku külge ning pidurdusjõud tekib labade tekitavast takistusest, kui nad pöörlema hakkavad. Pidurdusjõudu saab muuta labade nurga ning mõõtmete muutmisega, mistõttu pole seade kiiresti modifitseeritav ning pidurdusjõu muutmine keset testi raskendatud. Samuti nõuab seade üüratut ruumi, et suuta tekitada piisavalt pidurdusjõudu. Ka ohutegur on antud lahenduse juures küllaltki suur, seade eeldab ohutuse tagamiseks eraldatud ruumi.

Eelised:

- Süsteemi ehitus lihtne
- Odav hind

Puudused:

- Labade murdumise ning vigastuste tekkimise oht
- Täpsete andmete saamine raskendatud
- Ei saavuta mõistlike mõõtmete juures piisavat pidurdusjõudu
- Suur ruumivajadus

5.2.4 Lahendus

Eeliste/puuduste analüüsile tuginedes ning peainseneridega aru pidades valiti testseadme parimaks lahenduseks elektrimootoritega pidurdamine. Eelkõige on elektrimootorite kasuks tehtud valik, kuna seadmed on ettevõttel olemas ning seisavad kasutamata, samuti on olemas suur majasisene pädevus ning oskus elektrimootorite ning nende kontrollite osas. Tarkvara kasutamine ning modifitseerimine on tänu hübriidsõiduki ehitusele ja teadmistele samuti omandatud. Alternatiivsed lahendused ei sobi eelkõige nende suurte mõõtmete ning väljundandmete ebatäpsuse poolest, samuti on piisava pidurdusjõu saavutamine kaheldav.

Elektrimootor on läbi ülekande ühendatud õhkratta külge, mis on surutud vastu UGV linti. Rehvi ja velje valikul pidas töö autor nõu Vianori tootejuhi, Riho Rannuga. Rattale seatud nõudmised olid järgmised: Läbimõõt võimalikult võrdne UGV veotähiku läbimõõduga, maksimaalne väändemoment 2000 Nm, võimalikult suur hõõrdetegur UGV lindi ja rehvi vahel. Riho Rannu poolt tehtud hinnapakkumine rehville alloleval pildil (Sele 5.6), mis on 1 mm suurema läbimõõduga, kui UGV veotähik, seega on sobilik mõõtude poolest. Lubatud maksimaalset väändemomenti ei osanud öelda. Suurema auto õhkratta kasutamine suurendaks küll lubatavat väändemomenti, kuid

suurendaks samuti ülekandearvu, mille tõttu muutub testseadme seadistamine keerukamaks. Kasutades võimalikult veotähikule sarnast läbimõõtu, saame kasutada samu andmeid elektrimootori pidurdamiseks, mida oleme kolme aasta testimise jooksul saanud UGV pealt.

Samas on valik oluliselt suurem, kui võtta kasutusele 14, 15 või 16 tolline ratas. See annab palju suurema rehvi ning velje valiku, mis teeb projekteerimise lihtsamaks ning parima lahenduse leidmise kergemaks. Veotähikust erinev suurus kompenseeritakse tarkvaraliselt. Ratta valik teostatakse vastavalt parimale võimalikule letikaubale. Velje suurust ei tohiks sealjuures vähendada tähiku diameetrist, vastasel korral võib muutuda testpingi elektrimootori pöörlemiskiirus suuremaks kui lubatud. Testseadmeks kõige sobilikum on kasutada terasvelge, kuna see on vastupidavam löökidele ning odavam [7].



Tehnilised andmed:

Rehvisuurus 4.50-10

Radiaal/Diagonaal D

TL / TT TL

LI / SI 76M

PR 6

Muster K364

Tootja Kenda

Laius (mm) 132

Välimine läbimõõt (mm) 496

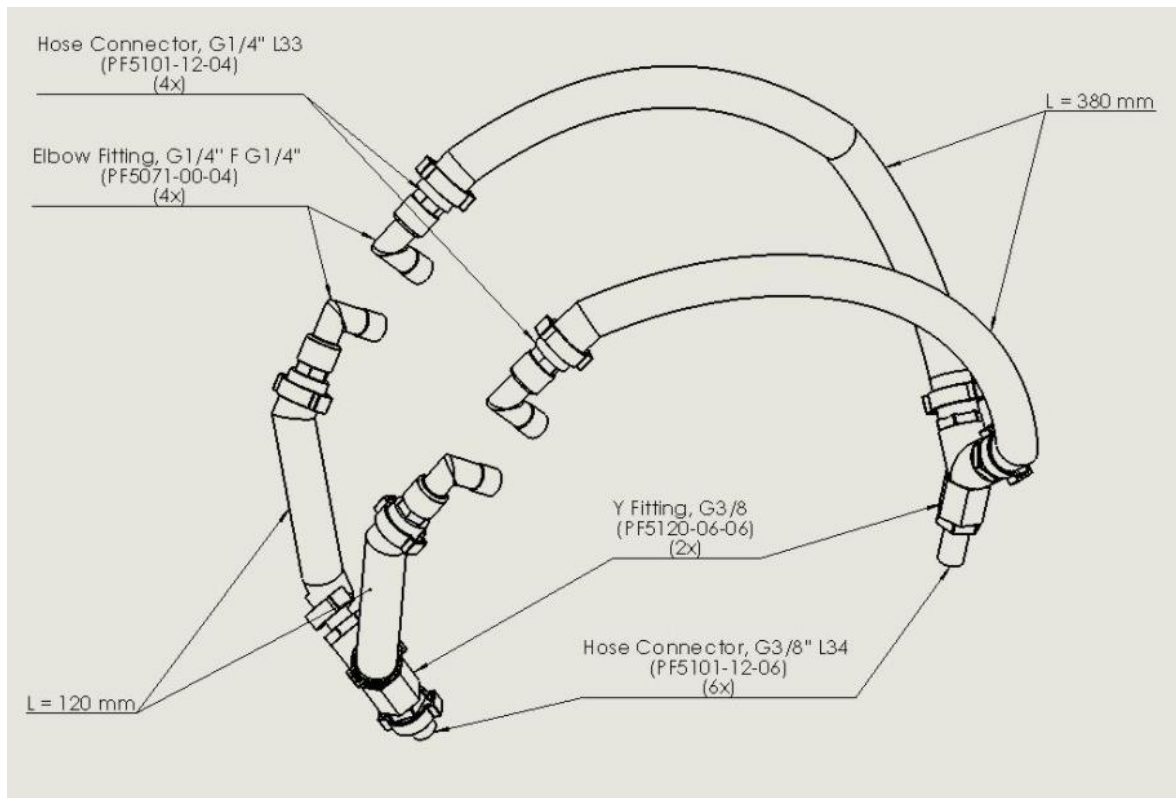
Rõhk (bar) 4.12

Kaal (kg) 4.19

Sele 5.6 Vianori tootejuhi poolt pakutud ratas [8]

Projekteerimiseks kasutatakse 14 tollist velge, laiusega 5 tolli, ET30, auguvalemiga 5x100, keskavaga 67 mm. See teeb velje ostmise lihtsaks, kuna sobivad kõik veljed, millel sama auguvalem ning sarnane ET [9]. Olemasolev elektrimootor Heinzmann PMS156W [10] on tüüpiline rummusisene mootor, mis oli kasutusel meie vanema generatsiooni masinatel. Tegu on vedelikjahutusega mootoriga, seega tuleb sellele projekteerida ka jahutussõlm. Elektrimootori jahutussõlm on kujutatud alloleval joonisel (sele 5.7), veomootorite jahutused ühendatakse enne radiaatorit kokku ning peale radiaatorit läheb jahutusring uuesti kaheks, kumbki suund eraldi elektrimootorisse. Elektripumbale 24 V toite saamiseks on UGV-l väljundpistik olemas, eraldi toidet seadmete jaoks vaja ei ole. Voolikuteks on elektrimootori jahutusringil kuni radiaatorini 13 mm

voolik, radiaatori sisend ja väljund on 19 mm, seega tuleb vahetult enne paigaldada 13 mm -> 19 mm üleminekukuuusk. Radiaatori ja pumba paigaldus teostatakse testseadme valmimisel koos mõõtmistega, kuna mootori jahutusvõimsuse tagamiseks peab vedeliku voolamiskiirus olema vähemalt 6 l/min. Radiaatori valikul kasutatakse Caterpillari C1.1 diiselmootori radiaatorit, seega omandatud kogemusest UGV jahutussüsteemi arendades ja prototüüpides piisab jahutusvõimsusest kindlasti.



Sele 5.7 Elektrimootorite jahutussõlm

5.3 Jõuülekanne

Jõuülekanne valiku puhul on oluline tagada alusraamiga masina ning pidurdusmehhanismi samateljelisus või lahendada antud probleem ülekanne valikuga. Võimalikud variandid, mida olen antud töö raames kaalunud on välja toodud allolevates alapeatükkides.

5.3.1 Ühendus flantside ja võlli abil, kasutades Rotex sidurit

Variants on kasutada Rotex sidurit [11] koos ühendusflantside ja võllidega. Siduri kasutus silub ära vibratsiooni ning võimaldab masina ning pidurdusmehhanismi paigutusega paindlik olla. Võlli arvutus:

Tugevustingimus

$$\tau = \frac{T}{W_p} \leq [\tau] \quad (5.3)$$

Kus lubatud väändepinge $[\tau] \approx (0,5...0,6)[\sigma]$

Kus:

τ = lubatud väändepinge

T = väändemoment

W_p = polaarvastupanumoment

Lubatud tõmbepinge:

$$[\sigma] = \frac{R_{EH}}{[S]} = \frac{235}{1,5} = 157 \text{ MPa} \quad (5.4)$$

Seega:

$$[\tau] \approx (0,5...0,6) [\sigma] = (0,5...0,6) * 157 = (78,5...94,2) \text{ MPa.}$$

Valime keskmise väärtuse,

$\tau = 86 \text{ MPa}$

$$W_p \geq \frac{T}{[\tau]} = \frac{2000}{86 \cdot 10^6} = 23 \text{ cm}^3 = 23000 \text{ mm}^3 \quad (5.5)$$

$$T_t = \frac{M_t}{W_p} = \frac{2000000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{23000 \text{ mm}^3} = 87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (5.6)$$

Kus: T_t = väändepinge

Kuna täisringi polaarvastupanumoment $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$, siis võlli minimaalne diameeter =

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 2000}{\pi[86 \cdot 10^6]}} = 0,049 \text{ m} = 49 \text{ mm} \quad (5.7)$$

Selgub, et võlli läbimõõt oleks minimaalselt 49 mm ning süsteemi puhul oleks vajadus võimalikult täpselt tagada samateljelisus.

5.3.2 Sõiduki pooltelg

Sõiduki pooltelje puhul on tegemist ostutoote lahendusega, kuid projekteerida tuleb elektrimootorile ning õhkrattale kinnitused. Antud lahenduse miinuseks on testseadme ning pidurdusmehhanismi kaugus, kuna pooltelgede pikkused on vastavalt autode disainile fikseeritud, muutes kogu seadme gabariitmõõtmeid suuremaks. Samuti tuleb detaili valikul tähelepanu pöörata, et detail peab tulema üsnagi võimsa auto pealt, mis suudab rattast 2000 Nm väändemomenti tekitada. Selline lahendus võib kujuneda kulukaks.

5.3.3 Kettülekanne

Kettülekanne puhul on tegu äärmiselt lihtsa disainiga ning enamus komponente on saadaval ostutoodetena. Halvimal juhul on vajadus projekteerida hammasratastele flantsid. Kettülekanne suur eelis on lihtsa vaevaga ülekandearvu muutmine, mis teiste lahenduste puhul on raskendatud. Seega saab vajadusel kergesti muuta elektrimootori pöörlemiskiirust, kui selleks peaks vajadus tekkima. Selle lahenduse puhul pole rehvi läbimõõt nii oluline ning lõppülekandega saab korrigeerida rattale mõjuvaid jõudusid ning elektrimootori pöörlemiskiirust.

Programmiga KISSsoft [12] teostati arvutused kettülekandele, tulemused on kuvatud allolevatel piltidel. Teguriks valiti 1,0, kuna masin on testpingis statsionaarne (sele 5.10). Valitud kett: DIN ISO 606:2012 120H-1, *pitch* 38,1 mm, 1 realine (sele 5.11). Hammaste arv on 25, programm suudab kuvada ka hammasratta kuju DXF-na juhul, kui kettülekanne lahenduseks sobilikuks osutub. Kettülekanne puhul saab ka korrigeerida ülekandearvu, muutes ratta läbimõõdu valimise teisejärguliseks ehk diameetri muutumist saab kompenseerida ülekandearvuga. Samuti saab testpingi hammasratta vahetusega suurendada või vähendada koormust UGV-le, mis annab võimekuse mehaaniliselt koormust seadistada. Kettülekanne jõu ja kiiruse graafik kujutatud selel 5.12.

Information			
Procedure of the driven machine	Procedure of the driving machine		
	continuous, without impacts	light impacts	moderate impacts
continuous, without impacts	1,0	1,1	1,3
moderate impacts	1,4	1,5	1,7
heavy impacts	1,8	1,9	2,1

Sele 5.10 Kettülekande arvutuse parameetrid [12]

Chain drives Configuration

Operating data

Nominal power P_n 16.0000 kW

Application factor f_1 1.0000

Input speed n_1 240.0000 1/min

Output speed n_2 240.0000 1/min

Geometry

Label	Type	p [mm]	n_s
DIN ISO 606:2012 60H-1	60H	19.0500	1
DIN ISO 606:2012 60H-2	60H	19.0500	2
DIN ISO 606:2012 60H-3	60H	19.0500	3
DIN ISO 606:2012 80H-1	80H	25.4000	1
DIN ISO 606:2012 80H-2	80H	25.4000	2
DIN ISO 606:2012 80H-3	80H	25.4000	3
DIN ISO 606:2012 100H-1	100H	31.7500	1
DIN ISO 606:2012 100H-2	100H	31.7500	2
DIN ISO 606:2012 100H-3	100H	31.7500	3
DIN ISO 606:2012 120H-1	120H	38.1000	1
DIN ISO 606:2012 120H-2	120H	38.1000	2
DIN ISO 606:2012 120H-3	120H	38.1000	3
DIN ISO 606:2012 140H-1	140H	44.4500	1

