



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Tootearenduse õppetool

MES70LT

Ardi Blumkvist

PUKSIIRSEADE

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2015

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

TTÜ masinaehituse instituut
Tootearenduse õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Ardi Blumkvist, 132637 (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava: MATM
Eriala: Tootearendus
Juhendaja: dotsent Toivo Täheema (amet, nimi)
Konsultandid: Henri Iend, nooremteadur, 56357213 (nimi, amet, telefon)
Esmar Naruski, spetsialist, 5025458

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Puksiirseade
(inglise keeles) Towing Mechanism

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Täitmise tähtaeg |
|-----------|---|-------------------------|
| 1 | Puksiirseadmetega seotud põhitõed. Eritehnik OÜ puksiirseadme prototüübi modelleerimine. | 10.02.2013 |
| 2. | Vintsidega seotud põhitõed. Vintside turuanalüüs, võrdlus ning hindamismatriksi abil vintsi valik. | 28.02.2013 |
| 3. | Vintsi liikurseadme projekteerimine. Valminud lahenduste võrdlus ning hindamismatriksi abil lahenduse valik. | 15.03.2013 |
| 4. | Vintsi liikurseadme tugevusarvutuste teostamine LEM meetodil. Rullikute kontaktarvutused, konstruktsioonide optimeerimised. | 20.04.2013 |
| 5. | Pealisosa projekteerimine. Pealisosa vintsi LEM arvutused ning pealisosa konstruktsiooni LEM arvutused. Optimeerimised. | 14.05.2013 |

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Puksiirseadme pöördprojekteerimine. Sellest lähtuvalt vintsi koos liikurseadme modelleerimine ning lahenduste väljatöötamine. Vintsidele turuanalüüsi teostamine. Puksiirseadmele tugevusarvutuste teostamised ning konstruktsiooni optimeerimised.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: Eesti

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12.05.2015

Töö esitamise tähtaeg 25.05.2015

Üliõpilane Ardi Blumkvist /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Toivo Täheema /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

| | |
|---|----|
| <i>MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE</i> | 3 |
| SISUKORD | 4 |
| EESSÕNA | 6 |
| SISSEJUHATUS | 7 |
| 1. PUUKSIIRSEADE | 10 |
| 1.1 Eritehnik OÜ puksiirseadme prototüüp | 10 |
| 1.2 Kallutusmehhanism | 12 |
| 1.3 Pealisosa | 13 |
| 1.4 Tugijalg | 15 |
| 2. VINTSI VALIK PUKSIIRSEADMELE | 17 |
| 2.1 Vintsidest | 17 |
| 2.2 Vintside analüüs | 19 |
| 2.2.1 WPT WHP156S-DS | 20 |
| 2.2.2 TMA TMT 150 | 21 |
| 2.2.3 Ramsey RPH 35,000 | 22 |
| 2.2.4 Zhongxin YJP150 | 23 |
| 2.2.5 Sepson Sepdurance H150 | 24 |
| 2.3 Vintsi valik | 25 |
| 3. VINTSI LIIKURSEADME PROJEKTEERIMINE | 27 |
| 3.1 Toote spetsifikatsioon | 28 |
| 3.2 Liikurseadme lahenduste genereerimine | 30 |
| 3.2.1 Lahendus 1 | 32 |
| 3.2.2 Lahendus 2 | 35 |
| 3.2.3 Lahendus 3 | 38 |
| 3.3 Koostude võrdlus | 41 |
| 4. LIIKURSEADME TUGEVUSARVUTUSED | 43 |
| 4.1 Koormusskeem | 43 |
| 4.2 Rullikute arvutus | 44 |
| 4.3 Liikurseadme LEM arvutused | 47 |
| 4.3.1 Ülevaade LEM meetodist | 47 |
| 4.3.2 Materjali valik | 48 |
| 4.3.3 Piirtingimused | 49 |
| 4.3.4 Arvutustulemused | 51 |
| 4.3.5 Konstruktsiooni optimeerimine | 52 |
| 5. PEALISOSA PROJEKTEERIMINE | 55 |
| 5.1 Pealisosa vintsi projekteerimine | 55 |

| | |
|---|----|
| 5.2 Pealisosa vintsi LEM arvutused | 56 |
| 5.2.1 Piirtingimused | 56 |
| 5.2.2 Pealisosa vintsi LEM arvutustulemused | 58 |
| 5.2.3 Konstruktsiooni optimeerimine, simulatsioonide tulemused | 59 |
| 5.2 Pealisosa konstruktsiooni tugede projekteerimine | 64 |
| 5.3 Pealisosa konstruktsiooni LEM arvutused | 64 |
| 5.3.1 Piirtingimused | 65 |
| 5.3.2 Pealisosa konstruktsiooni LEM arvutustulemused | 65 |
| 5.3.4 Pealisosa tugikolmnurkade optimeerimine, simulatsioonide tulemused..... | 66 |
| KOKKUVÕTE..... | 74 |
| SUMMARY | 77 |
| KASUTATUD KIRJANDUS | 80 |
| LISAD | 82 |

EESSÕNA

Lõputöö teema sai valitud Eritehnik OÜ soovitusel. Töö koostamine ning algandmete kogumine toimus nii Eritehnik OÜ firmas kui ka Tallinna Tehnikaülikoolis. Lõputöö koostamisega ning konsultatsioonidega abistasid professor Toivo Tähemaa, doktorant Henri Lend, professor Martin Eerme, Esmar Naruski, doktorant Maarjus Kirs.

Soovin tänada oma juhendajat dotsent Toivo Tähemaad, kes suunas mu mõttekäiku lihtsamate ja praktilisemate lahendusteni. Soovin tänada ka nooremteadurit Henri Lend, kes aitas suuresti kogu lõputöö koostamisel ning arendamisel. Tema magistritööle pühendumus aitas mul jõuda parima lõpptulemuseni. Soovin tänada ka professor Martin Eermet, kes suunas magistritöö teema ülesannete sõnastamisega. Soovin tänada Esmar Naruskit, kes soovitas magistritöö teemat ning oli vajadusel abiks tehniliste mõttekäikudega ja soovitustega. Olen tänulik ka nooremteadur Maarjus Kirsi abile, kes aitas sooritada tugevusarvutusi ning koostada koormusskeeme.

SISSEJUHATUS

Lõputöö autor töötab firmas Eritehnik OÜ, mis tegeleb erinevate seadmete paigalduse, hoolduse ning parandamisega. Eelkõige spetsialiseerutakse veoautode pealisehitistele. Nendeks on näiteks prükipressid, puksiirseadmed, kraanad, kallurid ning furgoonid. Firma teeb tihedat koostööd selle ala juhtivate ettevõtetega, milleks on Rootsi firmad JOAB AB ja Botek AB. Eritehnik OÜ asub Maardus ning teeb ka eritellimuse projekte. Kuna huvi on olemas puksiirseadmete vastu, siis oli vaja firmal oma prototüübi faasis olevast puksiirseadmest CAD (*computer aided design*) mudelit. Mudelile oleks vaja teha konstruktsiooni parandusi, mis muudaksid antud seadme mitmekülgsemaks ning suurendaks töö tegemise efektiivsust. Puksiirseadme prototüüp on ainulaadne Eesti toodang ning on inspireeritud Ameerika Ühendriikides olemasolevatest masinatest (Sele 1, *flatbed tilt-tray tow truck* ehk tasapinnaline kallutatava alusega puksiirauto). [23]



Sele 1. Ameerika Ühendriikides laialdaselt levinud puksiirauto

Eritehnik OÜ valmistas puksiirseadme prototüübi, mis on töötanud umbes 10 aastat ning tuli tagasi hooldusesse. Kuna puksiirehitisel esines mitmeid puudusi ning optimeerimise võimalusi, otsustas firma selle pöördprojekteerida (*reverse engineering*). See tähendas, et oleks vaja olemasolev prototüüp ära mõõtmestada ning see eskiiside abil ära dokumenteerida. Kui see tehtud, siis saab hakata modelleerima. Modelleerimine toimub Dassault Systemes SolidWorks abil. Valminud CAD mudel tuleks võtta lõputöö baasiks, mida hakatakse optimeerima ning parendama. Samas tahab firma klient teha veel mitmeid muudatusi, et hõlbustada autojuhi tööd. CAD koost tuleks võimalikult oskuslikult koostada, et tulevikus hõlbustada parameetrite muutmist vastavalt Eritehnik OÜ kliendi soovidele. Tuleb ka ära märkida, et sarnasel teemal teeb lõputööd üks bakalaureuse kraadi taotlej tudeng.



Sele 2. Eritechnik OÜ valminud prototüüp puksiirseade

Lõputöö põhieesmärgiks on prototüübi vintsi ümberehitus. Vints on prototüübil kinnitatud statsionaarselt ning tuleb Eritechnik OÜ soovil muuta küljelt küljele liigutatavaks. See tähendab, et tuleks modelleerida ka vintsile vastav liikurseade. Liikurseade peab vastama kindlatele kriteeriumitele ning nõuetele. Teiseks tähtsaks lõputöö ülesandeks on puksiirseadme konstruktsiooni jäikuse tagamine. Kuna vintsil on suured tõmbejõud, siis see võib kogu puksiirseadet deformeerida. Kolmandaks on prototüübi tööea käigus on tulnud esile probleem, et ebatasasel pindadel hakkab puksiirseade nn vedrutama, mis deformeerib konstruktsiooni. Selleks tuleks projekteerida toed, mis tõstaksid konstruktsiooni jäikust.

Esimeses peatükis peaks tegema uurimuse puksiirseadmetest, kuidas neid liigatakse ning mis on nende töö põhimõtted. Kuna Eritechnik OÜ-s valminud prototüüp on ainulaadne Eestis, siis tuleb see seade ära mõõtmestada ning pöördprojekteerida.

Teises peatükis peaks tegema 15-tonniste vintsidele turuanalüüs. Selleks peaks kasutama internetikatalooge ning uurima tuntumate firmade toodanguid. Turuanalüüsist lähtudes tuleks teha ühe vintside valik, millele tuleks teha ka detailsem analüüs. Analüüside põhjal peaks tegema hindamismatriksi, mille põhjal tuleks valida parimate omadustega seade.

Kolmandas peatükis peaks turuanalüüsist valitud vintsidele projekteerima liikurseadme. Liikurseadme konstruktsioonide kavandamiseks peaks kasutama ajurünnaku meetodit, mis genereeriks mitmeid erinevaid lahendusi. Välja mõeldud konstruktsioonide hulgast peaks välja valima vähemalt kolm lahendit. Modelleerimise tarkvaraks kasutatakse Dassault Systemes SolidWorks programmi. Valminud lahendustele peaks vastavalt kriteeriumitele ning nõudmistele tegema hindamismatriksi, kust siis valitakse välja parim lahendus.

Neljandas peatükis tuleks valitud lahendusele teha tugevusarvutused. Esmalt tuleb teha liikurseadme materjali valik. Vastavalt materjalile tuleks genereerida mitu simulatsiooni, kuidas vintsi jõud täpsemalt liikurseadmele mõjuvad. Vajadusel tuleks konstruktsiooni optimeerida ning teha uued tugevusarvutused.

Viiendas peatükis tuleks projekteeritud liikurseade paigaldada puksiirseedmele. Puksiirseedmele peaks projekteerima ka uue kabiinipoolse kaitseseina. Kuna vintsi tõmbejõud on väga suured, siis on puksiirseedme konstruktsiooni jäikus ning sitkus olulisel kohal. Selleks tuleks koostada simulatsioonid. Kui simulatsioonid peaksid ebaõnnestuma, siis tuleb konstruktsiooni optimeerida ning teha uued tugevusarvutused.

Lõpetuseks tuleks teha lõputöö kokkuvõte. See peaks sisaldama probleemide kirjeldusi, kuidas neid lahendati ning saadud tulemusi. Tulemustele peaks kindlasti tegema analüüsi, kus on välja toodud saadud arvutustulemused. Nendest tuleks teha järeldused, kas selline konstruktsioon on piisavalt tugev, et vastu pidada vintsi suurtele tõmbejõududele.

1. PUUKSIIRSEADE

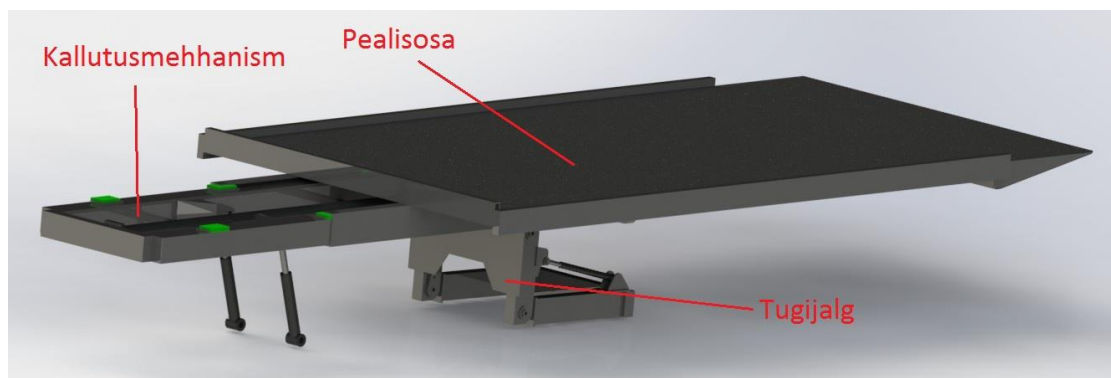
Puuksiirseade on masin, mis on mõeldud töötamast lakanud, kinni kiilunud, purunenud, mittetöökorras olevate seadmete transpordiks. Puuksiirseadmehel on erinevad detailid, mis eristavad seda muudest transportööridest, milleks on näiteks kärud, konteinerid, platood ja muud taolised seadmed. Puuksiirseadmega on võimalik teostada ka statsionaarsete esemete teisaldamist. Eritehnik OÜ-l oli kavas teha puuksiirauto mudel ning seda muuta ja optimeerida, et siis see hiljem eritellimusena valmis ehitada. [1]

Puuksiirautosid jaotatakse täismassi kaudu erinevatesse gruppidesse [22]:

- 1) Esimese klassi ehk kergklassi puuksiirautod
- 2) Teise klassi ehk keskmise kandevõimega puuksiirautod
- 3) Kolmanda klassi ehk raskeklassi puuksiirautod

1.1 Eritehnik OÜ puuksiirseadme prototüüp

Eritehnik OÜ on valmis ehitanud puuksiirseadme prototüübi. See on inspireeritud eelkõige Ameerika Ühendriikides kasutatavatest puuksiirseadmetest, mille nimi on *flatbed tilt-tray tow truck* ehk tasapinnaline kallutatava alusega puuksiirauto. Prototüüp koosneb põhimõtteliselt kolmest osast (Sele 1.1.1): 1) puuksiirseadme baas ehk kallutusmehhanism 2) pealisosa 3) tugijalg. Kahe koostu juures tuleb teha muudatusi ning parandusi.



Sele 1.1.1. Eritehnik OÜ modelleeritud prototüüp puuksiirseadme baasmudel

Prütotüüp on töös olnud 10 aastat ning pukseerinud mitmeid erinevaid objekte. Nendeks on näiteks: tsisternid (Sele 1.1.2), saunad, militaarsõidukid (Sele 1.1.3), konteinerid, traktorid, sõidukid (Sele 1.1.4), laotõstukid (Sele 1.1.5).



Sele 1.1.2. Tisterni pukseerimine



Sele 1.1.3. Militaarsõiduki pukseerimine



Sele 1.1.4. Veoauto pukseerimine



Sele 1.1.5. Laotõstuki pukseerimine



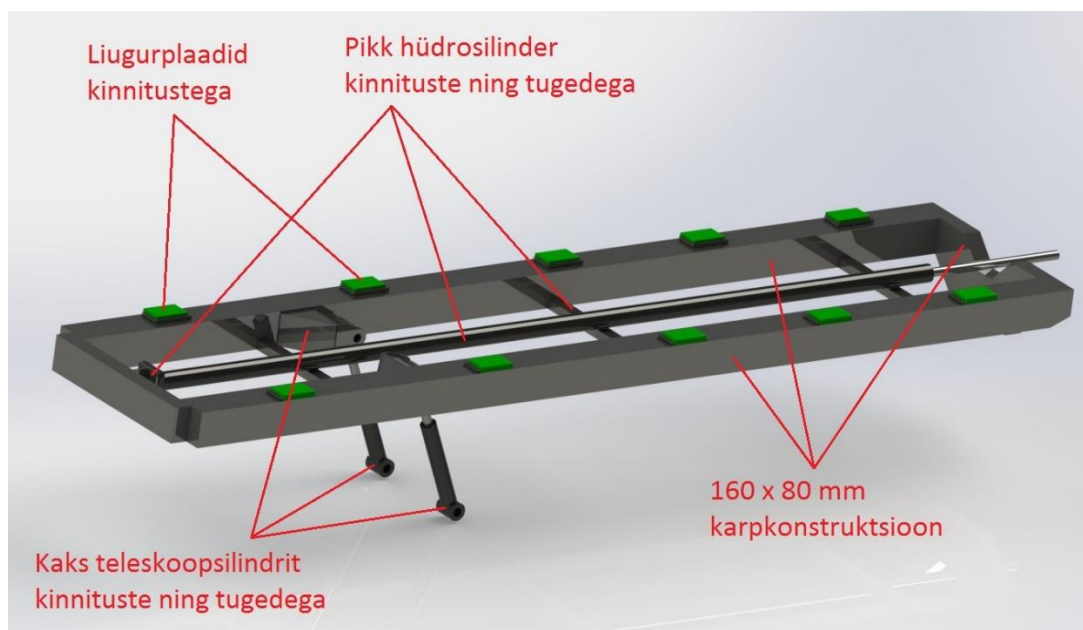
Sele 1.1.6. Alla kallutatud pealisosa



Sele 1.1.7. Jalaga üles tõstetud pealisosa

1.2 Kallutusmehhanism

Alumine konstruktsioon ehk puksiirseadme baas on puksiirseadme põhikonstruktsioon, mis on kallutatav ning kannab kogu pukseeritava objekti massi. Puksiirseadme baas koosneb kolmest kahepoolse toimega hüdrosilindrist (üks pikk, kaks lühikest teleskoopsilindrit), hüdrosilindrite kinnitustest ning tugedest, põhikonstruktsioonist (moodustatud 160 x 80 mm karbi profiiliga latist, materjali paksus on 8 mm), liugurplaatidest ning nende tugedest ja eriketi jaoks mõeldud rennist (Sele 1.2.1). Baaskonstruktsiooni külge on kinnitatud kaks lühemat teleskoophüdrosilindrit, mis võimaldavad kogu konstruktsiooni veoauto suhtes kallutada. Kallutamisel on baas võllide abil tugijala külge kinnitatud, mis annab sellele rotatsiooni võimaluse. Hüdrosilindrite liigutamisel veoauto kabiini või siis tagaosaga poole, saab muuta puksiirseadme kallutusnurka. Kui liigutada hüdrosilindrid kabiini poole, siis väheneb kallutusnurk, liigutades auto tagaosapoolle jällegi suureneb kallutusnurk. Kallutusnurga suurust saab firma klient soovi korral muuta ka teleskoophüdrosilindrite väljaulatuva osa pikkuse suurendamise või vähendamisega.

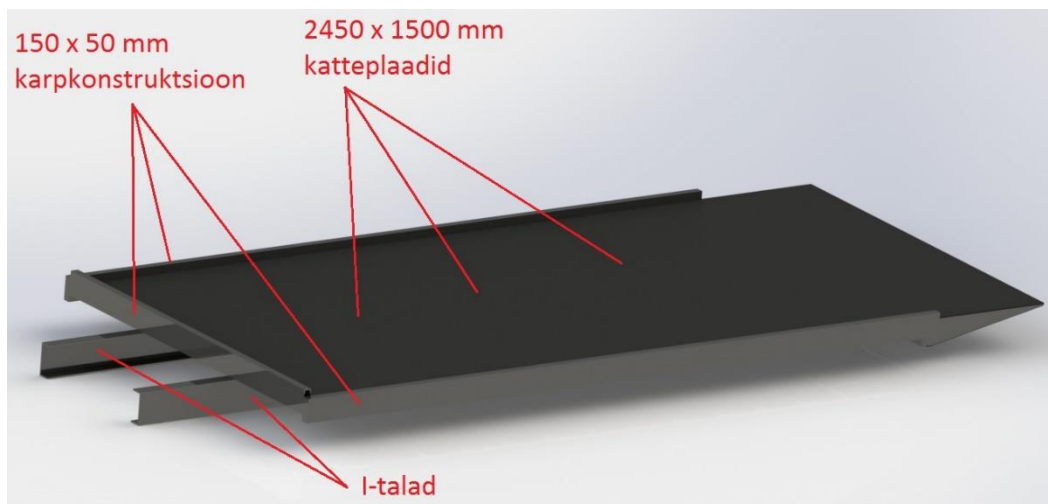


Sele 1.2.1. Kallutusmehhanism ning märgitud detailid

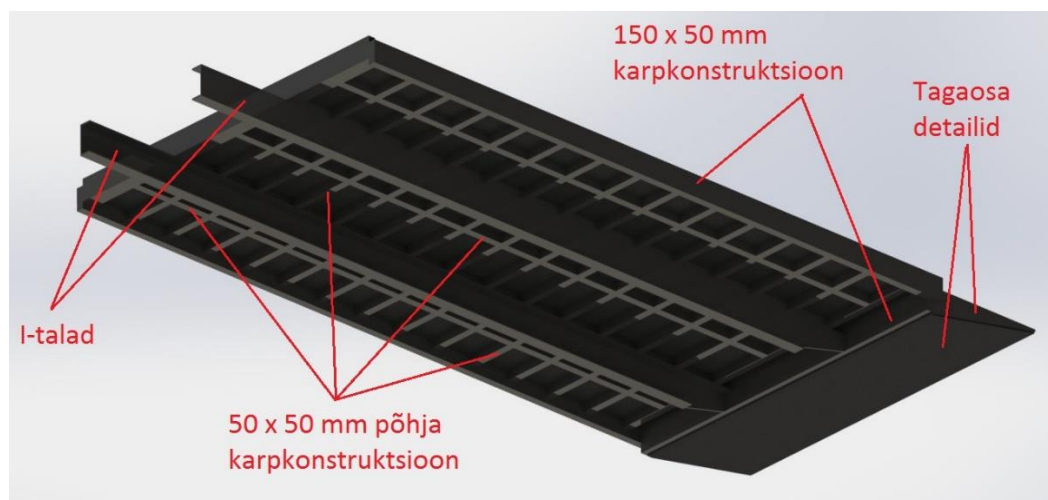
Kallutusmehhanismi puhul ei tule muudatusi teha, kuna sellega pole prototüübil 10 aasta jooksul probleeme esinenud ning on ka kulumisele ja tööle väga hästi vastu pidanud. Koostu modelleerimine on ülimalt tähtis, kuna tegemist on eritellimusel valmiva projektiga ning firma klient valib nii auto tüübi kui ka selle lisavarustuse. Vastavalt sellele koostatakse veoautole sobiv puksiirseade.

1.3 Pealisosa

Puksiirseadme pealisosa on detailide koost, kuhu asetatakse pukseeritav objekt või objektid. Pealisosa koosneb 50 x 50 mm ja 4 mm paksust karpkonstruktsioonist, küljed ning eesmine tugitala on tehtud 150 x 50 ja 4 mm paksusest karpprofiilist, I-taladest, 2450 x 1500 mm ja 8 mm paksustest katteplaatidest ning tagaosas väiksematest detailidest (Sele 1.3.1, Sele 1.3.2).

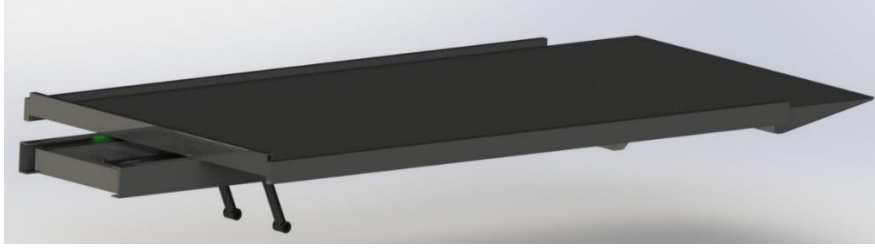


Sele 1.3.1. Pealisosa pealt poolt vaadatuna

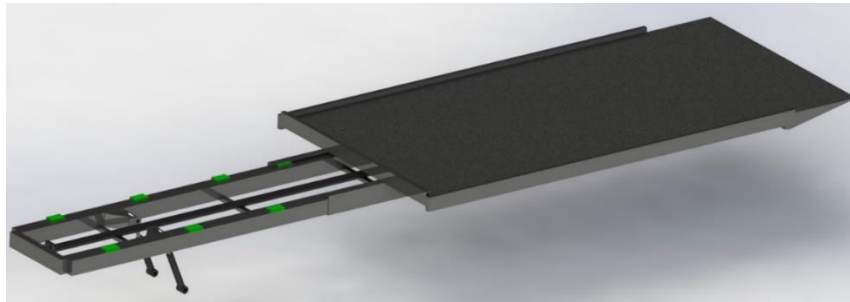


Sele 1.3.2. Pealisosa põhja poolt vaadatuna

Pealisosa kinnitub kallutusmehhanismile, mis omakorda libiseb liugurite peal. See tähendab, et puksiirseadet on võimalik kallutada ning pealisosa veel liigutada (Sele 1.3.3, Sele 1.3.4). Puksiirveokiga sõites asetseb pealisosa eesmisel asendis, mis on lukustatud kabiini alla. Pealisosa liigutab ette-taha pikk hüdrosilinder, mida on ka näha Selet 1.3.4.



Sele 1.3.3. Puksiirseade pealisosa eesmises asendis



Sele 1.3.4. Puksiirseade pealisosa tagumises (välja liigutatud) asendis

Pealisosal oli eesmärgiks mitmete muutuste tegemine. Esimeseks projekteeritavaks objektiks oli liikuv vints, mis moodustab suurema osa lõputööst. Eritehnik OÜ soovis projekteerida maksimaalse 15-tonnise tõmbevõimega vintsi koos seda liigutatava liikurseadmega. See pidi vastama kindlatele kriteeriumitele, mis on samuti valitud kliendi poolt.

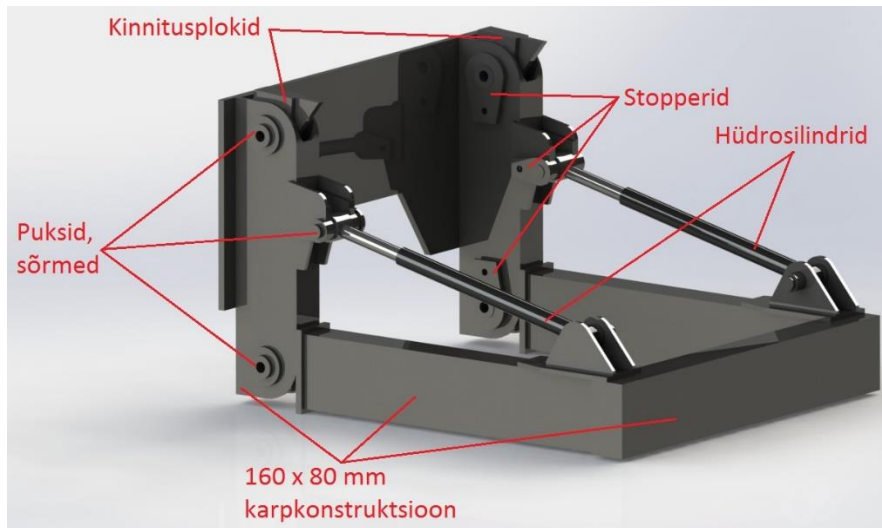
Teiseks muutuseks olid katteplaadid, mille sees oli esialgselt liiga vähe kinnitusavasid. See teeb koormate kinnisidumise keerulisemaks. Selle probleemi lahendamiseks tuleks projekteerida nii palju avasid kui mudel võimaldab.

Kolmandaks tuli ette võtta ka pealisehitise eesmise vintsi poolse otsa ümberehitus. Esimese kabiini poolse otsa puhul tuli projekteerida pealisosale uus kaitsesein, mis takistab veetava detaili liikumist pealisehitise eesmisest otsast ette poole. Selleks tuli kasutada karpkonstruktsiooni.

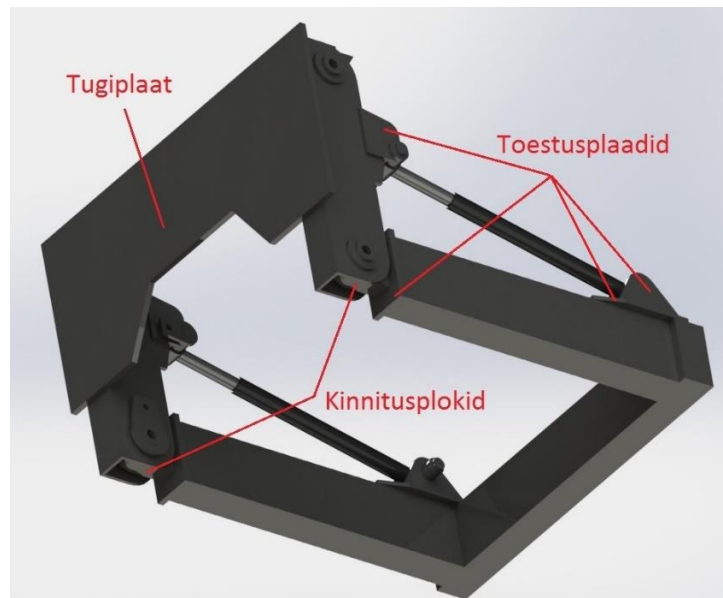
Neljandaks tuli pealisosa 50 x 50 mm aluskonstruktsioonile projekteerida tugevdused, kuna prototüübil tekkis teatud esemete puksiirimisel probleeme. Nimelt hakkas pealisehitis nn vedrutama ehk konstruktsioon ei olnud piisavalt jäik.

1.4 Tugijalg

Nagu ka nimi ütleb, siis puksiirseadme tugijalg on masinal selleks, et teha töö tegemine ohutumaks. Tugijalg koosneb 160 x 80 mm ning 8 mm paksustest karpkonstruktsioonidest, kahest kahepoolse toimega hüdrosilindrist, keevitatud plaatidest, sõrmedest, puksidest, stopperitest ning kinnitusplokkidest (Sele 1.4.1, Sele 1.4.2).



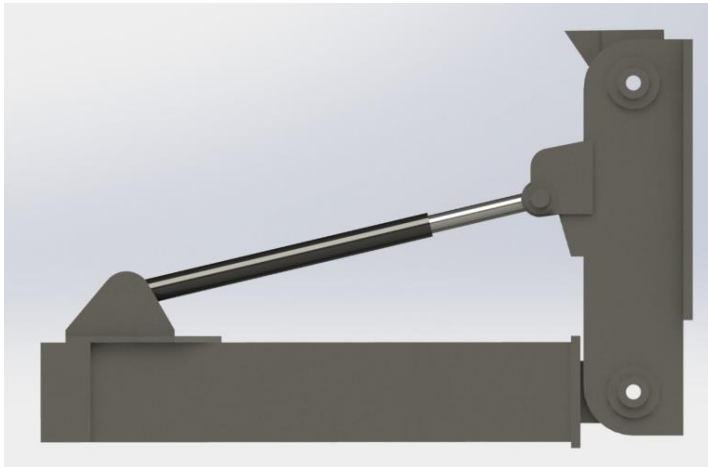
Sele 1.4.1. Tugijalg ja selle detailid pealt poolt vaadatuna



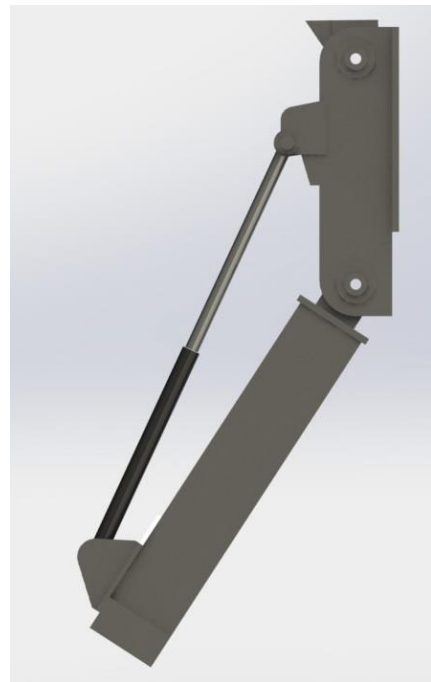
Sele 1.4.2. Tugijalg ja selle detailid alt poolt vaadatuna

Tugijalg seob omavahel ülemiste kinnitusplokkide abil kallutusmehhanismi ning veoauto raami. Kinnitusplokkid on tugijala külge kinnitatud pukside, sõrmede ning stopperite abil. Kuna seadme vintsimisel või teisaldatava objekti pealelaadimisel võib olla maapind ebatasane, siis

võib see tekitada ohtliku olukorra, kus puksiirseade võib liikuda ning midagi võib puruneda. Tugijala tööpõhimõte seisneb selles, et kaks hüdrosilindrit suruvad nn jala vastu maad ning sellega tõstab auto tagaosas ülespoole. Kogu veoauto tagaosas raskus jääb hoidma selle jala peale, mis stabiliseerib töö tegemise ajal kogu veoautot. Tugijalal on ka teine otstarve – see suudab autot tõsta kõrgemale ning selle tõttu on võimalik teisaldada ka objekte, mis asuvad kõrgemal või mõne platvormi peal vms. Tugijalg on algsendis paralleelselt maapinnaga (Sele 1.4.3). Kuna tugijala tööraadius on peaaegu 80 kraadi (Sele 1.4.4), siis see annab operaatore jaoks mitmeid erinevaid töökõrgusi ning -võimalusi.



Sele 1.4.3. Tugijalg algsendis



Sele 1.4.4. Tugijalg alumises asendis

Tugijala koostude juures ei tulnud muudatusi teha, kuna tegemist on töökindla seadmega. 10 aasta jooksul pole siiani probleeme esinenud ning on ka kulumisele ja tööle väga hästi vastu pidanud. Koostu modelleerimine on ülimalt tähtis, kuna tegemist on eritellimusel valmiva projektiga ning firma klient valib nii auto tüübi kui ka selle lisavarustuse.

2. VINTSI VALIK PUKSIIRSEADMELE

2.1 Vintsidest

Vints on mehaaniline seade, mille abil on võimalik esemeid tõmmata, üles keerata, välja lasta, alla lasta või muud moodi liigutada, kasutades selleks nõõri, trossi, köit või muud sellist mitte jäika detaili. Kõige lihtsam vints koosneb trumlist ning selle külge ülekandega kinnitatud käepidemest. Tänapäeval on vintsid kasutusel erinevate seadmete põhitöös. Nendeks on näiteks puksiirautod, kauritsad, kraanad, liftid, laeva ankrud, teatrikardinad jne. Keerulisemates vintsidest on veel mitmekäigulised ülekanded ning vintsi on võimalik kasutada elektriliselt, hüdrauliliselt, pneumaatiliselt ning ka sisepõlemismootori abil. Mõndadel vintsidel on ka sisseehitatud pidurisüsteem, mis on kas solenoid, mehaaniline pidur või siis hammasratas või kinnitusnukk, mis takistab vintsi lahtikerimist. [2]

Nõör või tross asetseb tavaliselt vintsi peal, aga sarnane masin, mille nõõri või trossi ei hoita vintsil, nimetatakse *capstan*'iks. Seda kasutatakse näiteks purjelaevadel, kus meeskonnaliige pöörab vintsi käepidet ühe käega, samas suunab saba (tõmbab lõtva saba osa) teise käega, mis suudab hoida purjelaeva pööramisel vajalikku pinget. Mõndadel vintsidel on kiil (*stripper*), mis hoiab trossi pinget. Neid nimetatakse poovateks (*self-tailing*) vintsideks. Vintse on ka hiljuti välja mõeldud spetsiaalselt vee- ja lumespordialade tarbeks (näiteks wakeboarding, wakeskating, lumelauatamine jne). Need uuema generatsiooni vintsid on disainitud tõmbamiseks sõitjaid suure kiirusega üle vee- või lumeväljade, mis annab sarnase kogemuse, nagu sõitjat tõmbaks paat, lumesaan või skooter. [2]

Vintside tüübid:

- 1) Poov vints (*snubbing winch*) – vertikaalse silindriga vints, mis töötab hammasrataste toimel ning on sarnane tavapärasele vintstile, kuid millel puudub käepide või mõni muu ajam. Nõör on keritud ümber silindri ning seda saab pingutada ja peale keerata, kui tõmmata nõõri sinna peale. Põhimõte seisneb selles, et nõõri tõmmatakse peale ja nõör jääb pinge alla, kuid ei liigu tagasi (töötab mehaanika toimel). Poovat vintsi saab ka järgi anda, mis töötab hõõrdejõu toimel, olles tihedalt ümber silindri. Neid kasutatakse väiksemates laevades ning paatides, samas ka kaide peal, et laevad vees nn ära ei ujuks. Näide on toodud Selet 2.1.1. [2]
- 2) Planetaarne vints (*planetary winch*) – tavaline trumliga vints, kus mootor asetseb trumliga samal teljel. Väga kompleksse ehitusega vintsid, millel on laialt levinud nii

ühe- kui ka mitmekäigulised variandid. Need töötavad peamiselt elektri, hüdraulika või pneumaatika toimel. Näide on toodud Seel 2.1.2. [3]

- 3) Tigureduktoriga vints (*worm gear winch*) – tavaline trumliga vints, kus mootor asetseb trumliga vaadates ristteljel. Tavaliselt on ülekanne ühekäiguline ehk kiirust ei saa muuta. On olemas ka väheseid mitmekäigulisi, kuid need on väga keerulise ehitusega. Tigureduktoriga vintsid töötavad peamiselt elektri, hüdraulika või pneumaatika toimel. Näide on toodud Seel 2.1.3. [3]

- 4) Sirghammastega vints – tavaline trumliga vints, kus mootori või ülekanne annavad sirghammastega hammasrattad. Kõige laiemalt levinud lihtsate käsivintside seas. Levinud on nii ühe- kui mitmekäigulise ülekandega. Sirghammastega vintsid töötavad peamiselt elektri, hüdraulika, pneumaatika või mehaanika toimel. Näide on toodud Seel 2.1.4. [3]



Sele 2.1.1. Poov vints



Sele 2.1.2. Planetaarne vints



Sele 2.1.3. Tigureduktoriga vints



Sele 2.1.4. Sirghammastega vints

2.2 Vintside analüüs

Esmalt tuleb teha vintsi valik. Vintsi valikul on olulised mitmed kriteeriumid. Ostjal on võimalik valida talle sobiva võimsusega vint, mis rahuldab tema vajadusi. Kuna maksimaalse võimsusega vint on kuni 15-tonnise tõmbevõimsusega, siis tuleb valmistada ka vastav vintsi liikurseade, mis on piisavalt tugev ning liigub küljelt küljele. Vint peab olema kindlasti hüdrauliline, kerge, võimalikult kompaktne ning seda peab olema võimalikult universaalne erinevateks töödeks.

Vintsile esitatavad kriteeriumid:

- 1) Võimalikult odav
- 2) Võimalikult kerge
- 3) Vähemalt 15-tonnise tõmbevõimega
- 4) Võimalikult kompaktne
- 5) Võimalikult madala raskuskeskmega
- 6) Lihtsalt paigaldatav
- 7) Lihtsalt hooldatav
- 8) Hüdrauliline

Vintside leidmiseks kasutati internetikataloogide abi. Internetist sai otsitud 5 erineva tootja poolt valmistatavat vintsi, mille tõmbevõime on vähemalt 15 tonni. Sellele järgnes detailsem analüüs, kus uuriti lähemalt vintsile esitatavaid kriteeriume ning pandi kirja spetsifikatsioonid. Tähtsaks osutus ka vintside valikul nende mõõtmete või jooniste olemasolu. Nende puudumisel oleks võimatu projekteerida vintsi liikurseadet ning sellele teha tugevusarvutusi.

2.2.1 WPT WHP156S-DS

Esimeseks analüüsitavaks seadmeks valiti Ameerika Ühendriikides asuva WPT Power Corporation poolt valmistatav hüdrauliline planetaarvints WHP156S-DS. WPT on tunnustatud firma tegutsemisvaldkonnad on energia tootmine, põllumajandus, dünamomeetrid, metsandus, laevandus, metallide vormimine, kaevandamine, paberi tootmine / ümbertöötlemine ning terastoodete valmistamine. Kuna firmal on kogemusi, siis peaks antud vints olema ülimalt universaalne ning töökindel. [4]



Sele 2.2.1.1. Hüdrauliline planetaarvints WPT WHP156S-DS

Tabel 2.2.1.1. Spetsifikatsioon [5]

| | |
|------------------------------|---|
| Arvutuslik trossi tõmbevõime | 15 909 kg |
| Ülekandearv | 36:1 |
| Mass ilma trossita | 200 kg |
| Kabariitmõõtmed | 777 x 619 x 410 mm (pikkus x laius x kõrgus) |
| Pidur | Jah, vedru abil rakendatav ja hüdrauliliselt vabastatav |
| Tross | Ei |
| Trumli suurus | 248 x 264 mm (pikkus x väike \varnothing) |
| Trossi mahutavus | 34 m |
| Soovitav trossi läbimõõt | 3/4" = 19,0 mm |
| Esimese kihi trossi kiirus | 5,5 m/min |
| Siduri kontrollimine | Õhu abil |

2.2.2 TMA TMT 150

Teiseks analüüsitavaks seadmeks valiti TMA planetaarse hüdraulilise vintsi mudeli TMT-150-315T-2R. TMA on vintside tootmisele spetsialiseerunud firma, mis on pärit Itaaliast. Tootekataloogides on lai valik igas rakendusvaldkonnas, kus on igal tootel veel mitmeid erinevaid versioone koos lisavarustusega. Rakendusvaldkonnad on näiteks veoautod, puksiirid, kraanad, puurkaevud, merevägi, sõjatehnika jms. [6,7]



Sele 2.2.2.1. Hüdrauliline planetaarvints TMA TMT 150

Tabel 2.2.1.1. Spetsifikatsioon [8]

| | |
|------------------------------|---|
| Arvutuslik trossi tõmbevõime | 15 000 kg |
| Ülekandearv | 22:1 |
| Mass ilma trossita | 360 kg |
| Kabariitmõõtmed | 1153 x 440 x 427 mm (pikkus x laius x kõrgus) |
| Pidur | Jah – negatiivne, mitme kettaga, 1200 Nm |
| Tross | Ei |
| Trumli suurus | 350 x 264 mm (pikkus x suur \emptyset x väike \emptyset) |
| Trossi mahutavus | 87 m |
| Soovitav trossi läbimõõt | 3/4" = 19,0 mm |
| Esimese kihi trossi kiirus | 8,8 m/min |
| Siduri kontrollimine | Õhu abil või manuaalselt |

2.2.3 Ramsey RPH 35,000

Kolmandaks analüüsitavaks vintsiks osutus Ameerika Ühendriikides toodetav hüdrauliline planetaarvints Ramsey RPH 35,000. Vints on mõeldud kasutamiseks erinevates valdkondades: puksiirid, metsandus, ehitus, jäätmekäitlus, kaevandus. Vintsil on standardne trummel ning on hooldatav universaalse määrdeainega. Tegemist on vastupidava ning võimsa, kuid samas kerge seadmega. [9]



Sele 2.2.3.1. Ramsey RPH 35,00 hüdrauliline planetaarvints

Tabel 2.2.3.1. Spetsifikatsioon [10]

| | |
|------------------------------|---|
| Arvutuslik trossi tõmbevõime | 15 909 kg |
| Ülekandearv | 31,89:1 |
| Mass ilma trossita | 229 kg |
| Kabariitmõõtmed | 1026 x 522 x 396 mm (pikkus x laius x kõrgus) |
| Pidur | Jah |
| Tross | Ei |
| Trumli suurus | 338 x 378 x 152 mm (pikkus x suur \emptyset x väike \emptyset) |
| Trossi mahutavus | 60 m |
| Soovitatav trossi läbimõõt | 3/4" = 19,0 mm |
| Esimese kihi trossi kiirus | 4,7 m/min |
| Töömaht | 12 cu. in. = 196,65 cm ³ |
| Siduri tüüp | Libisev spline |
| Siduri kontrollimine | Õhu abil |

2.2.4 Zhongxin YJP150

Neljandaks analüüsitavaks vintsiks osutus Hiina päritoluga hüdrauliline planetaarvints Zhongxin YJP150. Kasutusvaldkonnad on pääste- ja puksiirtööd, koormaveokid, treilerid, raskevarustuse transportöörid, soomusautod, traktorid, kallurid, tuletõrjeautod, pingerakised jne. Vintsil on standardne trummel ning on hooldatav universaalse määrdeainega. [12]



Sele 2.2.4.1. Hüdrauliline planetaarvints Zhongxin YJP150

Tabel 2.2.4.1. Spetsifikatsioon [13]

| | |
|------------------------------|---|
| Arvutuslik trossi tõmbevõime | 15 000 kg |
| Ülekandearv | – |
| Mass ilma trossita | 285 kg |
| Kabariitmõõtmed | – |
| Pidur | Jah, mitme kettaga |
| Tross | Ei |
| Trumli suurus | 400 x 340 x 210 mm (pikkus x suur \varnothing x väike \varnothing) |
| Trossi mahutavus | 55 m |
| Soovitav trossi läbimõõt | 22,0 mm |
| Esimese kihhi trossi kiirus | 6 m/min |
| Siduri tüüp | Vabalt liikuv (<i>Freespool</i>) |
| Siduri kontrollimine | – |

Antud vintsil puuduvad mitmed spetsifikatsioonid ning vähesed näitajad on välja toodud. Samas pole kirjeldatud vintsi detaile, ega märgitud ka kabariitmõõtmeid.