Number of chain links N_L 52

Center distance a 514.3341 mm

Ratio i 1.0000

Number of teeth z_1 25

Number of teeth z_2 25

Tensioning pulley

Configuration without tensioning pulley

Number of teeth z_3 0

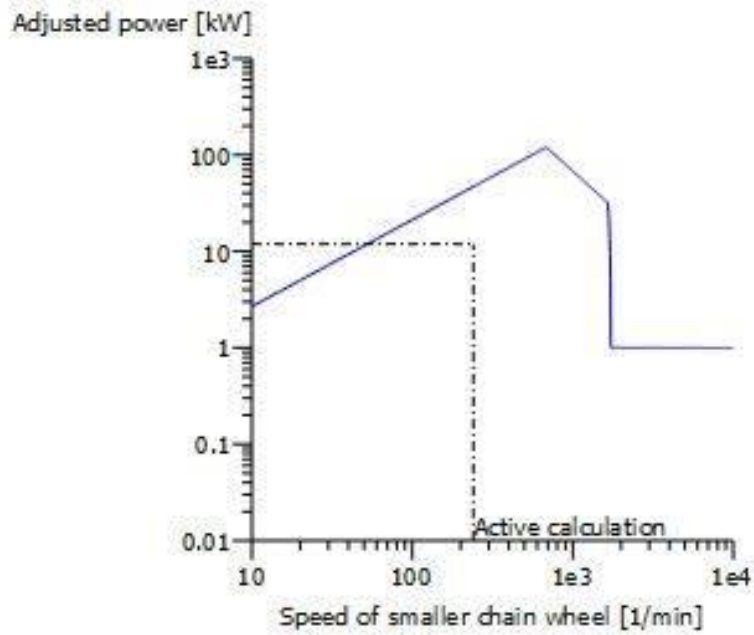
X-coordinate 252.4142 mm

Y-coordinate 172.9059 mm

Results

Operating power	P_{max}	11.8959	kW
Permissible power	P_{zul}	46.7809	kW
Speed of chain	v	3.8100	m/s
Utilization	A	25.4291	%

Sele 5.11 Kettülekande arvutus tehtud tarkvaras KISSoft [12]



Sele 5.12 Kettülekande kiiruse ja jõu graafik [12]

Antud arvutustele vastab Alas-kuuli kataloogist järgmine kett [13] (sele 5.13):

BS European standard chains

WIPPERMANN RULLPUKSKETT

SKU: 24B1W EAN: 2600000135082

Saadavus: 19

126,10 €/m + km 20%

Toodet Wippermann rullpukskett saab lisada sammuga 5

- 5m +

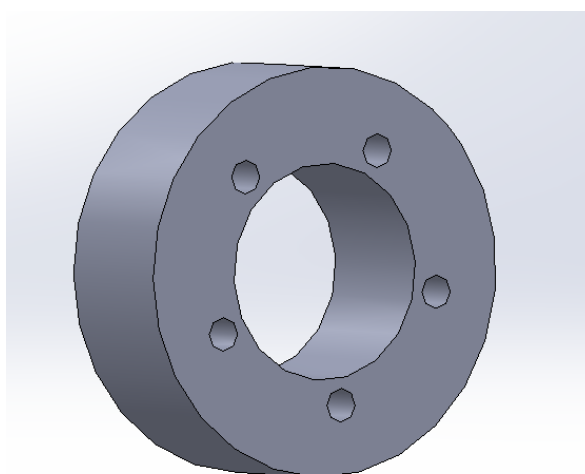
TOOTE SPETSIFIKATSIOON

Laokood	24B1W
Samm P, mm	38.100
Rulli diam d1, mm	25.40
Siselaius b1, mm	25.40
Tapi diam d2, mm	14.63
Tapi pikkus L, mm	53.40
Tapi pikkus Lc, mm	57.8
Siseplaadi kõrgus h2, mm	33.20
Plaadi paksus t, mm	6.00
Plaadi paksus T, mm	4.80
DIN katkemisjõud Q min, kN	160.0
Keskmine katkemisjõud Q0, kN	178.0

Sele 5.13 Valitud kett [13]

5.3.4 Flantsiga jäik ühendus

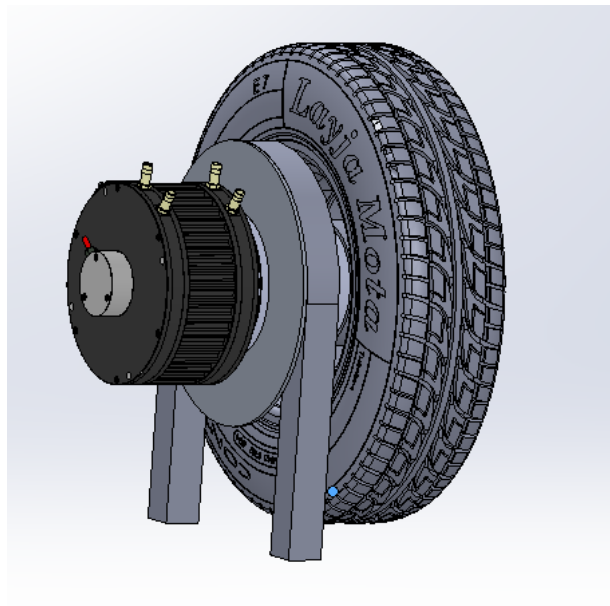
Flantsiga õhkratta ühendamise puhul on suureks eeliseks disaini lihtsus ning vea- ja purunemisohtlike detailide puudumine. Antud lahenduse puhul on õhkratas ühendatud otse ülekande külge, muutes lahenduse kompaktsuks. Ainus projekteerimist vajav detail on flants, mis on laserlõigatav, seega kergesti kättesaadav ning soodsa hinnaga. Suure materjali paksuse juures saab flantsi koostada mitmest osast. Samuti saab flantsi disaini muutes vahetada vajadusel õhkrattaid, jättes muu disaini samaks. Flantsi muutmise abil saab kasutada erinevat auguvalemit, samuti saab flantsi paksusega mängides kompenseerida erinevate rataste ET väärtuseid. Lahenduse miinuseks on jäik disain, ülekandearvu muutmine pole võimalik, koormust on võimalik seadistada vaid tarkvaraliselt. Sele 5.14 on kujutatud vaheflants ühendamaks ülekande õhkrattaga. Prototüübi puhul on flantsi paksuseks 60 mm, et tagada ratta vaba pöörlemine. Leides optimaalsema ratta on võimalik flantsi mõõtmeid vähendada, kuid sellisel juhul on risk, et poltliide jääb materjali vähesuse tõttu nõrgaks. Vaheflantsi vahetades või ümbertööteldes saab lihtsa vaevaga muuta ka õhkratast juhukuks, kui testimise käigus peaks esinema probleeme valitud komponendiga.



Sele 5.14 Prototüüp vaheflants

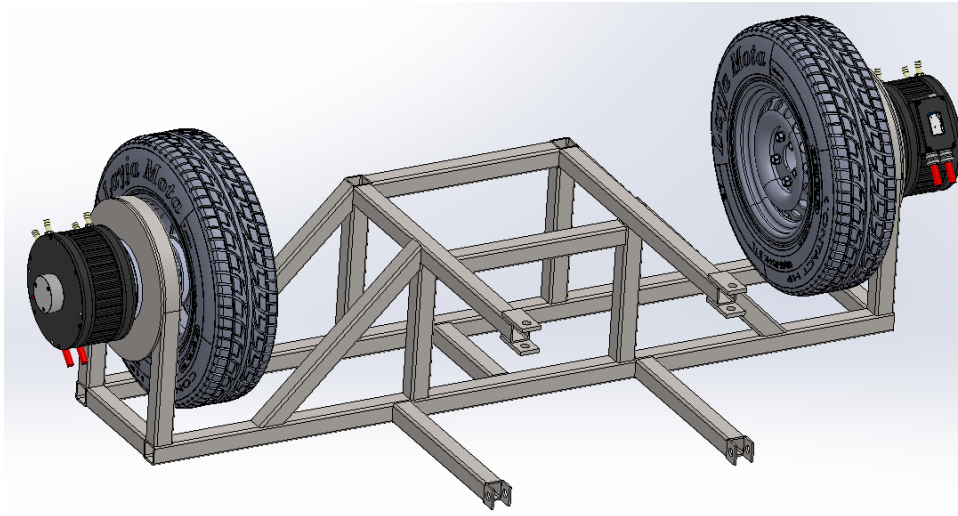
5.3.5 Lahendus

Jõuülekanne parimaks lahenduseks kujunes Milrem AS peainseneri Lauri Jürgeniga arutades viimane lahendus: jäik ühendus flantsi abil. Lahenduse kasuks osutus tema kompaktne ning töökindel, samas lihtne disain (Sele 5.15). Samuti on antud disaini eeliseks tema hind, mis on prototüüpimise puhul olulise tähtsusega ning ratta valikust ei sõltu kuigi palju, flantsi muutmise abil saab ratta eripärasid korrigeerida. Elektrimootor on ühendatud painutatud toruraami külge koos kinnitusflantsiga, õhkratas kinnitub ülekanne külge. Mõlemad on ühendatud poltliitega, elektrimootor DIN 933 M10 poltidega ning ratas DIN 7500D M14 poltidega [14].



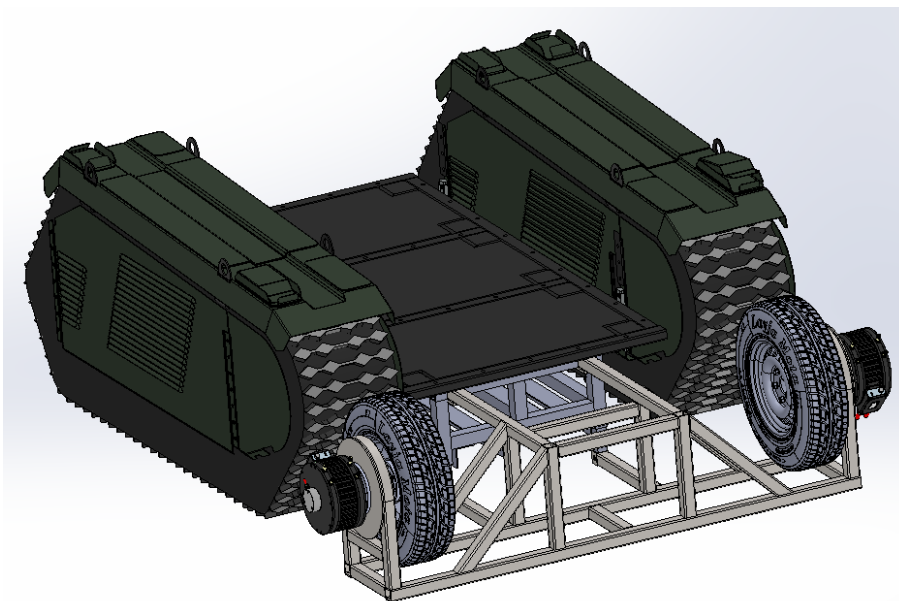
Sele 5.15 Võimaliku lahenduse disain

6 LÕPLIK DISAIN



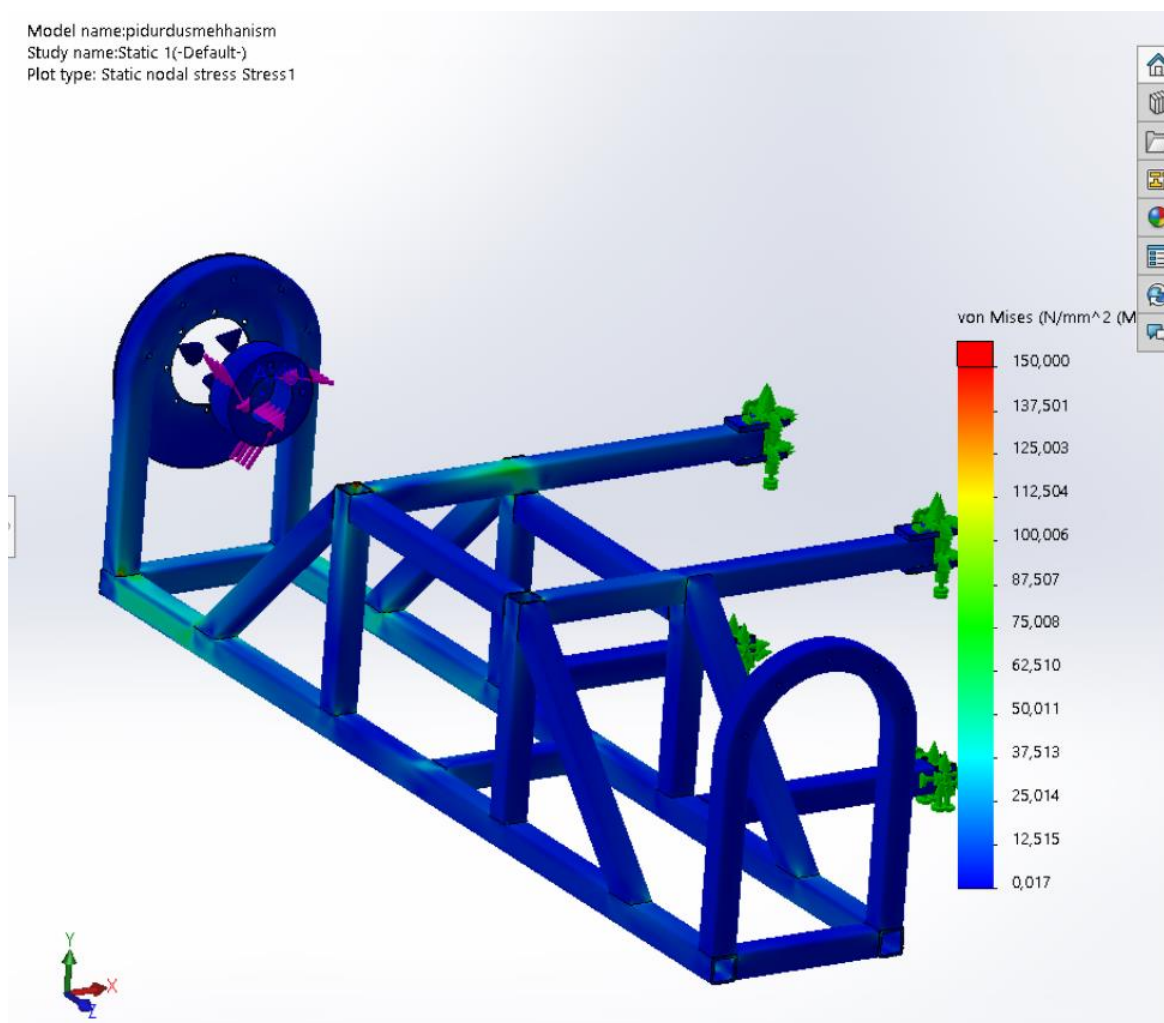
Sele 6.1 Testseadme prototüüp mudel

Kombineerides omavahel masina alusraami, ülekande ning pidurdusmehhanismi, projekteeriti antud töö käigus pidurdusmehhanismile oma alusraam 50x50x4 mm S235 terasest nelikanttorust (sele 6.1). Pidurdusmehhanismi raam kinnitub klambrite abil masina tõsteraami külge, mis teeb disaini modulaarseks ning hoiustamise lihtsamaks. Tiftiks kasutatakse DIN 933 M10 polti. Raamile loodi võrestikkonstruksioon, et võimaldada suuremat modulaarsust, rihmadega masina kinnitamist ning raami külge jahutussüsteemi ja elektroonikakomponentide kinnitamist (sele 6.2). Toruraam ning klambri kõrvad on keevitatud, antud töö plaanib autor ise teostada.