2.2.5 Sepsen Sepdurance H150

Viiendaks ja viimaseks analüüsitavaks vintsiks osutus Rootsi päritoluga hüdrauliline sirghammastega vints Sepsen Sepdurance H150. See vintsi seeria on laialdaselt kasutatav ning Sepseni nokia. Eelkõige on tuntust kogunud raskete ülesannete täitmisel ning seda eriti nõudlikes keskkondades ja töötingimustel. [14]



Sele 2.2.5.1. Hüdrauliline sirghammastega vints Sepsen Sepdurance H150

Tabel 2.2.5.1. Spetsifikatsioon [15]

| | |
|------------------------------|---|
| Arvutuslik trossi tõmbevõime | 15 295 kg |
| Ülekandearv | – |
| Mass ilma trossita | 370 kg |
| Kabariitmõõtmed | 602 x 564 x 758 mm (pikkus x laius x kõrgus) |
| Pidur | Jah |
| Tross | Jah, tõmbevõime \geq 300 kN, 106 kg |
| Trumli suurus | 300 x 450 x 260 mm (pikkus x suur \varnothing x väike \varnothing) |
| Trossi mahutavus | 60 m |
| Soovitatav trossi läbimõõt | 3/4" = 19,0 mm |
| Esimese kihi trossi kiirus | 5 m/min – aeglane käik, 12 m/min – kiire käik |
| Siduri tüüp | Vabalt liikuv (<i>Freespool</i>) |
| Siduri kontrollimine | Õhu abil |

2.3 Vintsi valik

Lähtudes erinevatest kriteeriumitest, anti igale vintsile viiepallisüsteemis punkte. Parima lõpptulemusega vintsile projekteeritakse vintsi liikurseade.

Kriteeriumite seletus:

- 1) Arvutuslik tõmbevõime – vintsi esimese kihi trossi tõmbevõime. Mida suurem, seda kõrgem hinnang.
- 2) Mass – vintsi mass. Mida väiksem, seda suurem hinnang.
- 3) Kabariitmõõtmed. Mida väiksemad, seda parem. Kõige tähtsam on vintsi laius, sest vints paikneb pealisosal risti veoautoga ning mida vähem see ruumi võtab, seda parem.
- 4) Raskuskese – vintsi trumli paiknevus selle põhjast mõõdetuna. Mida lähemal põhjale, seda parem hinnang.
- 5) Trumli suurus – mida suurem trummel, seda parem hinnang.
- 6) Trossi mahutavus – mida rohkem mahutab trossi, seda parem.
- 7) Trossi kiirus – esimese kihi trossi liikumiskiirus. Mida suurem, seda parem hinnang.
- 8) Paigaldatavus – vintsi kinnitusavadele ligipääsetavus ning asukoht.
- 9) Hooldatavus – mida vähem erinevaid hooldustarbeid, seda parem hinnang.
- 10) Hind – mida väiksem hind, seda parem hinnang.

Tabel 2.3.1. Vintside andmed vastavalt kriteeriumitele

| | WPT WHP156 | TMA TMT 150 | Ramsey RPH 35,000 | Zhongxin YJP150 | Sepson H150 |
|--|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Tõmbevõime, kg | 15909 | 15000 | 15909 | 15000 | 15295 |
| Mass, kg | 200 | 360 | 229 | 285 | 370 |
| Kabariitmõõtmed, mm (pikkus, laius, kõrgus) | 777 x 619 x 410 | 1153 x 440 x 427 | 1026 x 522 x 396 | – | 602 x 564 x 758 |
| Raskuskese, mm | 205 | 240 | 200 | – | 285 |
| Trumli suurus, mm | 248 x 264 | 350 x 264 | 338 x 152 | 400 x 210 | 300 x 260 |
| Trossi mahutavus, m | 34 | 87 | 60 | 55 | 60 |
| Trossi kiirus, m/min | 5,5 | 8,8 | 4,7 | 6,0 | 5,0 |

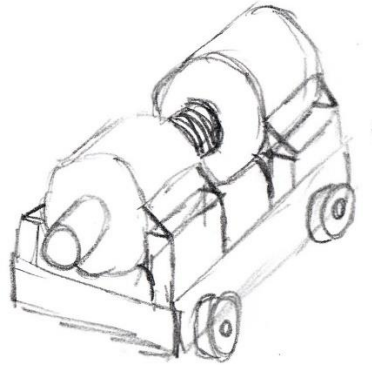
Tabel 2.3.2. Kriteeriumite olulisuse hindamistabel

| | WPT WHP156 | TMA TMT 150 | Ramsey RPH 35,000 | Zhongxin YJP150 | Sepson H150 |
|------------------|---------------|----------------|----------------------|--------------------|----------------|
| Tõmbevõime | 5 | 1 | 5 | 1 | 3 |
| Mass | 5 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| Kabariitmõõtmed | 3 | 5 | 4 | 1 | 2 |
| Raskuskese | 4 | 3 | 5 | 1 | 2 |
| Trumli suurus | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 |
| Trossi mahutavus | 1 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| Trossi kiirus | 3 | 5 | 1 | 4 | 2 |
| Paigaldatavus | 2 | 2 | 5 | 4 | 1 |
| Hooldatavus | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| Lõpptulemus | 27 | 30 | 34 | 26 | 24 |

Parima lõpphinnangu sai Ramsey RPH 35,000, mida kasutan ka vintsi liikurseadme projekteerimisel. Lisas oleval Seel 3. on toodud vintsi joonised koos mõõtmetega, mis on tollides. Lõputöö raames sai ühendust võetud Ramsey firmaga ning nad olid nõus saatma vintsi mudelid, et selle järgi projekteerida liikurseade.

3. VINTSI LIIKURSEADME PROJEKTEERIMINE

Projekteerimisele kuulub vintsi liikurseade, mis peab vastu pidama 15909-kilogrammisele tõmbevõimele. Vints peab liikuma küljelt küljele, et kompenseerida ebaühtlase kuju või suurusega esemete erinevusi (ka raskuskeskme leidmiseks). Projekteeritav süsteem peaks olema võimalikult kompaktne ning kergesti paigaldatav. Samas ka võimalikult lihtne, et kasutada tootekataloogides olevaid toorikuid, millele on lihtne teostada tugevusarvutusi.



Sele 3.1. Vintsi liikurseadme eskiis

Vintsi liikurseadmele esitatavad kriteeriumid:

- 1) Võimalikult kerge
- 2) Piisava tugevusega
- 3) Liigub küljelt küljele
- 4) Raskuskeskmest võimalikult madalal, pealisplaatidele võimalikult ligidal
- 5) 15909 kg tõmbevõime
- 6) Võimalikult odav
- 7) Lihtne vintsi paigaldatavus
- 8) Lihtne vintsi hooldatavus
- 9) Lihtne rullikute vahetatavus
- 10) Vertikaal- ja kas ka horisontaalrullikud?
- 11) Süsteemi kompaktsus
- 12) Süsteemi lihtsus, võimalikult vähe detaile
- 13) Lihtsam ümber ehitada väiksema võimsusega vintsi tarbeks

3.1 Toote spetsifikatsioon

| Spetsifikatsioon | Projekt: Vintsi liikurseadme projekteerimine | Fiks. nõue | Soov. |
|--|---|---------------|-------|
| <p>1. <u>Funktsioon.</u></p> <p>Vintsida kuni 15 tonnist esemet</p> | | | |
| | | X | |
| <p>2. <u>Tehnilise protsessi tingimused.</u></p> | | | |
| <p>2.1 Vintsi mõõtmed ja mass:</p> | | | |
| Mass – minimaalne | | | X |
| Mõõtmed – minimaalne | | | X |
| <p>2.2 Vintsi liikurseadme mõõtmed ja mass:</p> | | | |
| Mass – minimaalne | | | X |
| Mõõtmed – minimaalne | | | X |
| <p>2.3 Fikseeritav vintsi:</p> | | | |
| Vintsi liikurseade peaks olema fikseeritav | | | X |
| <p>2.4 Vintsi liikurseadme materjal ja mass:</p> | | | |
| a) Materjal pole määratud | | X | |
| b) Mass: liikurseade peaks olema võimalikult kerge | | | X |
| <p>2.5 Vintsi töötamise protseduur:</p> | | | |
| a) Vintsi on võimalik opereerida ühel inimesel | | X | |
| b) Vintsi töötamiskiirus võimalikult suur | | | X |
| c) Vintsi positsioneerimine võimalik ühel inimesel | | X | |
| <p>2.6 Keskkond:</p> | | | |
| a) Väliskeskkond | | X | |
| <p>3. <u>Käsitlemine</u></p> | | | |
| 3.1 Eluiga ligikaudu 5 aastat | | | X |
| 3.2 Vastupidav | | X | |
| 3.3 Hooldusvaba | | | X |
| 3.4 Lihtsalt positsioneeritav | | X | |
| 3.5 Trossi suunamise võimalus | | | X |
| 3.6 Vintsi töötamine puldi abil | | | X |

| | | |
|--|---|---|
| 4. <u>Ergonoomika</u> | | |
| 4.1 Vintsi jõud: kuni 15 tonni tõmbevõimet | X | |
| 4.2 Töö asend ja kõrgus (joonistel või pildidel) | X | |
| 4.3 Ohutusnõuete tagamine | X | |
| 5. <u>Kuju</u> | | |
| a) Esialgsed nõuded puuduvad | | X |
| b) Masin peab olema kompaktne | | X |
| c) Kogu seadme laius ei tohi ületada 2550 mm | X | |
| 6. <u>Hoiustamine</u> | | |
| Suur ruumitarve | X | |
| 7. <u>Valmistamisaeg</u> | | |
| Tarneaeg 3 kuud (4 kuud maksimum) | X | |
| 8. <u>Valmistamiskoht</u> | | |
| Eritehnik OÜ garaažis | | X |
| 9. <u>Kulud</u> | | |
| Valmistamiskulud minimaalsed | | X |

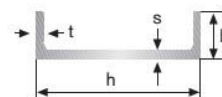
3.2 Liikurseadme lahenduste genereerimine

Lähtudes toote spetsifikatsioonidest, loodi ajurünnaku käigus erinevaid võimalikke mudeleid. Eritehnik OÜ juhendamisel olid mõned vintsi liikurseadmele esitatavad nõuded juba olemas. Liikurseade peaks koosnema kahest C-karbist, kus vahel sõidab nn kelk, mis on rullikute peal. Rullikute läbimõõt on 120 mm ning C-karp pidi olema valitud Ruukki tootekataloogist. Sellele järgnes liikurseadmete modelleerimine ning lähem analüüs. Peale analüüsi tehti valminud koostudele hindamismaatriks ning selle käigus valiti parim antud lahenduste hulgast.

C-karp sai valitud Ruukki tootekataloogist. Karbi peaesmärgiks on liikurseadme töötamise tagamine. Liikurseade nn sõidab kahe C-karbi vahel, mida hoiavad seal vahel 120-millimeetrised rullikud (Sele 3.2.1, Sele 3.2.2). [16]

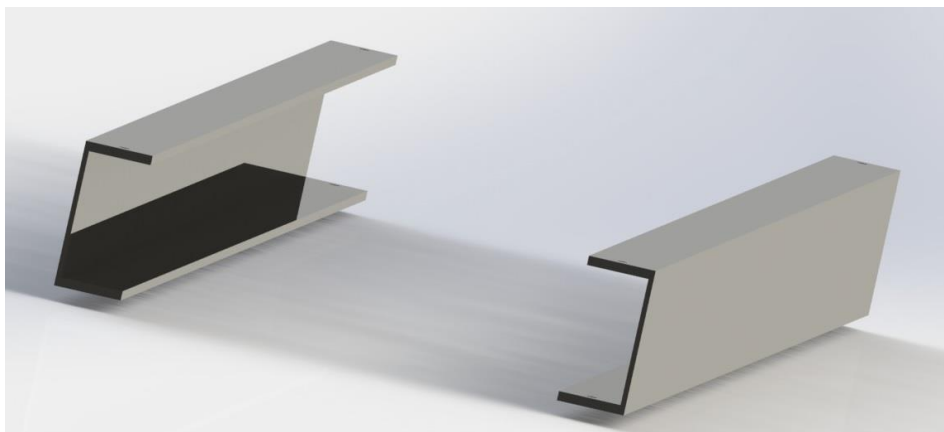
Terastalad. UPE

| | |
|-------------------------|--------------|
| Standardid | EN 10025-2 |
| Mõõtude tolerants | EN 10279 |
| Pikkuse tolerants | -0 / +100 mm |
| Materjali sertifikaadid | EN 10204-3.1 |



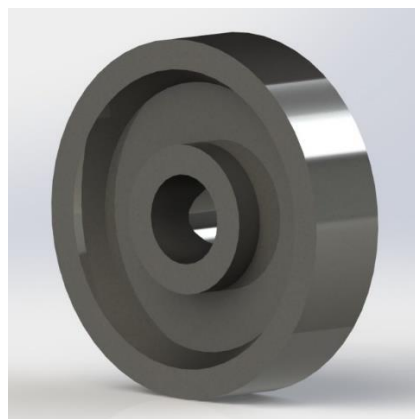
| Tüüp | Mõõdud, mm | | | | Teoreetiline kaal | Terase mark |
|------|------------|-----|------|------|-------------------|----------------|
| | h | b | s | t | kg/m | S355J2 12 m |
| 80 | 80 | 50 | 4 | 7 | 7,9 | • |
| 100 | 100 | 55 | 4,5 | 7,5 | 9,8 | • |
| 120 | 120 | 60 | 5 | 8 | 12,1 | • |
| 140 | 140 | 65 | 5 | 9 | 14,5 | • |
| 160 | 160 | 70 | 5,5 | 9,5 | 17 | • |
| 180 | 180 | 75 | 5,5 | 10,5 | 19,7 | • |
| 200 | 200 | 80 | 6 | 11 | 22,8 | • |
| 220 | 220 | 85 | 6,5 | 12 | 26,6 | • |
| 240 | 240 | 90 | 7 | 12,5 | 30,2 | • |
| 270 | 270 | 95 | 7,5 | 13,5 | 35,2 | • |
| 300 | 300 | 100 | 9,5 | 15 | 44,4 | • |
| 360 | 360 | 110 | 12 | 17 | 61,2 | • |
| 400 | 400 | 115 | 13,5 | 18 | 72,2 | • |

Sele 3.2.1. C-karbi valik



Sele 3.2.2. Modelleeritud Ruukki C-karbid

Vertikaalrullikute projekteerimisel sai modelleerimisel inspiratsiooni internetikataloogidest. Modelleeritud rullikud on täismetallist ning isevalmistatavad. Rulliku läbimõõduks on 120 mm ning paksuseks 40 mm.

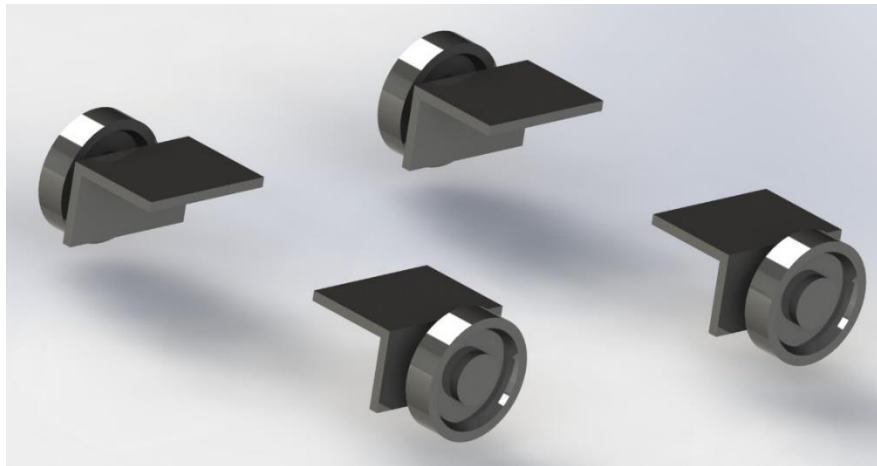


Sele 3.2.3. Tootekataloogides müüdav rullik [17] Sele 3.2.4. Modelleeritud 120 mm rullik

Teiseks tähtsaks nõudeks oli ka horisontaalrullikute olemasolu. Need stabiliseeriks liikurseadme ristisuunas C-karpidega ehk horisontaalsuunas. Kindlasti peaks üks rullikute pool olema reguleeritav, et kelk oleks kindlalt C-karpide vahel. Ka horisontaalrullikud on täismetallist ning isevalmistatavad.

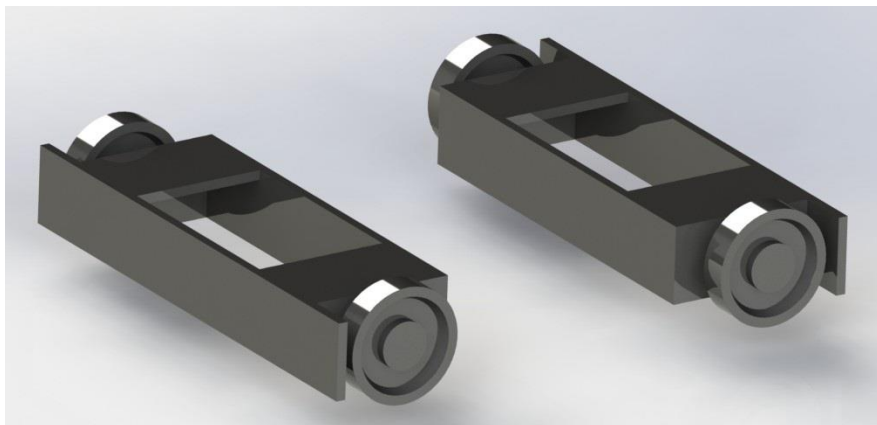
3.2.1 Lahendus 1

Koostu loomisel oli põhiliseks suunaks see, et horisontaal- ja vertikaalrullikud oleks vintsi kinnitusavadele võimalikult ligidal ning üheskoos. Ajurünnaku käigus alustati projekteerimist vertikaalrullikutest ning nende kinnitamisest. Rullikud on kinnitatud L-kujuliste profiilide külge.



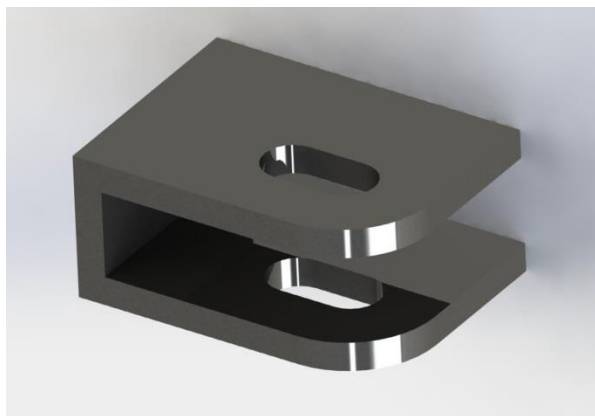
Sele 3.2.1.1. Vertikaalrullikud L-profiilide küljes

L-kujulised profiilid on omavahel kokku keevitatud metallplaatide abil. Sisemised metallplaadid on lühemad ja välimised pikemad. Pikemate plaatide külge keevitatakse horisontaalrullikute hoidjad.

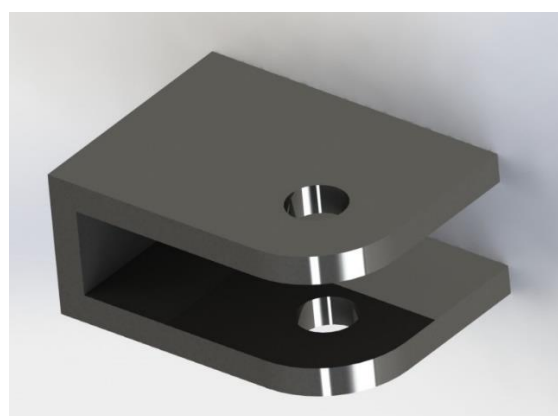


Sele 3.2.1.2 L-profiilide külge keevitatud metallplaadid

Horisontaalrullikute hoidjad on välja lõigatud karpprofiilist. Kinnitusi on kahte tüüpi: ühed on reguleeritavad, teised mitte. Reguleeritavatele kinnitustele on sisse freesitud avad, mittereguleeritavatele on avad sisse puuritud.

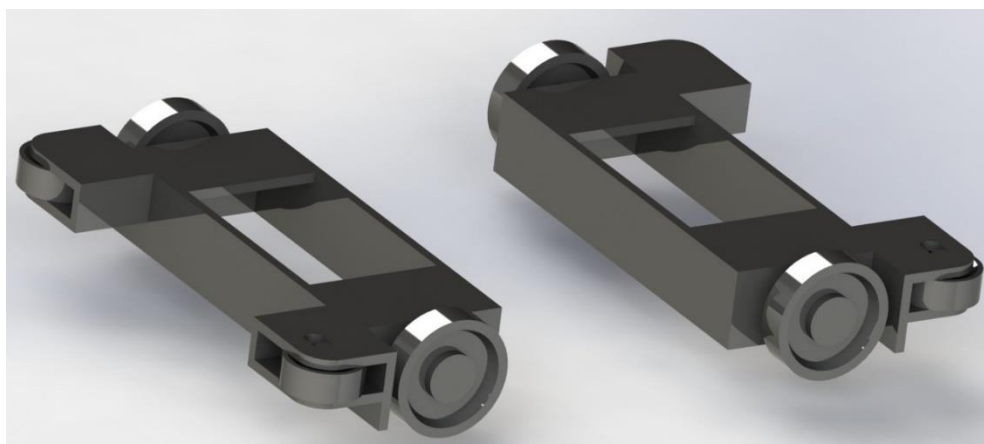


Sele 3.2.1.3. Reguleeritav kinnitus



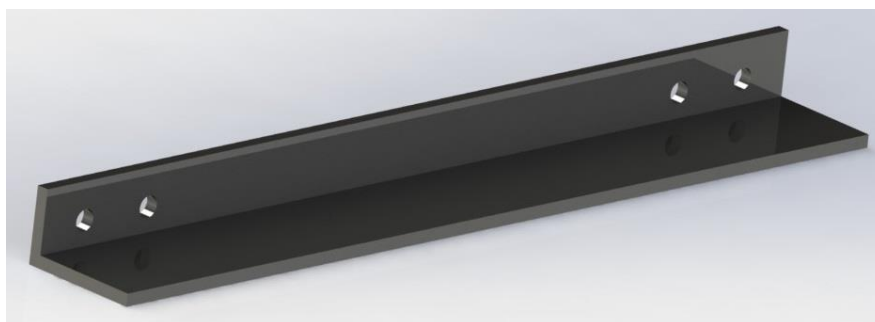
Sele 3.2.1.4. Mittereguleeritav kinnitus

Kinnitused keevitatakse pikemate metallplaatide külge. Sinna kinnitatakse ka vähendatud mõõtmetega (80 mm läbimõõduga) horisontaalrullikud.

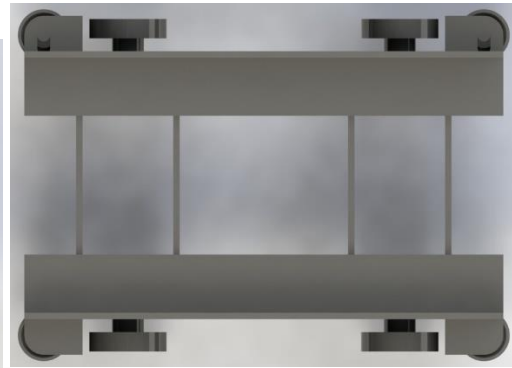
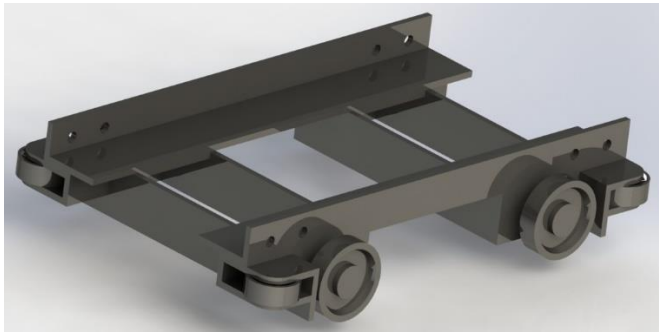


Sele 3.2.1.5. Keevitatud horisontaalrullikute kinnitused koos 80 mm rullikutega

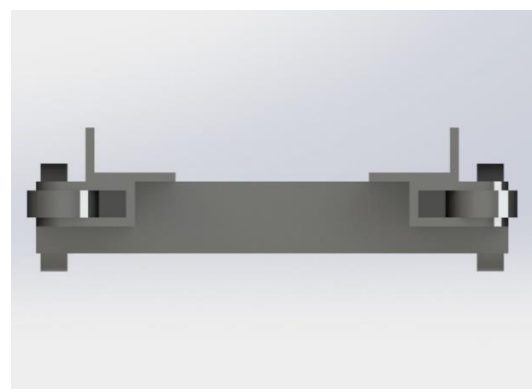
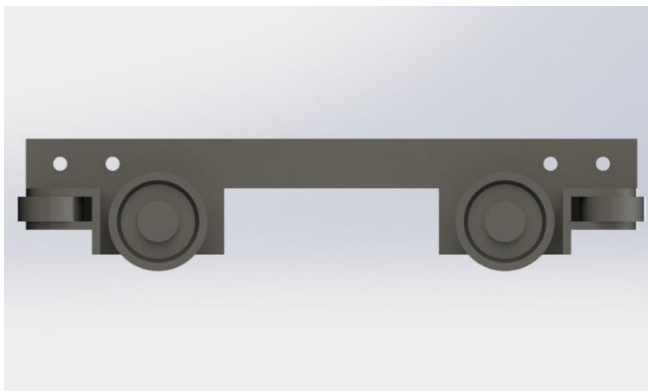
Vintsi kinnituseks ning kahe koostupoole kokku sidumiseks kasutatakse L-profiili, millesse on puuritud kinnitusavad.



Sele 3.2.1.6. L-profiil puuritud vintsi kinnitusavadega



Sele 3.2.1.7. L-profilid keevitatud koostude külge Sele 3.2.1.8. Liikurseade pealt vaadatuna



Sele 3.2.1.9. Liikurseade küljelt vaadatuna

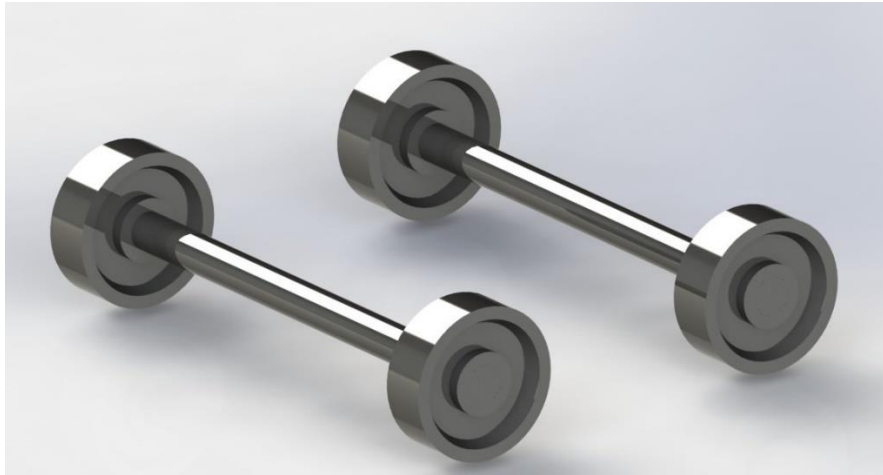
Sele 3.2.1.10. Liikurseade eest vaadatuna

Tabel 3.2.1.1 Spetsifikatsioon

| | |
|---|--------------------|
| Mass ilma vintsita | 54,6 kg |
| Kabariitmõõtmed (pikkus x laius x kõrgus) | 760 x 545 x 160 mm |
| Vintsi raskuskese (kaugus vertikaalrullikutest) | 328 mm |
| Detailide arv | 30 |
| Konstruksiooni koostatavus | Keskmine |
| Konstruksiooni lihtsus | Keskmine |
| Paigaldatavus | Lihtne |
| Hooldatavus | Keeruline |

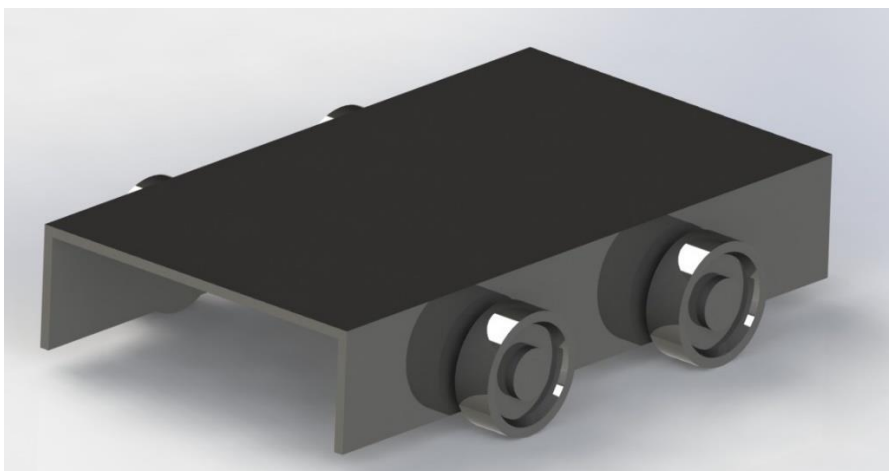
3.2.2 Lahendus 2

Koostu loomisel oli põhiliseks suunaks liikurseadme kompaktsus. See tähendab, et koost oleks nii pikkuselt kui ka laiuselt võimalikult väikeste kabariitmõõtmega. Ajourünnaku käigus alustati projekteerimist vertikaalrullikutest ning nende vahele kinnitatud võllidest.



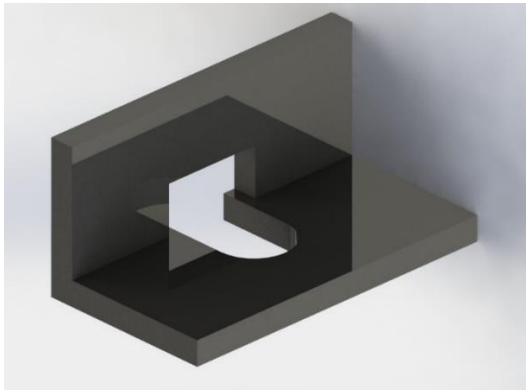
Sele 3.2.2.1. Vertikaalrullikud võllide külge kinnitatuna

Vertikaalrullikud koos võllidega on omavahel seotud kokku keevitatud plaatide abil. Konstruktsioonile annavad horisontaalsuunas võllid ning vertikaalsuunas keevitatud plaadid. Vertikaalsetele plaatidele on läbi puuritud 30 mm avad, kuhu asetatakse võllid.

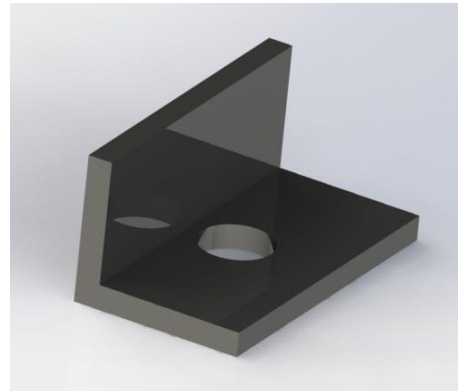


Sele 3.2.2.2. L-profiilide külge keevitatud metallplaadid

Horisontaalrullikute kinnitused on välja lõigatud L-profiilist. Kinnitusi on kahte tüüpi: ühed on reguleeritavad, teised mitte. Reguleeritavatele kinnitustele on sisse freesitud avad, mittereguleeritavatele on avad sisse puuritud.

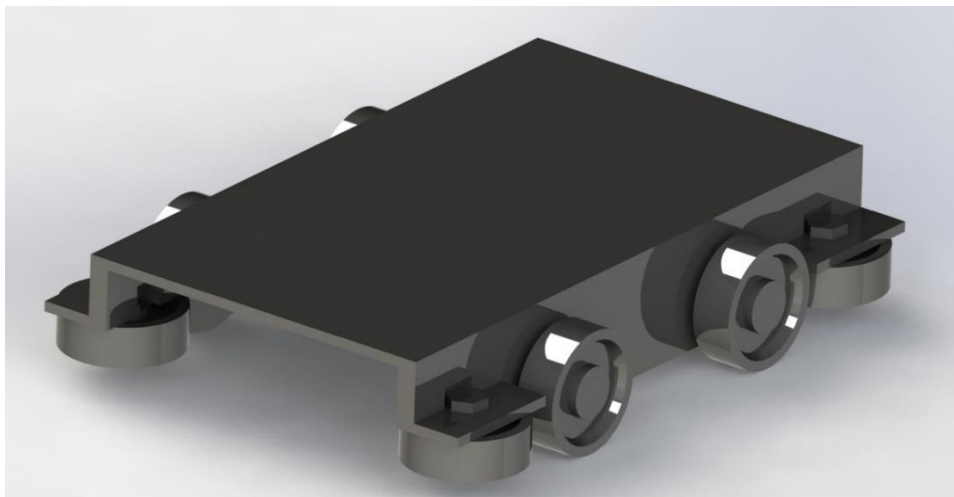


Sele 3.2.2.3. Reguleeritav kinnitus

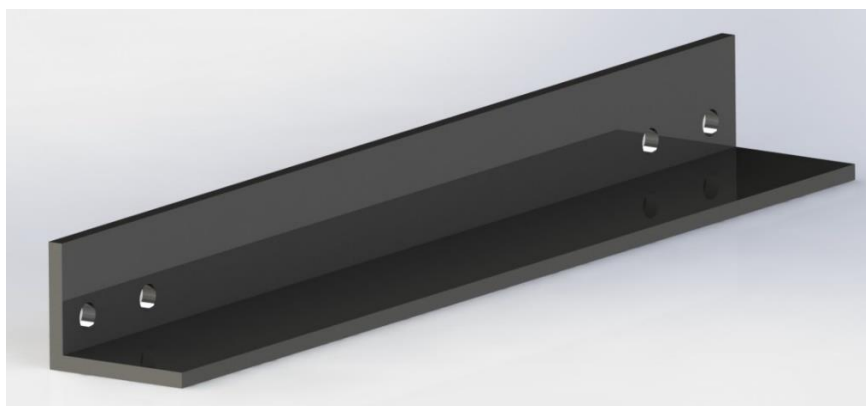


Sele 3.2.2.4. Mittereguleeritav kinnitus

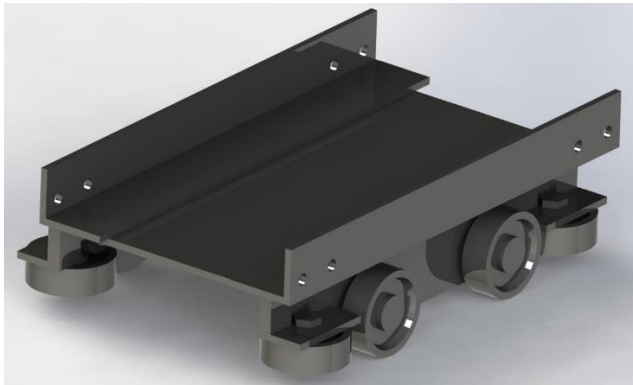
Vertikaalsetest metallplaatidest lõigatakse välja tükid, kuhu keevitatakse rullikutega kinnitused. Seejärel paigaldatakse vähendatud mõõtmetega (80 mm läbimõõduga) horisontaalrullikud. Vintsi kinnituseks kasutatakse L-profiili, millesse on puuritud kinnitusavad (Sele 3.2.2.6).



Sele 3.2.2.5. Keevitatud horisontaalrullikutega kinnitused koos 80 mm rullikutega



Sele 3.2.2.6. L-profiil puuritud vintsi kinnitusavadega



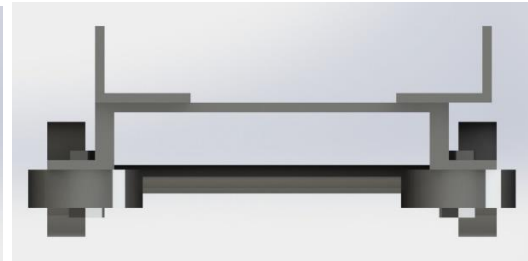
Sele 3.2.2.7. L-profilid keevitatud koostude külge



Sele 3.2.2.8. Liikurseade pealt vaadatuna



Sele 3.2.2.9. Liikurseade küljelt vaadatuna



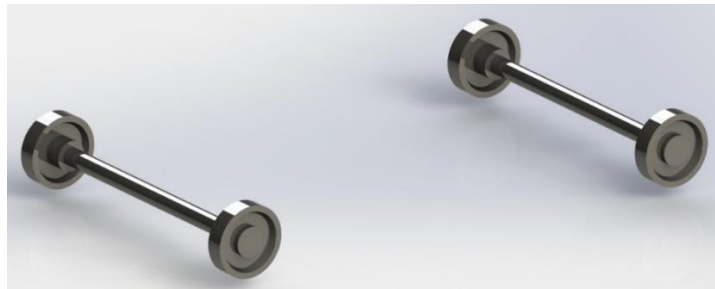
Sele 3.2.2.10. Liikurseade eest vaadatuna

Tabel 3.2.2.1. Spetsifikatsioon

| | |
|---|--------------------|
| Mass ilma vintsita | 77,6 kg |
| Kabariitmõõtmed (pikkus x laius x kõrgus) | 710 x 510 x 220 mm |
| Vintsi raskuskese (kaugus vertikaalrullikutest) | 367 mm |
| Detailide arv | 27 |
| Konstruktsiooni koostatavus | Keeruline |
| Konstruktsiooni lihtsus | Keeruline |
| Paigaldatavus | Lihtne |
| Hooldatavus | Lihtne |

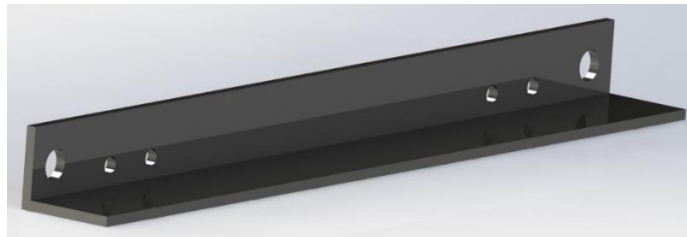
3.2.3 Lahendus 3

Koostu loomisel oli põhiliseks suunaks liikurseadme konstruktsiooni lihtsus ning madal raskuskese. See tähendab, et koost oleks valmistatud. Kasutades võimalikult palju samu profiile ning lihtsaid detaile. Ajurünnaku käigus alustati projekteerimist vertikaalrullikutest ning nende vahele kinnitatud võllidest.

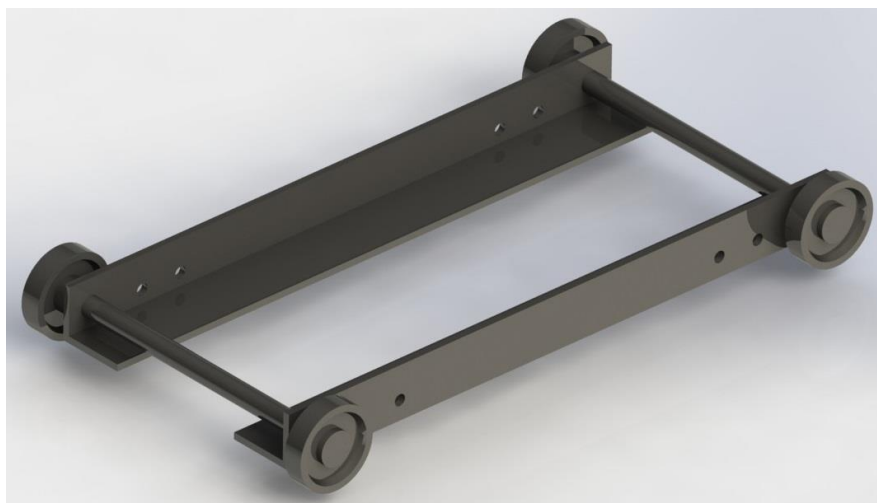


Sele 3.2.3.1. Vertikaalrullikud võllide külge kinnitatuna

Vertikaalrullikud koos võllidega on omavahel seotud L-profiilide abil. L-profiilidele on sisse puuritud vintsi kinnitusavad ning 30 mm avad, kuhu asetatakse võllid.

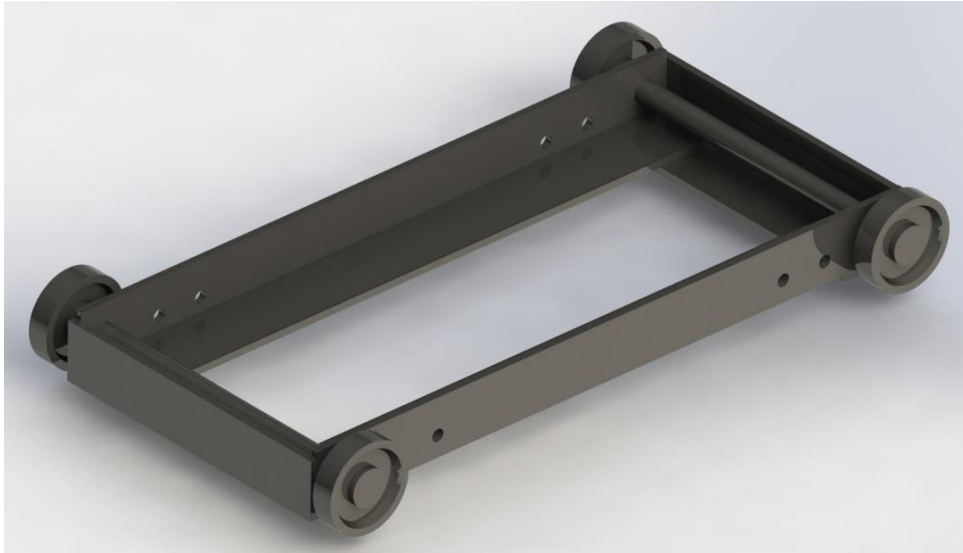


Sele 3.2.3.2. L-profiil puuritud 30 mm avade ja vintsi kinnitusavadega



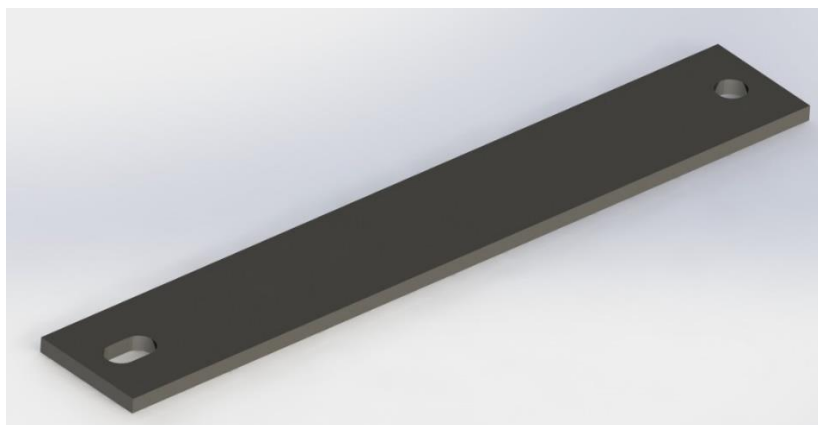
Sele 3.2.3.3. L-profiilid koos võllide ja rullikutega

Liikurseadmega piki suunas olevad L-profiilid seotakse omavahel samasuguste L-profiilidega, mis asetsevad liikurseadmega risti. Nendel puuduvad avad ning keevitatakse liikurseadme otsade külge ja peaksid andma konstruktsioonile suurema jäikuse.