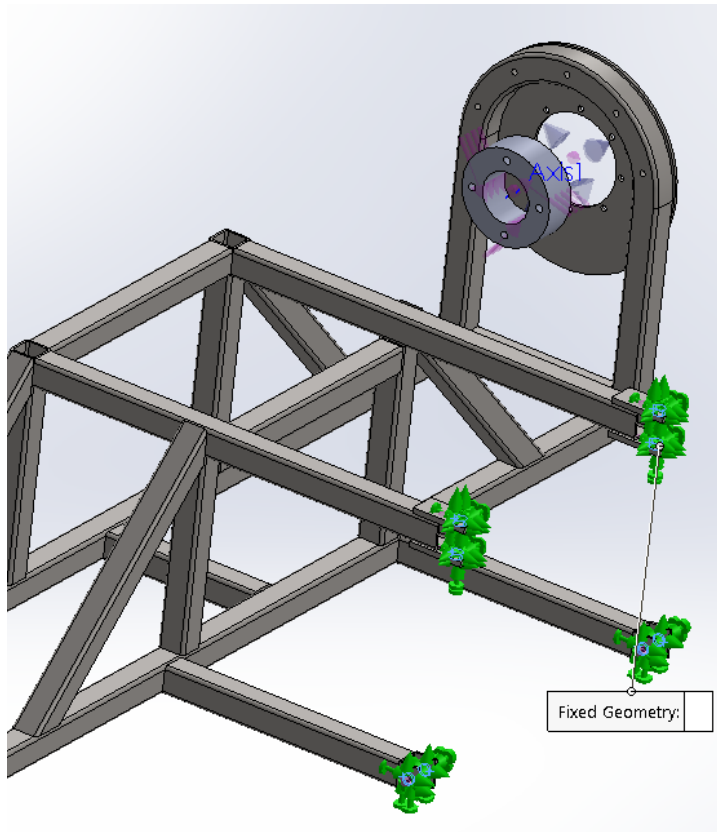
Sele 6.2 UGV koos testseadmega

Pidurdusmehhanismi raamile teostati tugevusarvutused aru saamaks, kas raam on piisavalt tugev pidurdamaks UGVd maksimaalse elektrimootorite poolt arendava võimsusega. Rajatingimused on kirjeldatud seel 6.3 ja allolevas tekstis.



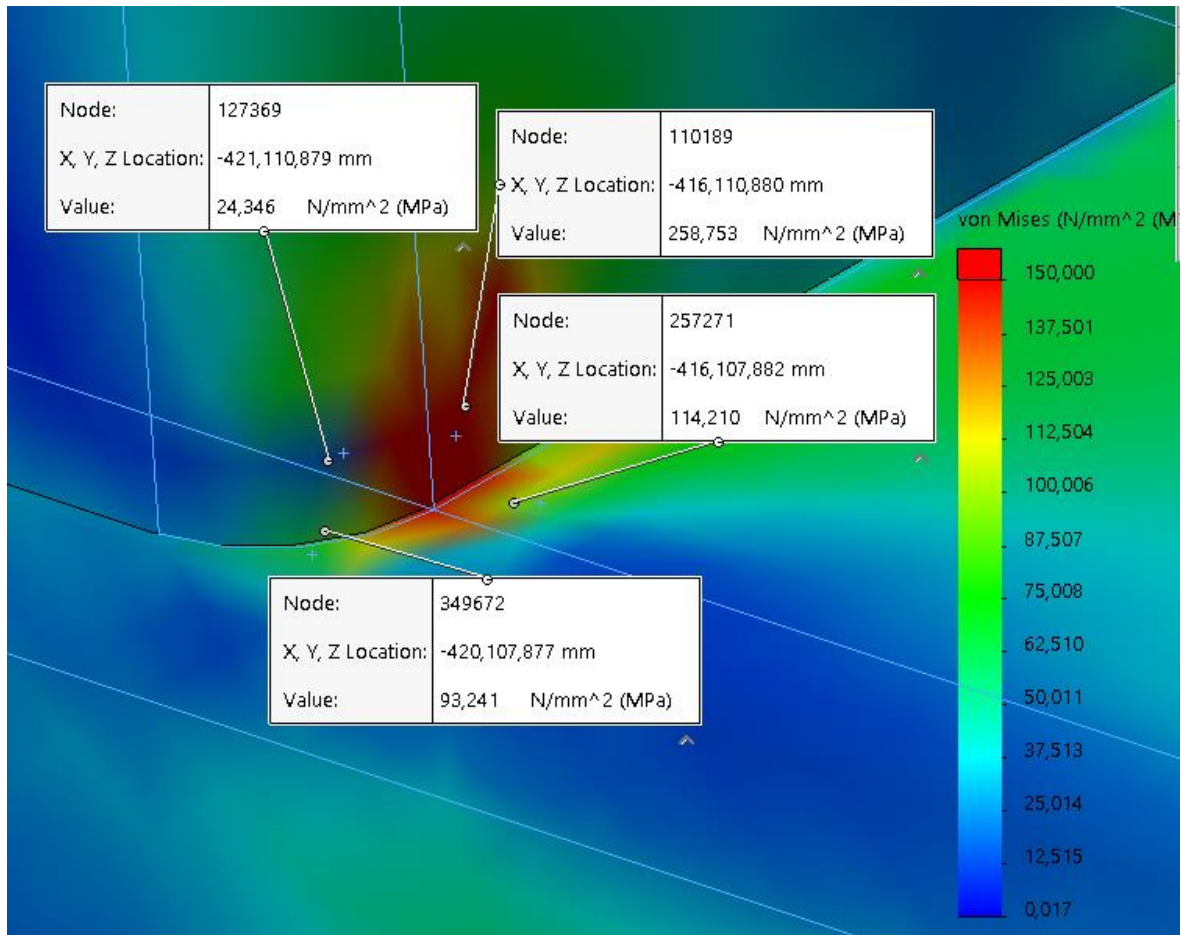
Sele 6.3 Rajatingimused ja tugevusarvutus

Autor fikseeris pidurdusmehhanismi raami neljast klambrist (sele 6.4), mis ühendavad seadet tõstelauaga. Samuti loodi *virtual wall* raami põhja alla, läbi mille on raam toetatud, mitte jäigalt kinnitatud. Sellega simuleeriti pidurdusmehhanismi reaalset kinnitust tõstelaua külge.



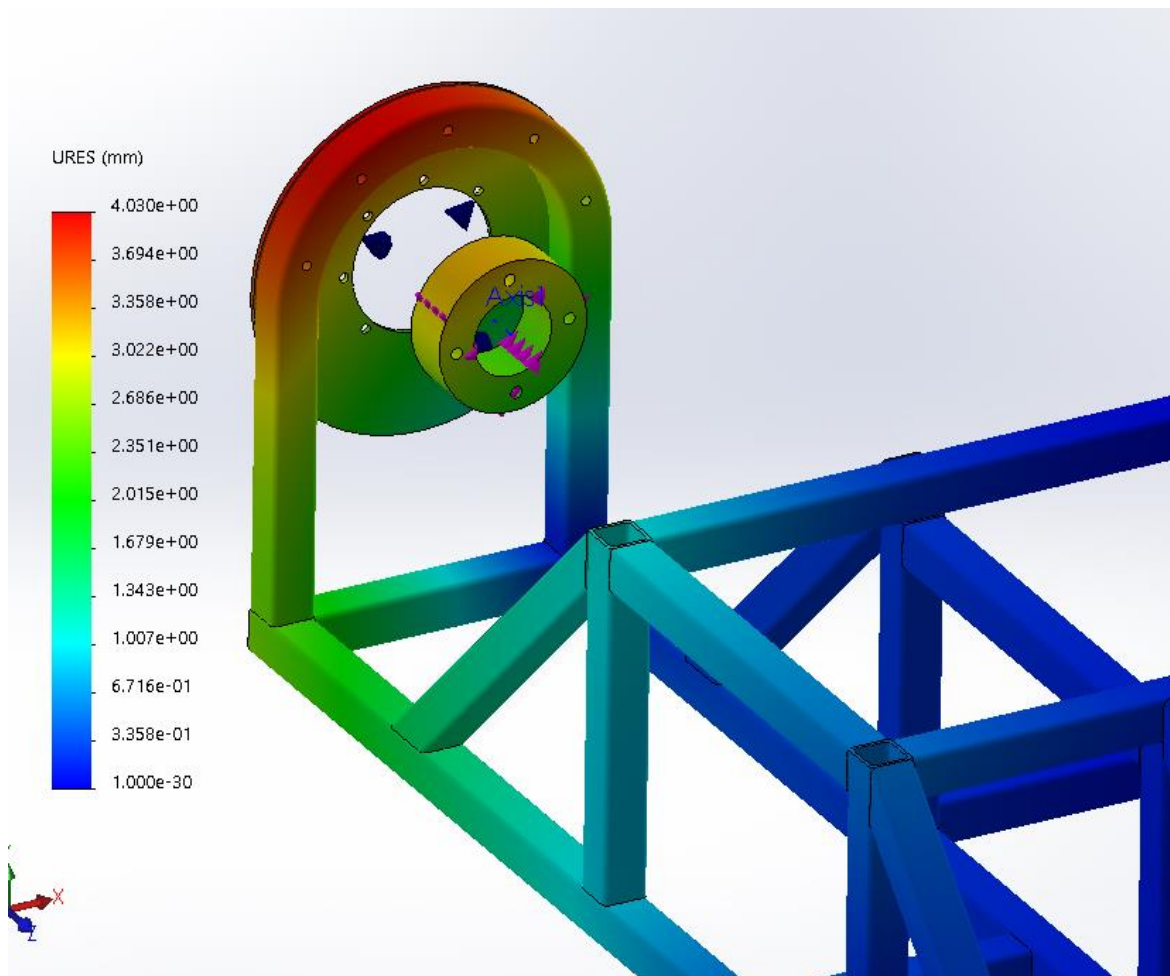
Sele 6.4 *Fixed geometry* tüüpi ühendused raami kinnitamiseks

Järgnevalt kaotati ära koostust elektrimootor koos ratta ja ülekandega, lihtsustades seeläbi mudelit ja vähendades arvutusaega. Ühendusflants seoti elektrimootori kinnitusplaadi külge, muutes süsteemi jäigaks kasutades funktsiooni *rigid connection*. *Mesh*-i tehes valiti alusraami ning elektrimootori kinnitusdetailide elemendi suuruseks 5 mm, ülejäänud detailidel 25 mm. Sellega on tagatud kriitilistele detailidele võimalikult täpne analüüs, vähendades väheoluliste detailide arvelt arvutusaega. Muutes *mesh*-i elementide suurust 3 mm peale, jäid tulemused sarnasesse suurusjärku, seega ei olnud otstarbekas elemente väiksemaks muuta. Flantsile lisati moment 2000 Nm, millega selgus, et mõjuvad jõud küll ületavad materjali voolepiiri, milleks on 235 MPa, kuid nad on kontsentreeritud kahe tala vahelisele ühendusele. Ümberringi on pinged märksa paremad, seega on alust arvata, et tegu on elementide võrgustikust tuleneva eripäraga ning on tekkinud *hot spot*. Samuti pole mudelis keeviskaatetit, mis ühtlustab ja silub pingekontsentraatoreid (sele 6.5).



Sele 6.5 Raami tugevusarvutus - pingekontsentratsioon

Läbipaine on analüüsi alusel maksimaalselt 4 mm, nagu selgub selel 6.6. Kuna tegu on maksimaalse momendiga 2000 Nm, mida praktiliste testide puhul saavutada on vähetõenäoline, siis jääb deformatsioon normide piiresse. Samuti silub õhkratas ära mõjuvaid pingeid. Sellega seoses võib järeldada, et pidurdusmehhanismi raam peab vastu ka maksimaalsete koormuste testile, rääkimata tootmisjärgsest testist, kus mõjuvad jõud on oluliselt väiksemad. On näha, et tsentris on deformatsioonid veelgi väiksemad





Sele 6.6 Raami läbipaine analüüs

Antud analüüsist selgus, et kasutatud materjal ning raami disain peavad vastu testseadmele seatud nõudmistele ning on suutelised maksimaalsel võimsusel testimisele vastu pidama. Antud disaini puhul on rõhku pööratud konstruktsiooni lihtsusele, mitte massi optimeerimisele, lisades seega võimekuse raami modulaarselt kasutada.

6.1 Elektroonika ja tarkvara

Testseadet projekteerides lõi töö autor projektijuhtimise tarkvara Jira kaudu testiosakonnale ülesande läbi viia erinevate kiiruste ja koormuste juures erineval maastikul katsed (sele 6.3), mille tulemusena on võimalik ära kaardistada vajaliku pidurdusjõu simuleerimaks testseadmega maastikul käimist. Testi tulemusel saadud andmeid kasutab tarkvaraosakond erinevate sõiduprofiilide kirjutamiseks, mis UGV kasutajaliidesest läbi CAN-busi elektrimootoritele saadetakse. Seega saab valida erinevat pidurdusjõudu, mis vastab reaalsele tingimustele, millega soovitakse UGV-d testida. Testi info on nähtav alloleval pildil. Tulemuste saavutamiseks on vajalik

tootmistsükli lõpetamine, et kasutatav info oleks saadud viimase generatsiooni UGV-ga, mis on esmakordselt prototüübi staatusest välja kasvanud reaalseks tooteks ning edasised testid viiakse läbi just selle masinaga.

Type:	 Test	Status:	TO DO (View Workflow)
Priority:	 High	Resolution:	Unresolved
Affects Version/s:	None	Fix Version/s:	None
Component/s:	Development		
Labels:	None		
Environment:	Described in description		
Manual Test Steps:			

▼ Description

Please conduct following test:

Measure the average torque and amperage of type 4.5 while driving on different terrains and with different load. This is needed to get values for the automated testing device brake mechanism. We can tune the braking force as similar as possible with real world conditions and use predefined settings to simulate driving on needed terrains with payload. Every test has to have as similar as possible conditions regarding speed, chosen track and payload. I recommend predefining the speeds through UI to get the most accurate results.

Test 1:

Terrain: Soft sand

Load: 0kg-750kg (with 100kg steps)

Speed: walking speed; running speed(reduced mode maximum); maximum speed

Test 2:

Terrain: Tarmac

Load: 0kg-750kg (with 100kg steps)

Speed: walking speed; running speed(reduced mode maximum); maximum speed

Test 3:

Terrain: Forest

Load: 0kg-750kg (with 100kg steps)

Speed: walking speed; running speed(reduced mode maximum); maximum speed

Sele 6.3 Testseadme jaoks vajaliku testi kirjeldus

Elektroonika põhimõtte skeem on kujutatud alloleval pildil (sele 6.6), kust selguvad teostatavad ühendused. UGV-poolne pistik, kust võetakse testseadmele nii toide kui ka tagastatakse tekkinud vool, on kujutatud selel 6.4, 6.5. Kasutusel on Amphenoli AIB30RV22-1SC veekindel pistik [15].