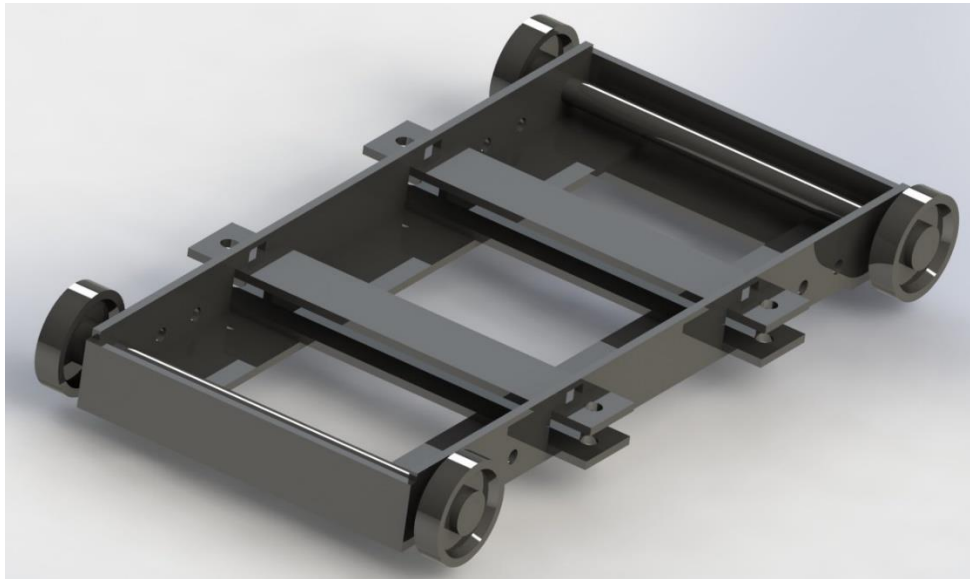


Sele 3.2.3.4. L-profiilide keeviskonstruktsioon koos võllide ja rullikutega

Järgmisena projekteeriti horisontaalrullikud, mis tuli paigutada vintsi kinnitusavadest sissepoole. Selleks tuli L-profiilist välja lõigata tükid. Tekkinud avadesse keevitatakse vertikaalrullikute kinnitusplaadid. Metallplaatidele on ühele poole sisse puuritud avad, kuhu kinnituvad mittereguleeritavad rullikud. Teisele poole on sisse freesitud piklikud avad, kuhu kinnituvad reguleeritavad rullikud.

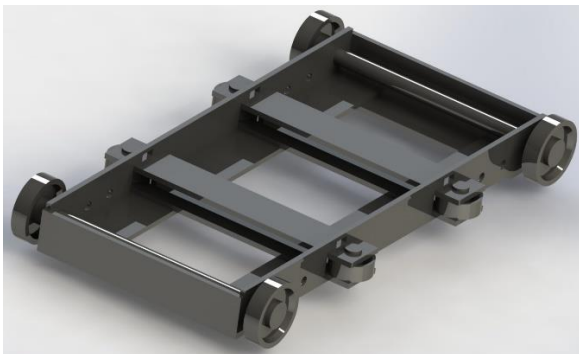


Sele 3.2.3.5. Vertikaalrullikute kinnitusplaadid

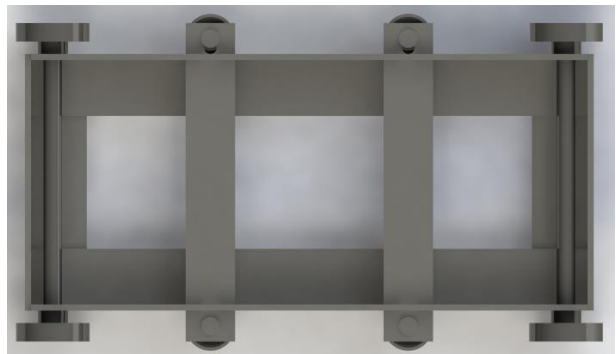


Sele 3.2.3.6. Vertikaalrullikute kinnitusplaadid keevitatuna konstruktsiooni külge

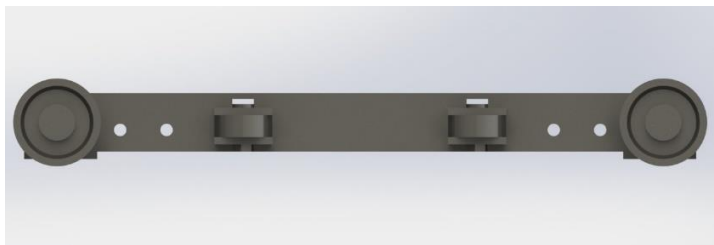
Vertikaalrullikud kinnitatakse plaatide vahele. Ühelt poolt on rullikud reguleeritavad ning teiselt poolt mittereguleeritavad.



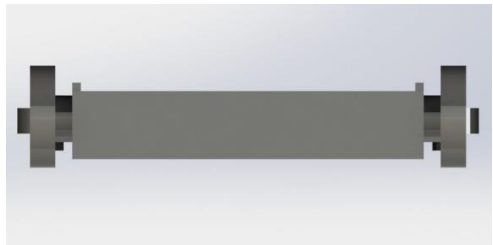
Sele 3.2.3.7. L-profilid keevitatud koostude külge



Sele 3.2.3.8. Liikurseade pealt vaadatuna



Sele 3.2.3.9. Liikurseade küljelt vaadatuna



Sele 3.2.3.10. Liikurseade eest vaadatuna

Tabel 3.2.3.1. Spetsifikatsioon

| | |
|---|--------------------|
| Mass ilma vintsita | 63 kg |
| Kabariitmõõtmed (pikkus x laius x kõrgus) | 950 x 545 x 120 mm |
| Vintsi raskuskese (kaugus vertikaalrullikutest) | 244 mm |
| Detailide arv | 22 |
| Konstruksiooni koostatavus | Lihtne |
| Konstruksiooni lihtsus | Lihtne |
| Paigaldatavus | Lihtne |
| Hooldatavus | Keskmine |

3.3 Koostude võrdlus

Lähtudes erinevatest kriteeriumitest, tehti hindamismatriks ning anti igale koostule kolmepallisüsteemis punkte. Parima lõpptulemusega liikurseadmele tehakse LEM tugevusarvutused.

Kriteeriumite seletus:

- 1) Mass – liikurseadme mass ilma vintsita. Mida väiksem, seda suurem hinnang.
- 2) Kabariitmõõtmed. Kõige tähtsam on liikurseadme laius, sest vints paikneb pealisosal risti veoautoga ning mida vähem see ruumi võtab, seda parem. Mida väiksemad mõõtmed, seda parem hinnang.
- 3) Raskuskese – vintsi trumli keskosa, mõõdetuna liikurseadme rullikute põhjalt. Mida lähemal põhjale, seda parem hinnang.
- 4) Detailide arv – Mida vähem detaile, seda parem hinnang.
- 5) Keevitatavus – mida lihtsam kokku keevitada, seda parem hinnang.
- 6) Konstruksiooni lihtsus – mida rohkem sarnaseid detaile, seda parem hinnang.
- 7) Paigaldatavus – mida parem vintsi paigaldatavus ning kinnitatavus, seda parem hinnang.
- 8) Hooldatavus – mida kergem ligipääs määrimiseks, rullikute ja detailide vahetuseks, seda parem hinnang.
- 9) Tugevus – hinnanguline konstruksiooni tugevus. Mida tugevam, seda parem hinnang.

Tabel 3.3.1. Vintside kriteeriumite võrdlus

| | Lahendus 1 | Lahendus 2 | Lahendus 3 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Mass ilma vintsita, kg | 54,6 | 77,6 | 63,0 |
| Kabariitmõõtmed (pikkus x laius x kõrgus), mm | 760 x 545 x 160 | 710 x 510 x 220 | 950 x 545 x 120 |
| Vintsi raskuskese (kaugus vertikaalrullikutest), mm | 328 | 367 | 244 |
| Detailide arv | 30 | 27 | 22 |
| Keevitatavus | Keskmine | Keeruline | Lihtne |
| Konstruksiooni lihtsus | Keskmine | Keeruline | Lihtne |
| Paigaldatavus | Lihtne | Lihtne | Lihtne |
| Hooldatavus | Keskmine | Lihtne | Keeruline |

Tabel 3.3.2. Kriteeriumite olulisuse hindamistabel

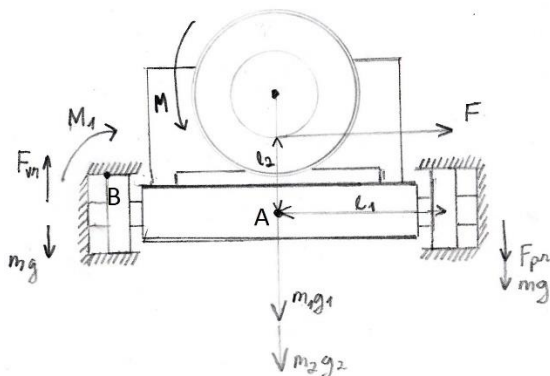
| | Lahendus 1 | Lahendus 2 | Lahendus 3 |
|---|------------|------------|------------|
| Mass ilma vintsita, kg | 3 | 1 | 2 |
| Kabariitmõõtmed (pikkus x laius x kõrgus), mm | 2 | 3 | 1 |
| Vintsi raskuskese (kaugus vertikaalrullikutest), mm | 2 | 1 | 3 |
| Detailide arv | 1 | 2 | 3 |
| Keevitatavus | 2 | 1 | 3 |
| Konstruksiooni lihtsus | 2 | 1 | 3 |
| Paigaldatavus | 3 | 3 | 3 |
| Hooldatavus | 2 | 3 | 1 |
| Lõpphinne (max 24) | 17 | 15 | 19 |

Kokkuvõtteks võib öelda, et valitavaks vintsi liikurseadmeks osutus koost number 3, sest see sai kõige kõrgema lõpphinde.

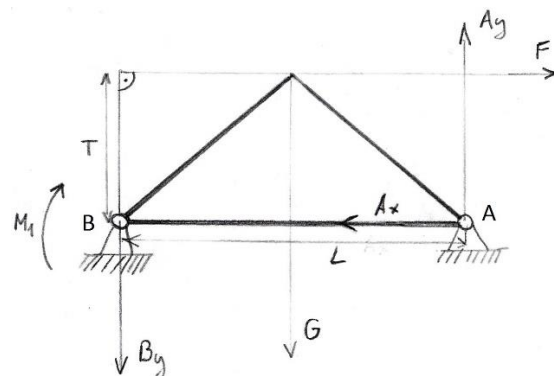
4. LIIKURSEADME TUGEVUSARVUTUSED

4.1 Koormusskeem

Vintsi liikurseadmele tuleb kõigepealt arvutada rullikute kontaktpinged. Vintsist koos liikurseadmega joonestati eestvaates eskiis (Sele 4.1.1). Eskiisil on ära märgitud vints, liikurseade koos horisontaal- ning vertikaalrullikutega. Eskiisi põhjal joonestati ka koormusskeem (Sele 4.1.2).



Sele 4.1.1. Eskiis [24]



Sele 4.1.2. Koormusskeem [24]

F – trossi jõu mõjumise suund, $F = 156000 \text{ N} = 15,6 \text{ kN}$

M – trossi tõmbamisel tekkiv trumlile mõjuv moment

M_1 – trossi tõmbamisel tekkiv rulliku punktile B mõjuv moment

F_{vr} – vasakule rullikule mõjuv jõud

F_{pr} – paremale rullikule mõjuv jõud

$m_1 g_1$ – vintsi mass, $m_1 g_1 = 229 \text{ kg} = 229 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 2244,2 \text{ N}$

$m_2 g_2$ – liikurseadme mass, $m_2 g_2 = 63 \text{ kg} = 63 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 617,4 \text{ N}$

$mg (G)$ – kogu süsteemi mass, $292 \text{ kg} = 2858,66 \text{ N} = 2,86 \text{ kN}$

l_1 – pikkus keskmest rullikuni, $l_1 = 242,5 \text{ mm} = 0,2425 \text{ m}$

$l_2 (T)$ – pikkus keskmest trumlini, $l_2 = 97,42 \text{ mm} = 0,098 \text{ m}$

L – rullikutevaheline pikkus, $L = 2 * l_1 = 0,485 \text{ m}$

Suurima pinge ning koormuse saavad paremal olevad 2 rullikut. Seega tuleb leida jõud F_{pr} .

Rullikute andmed:

Vertikaalrullikud – $\varnothing 120 \text{ mm}$, paksus $P_1 = 40 \text{ mm}$

Horisontaalrullikud – $\varnothing 80 \text{ mm}$, paksus $P_2 = 30 \text{ mm}$

4.2 Rullikute arvutus

Panen kirja koormuskeemilt tulenevad toereaktsioonid, kus otsitav suurus on A_y

$$X: -A_x + F = 0$$

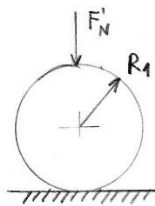
$$Y: A_y - B_y - G = 0$$

$$M_1: B_y * L + G * L / 2 + F * T = 0$$

$$B_y = (F * T - G * L / 2) / L = (156 * 0,098 - 2,85866 * 0,485 / 2) / 0,485 = 30,093 \text{ kN}$$

$$A_y = G + B_y = 2,86 + 30,093 = 32,96 \text{ kN}$$

$$F_{pr} = A_y / 2 = 32,96 / 2 = 16,48 \text{ kN}$$



Sele 4.2.1. Silinder-tasand kontakti arvutus

Kasutatavad valemid [25][26]

- Maksimaalse pingeleidmine (Valem 4.2.1)

$$p_{max} = \frac{2 * F'_N}{\pi * b_0}$$

kus F'_N – taandatud normaalkoormus, kN

b_0 – otsitav konstant

- Taandatud normaalkoormus (Valem 4.2.2)

$$F'_N = \frac{F}{P}$$

kus F – koormus silindrile, kN

P – silindri kontaktjoone pikkus, m

- Otsitav tundmatu (Valem 4.2.3)

$$b_0 = \sqrt{\frac{4F'_N * R_1}{\pi * E^*}}$$

kus R_1 – silindri raadius, m

E^* – normaliseeritud elastsusmoodul, Pa

- Normaliseeritud elastsusmooduli leiame

(Valem 4.2.4)

$$E^* = \frac{1}{\frac{(1 - \nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - \nu_2^2)}{E_2}}$$

kus E – elastsusmoodul (materjal 1 ning materjal 2)

$$E_1 = E_2 = 210 \text{ GPa} = 200 * 10^9 \text{ Pa}$$

ν – Poissoni tegur, meil $\nu = 0,25 - 0,30$

Vertikaalrullikute tugevusarvutus

Leiame valemiga 4.2.4 normaliseeritud elastsusmooduli

$$E^* = \frac{1}{\frac{(1 - \nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - \nu_2^2)}{E_2}} = \frac{1}{\frac{(1 - 0,25^2)}{200 * 10^9} + \frac{(1 - 0,25^2)}{200 * 10^9}} = 106,67 * 10^9 \text{ Pa}$$

Leiame valemiga 4.2.2 taandatud koormuse

$$F'_N = \frac{F}{P} = \frac{16,48}{0,04} = 412 \text{ kN} = 412 * 10^3 \text{ N}$$

Leiame valemiga 4.2.3 b_0 tundmatu

$$b_0 = \sqrt{\frac{4F'_N * R_1}{\pi * E^*}} = \sqrt{\frac{4 * 412 * 10^3 * 0,12}{\pi * 106,67 * 10^9}} = 7,682 * 10^{-4}$$

$$p_{max} = \frac{2 * F'_N}{\pi * b_0} = \frac{2 * 412 * 10^3}{\pi * 7,682 * 10^{-4}} = 341431979 \text{ Pa} = 341,44 \text{ MPa}$$

Rulliku kontaktpinge on 341,44 MPa, meil materjalil S355 on voolepiir 355 MPa.

Tugevusvarutegur $S = 355 / 341,44 = 1,03$. See tähendab, et vertikaalrulliku tugevus on tagatud.

Horisontaalrullikute tugevusarvutus

Eelnevalt on leitud normaliseeritud elastsusmoodul $E^* = 106,67 * 10^9 \text{ Pa}$

Leiame valemiga 4.2.2 taandatud koormuse

$$F'_N = \frac{F}{P} = \frac{156}{2 * 0,03} = 2600 \text{ kN} = 2600 * 10^3 \text{ N}$$

Leiame valemiga 4.2.3 b_0 tundmatu

$$b_0 = \sqrt{\frac{4F'_N * R_1}{\pi * E^*}} = \sqrt{\frac{4 * 2600 * 10^3 * 0,08}{\pi * 106,67 * 10^9}} = 1,576 * 10^{-3}$$

$$p_{max} = \frac{2 * F'_N}{\pi * b_0} = \frac{2 * 2600 * 10^3}{\pi * 1,576 * 10^{-3}} = 1050480250 \text{ Pa} = 1050,48 \text{ MPa}$$

Rulliku kontaktpinge on 1050,48 MPa, mis tähendab, et rulliku tugevus ei ole tagatud.

Tehti tugevusarvutusi horisontaalrullikutele, kus suurendati rullikute arvu neljani ning rullikute paksust 30 millimeetrilt 50-ni.

Horisontaalrullikute tugevusarvutus

Eelnevalt on leitud normaliseeritud elastsusmoodul $E^* = 106,67 * 10^9 \text{ Pa}$

Leiame valemiga 4.2.2 taandatud koormuse

$$F'_N = \frac{F}{P} = \frac{156}{4 * 0,05} = 780 \text{ kN} = 780 * 10^3 \text{ N}$$

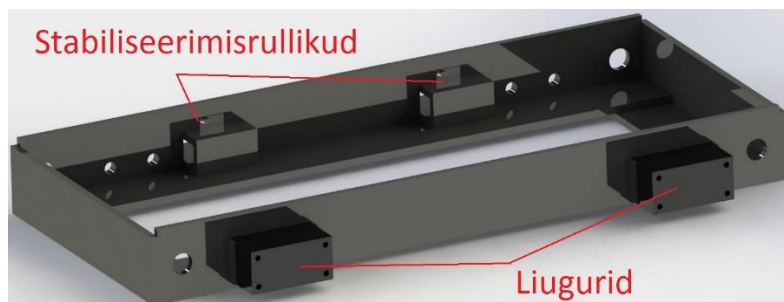
Leiame valemiga 4.2.3 b_0 tundmatu

$$b_0 = \sqrt{\frac{4F'_N * R_1}{\pi * E^*}} = \sqrt{\frac{4 * 780 * 10^3 * 0,08}{\pi * 106,67 * 10^9}} = 8,631 * 10^{-4}$$

$$p_{max} = \frac{2 * F'_N}{\pi * b_0} = \frac{2 * 780 * 10^3}{\pi * 8,63 * 10^{-4}} = 57531729 \text{ Pa} = 575,4 \text{ MPa}$$

Rulliku kontaktpinge on 575,4 MPa, mis tähendab, et horisontaalrulliku tugevus ei ole tagatud.

Kuna rullikuid ei ole võimalik kasutada, siis tuli välja mõelda uus konstruktsioon. Eritehnik OÜ pakkus lahenduseks karp karbi sees lahendust, mis tähendab, et rullikute asemel on karpkonstruktsioon, mis libiseb omakorda teise karpkonstruktsiooni sees. Teiseks võimaluseks oli projekteerida rullikute asemel liugurid. Otsustati siiski projekteerida liuguritega liikurseade.



Sele 4.2.2. Projekteeritud liuguritega liikurseade

4.3 Liikurseadme LEM arvutused

4.3.1 Ülevaade LEM meetodist

Käesolev arvutus on tehtud lõplike elementide meetodiga (LEM) kasutades programmpaketti ANSYS Workbench 14.5. Järgnevalt on toodud ülevaade meetodi sisust.

FEM (Finite Element Method) ehk LEM (Lõplike Elementide Meetod) on numbriline arvutusmeetod insener-tehniliste ja füüsikaliste probleemide lahendamiseks. Meetod hõlmab üldiste (osatuletistega) diferentsiaalvõrrandite ja/või nende süsteemi aproksimeerimist ehk lähendamist üle mingi (pideva) piirkonna (nt tasand), mis jaotatakse väiksemateks, lõplikeks elementideks (nn piirkonna diskreetimine). Numbriline lahend kogu piirkonna jaoks saadakse lõplike elementide summeerimisega mingi eeskirja järgi. [18]

Üldjoontes viiakse LEM läbi järgnevalt:

1. määratakse probleemi dimensionaalsus, vastavad võrrandid, nende kehtivus- ja määramispiirkonnad (defineerib elementide dimensionaalsuse);
2. piirkond jaotatakse väiksemateks osadeks e lõplikeks elementideks (kolmnurk, ristkülik jne) e diskreeditakse, st koostatakse lõplike elementide võre (ingl k mesh), milles iga element on seotud teise elemendiga võre sõlmpunkti kaudu (vt parempoolset joonist); piirkonna lihtsamateks osadeks jaotamisel on mitu eelist:
 - o keeruka geomeetria täpne kirjeldus;
 - o erinevate materjaliomaduste arvestamine;
 - o lokaalsete efektide arvestamine.
3. iga element, täpsemini võre sõlmpunkt, seostatakse
 - o vabadusastmete arvuga (määrab elemendi edasise käitumise);
 - o materjali, üldiselt välja omadustega (termodünaamilistes simulatsioonides nt soojusmahtuvusega);
 - o asjakohaste (füüsikaliste) harilike diferentsiaal- või algebraliste võrranditega (eeldatakse, et sõltumatud muutujad võre sõlmpunktides on teada või siis need aproksimeeritakse mingi polünoomi abil);
4. kõikide elementide panused summeeritakse, saades kogu probleemi kirjeldava globaalse võrrandite süsteemi;
5. saadud võrrandite süsteem lahendatakse numbriliselt (vaja algväärtusi, nt temperatuurijaotus);

6. vajalikud füüsikalised suurused arvutatakse iga elemendi jaoks. [18]

Ülaltoodud punktidest järeldub, et LEM sobib mittelineaarsete efektide uurimiseks. Samuti nähtub punktidest, et vaadeldav pidev süsteem lõpmatu arvu tundmatutega lähendatakse diskreetse süsteemi ja lõpliku arvu tundmatutega. Kui teatud piirkonnas vajatakse suuremat täpsust, siis seal saab konstrueerida tihedama elementide võrgustiku. Tegemist oleks optimaalse lahendusega, kuna kogu piirkonda pole mõtet väga tihedalt diskreetida: nõudmised arvuti muutmälu, salvestusseadmete ja protsessorijõudluse osas kasvaksid viimasel juhul drastiliselt. [18]

4.3.2 Materjali valik

Kuna puksiirseade on eritellimusel valmistatav toode, siis on selle valmistamiseks vaja teha eritellimusel valmistatavaid profiile ning detaile. Kuna detaile ja profiile on mitmeid, siis tuleks kõik valmistada enamasti samast materjalist. Valituks osutus konstruktsiooniteras S355J0, mis on laialdaselt kasutatud (konstruktsioonid, elektri jaamad, sillad, kaevandused, tuulejaamade tornid jne). [19][27]

Tabel 4.3.1. S355J0 koostis [20]

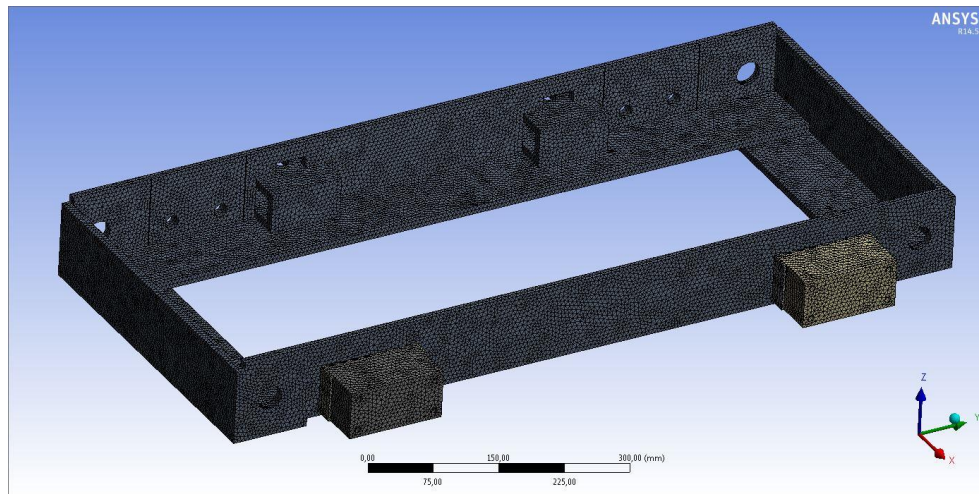
| Elemendi koostis (% massist), maksimaalne | | | | |
|---|------|------|-------|-------|
| C | Si | Mn | P | S |
| 0.22 | 0.55 | 1.60 | 0.035 | 0.035 |

S355J0 materjalitähis on 1.0547. Selle voolavuspiir R_{eH} (*yield strength*) on ≤ 16 mm materjali paksuse korral 355 MPa. Tõmbetugevus R_m (*tensile strength*) on ≥ 3 mm ≤ 40 mm materjali paksuse korral 470 – 630 MPa. Vastavalt materjali valikule sisestati ANSYS programmi materjali omadused (Lisa - Sele 1). [19][20]

Liuguri materjaliks sai valitud POM (*polyoxymethylene*), sest see on laialdaselt kasutatav liugurite materjalidena. Selle voolavuspiir R_{eH} (*yield strength*) puudub, sest tegu on plastikuga. Tõmbetugevus R_m (*tensile strength*) on 69 MPa. Survetugevus (*compressive strength*) on 31 MPa. Vastavalt materjali valikule sisestati ANSYS programmi materjali omadused (Lisa - Sele 2). [21]

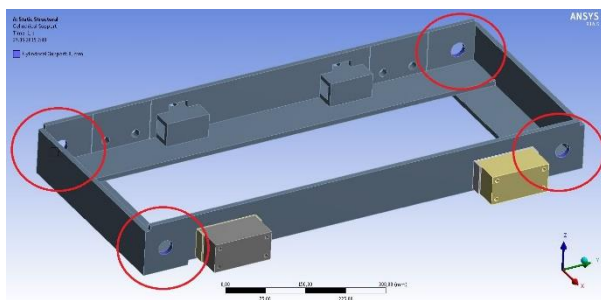
4.3.3 Piirtingimused

Liikurseadme arvutuste tegemiseks oli vaja genereerida võrgustik (*mesh*). Elemendi suuruseks sai valitud 5 mm. Valminud võrgustikus (Sele 4.3.3.1) tekkis 694098 ühenduspunkti ning 445603 elementi.

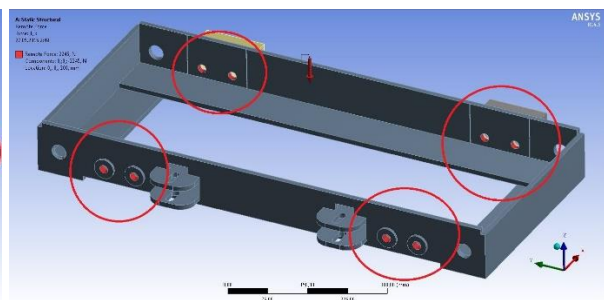


Sele 4.3.3.1. Valminud võrgustik (*mesh*)

Seejärel sai määratud silindrilised toetuspunktid (Sele 4.3.3.2). Toetuspunktide asukoht on määratud koormusskeemi alusel. Järgnevalt määrati ära vintsi raskuskese ning mass koos liikurseadmele mõjuvate toetuspunktidega (Sele 4.3.3.3). Massiks on 229 kg = 2245 N.



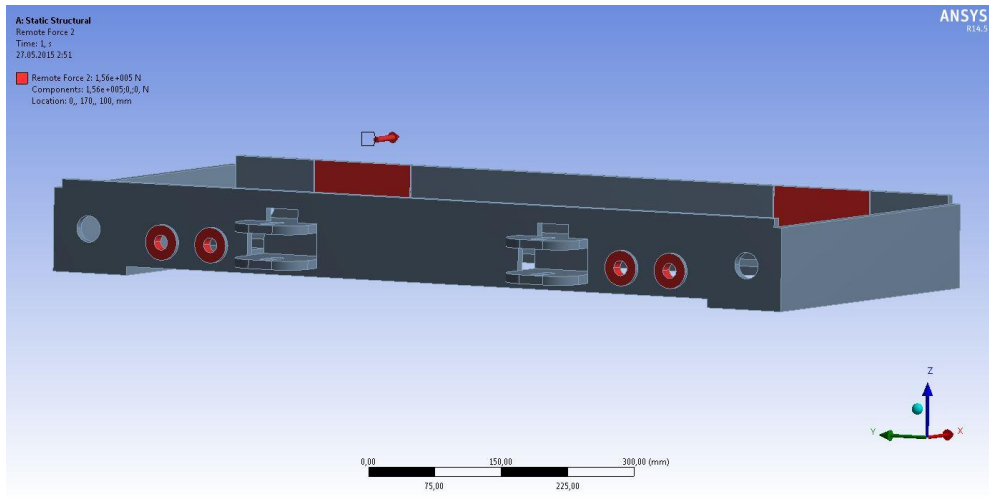
Sele 4.3.3.2. Silindrilised toetuspinnad



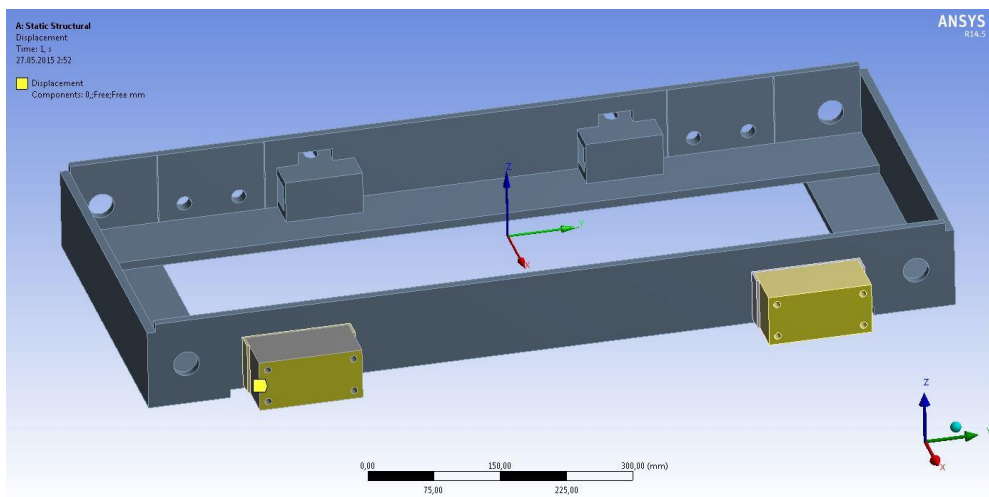
Sele 4.3.3.3. Raskuskeskme toetuspunktid

Järgnevalt pandi paika vintsi trossi jõu mõjumise suund (Sele 4.3.3.4). Jõu suuruseks on 15,9 tonni ehk 156 kN. Kuna tross võib vintsi trumlil asetseda nii keskel kui ka ääres, siis valiti suurima koormusega mõjuv punk. See punkt asub liikurseadme nullpunkti ning koordinaatteljestiku suhtes $x = 0$ mm, $y = \text{trumli laius} / 2 = 340 / 2 = 170$ mm, $z = 100$ mm.

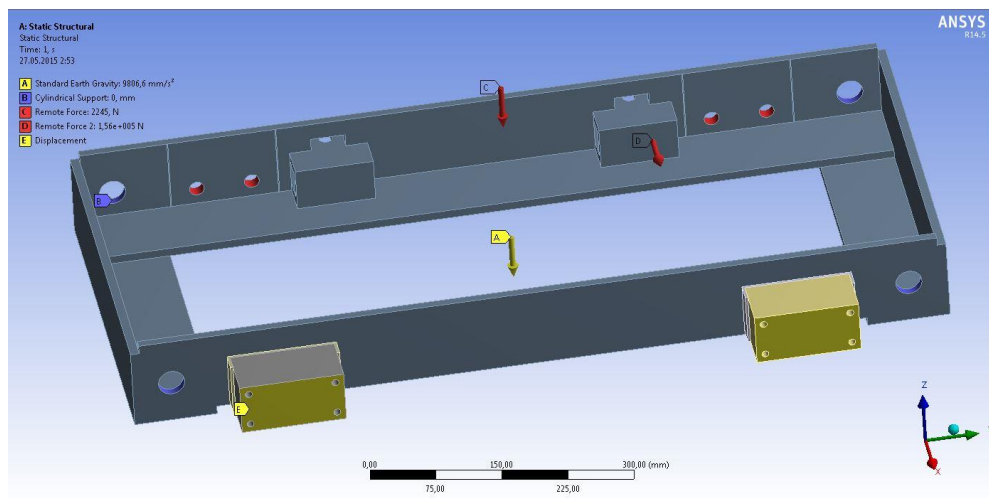
Vintsi koormuspinnad määrati koormusskeemi alusel. Silindrilised pinnad liikurseadme küljes on kinnituseibid, mida hoiavad kinni kinnitusmutrid koos kinnituspoltidega (pinge all).



Sele 4.3.3.4. Trossi jõu mõjumise punkt ning suund



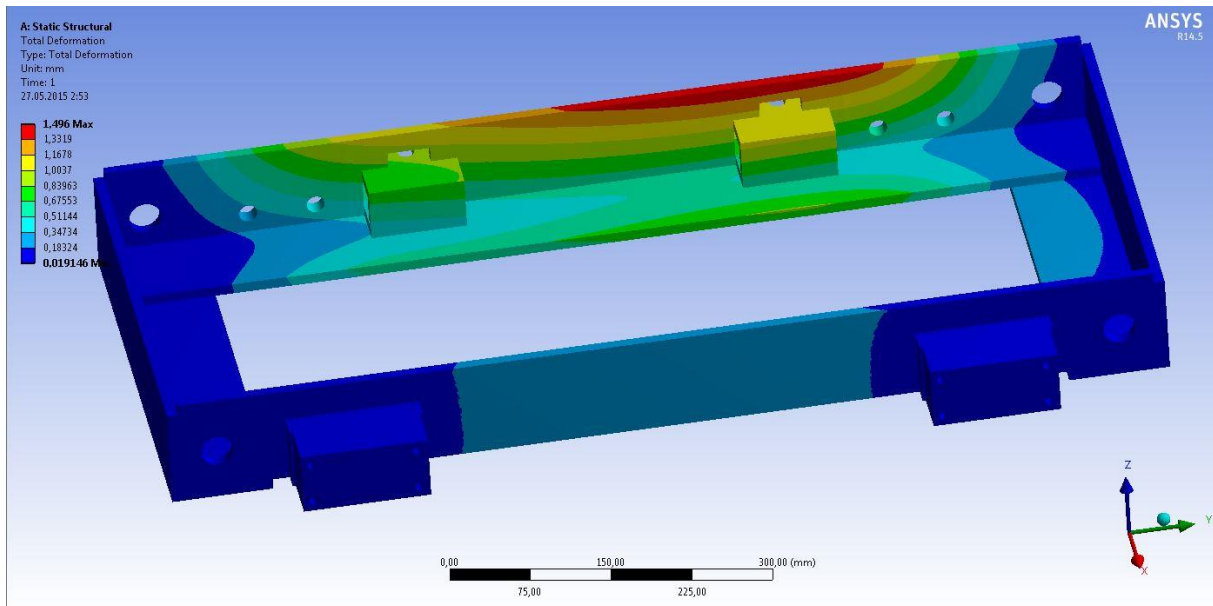
Sele 4.3.3.5. Liikurseadme liugurite toetuspinnad



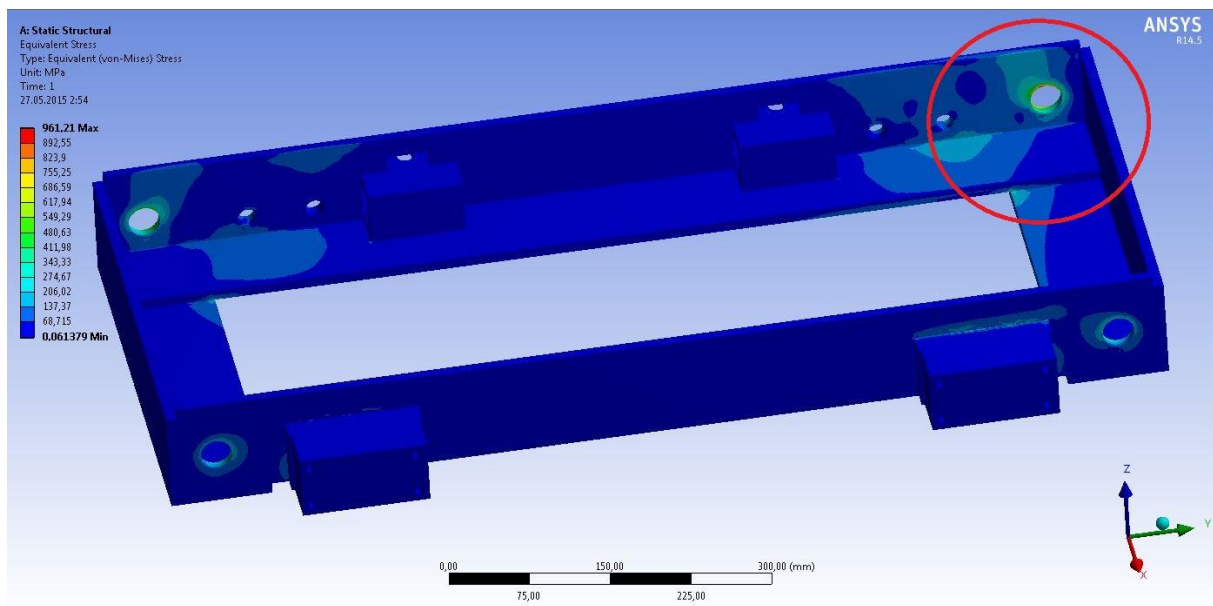
Sele 4.3.3.6. Kõik liikurseadme toetuspinnad ning sellele mõjuvad jõud

4.3.4 Arvutustulemused

ANSYS-i simulatsioonis saadud tulemused ei ole rahuldavad. Liikurseadmehel tekkis läbipaine 1,5 mm ning maksimaalne pinge 962 MPa. Deformatsioon on toodud Selel 4.3.4.1 ning pinged Selel 4.3.4.2.



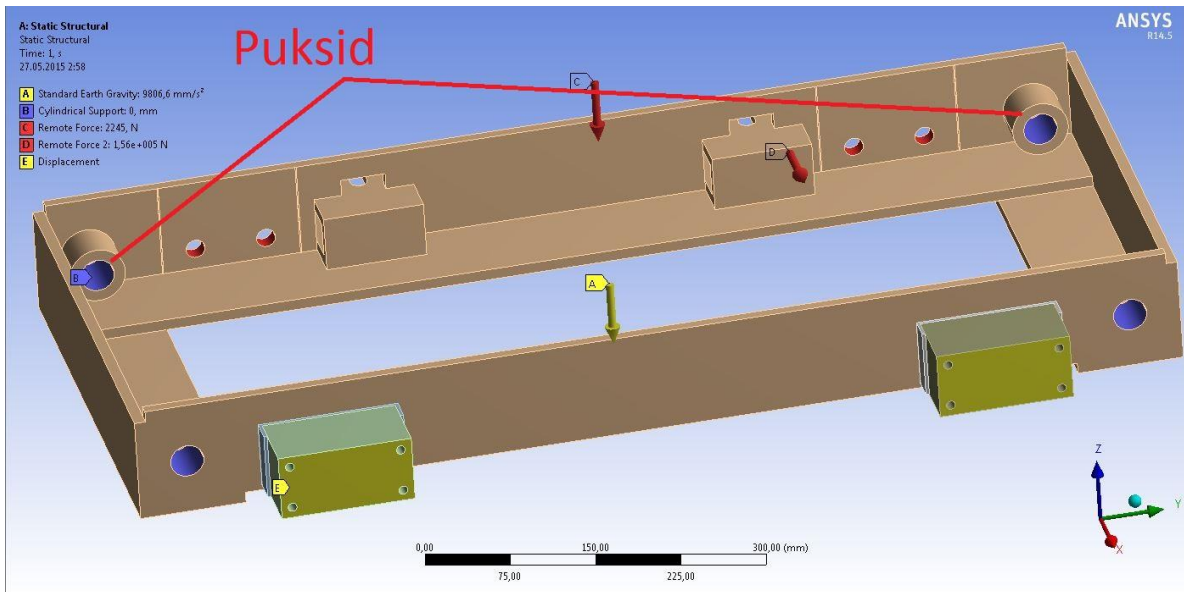
Sele 4.3.4.1. Liikurseadmehel tekkinud deformatsioon 1,5 mm



Sele 4.3.4.2. Liikurseadmehel tekkinud pinged – suurim 962 MPa

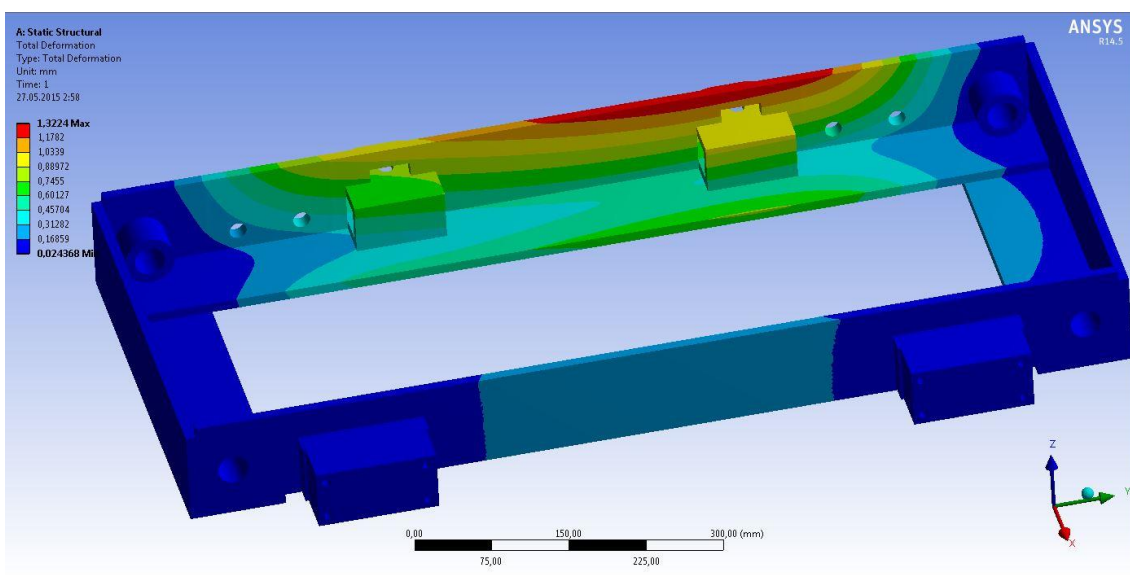
4.3.5 Konstruktsiooni optimeerimine

Kuna saadud tulemused ei rahuldanud meie nõudeid, siis tuli läbi viia konstruktsiooni optimeerimine (Sele 4.3.5.1). Oprimeerimisel jäid piirtingimused samaks. Optimeerimisel keevitati puksid, mis peaksid vähendama tekkinud pingeid. Puksi siseläbimõõt on 30 mm, välisläbimõõt 40 mm ning pikkus 40 mm.