22-1

2-#8



D

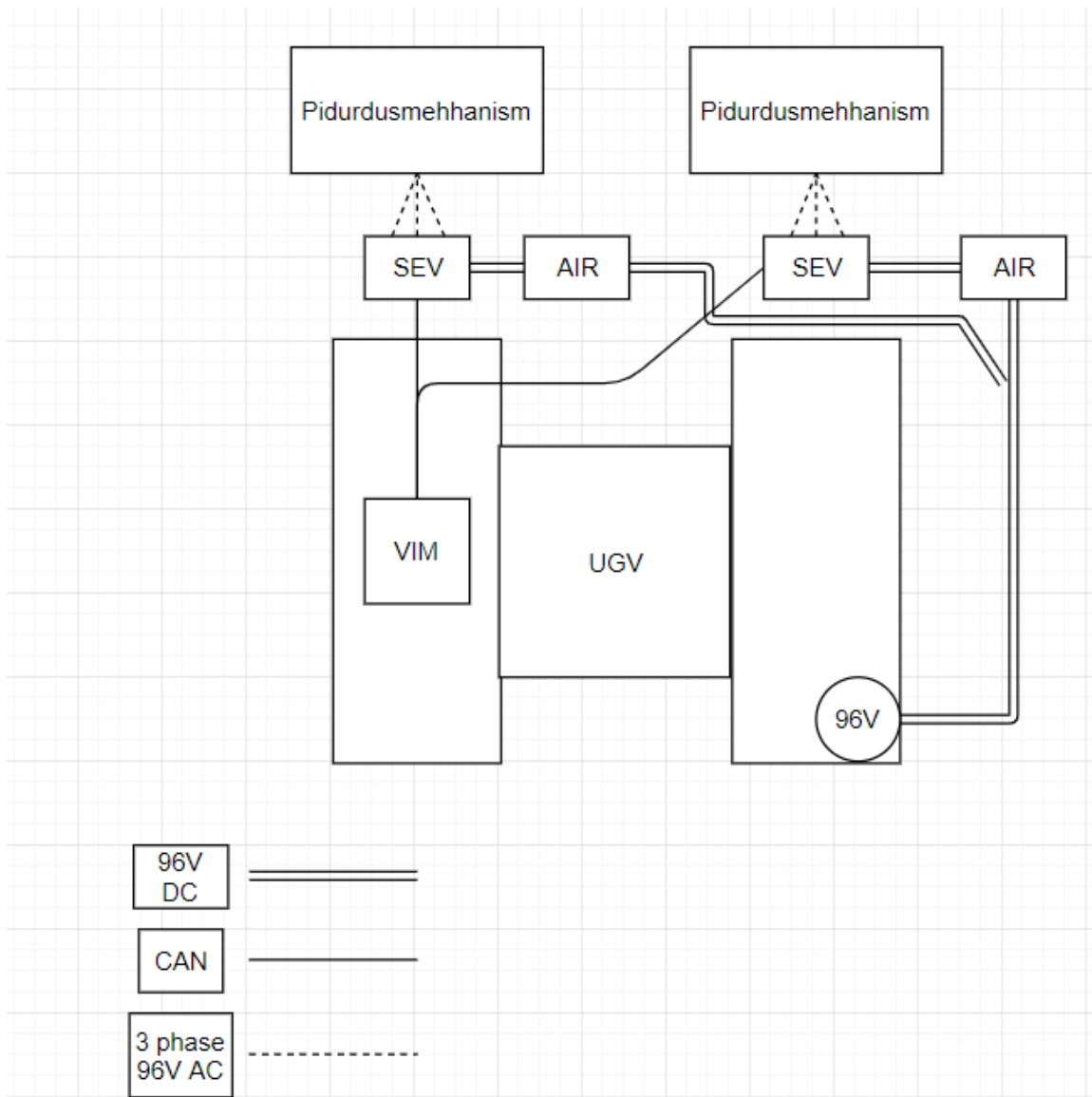
Sele 6.4 UGV akupaki *power output* pistik [15]

Current Rating

CONTACT SIZE	TEST CURRENT (AMPS)
16/16S	13
12	23 (60)*
8	46 (69)*
4	80 (120)*
0	150 (225)*

*Test amps, multiconductor using Radsok contact

Sele 6.5 Pistiku andmeleht [15]



Sele 6.6 Testseadme elektroonika põhimõtteskeem

Sele 6.6 kujutatud skeemilt selgub, et kasutatakse masina akupakki ka pidurdusmehhanismi käitamiseks. Skeemil olev AIR tähistab kontaktorit, VIM tähistab *Vehicle Interface Module*, läbi mille toimib masina ning kasutajaliidese vaheline suhtlus, sama liini kasutatakse ka pidurdussüsteemi ning UGV sünkroniseerimiseks, et tagada sujuv töö. SEV tähistab inverterit, mille ülesanne on 96 V alalisvool muundada elektrimootorile sobivaks 96 V kolmefaasiliseks vahelduvvooluks. Inverteri põhimõtteskeem kujutatud sele 6.7. Skeemil kujutatud *isolator* antud lahenduse puhul akupakis sees, kus nii + kui ka – ahelal on kontaktorid vahel. *Line contactor* on seel 6.6 kujutatud AIR, *key switch* on masina akupakist tuleb 96 V, mida saab lülitada läbi UGV kasutajaliidese, muutes *Power Output* väljund kõrgeks. *CAN bus* signaal tuleb VIM-ist, läbi mille on sünkroniseeritud masin ja pidurdusmehhanism.

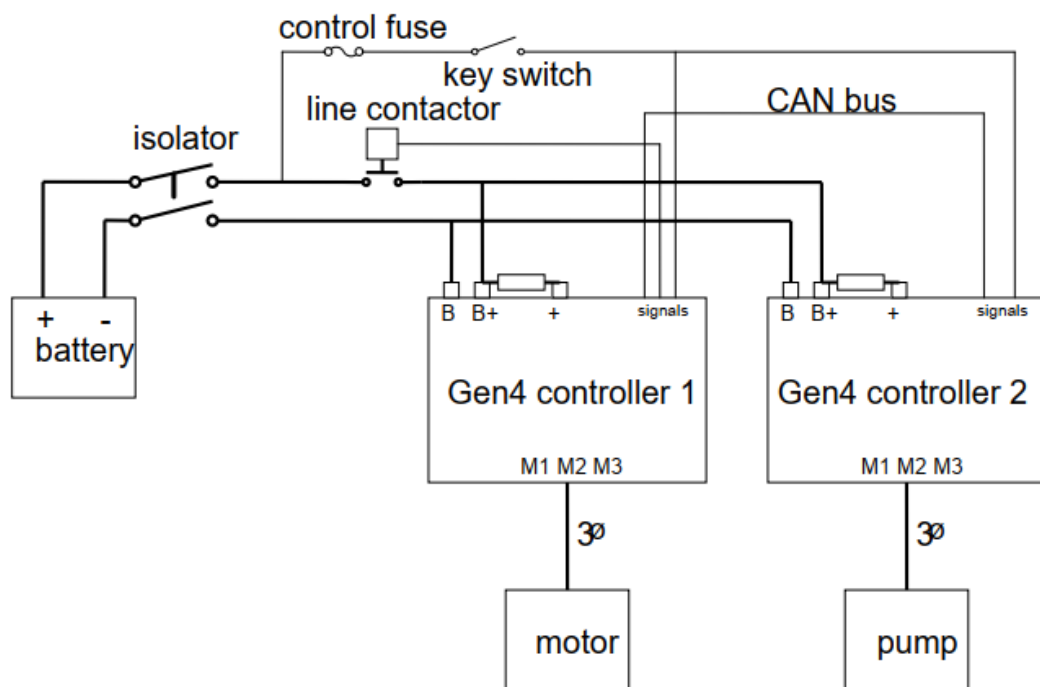


Figure 3 Truck system components

Sele 6.7 Inverteri põhimõtteskeem Sevconi andmelehel [18]

Järgnevalt arvutused elektrimootoritest genereeruva energia leidmiseks. Maksimaalse voolutugevuse leiame pärast inverterit alalisvoolu ahelas:

$$P = U * I \tag{6.1}$$

$$I_1 = \frac{P}{U} = \frac{30 \text{ kW}}{100 \text{ V}} = 300 \text{ A}$$

Nominaalvoolutugevus:

$$I_2 = \frac{P}{U} = \frac{16 \text{ kW}}{100 \text{ V}} = 160 \text{ A}$$

Kus:

P = võimsus (mootori andmelehel)

U = pinge

I = voolutugevus

Võttes arvesse UGV voolubilansi, mille parimal juhul suudab diisलगeneraator toota $U=108$ V juures 13 kW, saame:

$$I_3 = \frac{P}{U} = \frac{13 \text{ kW}}{108 \text{ V}} = 120 \text{ A}$$

Maksimaalne voolutugevus, mida AGM aku suudab sisse võtta, on 10-30% mahtuvusest [16]. Seega 80 Ah akut võib laadida maksimaalselt 24 A-ga, et säilitada aku maksimaalne eluiga.

Meie rakenduse puhul on maksimaalne generaatorivool 100 A, enamuse energiast tarbivad ära otse elektrimootorid, kuid akude kahjustuse risk on endiselt suur.

Vastavalt teostatud katsetele on mootori, ülekande ning inverteri kasutegur $\eta = 90\%$. Kuna samad seadmed on nii UGV-l endal kui ka testseadmel, tuleb arvestada kahekordse energiakaoga.

Seega maksimaalne ühe mootori poolt toodetud energia:

$$I_{Kasulikmax} = \eta * I_1 \quad (6.2)$$

$$I_{Kasulikmax} = 0,9 * 300 \text{ A} = 270 \text{ A} * 0,9 = 243 \text{ A}$$

Nominaalvõimsusel töötades:

$$I_{Kasuliknom} = \eta * I_2$$

$$I_{Kasuliknom} = 0,9 * 160 \text{ A} = 144 \text{ A} * 0,9 = 129,6 \text{ A}$$

Maksimaalne akupakki tagastatav energia arvestades, et UGV-l on kaks elektrimootorit:

$$243 \text{ A} * 2 = 486 \text{ A}$$

Nominaalvõimsusel tagastatav energia:

$$129,6 \text{ A} * 2 = 259,2 \text{ A}$$

Kogu võimalik pidevalt genereeritav energia:

$$100 \text{ A} + 259 \text{ A} = 359 \text{ A}$$

Kus:

100 A = generaatorist saadud energia

259 A = testseadme tagastatav energia

Masina maksimaalne nominaalvõimsus testseadmel neutraalse energiabilansiga:

$$P = U * I$$

$$P = 108 \text{ V} * 359 \text{ A} = 38,8 \text{ kW}$$

Ühe mootori kohta:

$$\frac{38,8 \text{ kW}}{2} = 19,6 \text{ kW}$$

Vähendades generaatori voolutugevust 35 A-ni, saame tulemuseks:

$$P = 108 \text{ V} * 294 \text{ A} = 31,8 \text{ kW}$$

Ühe mootori kohta:

$$\frac{31,8 \text{ kW}}{2} = 15,9 \text{ kW}$$

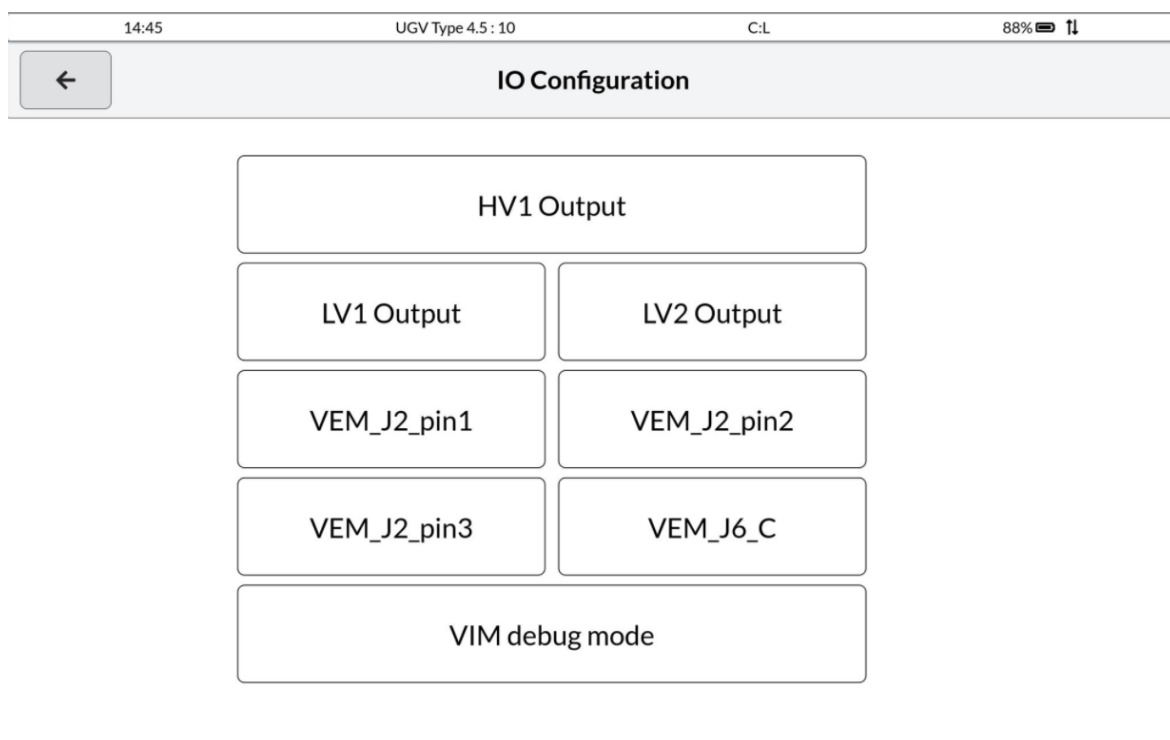
Seeläbi kasutame ära kogu regenereeruva energia, vähendades generaatori koormust ning võimaldades koormata mootoreid nende nominaalvõimsusel. Vastavalt kaabli ristlõikepindala tabelile [17] (sele 6.8) valime sobiva ristlõikega kaabli: AWG 0 , ehk $\sim 50 \text{ mm}^2$ vaskkaabel suudab anda pidevalt edasi 150 A voolutugevust.

AWG gauge	Conductor Diameter Inches	Conductor Diameter mm	Conductor cross section in mm^2	Ohms per 1000 ft.	Ohms per km	Maximum amps for chassis wiring	Maximum amps for power transmission
0000	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	380	302
000	0.4096	10.40384	84.9	0.0618	0.202704	328	239
00	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	283	190
0	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	245	150
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	211	119

Sele 6.8 Vaskkaabli ristlõikepindala tabel [17]

6.2 Testseadme tööpõhimõte

Alusraami külge polditakse esmalt klambrite abil pidurdusmehhanism. Seejärel positioneeritakse UGV alusraamile nii, et õhkratas puutub vastu linti. Masina fikseerimiseks kasutatakse koormarihmasid, mille abil pingutatakse UGV vastu õhkratast ning jäigalt raami külge. Pidurdusmehhanismi küljest tuleb sõiduki külge ühendada kaks kaablit, üks veepumba toide ning teine pidurdusmehhanismi toide ning voolu tagastus. Soovides käivitada testseadet, tuleb UGV kasutajaliidesest valida spetsiaalne funktsioon, mis lülitab aktiivseks *Power output* väljundi, sünkroniseerib omavahel masina testseadmega ning võimaldab valida erinevaid profiile. Fikseeritud profiilid selguvad vastavalt teostatud testi tulemustele, mil selgub erineva kiiruse, koormaga ning erineval maastikul sõites UGV elektrimootorite poolt kulutatud energia ning väändemoment. Valida saab ka dünaamilise testi, mille puhul tsükliliselt vahetatakse erinevaid profiile. UGV pannakse teostama automaattesti, mille tulemusel pidurdusmehhanism avaldab elektrimootoritele vastavalt seatud profiilile pidurdusjõudu, genereerides voolu.