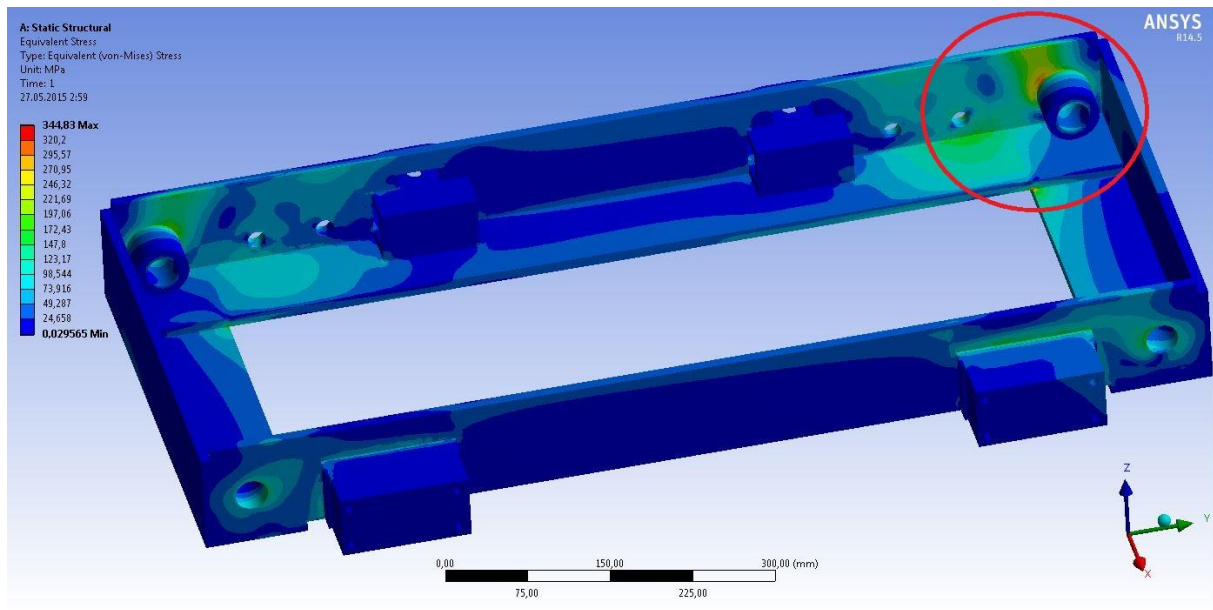


Sele 4.3.5.1. Optimeeritud liikurseade koos mõjuvate jõudude ning toetuspindadega

Optimeerimisele järgnes simuleerimine. Arvutustulemused rahuldasi nõuete vajadusi. Maksimaalne deformatsioon tuli 1,33 mm ning pinged 344,83 MPa (Seled 4.3.5.2 ja 4.3.5.3).

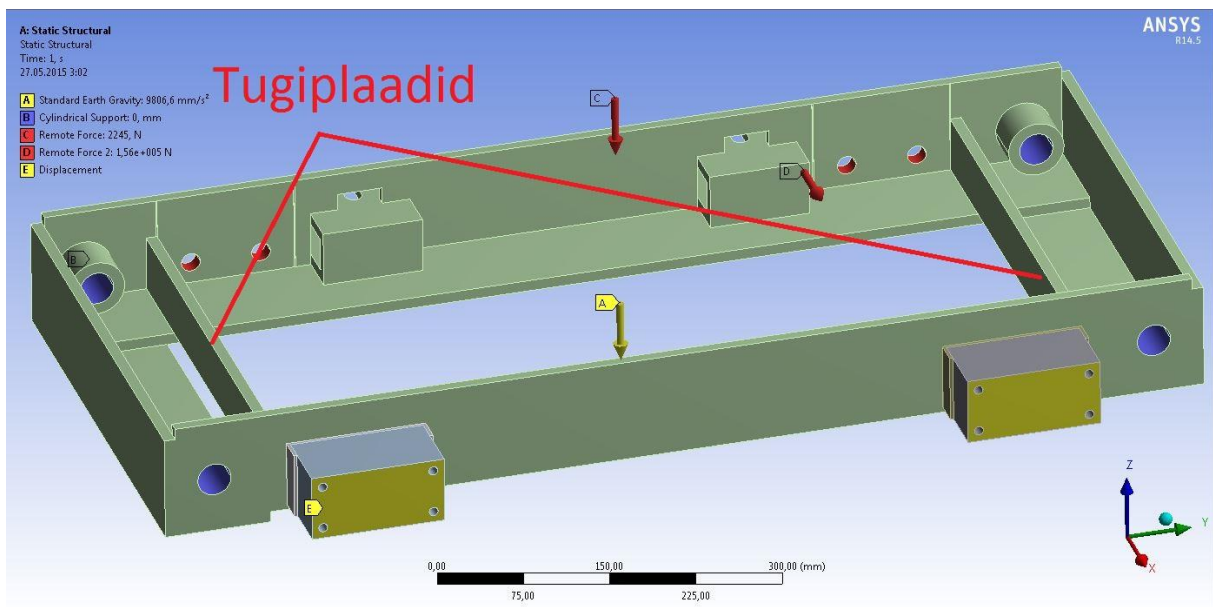


Sele 4.3.5.2. Optimeeritud liikurseadmel tekkinud 1,33 mm deformatsioon



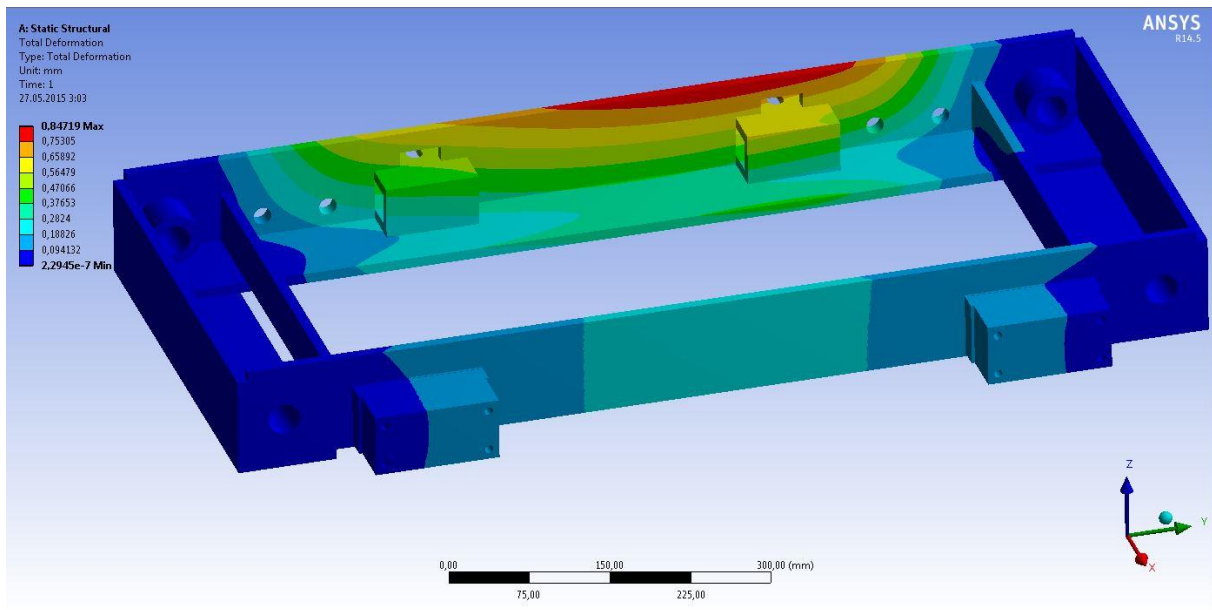
Sele 4.3.5.3. Optimeeritud liikurseadmehel tekkinud pinged – suurim 344,83 MPa

Liikurseadet tuli ka kolmandat korda optimeerida, kuna liikurseadet on võimalik muuta jäigemaks ning sellega parandada ka pingeolukordi. Selleks lisati liikurseadmele 10 mm paksused tugiplaadid (Sele 4.3.5.4).

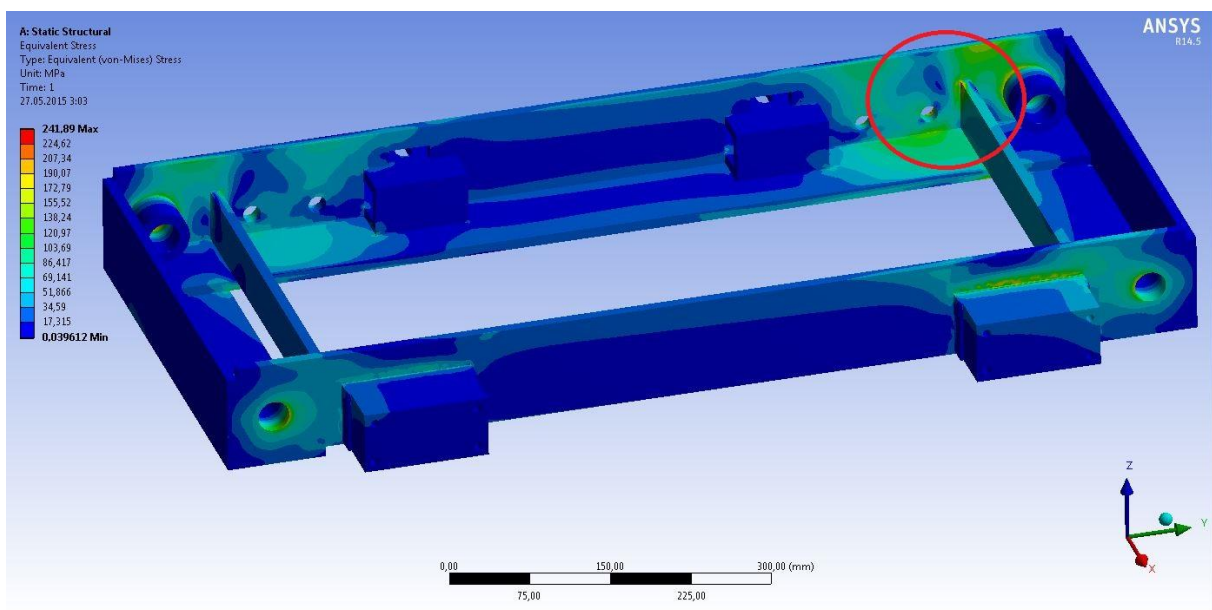


Sele 4.3.5.4. Optimeeritud liikurseade koos mõjuvate jõudude ning toetuspindadega

Optimeerimisele järgnes simuleerimine. Arvutustulemused rahuldasiid vajatud nõudmisi. Maksimaalne deformatsioon tuli 0,85 mm ning pinged 241,9 MPa (Seled 4.3.5.5 ja 4.3.5.6)



Sele 4.3.5.5. Optimeeritud liikurseadmehel tekkinud 0,85 mm deformatsioon



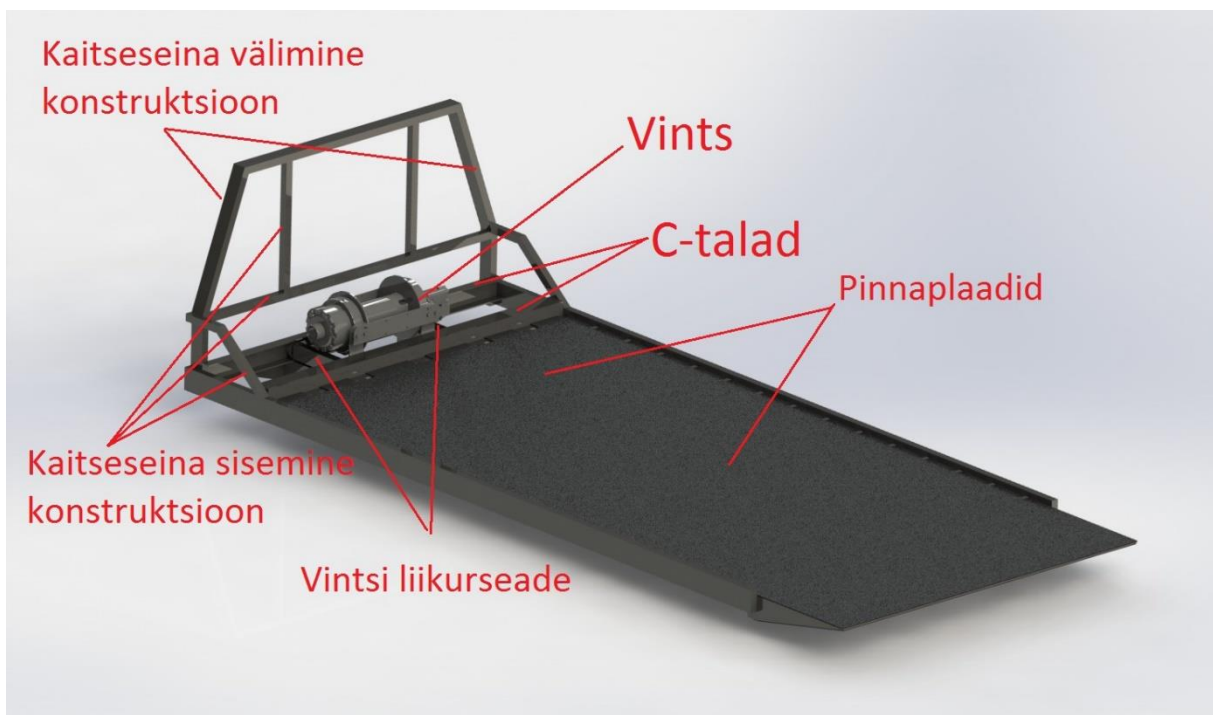
Sele 4.3.5.6. Optimeeritud liikurseadmehel tekkinud pinged – suurim 241,9 MPa

Pingete lähemal uurimisel selgus, et maksimaalsed pinged on tekkinud pingete kontsentratsioonipunktides. See tähendab, et numbrilises arvutusmudelis koguneb pinge ühte väga väikesse punkti. Reaalselt see aga konstruktsiooni ei nõrgesta, kuna kontsentratsioonipunktide asukohad on kaetud keevisvalliga. Seel 4.3.5.6 on näha, et kogu konstruktsiooni maksimaalsed pinged jäävad tegelikkuses 100-200 MPa vahele. Varuteguri leiame arvutusega $S = 355 / 241,89 = 1,46$. See tähendab, et tugevus on tagatud.

5. PEALISOSA PROJEKTEERIMINE

5.1 Pealisosa vintsi projekteerimine

Kuna Eritehnik OÜ lasi lõputöö raames projekteerida vintsi koos liikurseadmega, siis tuli projekterida ka uus kaitsesein. Kaitseseina ülesandeks on puksiiritava objekti piiramine, et see pealisosast ettepoole ei liiguks. Kaitseseina välimine konstruktsioon on tehtud 100 x 50 karpkonstruktsioonist, mis on 4 mm paksuste seintega. Sisemine konstruktsioon on valmistatud 50 x 50 mm karpkonstruktsioonist, mille seinapaksused on 4 mm. Kogu projekteeritud pealisosa on välja toodud Selet 5.1.1. Materjalina on kasutatud konstruktsiooniterast S355J0.



Sele 5.1.1. Projekteeritud pealisosa koos detailidega

Liikurseadme tugevus on tagatud, kuid tuleb kontrollida ka pealisosa tugevust. Selleks tuli paika panna piirtingimused ning ära määrata materjal.

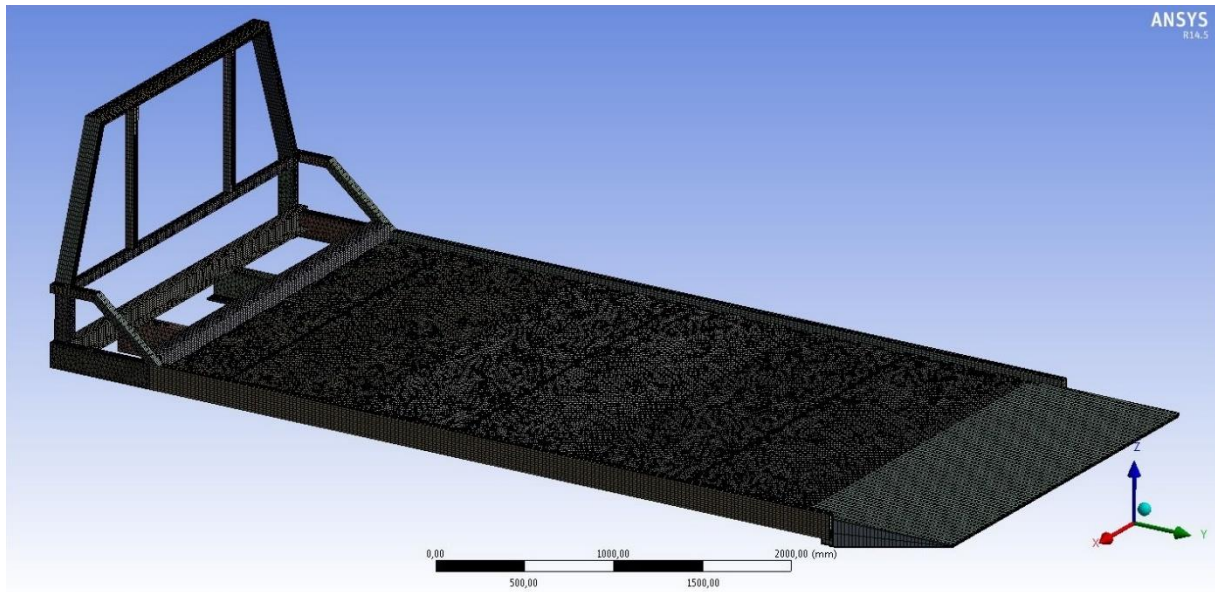
Tabel 5.1.1. Simuleeritud kaks koormusolukorda

| Simulatsioon 1 | Simulatsioon 2 |
|--|--|
| Vintsi 15 tonni tõmbamine pealisosa keskel | Vintsi 15 tonni tõmbamine pealisosa äärmises asendis |

5.2 Pealisosa vintsi LEM arvutused

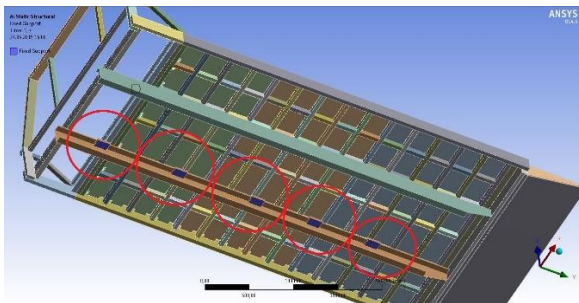
5.2.1 Piirtingimused

Esmalt tuli paika panna piirtingimused. Selleks simuleeriti pealisosale võrgustik (*mesh*) (Sele 5.2.1.1). Elemendi suuruseks valiti 25 mm ning genereerimisel tuli 242241 elementi ning nendevahelisi ühenduspunkte 935885.

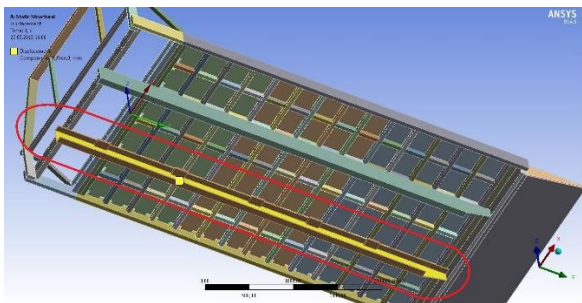


Sele 5.2.1.1. Pealisosa võrgustik (*mesh*)

Kuna pealisosa toetub kümnele liugurile, siis projekteeriti ka need koostule (Sele 5.2.1.2), millele määrati ka toetuspunktid. Pealisosa toestab veel alt poolt ning külgedelt (X- ja Z-telje suunas) kallutusmehhanismi konstruktsioon. Seega tuli ka need toetused piirtingimustesse kanda. Need on välja toodud Seel 5.2.1.3.

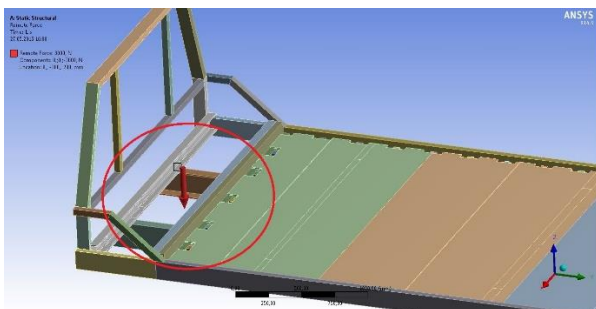


Sele 5.2.1.2. Liugurite kinnitus

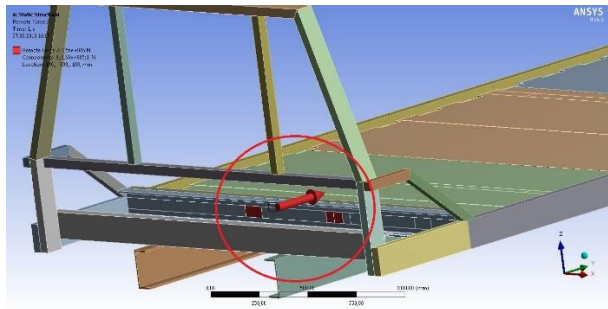


Sele 5.2.1.3. Konstruktsiooni toetus X- ja Z-teljel

Piirtingimustena tuli veel simulatsiooni sisestada vintsi mass koos vintsi ning liikurseadmega. Nende massiks on kokku ligikaudu 3000 N. Kuna vintsi raskuskese on 200 mm kõrgusel, siis tuli jõu mõjumispunktiks koordinaadistikus $x = 0 \text{ mm}$, $y = 0 \text{ mm}$, $z = 200 \text{ mm}$ (Sele 5.2.1.4). Lisaks tuli märkida vintsi trossi jõud, mis mõjub Y-telje suunas. Kuna vintsi tõmbab trossi kogu trumli ulatuses, siis sai valitud üks trumli serv, mis on antud situatsioonis ekstreemum. Trumli laius on 340 mm, järelikult tuleb trossi jõu mõjumise punkti liigutada X-telje suunas 170 mm. Jõu mõjumispunkt on ka Z-telje suunas 100 mm nullpunktist kõrgemal (Sele 5.2.1.5). Jõu mõjumispunkt on koordinaadistikus $x = 170 \text{ mm}$, $y = 0 \text{ mm}$, $z = 100 \text{ mm}$.