Sele 6.9 UGV kasutajaliides, kust saab sisse lülitada testrežiimi

KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli projekteerida Milrem AS-i UGV-le automaatne testseade, mille abil oleks võimalik teostada nii tootmisjärgseid teste kui ka arendusosakonnal masinat peenhäälestada. Seadme ülesanne on testimise protsess automatiseerida, kulutamata linte ning jättes masina puhtaks. Samuti on garanteeritud korratavus ning pädeva raporti genereerimine.

Lõputöö käigus selgus, et turul puudub lahendus, mis vastaks kõikidele seatud kriteeriumitele. Seega asus töö autor projekteerima spetsiaalselt UGV-le loodud testseadet, mis täidaks kõik ülesande püstituses seatud eesmärgid. Jagades projekteeritavad sõlmed kolmeks, alustati parimate lahenduste väljatöötamist. Alusraami, pidurdusmehhanismi ning ülekande valikul lähtuti mõõtmete kompaktsusest, modulaarsusest, hinnast ning materjali olemasolust. Parimaks valitud lahenduseks osutus 50x50x4 mm toruraamil tõstelaud, kuhu kinnitub eraldiseisva osana pidurdusmehhanism. UGV lintidele koormuse andmiseks kasutas autor vanema põlvkonna UGV-de elektrimootoreid, mida kasutatakse generaatorina, suunates genereeruva energia tagasi akupakki. Elektrimootorid on ühendatud flantsi abil läbi planetaarülekande õhkrataste külge, mille vastu fikseeritakse rihmadega mehitamata roomiksõiduk. Testseade imiteerib reaalseid tingimusi maastikul sõites ning on sünkroniseeritud masina endaga CAN protokolliga abil. Nii masina kui ka testseadme juhtimine käib läbi UGV kasutajaliidese, kust valitakse vajaduspõhiselt testrežiim, milles masin opereerima hakkab.

Projekteeritud sõlmedele teostati tugevusarvutused nii simulatsiooniprogrammide kui ka käsiarvutustega, kontrollides seega võimalike lahenduste sobivust. Mittesobilikud lahendused projekteeriti ümber ning teostati taas tugevusarvutused. Töös kasutatud komponendid on valitud suures osas olemasolevate materjalide seast, mis on lattu jäänud vanade generatsioonide masinate küljest. Seeläbi on antud töö projekteeritud võimalikult säästlikult. Testseadme disainis on rõhku pööratud eelkõige konstruktsiooni lihtsusele, modulaarsusele ning hinnale. Elektrisüsteem on ülesse ehitatud põhimõttega, et testseade ei vajaks välist toidet. Kogu vajalik vool võetakse roomiksõiduki väljundpistikutest ning genereeritav vool juhitakse tagasi akupakki. Seega on võimalik testseadet kasutada vabalt valitud asukohas ning tingimustes. Kogu vajalik tarkvara testseadme tööle panekuks kirjutatakse majasiseselt ning seade ei vaja eraldi juhtarvutit, UGV kasutajaliides hoolitseb nii masina kui ka dünamomeetri juhtimise ning sünkroniseerimise eest. Testseadme koostamine jätkub 2019 a. suvel, järgmiseks tootmistsükliks sama aasta sügisel on vajadus toodet juba tootmisjärgseks testimiseks kasutada.

SUMMARY

The main goal of the thesis was to design an automated testing device for Milrem's UGV. The purpose of the device is to conduct final assembly tests and help the development department to fine tune the vehicle. The device has to automate the testing process with an advantage of not wearing out the tracks and keeping the UGV clean. Using the designed device, user can generate a report and reproducing the results is guaranteed.

It was found that similar solutions doesn't exist on the market that would meet all the criteria. So the author started to design a special testing device for UGV that could satisfy all the set requirements. By dividing the possible solutions into three parts, design for the best results began. The main goals for designing the lifting frame, braking mechanism and the power transmission were to get them as compact, modular and cheap as possible. It was also important to use materials that were easily available. The best solution was a steel frame made from 50x50x4 mm tube for lifting table and also the braking mechanism. The two are separate assemblies, but can be bolted together when needed. The electrical motors used for the testing device were taken from older generation UGV's, which are used as generators to brake the driving motors. The generated energy will be directed back into the UGV's battery pack. The electrical motors with planetary gearboxes are connected to the wheel using a flange. The UGV is pulled against the braking mechanism's wheels using ratchet lashing belts. The device is imitating real world conditions of driving on terrain and is synchronised with CAN bus protocol with the UGV. Controlling the vehicle and testing device is done from the vehicles user interface where the user can choose a required testing mode in which the vehicle will start operating.

All of the designed solutions were verified with calculations using computer based simulations or by traditional strength calculations, making sure that the solutions were suitable and wouldn't brake under load. All of the solutions that were not suitable were redesigned until the requirements were met. Most of the components used in the final thesis were chosen from older generation UGV's, therefore freeing up warehouse space and saving money. The main focus while designing the device was to keep it as simple, modular and cheap as possible. The electrical system is built so no external power is needed. All the required power is taken from the UGV's sockets and all the generated power is also put back into the battery pack. This gives an opportunity to test anywhere and in any conditions. All of the software for the system is written in house and no additional controller is needed, as the user interfaces synchronises both systems using CAN protocol.

Prototyping the automated testing device is continued in summer 2019, by autumn with new production cycle the system is expected to be fully functional.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

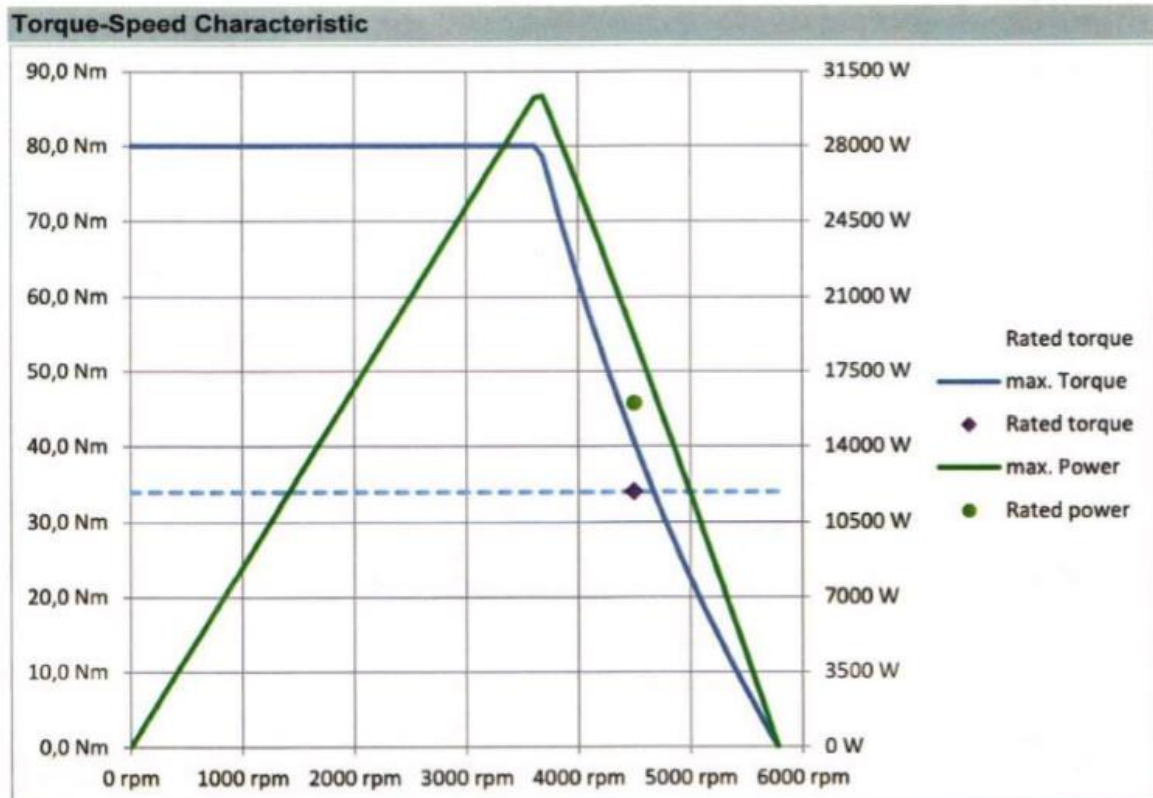
1. Tehnika foorum [WWW] <https://www.hpacademy.com/forum/general-tuning-discussion/show/purchasing-a-dyno-what-to-go-with> (18.04.2019)
2. Dünamomeetri tootja koduleht [WWW] <https://mainlinedyno.com.au/index.php/dynamometers/pro-hub-axle-shaft/portable-prohub-dynamometers> (04.02.2019)
3. Dünamomeetri tootja koduleht [WWW] https://www.dynomitedynamometer.com/axle-hub_dyno/axle-hub-dyno.htm (04.02.2019)
4. Dünamomeetri tootja koduleht [WWW] <https://mustangdyne.com/news/company-news/MAE-delivers-track-and-wheeled-multi-function-and-validation-test-system-for-Caterpillars-Multi-Terrain-Loader-and-Skid-Steer-Loaders> (04.02.2019)
5. Dünamomeetri artikkel / Iowa State University koduleht [WWW] <http://www.abe.iastate.edu/off-highway-vehicle-chassis-dyno/> (04.02.2019)
6. ISO 898-1:2013 kinnitusvahendite rahvusvaheline standard (ISO 898-1:2013– *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes – Coarse thread and fine pitch thread*)
7. Uurimustöö velgede materjalidest [WWW] http://ijariie.com/AdminUploadPdf/COMPARATIVE_STUDY_OF_WHEEL_RIM_MATERIALS_ijariie1437.pdf (24.04.2019)
8. Vianor AS koduleht [WWW] <https://www.tireman.ee/rehvid> (24.04.2019)
9. Inglismaa rehvide ja velgede edasimüüja artikkel [WWW] <https://www.oponeo.co.uk/tyre-article/wheel-width-and-et-offset-explained> (24.04.2019)
10. Elektrimootorite tootja andmeleht [WWW] https://www.heinzmann.com/jdownloads/electric-and-hybrid-drives/CAT_Electric_Drives_Product_Catalogue_e.pdf (25.05.2019)

11. Tööstusseadmete ja komponentide müügi ja hooldusettevõtte siduri kasutusjuhend [WWW] https://www.alas-kuul.ee/media/wysiwyg/CMS/Rotex-kasutusjuhend_EST.pdf (18.02.2019)
12. Mehaaniliste komponentide disainimise tarkvara koduleht [WWW] <https://www.kissoft.ch/english/home/index.php> (19.02.2019)
13. Tööstusseadmete ja komponentide müügi ja hooldusettevõtte tooteleht [WWW] <https://www.alas-kuul.ee/et/wippermann-rullpukskett-24b1w> (19.02.2019)
14. Kinnitusvahendite edasimüüja tooteleht [WWW] <http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=205&catID=15> (21.02.2019)
15. Elektroonikakomponentide tootja tooteleht [WWW] <https://www.mouser.ee/datasheet/2/18/GT-273724.pdf> (04.05.2019)
16. Uus-meremaa akude edasimüüja artikkel [WWW] <https://www.centurybatteries.com.au/content/documents/battery-talk/issue-2-battery-talk-battery-charging.pdf> (17.12.2018)
17. Elektroonikakomponentide tootja table [WWW] https://www.powerstream.com/Wire_Size.html (17.12.2018)
18. Planetaarülekanne tootja andmeleht [WWW] <https://allweier.com/en/pgr-1500.html> (27.05.2019)
19. Elektrimootori inverteri tootja andmeleht [WWW] <http://www.sevcon.com/products/low-voltage-controllers/gen4/> (25.05.2019)

LISAD 1 - ANDMELEHED

Motor type			
Motor		PMS 150	
Motor ID		ID 813	
Winding-No.		WB 640	
No. of poles	2p	8	
Cooling		Air-cooled with at least 5m/s	
Electrical data			
DC link voltage	U_{dc}	96	VDC
EMF constant	K_E	11,74	V/1000rpm
Torque constant	K_M	0,186	Nm/A
Winding resistance	R_{2ph}	9,6	mΩ
Winding inductance	L_{2ph}	51,6	μH
Operation point 1			
Operational mode		S1	
Rated motor voltage	U_n	66,0	VAC
Nominal speed	n_n	4500	rpm
Rated torque	M_n	33,95	Nm
Rated power	P	16	kW
Rated AC current	I_n	182,5	A
Frequency	f_n	300	Hz
Efficiency	η	93,8	%
Mechanical data			
Mass	m	22,3	kg
Moment of inertia	J	58,6	kg cm ²
Special version		...	
Air gap	s	1,5	mm
Magnet material		N35UH	
Sensor system			
Temperature sensor		KTY 84-130	

Lisa 1 Veomootori andmeleht [10]



Please note
 Operation points with a higher torque demand than the rated continuous torque are not suited for continuous operation (S1).

Lisa 2 Veomootori kiiruse ja väändemomendi graafik [10]

function parameter / model	PGR 500	PGR 1500
wheel load (kg)	up to 700 (1000)	up to 2100 (2500)
weight (kg)	7	15
nominal torque (Nm)	160	800
peak torque (Nm)	500	2000
efficiency (%)	up to 96	up to 96

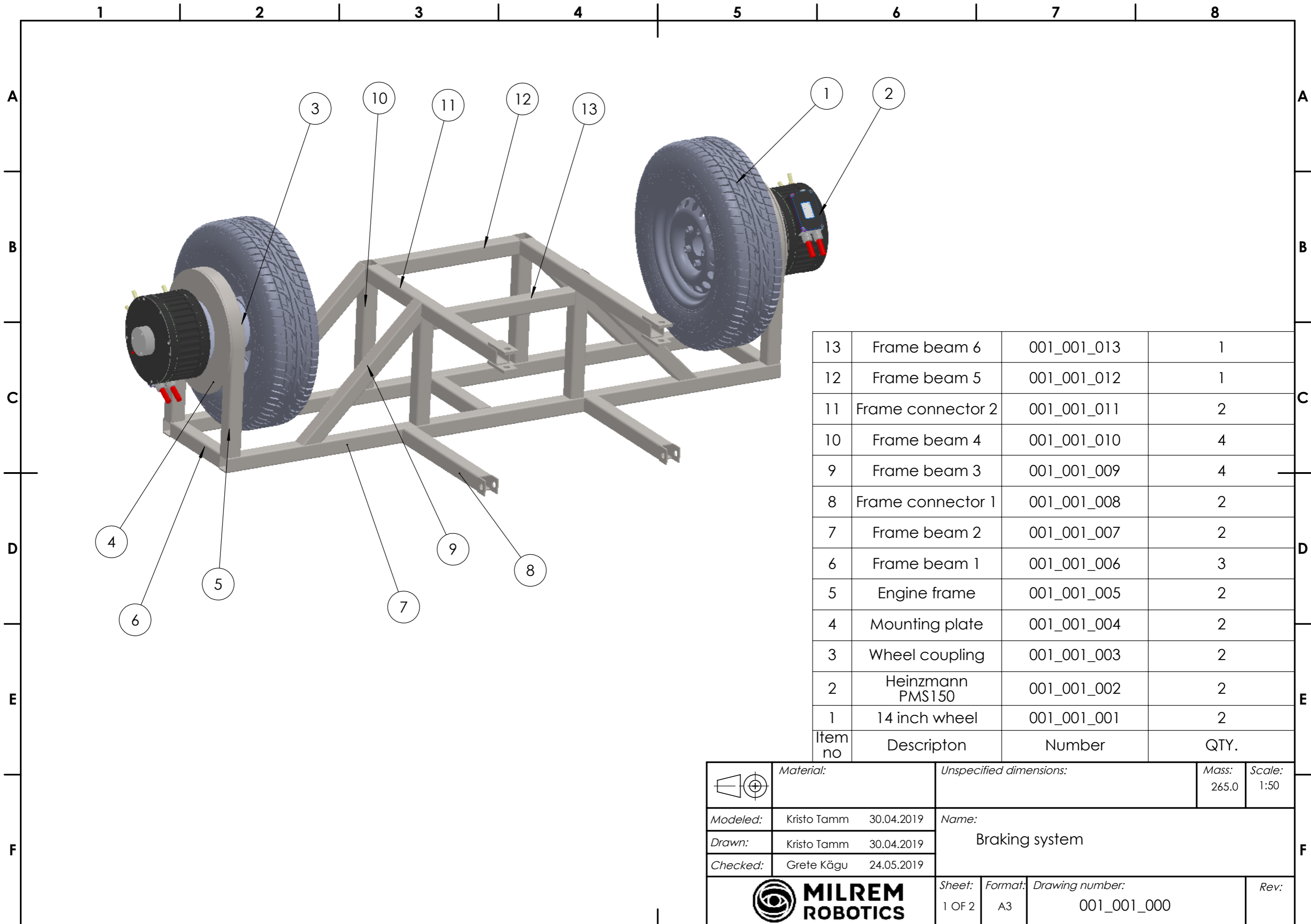
Lisa 3 Planetaarülekande PGR 1500 andmeleht [18]

KEY PARAMETERS

Model	Size 2	Size 4	Size 6	Size 2	Size 4	Size 6	Size 2	Size 4	Size 6	Size 2*	Size 4	Size 6*
Nominal Battery Voltage	24 VDC	24 to 36 VDC		36 to 48 VDC			72 to 80 VDC			96 to 120 VDC		
Max operating voltage	34.8 VDC	52.2 VDC		69.6 VDC			116 VDC			150 VDC		
Min. operating voltage	12.7 VDC			19.3 VDC			39.1 VDC			48 VDC		
Peak Current (2min)	300A	450A	650A	275A	450A	650A	180A	350A	550A	150A	300A	450A
Boost Current (10 sec)	360A	540A	780A	330A	540A	780A	215A	420A	660A	180A	360A	540A
Cont. Current (60 min)	120A	180A	260A	110A	180A	260A	75A	140A	220A	60A	120A	180A

Lisa 4 Mootori inverteri andmeleht size 4 96 V [19]

LISAD 2 - JOONISED



13	Frame beam 6	001_001_013	1
12	Frame beam 5	001_001_012	1
11	Frame connector 2	001_001_011	2
10	Frame beam 4	001_001_010	4
9	Frame beam 3	001_001_009	4
8	Frame connector 1	001_001_008	2
7	Frame beam 2	001_001_007	2
6	Frame beam 1	001_001_006	3
5	Engine frame	001_001_005	2
4	Mounting plate	001_001_004	2
3	Wheel coupling	001_001_003	2
2	Heinzmann PMS150	001_001_002	2
1	14 inch wheel	001_001_001	2
Item no	Description	Number	QTY.

	Material:	Unspecified dimensions:		Mass: 265.0	Scale: 1:50
Modeled:	Kristo Tamm	30.04.2019	Name: Braking system		
Drawn:	Kristo Tamm	30.04.2019			
Checked:	Grete Kägu	24.05.2019			
			Sheet: 1 OF 2	Format: A3	Drawing number: 001_001_000
					Rev:

A

B

C

D

E

F

A

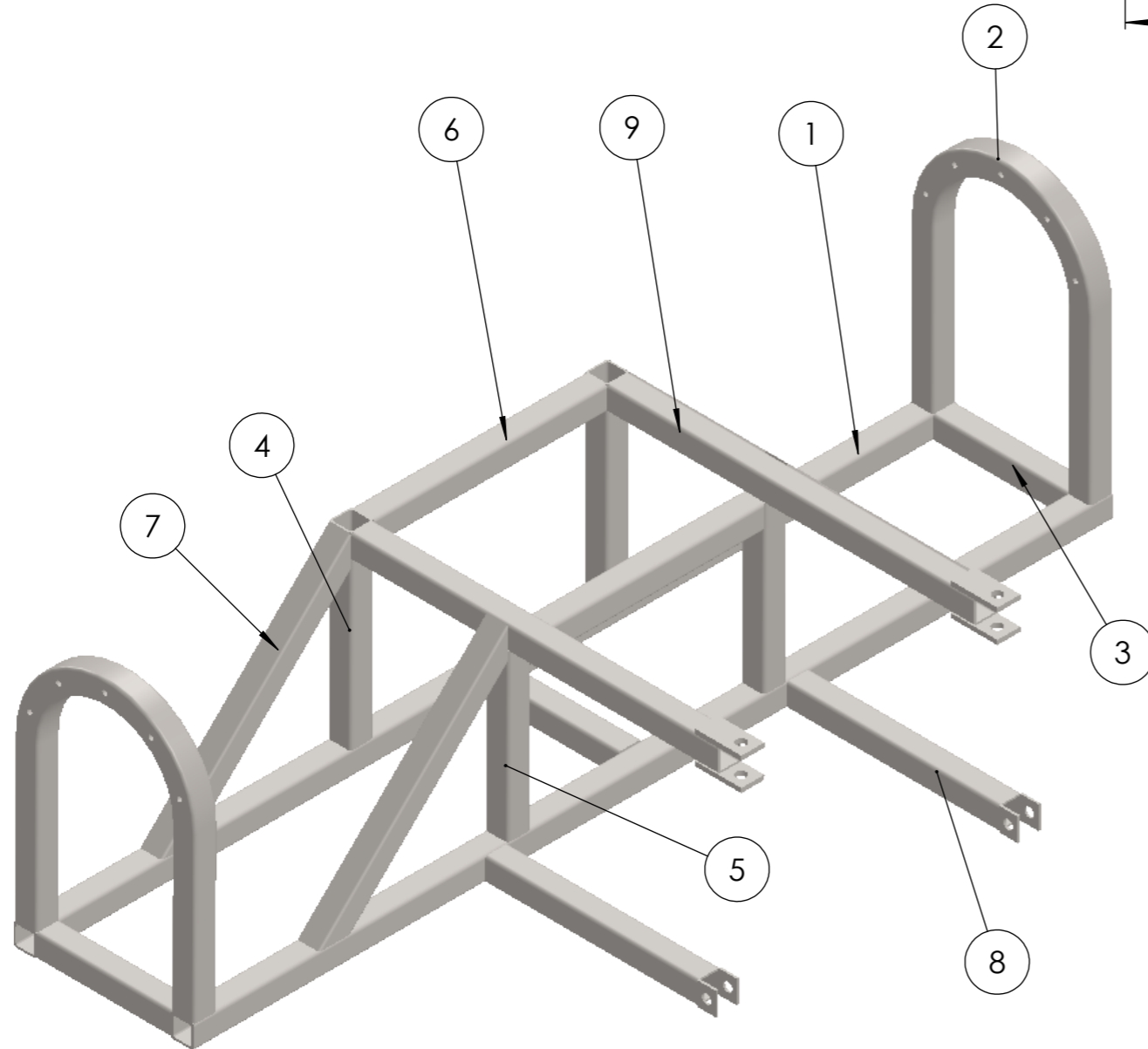
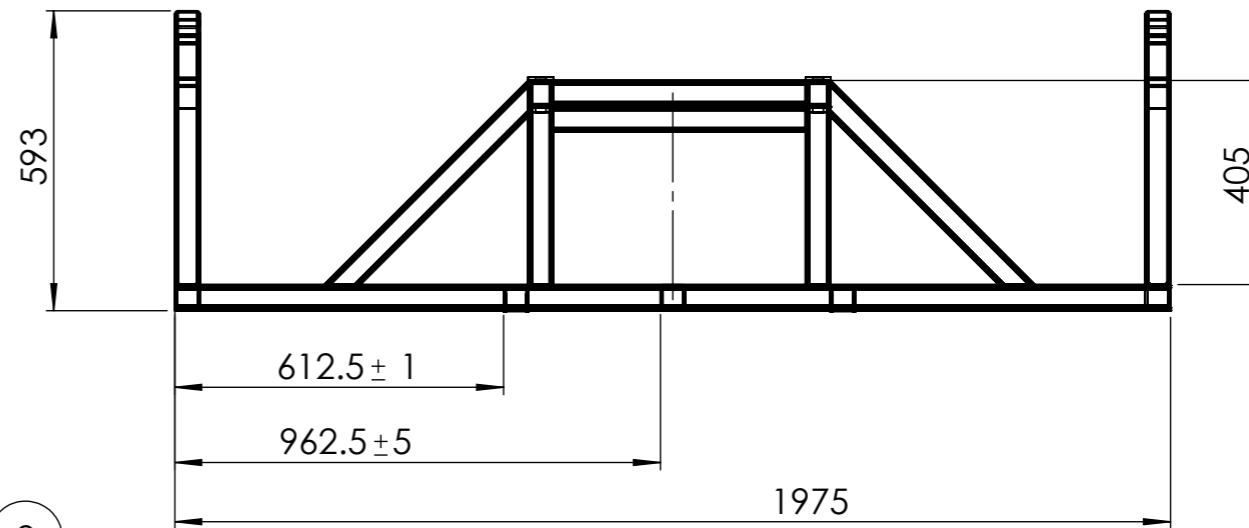
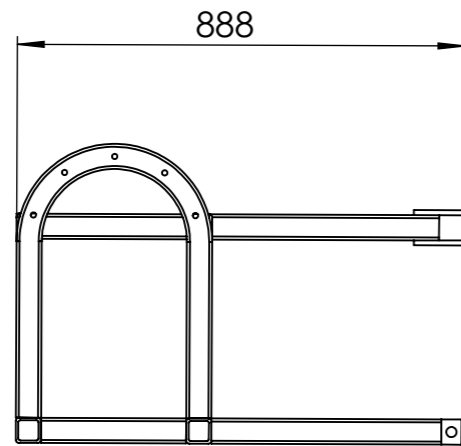
B

C

D

E

F

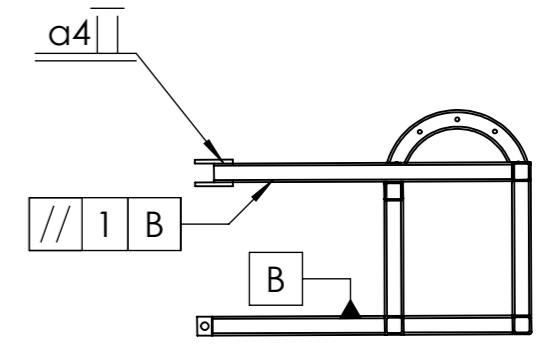
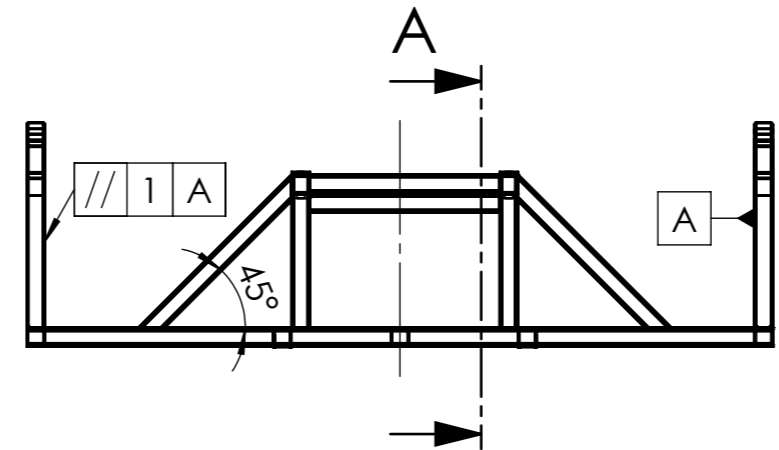
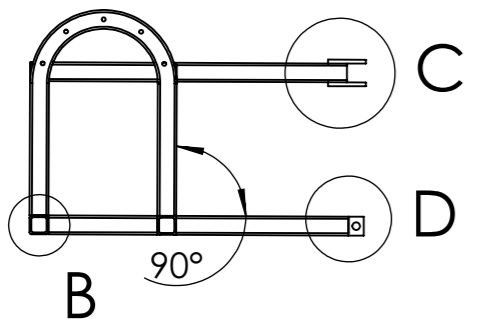


9	Frame connector 2	001_001_011	2
8	Frame connector 1	001_001_008	2
7	Frame beam 3	001_001_009	4
6	Frame beam 5	001_001_012	2
5	Frame beam 7	001_001_013	2
4	Frame beam 4	001_001_010	2
3	Frame beam 1	001_001_006	3
2	Engine frame	001_001_005	2
1	Frame beam 2	001_001_007	2
ITEM NO.	Description	Number	QTY.