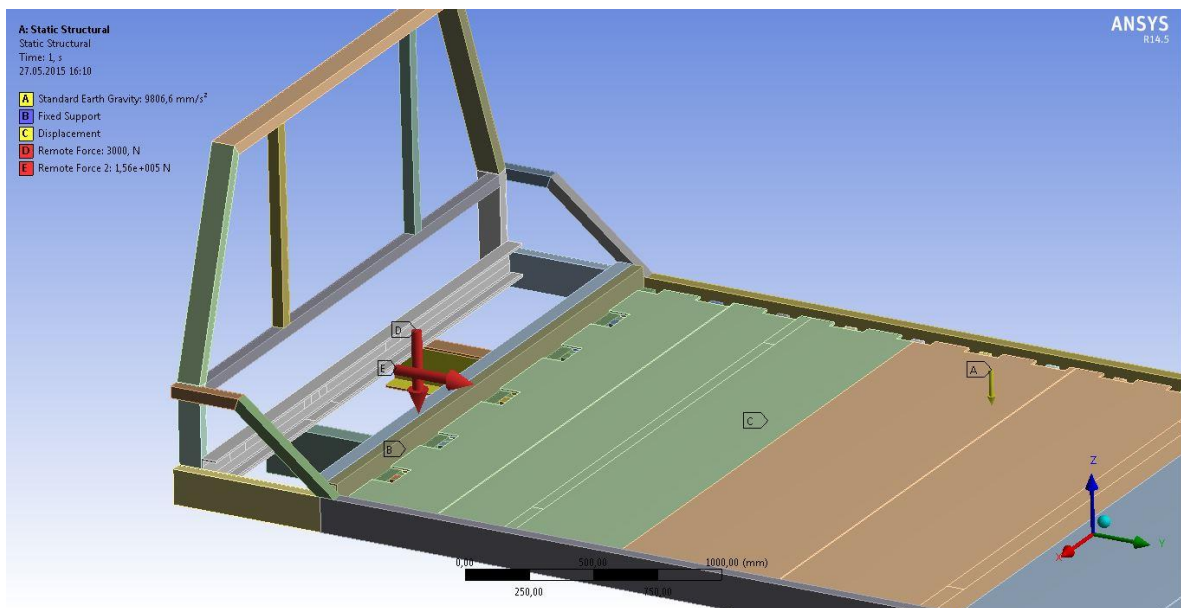


Sele 5.2.1.4. Vintsi ning liikurseadme mass



Sele 5.2.1.5. Jõu mõjumise punkt ning suund

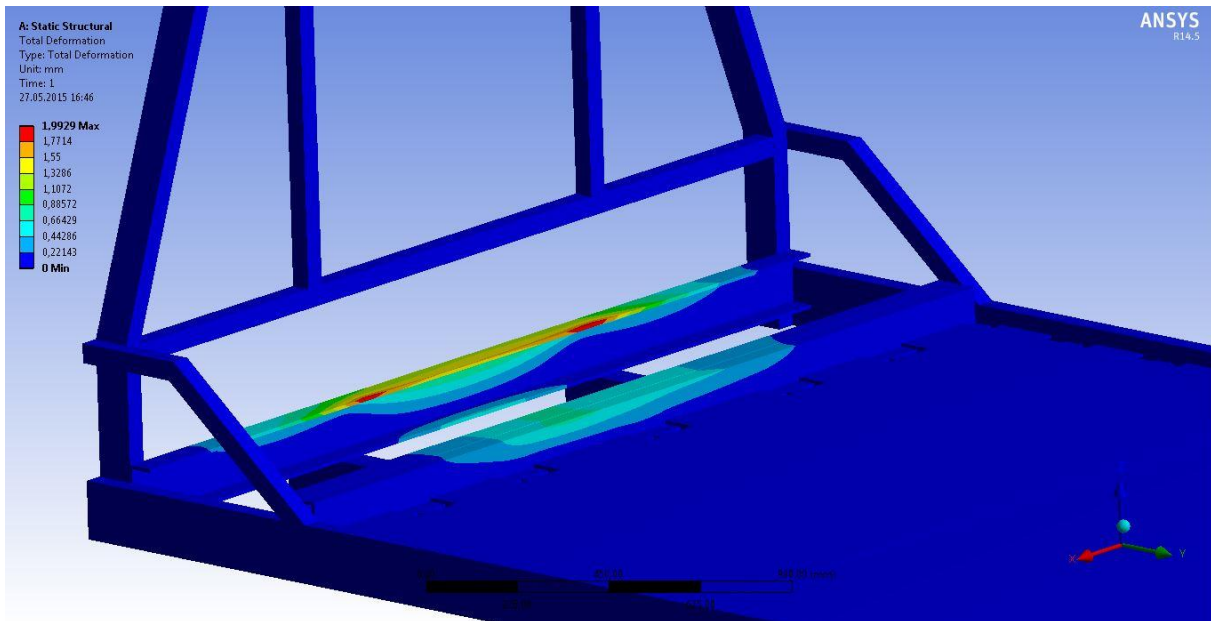
Lisaks olemasolevatele jõududele mõjub ka maa külgetõmbejõud $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. Kõik jõud ning toetuspinnad on ära toodud Selet 5.2.1.6. Jõudude märkimisel kanti rullikute kontaktpindade asemel joonkoormused ning liugurite kontaktpindadeks valiti $S = 60 * 120 = 7200 \text{ mm}^2$ suurused alad.



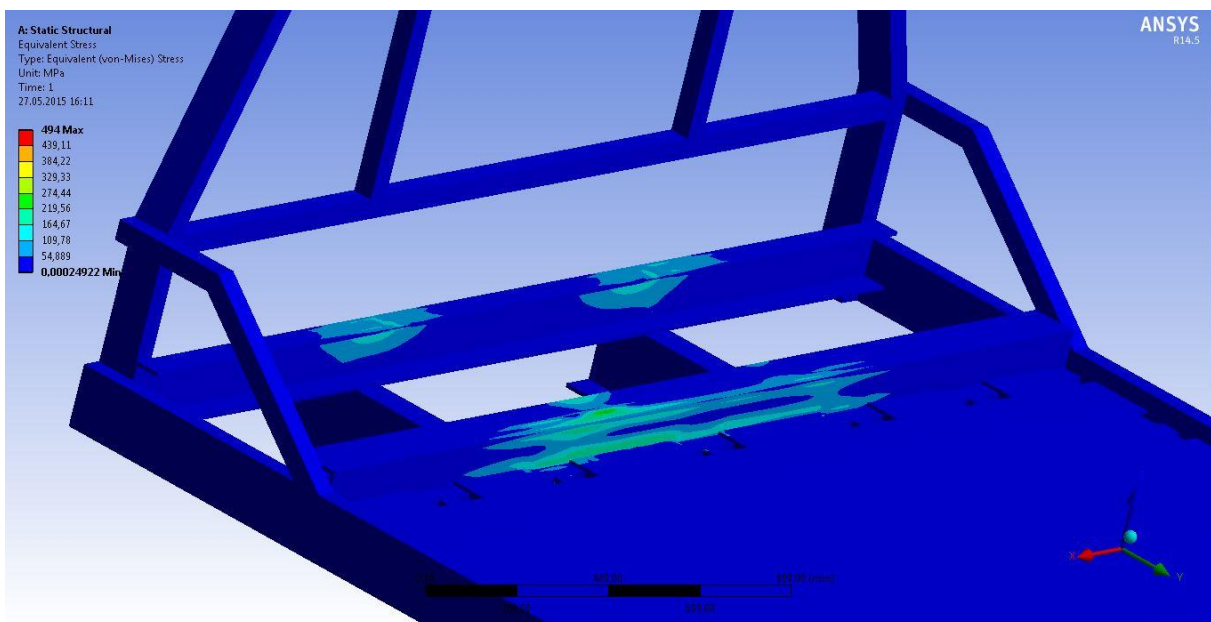
Sele 5.2.1.6. Pealisosa toetuspinnad ning sellele mõjuvad jõud

5.2.2 Pealisosa vintsi LEM arvutustulemused

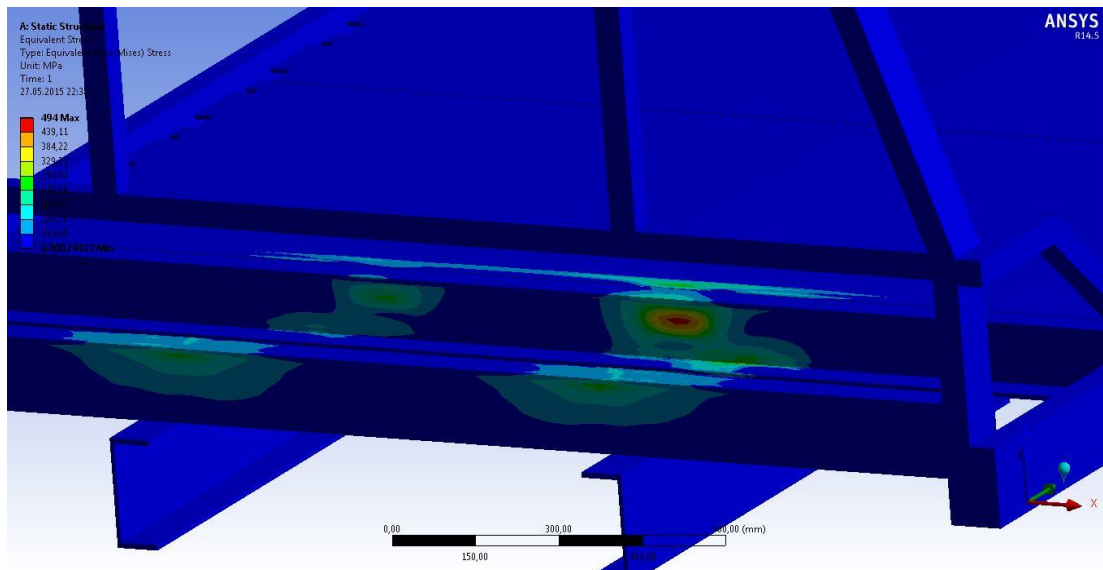
Viidi läbi simulatsioon 1, kus kontrolliti pealisosa tugevust 15,9-tonnisele tõmbevõimele pealisosa keskosas. LEM arvutustel selgus, et konstruktsioon ei ole piisavalt tugev. Maksimaalne paine tuli 2 mm (Sele 5.2.2.1) ning maksimaalne pinge 494 MPa (Sele 5.2.2.2). Järelikult tuli konstruktsiooni optimeerida.



Sele 5.2.2.1. Pealisosa konstruktsiooni läbipaine



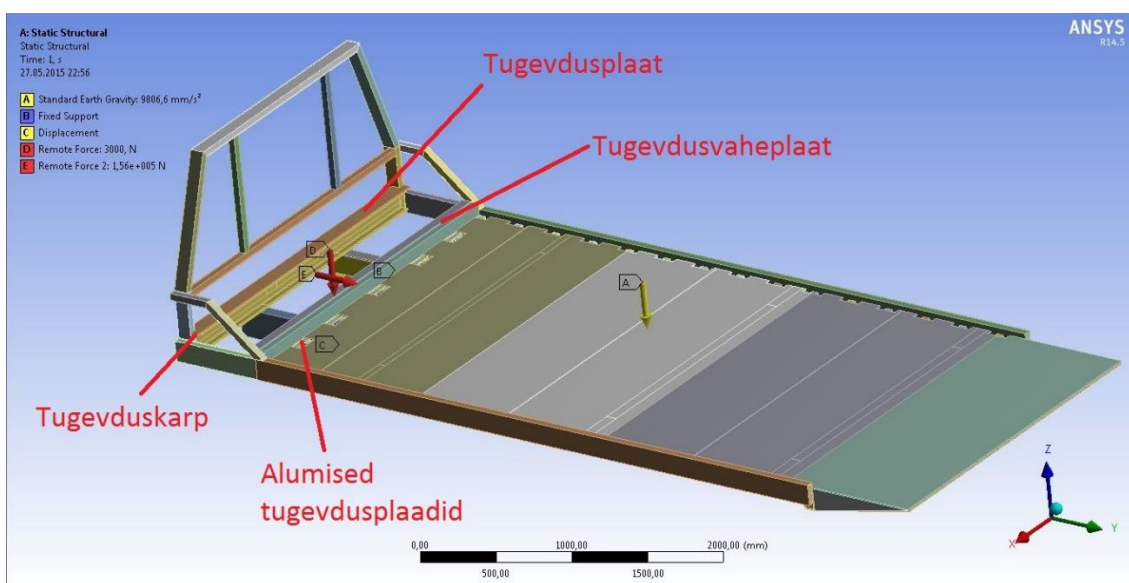
Sele 5.2.2.2. Pealisosa konstruktsiooni pinged



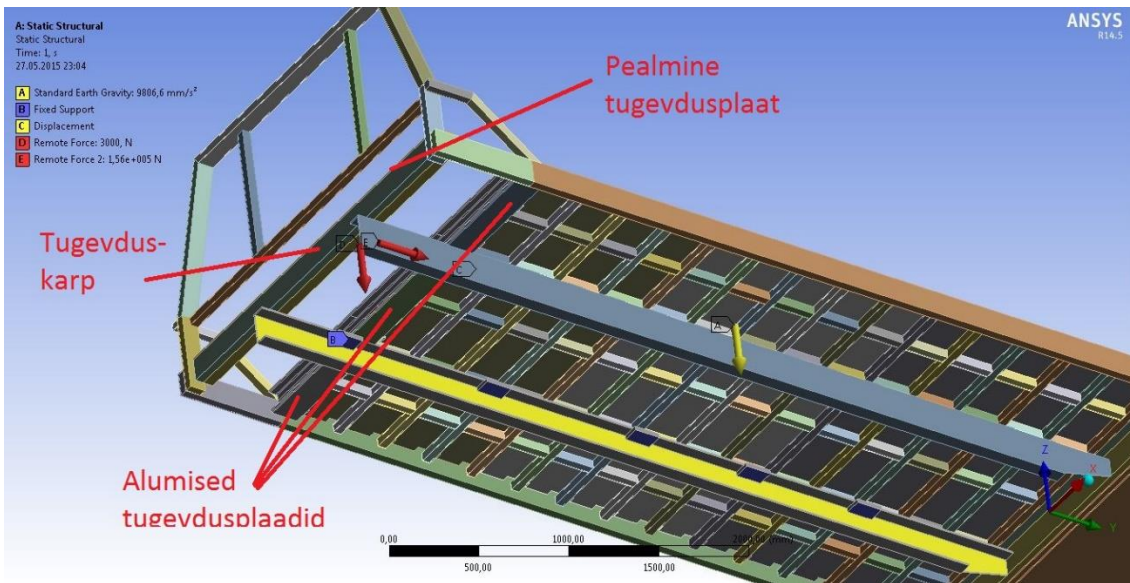
Sele 5.2.2.2. Pealisosa konstruktsiooni maksimaalne pinge

5.2.3 Konstruktsiooni optimeerimine, simulatsioonide tulemused

Konstruktsiooni optimeerimisel lisati pealisosa kabiinipoolsesse etteotsa üks 50 x 140 mm karpkala, mille seinapaksus on 8 mm. Sellele paigutati peale ka 5 mm paksune tugevdusplaat, mis kompenseerib rullikutest tulenevaid kontaktpingeid. Lisati ka alumised 5 mm paksused tugevdusplaadid, mis on paigutatud vintsi C-karpide alla. Vintsi C-karbi ning eesmise toestuskarbi vahele lisati 10 mm paksune tugevdusvaheplaat, mis kompenseerib liuguritest tulenevaid pingeid ning deformatsioone. Tugiplaadid, tugikarp ning kõik jõud ja toestuspinnad on välja toodud Seledel 5.2.3.1 ning 5.2.3.2. Teostati simulatsioon 1.

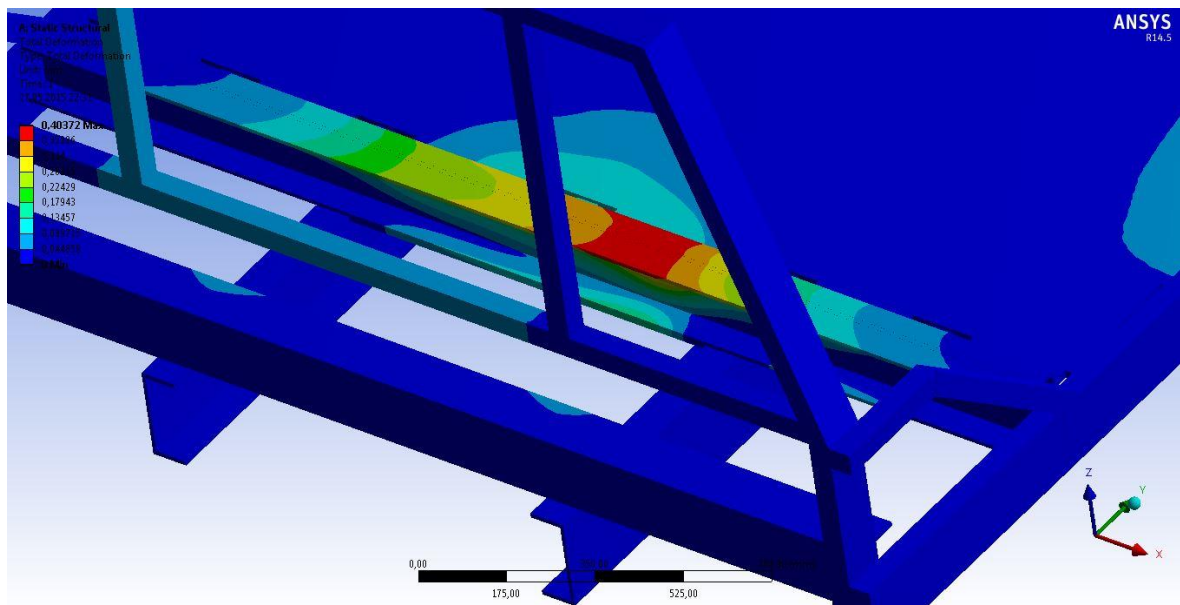


Sele 5.2.3.1. Optimeeritud pealisosa toestupidade ning sellele mõjuvate jõududega

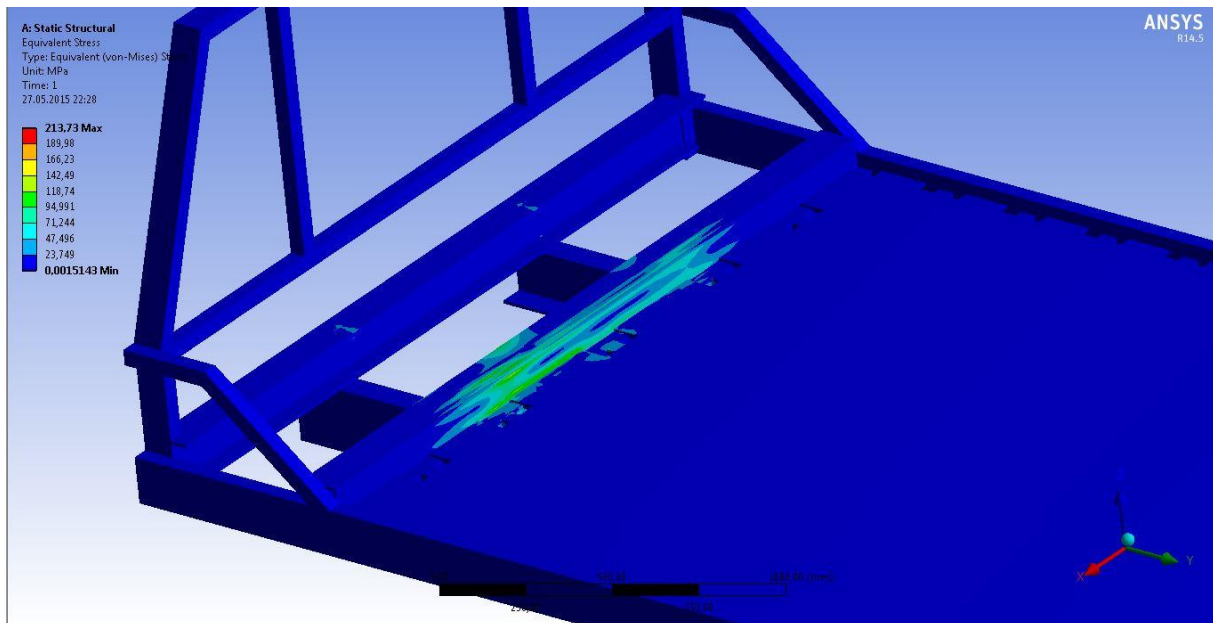


Sele 5.2.3.2. Optimeeritud pealisosa toetuspidade ning sellele mõjuvate jõududega

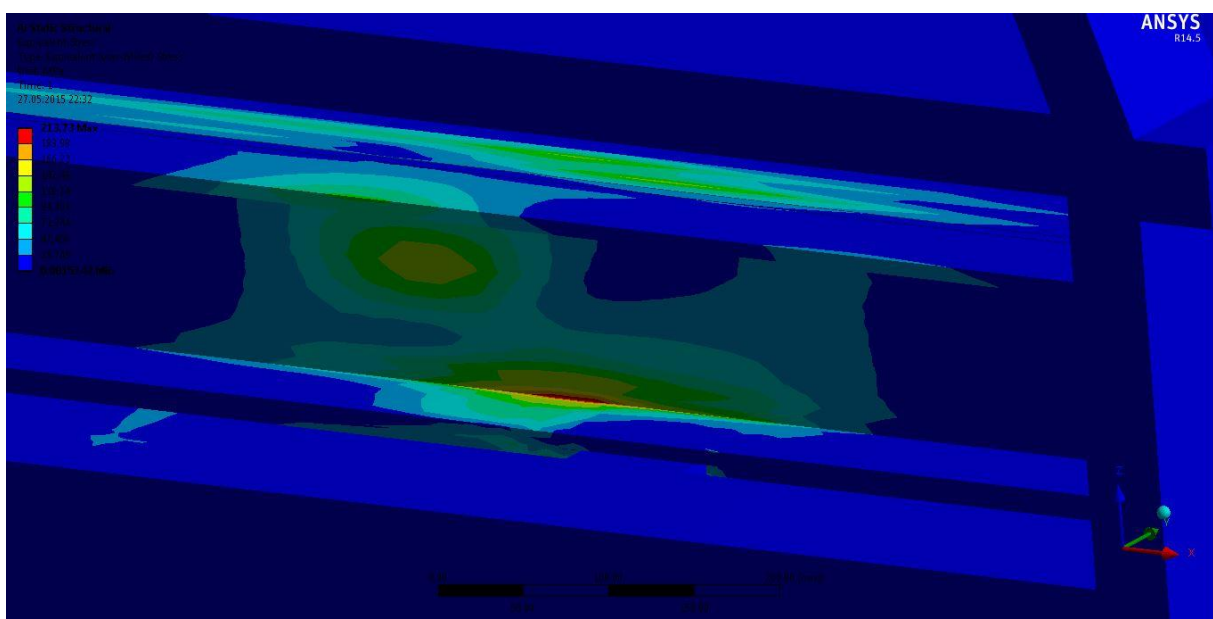
Piirtingimused jäid arvutamisel samaks (peatükk 5.2.1). Optimeeritud pealisosa maksimaalseks läbipaindeks arvutas ANSYS ligikaudu 0,41 millimetrit (Sele 5.2.3.3) ning maksimaalseks pingeks 213,73 MPa (Sele 5.2.3.5). Läbipaine on ülimalt väike ning see tähendab, et konstruktsioon on piisavalt jäik. Suurim pinge osutus vintsi C-karbi alumisse nurka, kuid materjali S355 valiku korral on maksimaalne voolepiir 355 MPa. Arvutusprogrammi kohaselt on suurima pinge varuteguriks $S = 355 / 213,73 = 1,66$, mis tähendab, et tugevus on tagatud.



Sele 5.2.3.3. Optimeeritud pealisosal tekkinud deformatsioon