	<i>Material:</i>	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768 - mK ISO 13920-BF	<i>Mass:</i> 139.1	<i>Scale:</i> 1:15
<i>Modeled:</i>	Kristo Tamm 30.04.2019	<i>Name:</i> Braking system		
<i>Drawn:</i>	Kristo Tamm 30.04.2019			
<i>Checked:</i>	Grete Kägu 25.05.2019			
		<i>Sheet:</i> 2 OF 3	<i>Format:</i> A3	<i>Drawing number:</i>
				<i>Rev:</i>

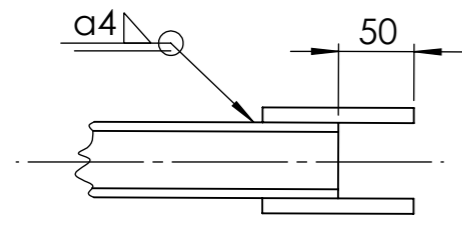
1 2 3 4 5 6 7 8

A

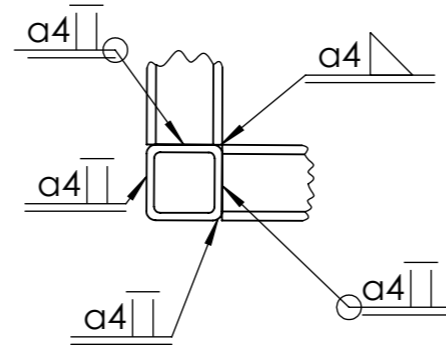


SECTION A-A
SCALE 1 : 20

B

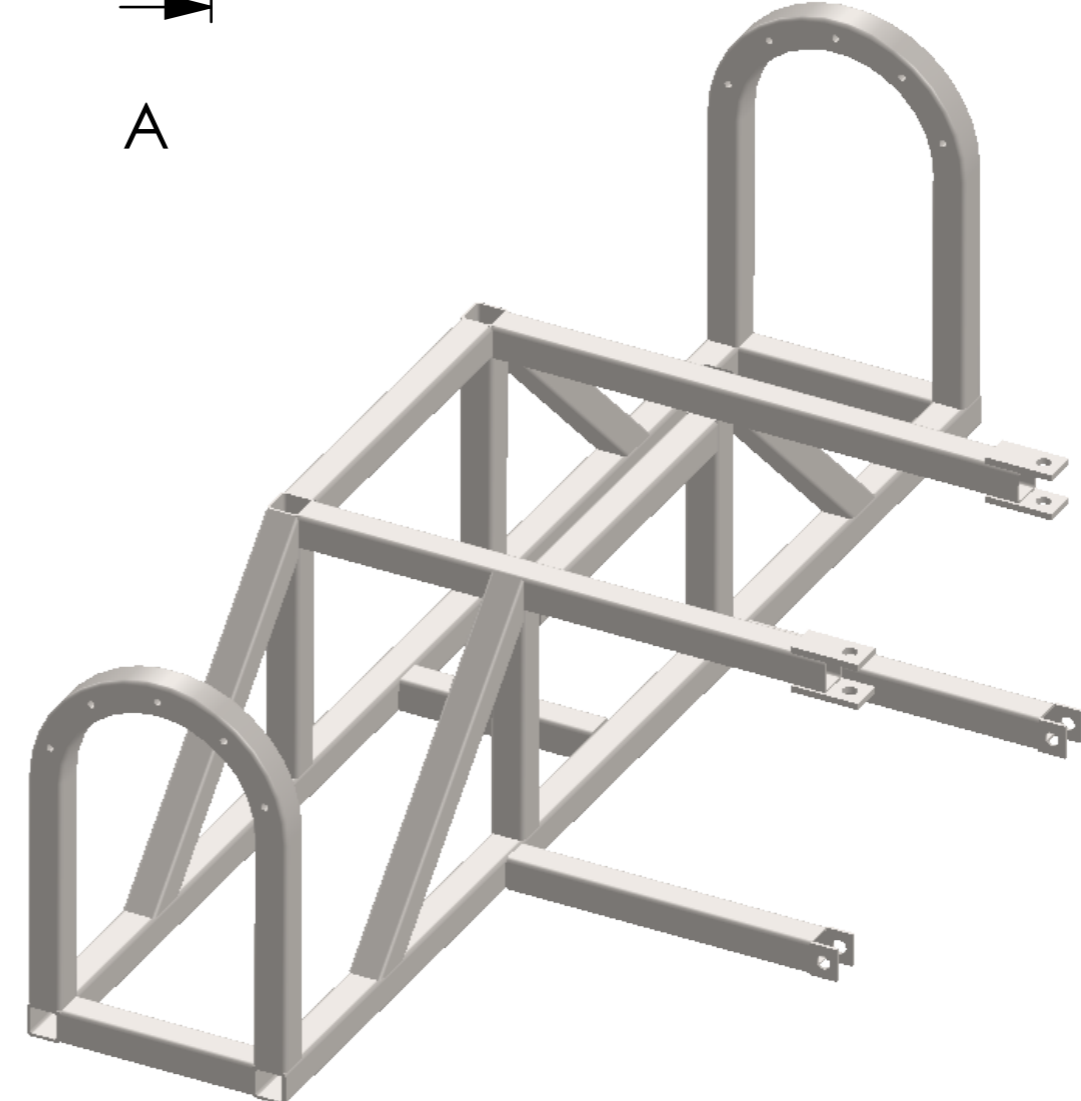


DETAIL C
SCALE 1 : 5



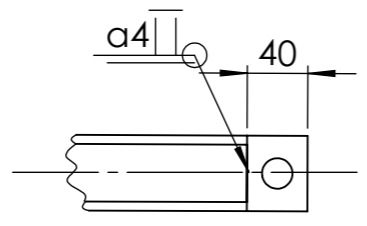
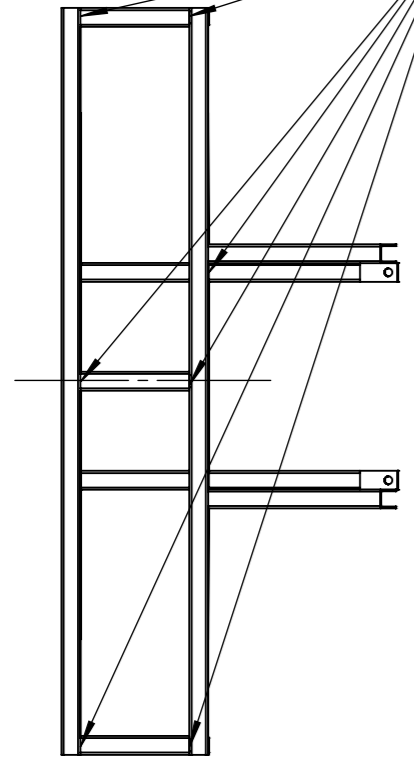
DETAIL B
SCALE 1 : 5

C



D

Bottom view Grind welds on bottom flat



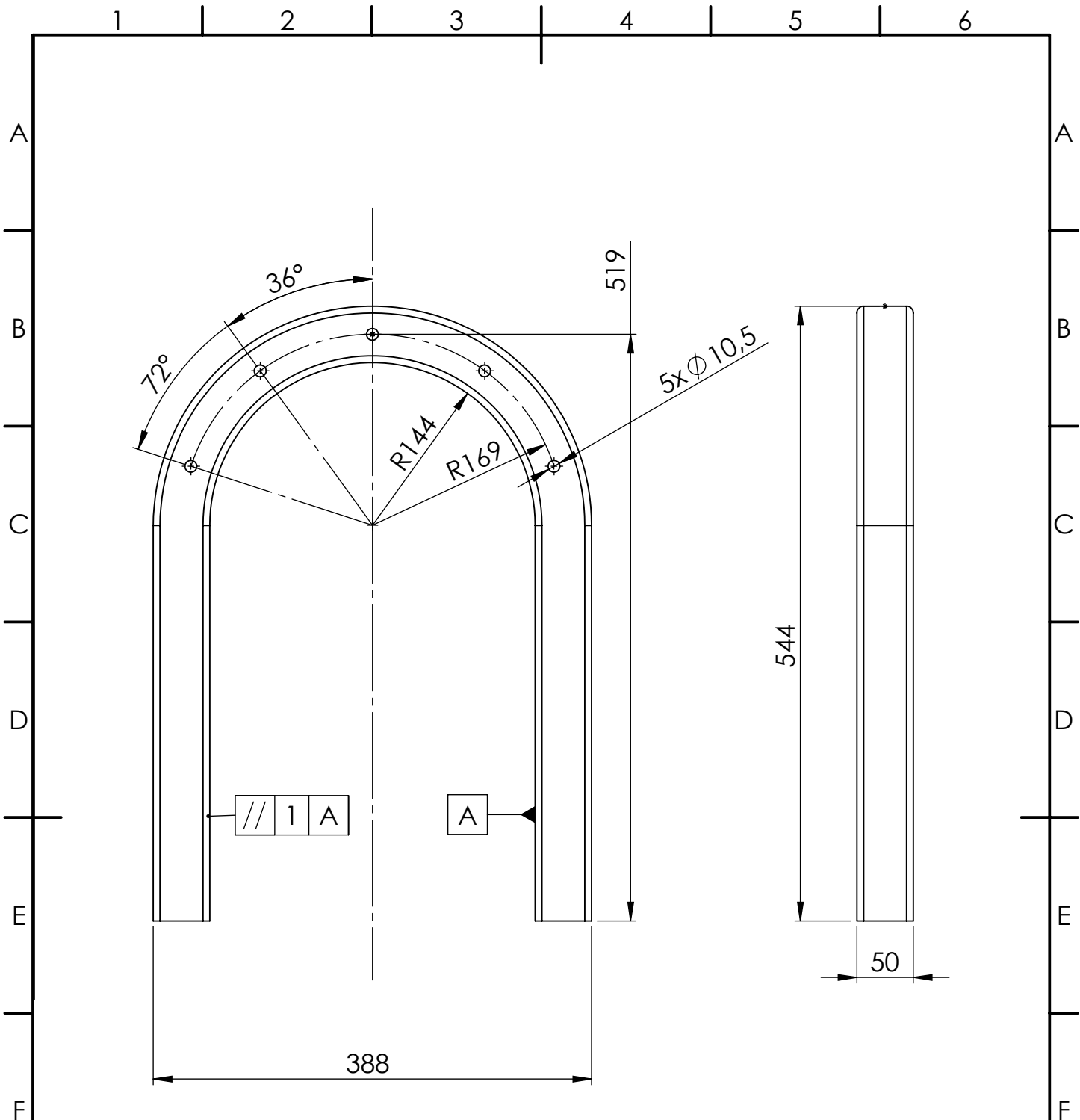
DETAIL D
SCALE 1 : 5

E

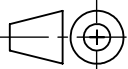
All angles 90 degrees unless specified otherwise
Every detail welded from all sides like shown on detail B unless specified otherwise

F

	Material:	Unspecified dimensions: ISO 2768 - mK	Mass: 139.1	Scale: 1:20
		ISO 13920-BF		
Modeled:	Kristo Tamm 30.04.2019	Name: Brake system weld assembly		
Drawn:	Kristo Tamm 25.05.2019			
Checked:				
		Sheet: 3 OF 3	Format: A3	Drawing number: Rev:



All unmarked dimensions from STEP file
Use 50x50x4 S235 steel tube

	Material: 1,0576 S235J2H		Unspecified dimensions: ISO 2768-mK		Mass: 9.6	Scale: 1:10
	Modeled: Kristo Tamm	17.03.2019	Name: <i>Engine frame</i>			
	Drawn: Kristo Tamm	17.03.2019				
Checked: Grete Kägu	17.03.2019	Sheet: 1 OF 1		Format: A4	Drawing number: 001_001_005	Rev:



1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

E

F

G

H

A

B

C

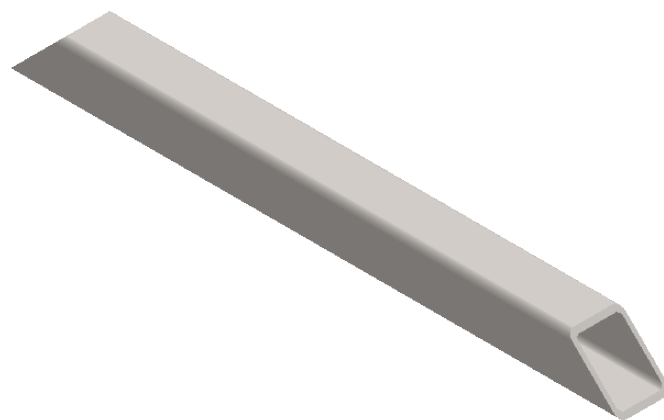
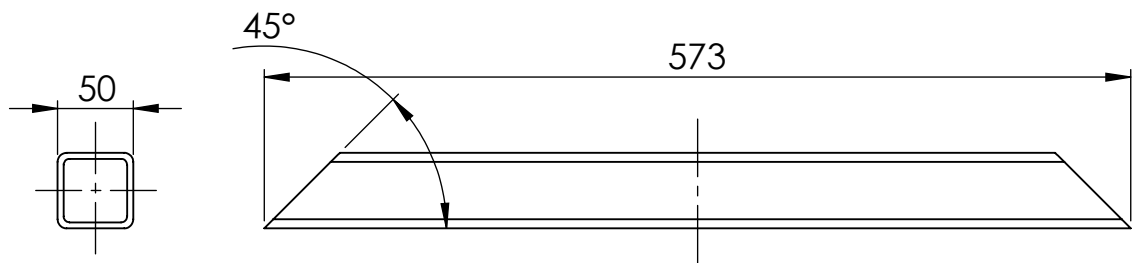
D

E

F

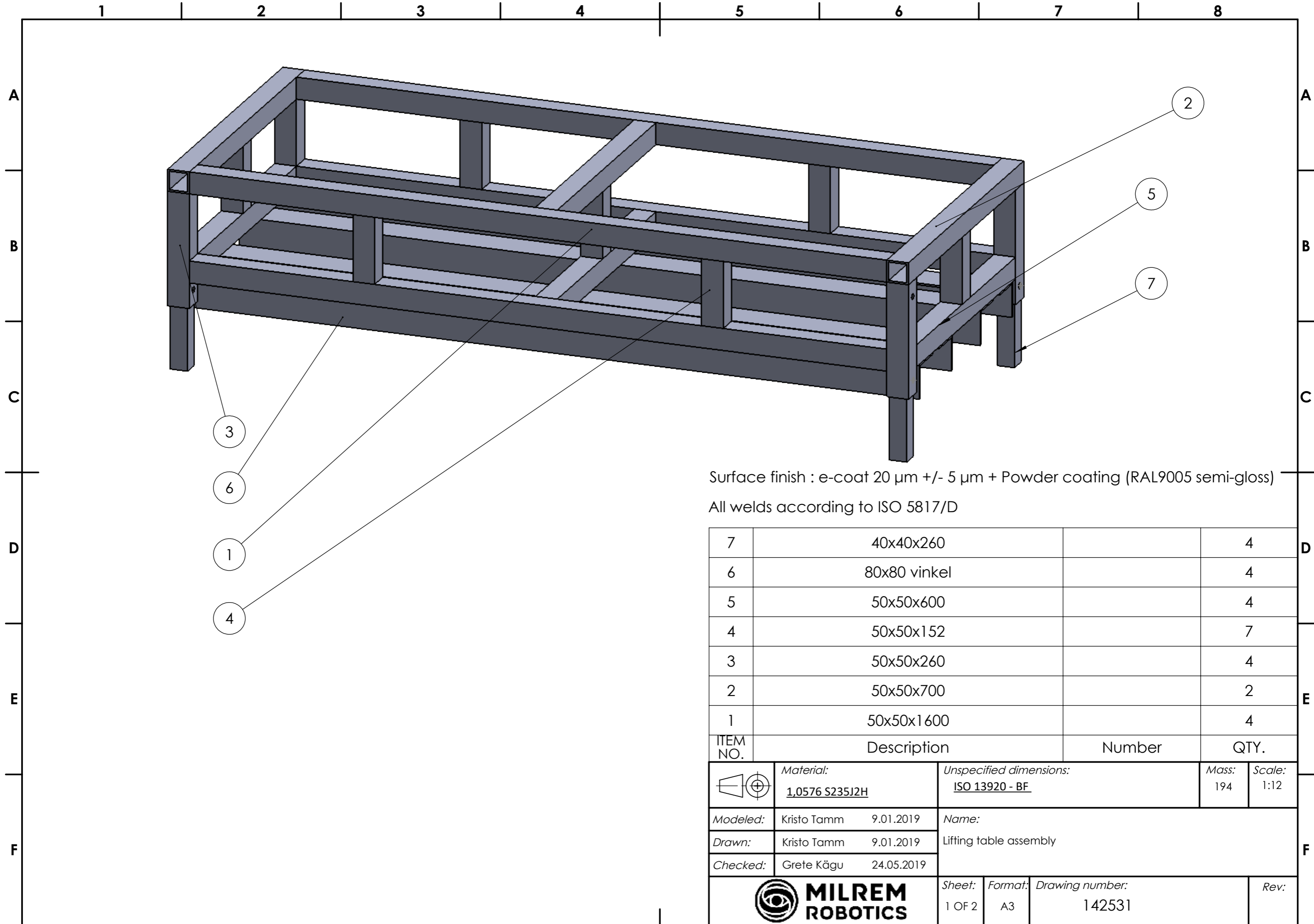
G

H



All unmarked dimensions from DXF file
Use 50x50x4 S235 steel tube

	<i>Material:</i> 1,0576 S235J2H	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK	<i>Mass:</i> 4.1	<i>Scale:</i> 1:5	
<i>Modeled:</i>	Kristo Tamm 30.04.2019	<i>Name:</i> Frame beam 3			
<i>Drawn:</i>	Kristo Tamm 30.04.2019				
<i>Checked:</i>	Grete Kägu 30.04.2019				
		<i>Sheet:</i> 1 OF 1	<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i> 001_001_009	<i>Rev:</i>

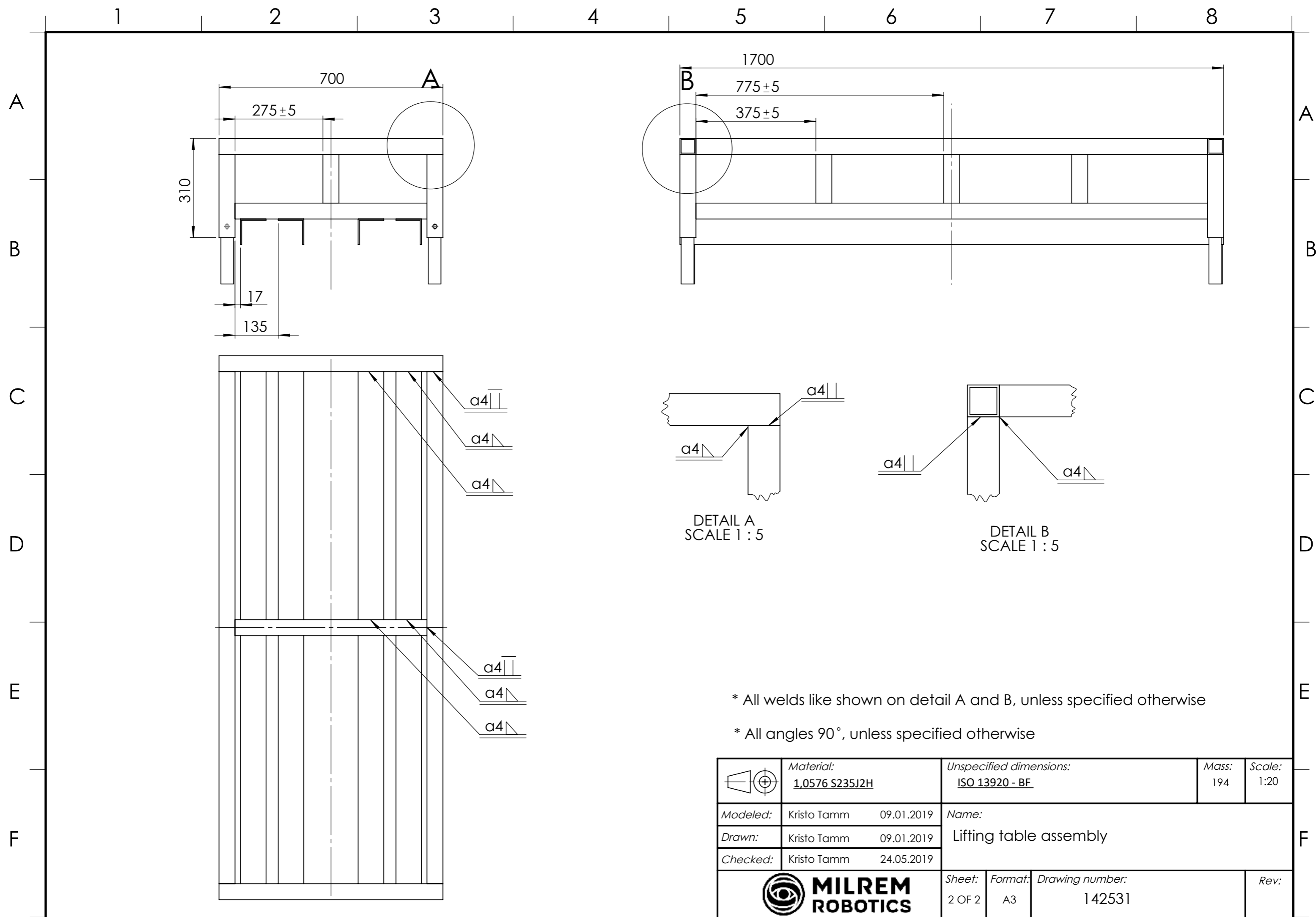


Surface finish : e-coat 20 µm +/- 5 µm + Powder coating (RAL9005 semi-gloss)

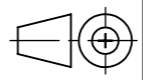

All welds according to ISO 5817/D

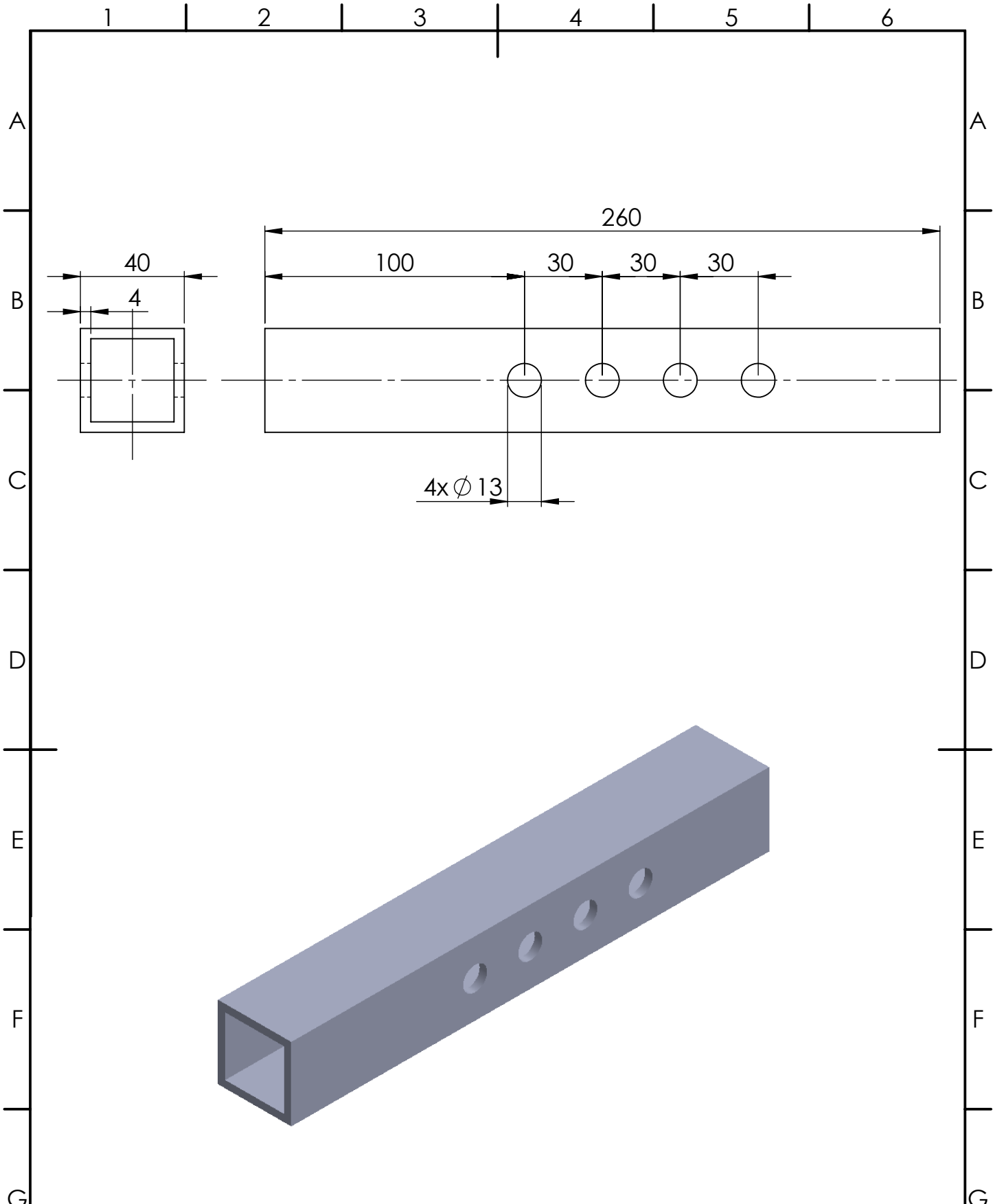
7	40x40x260		4
6	80x80 vinkel		4
5	50x50x600		4
4	50x50x152		7
3	50x50x260		4
2	50x50x700		2
1	50x50x1600		4
ITEM NO.	Description	Number	QTY.

	<i>Material:</i> 1,0576 S235J2H	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 13920 - BF	<i>Mass:</i> 194	<i>Scale:</i> 1:12
	<i>Modeled:</i> Kristo Tamm 9.01.2019 <i>Drawn:</i> Kristo Tamm 9.01.2019 <i>Checked:</i> Grete Kägu 24.05.2019	<i>Name:</i> Lifting table assembly		
		<i>Sheet:</i> 1 OF 2	<i>Format:</i> A3	<i>Drawing number:</i> 142531
				<i>Rev:</i>



* All welds like shown on detail A and B, unless specified otherwise
 * All angles 90°, unless specified otherwise

	<i>Material:</i> 1,0576 S235J2H	<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 13920 - BF	<i>Mass:</i> 194	<i>Scale:</i> 1:20	
	<i>Modeled:</i> Kristo Tamm 09.01.2019 <i>Drawn:</i> Kristo Tamm 09.01.2019 <i>Checked:</i> Kristo Tamm 24.05.2019	<i>Name:</i> Lifting table assembly			
		<i>Sheet:</i> 2 OF 2	<i>Format:</i> A3	<i>Drawing number:</i> 142531	<i>Rev:</i>



	<i>Material:</i> 1,0576 S235J2H		<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK		<i>Mass:</i> 15.8	<i>Scale:</i> 1:15
	<i>Modeled:</i> Kristo Tamm	10.01.2019	<i>Name:</i> 80x80 vinkel			
	<i>Drawn:</i> Kristo Tamm	23.05.2019				
<i>Checked:</i> Grete Kägu	24.05.2019	<i>Sheet:</i> 1 OF 1		<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i>	
				<i>Rev:</i>		

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF MILREM AS.
 ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF MILREM AS IS PROHIBITED.

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

E

F

G

H

A

B

C

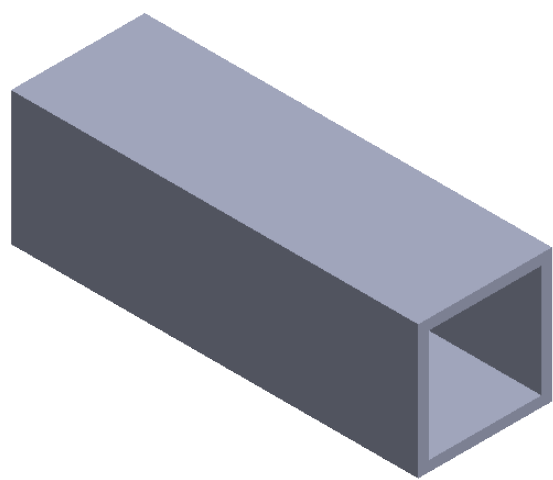
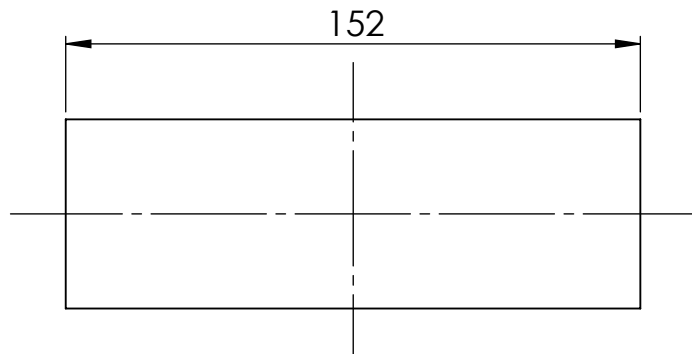
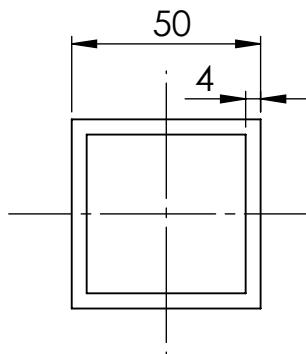
D

E

F

G

H



Cut all tubes in table as shown on drawing

Measurements	QTY
50x50x4x1600	4
50x50x4x700	2
50x50x4x600	4
40x40x4x405	4

	<i>Material:</i> 1,0576 S235J2H		<i>Unspecified dimensions:</i> ISO 2768-mK		<i>Mass:</i> 1.1	<i>Scale:</i> 1:2
	<i>Modeled:</i> Kristo Tamm	9.01.2019	<i>Name:</i> 50x50x152			
	<i>Drawn:</i> Kristo Tamm	23.05.2019				
<i>Checked:</i> Grete Kägu	24.05.2019	<i>Sheet:</i> 1 OF 1		<i>Format:</i> A4	<i>Drawing number:</i>	
						<i>Rev:</i>

1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

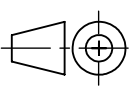
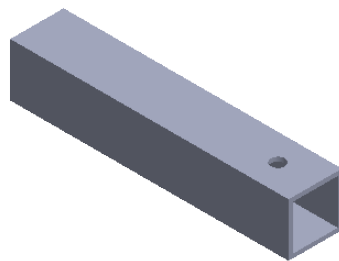
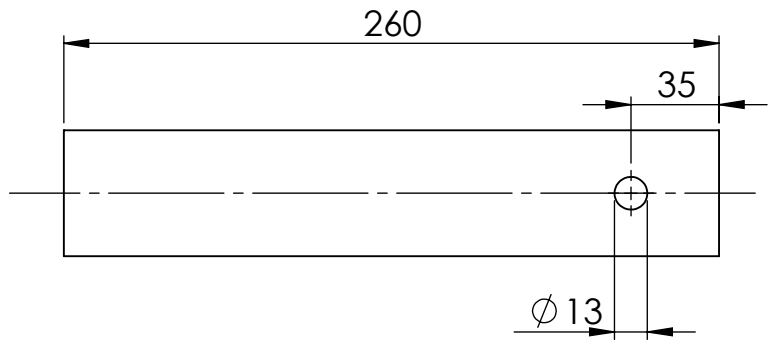
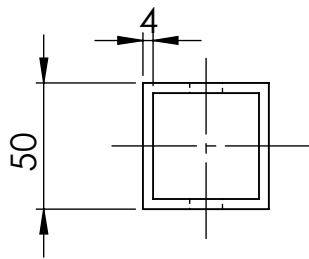
D D

E E

F F

G G

H H



Material:
1,0576 S235J2H

Unspecified dimensions:
ISO 2768-mK

Mass: 1.7
Scale: 1:3

Modeled: Kristo Tamm 9.01.2019

Name:

Drawn: Kristo Tamm 9.01.2019

50x50x260

Checked: Grete Kägu 9.01.2019



**MILREM
ROBOTICS**

Sheet:
1 OF 1

Format:
A4

Drawing number:

Rev: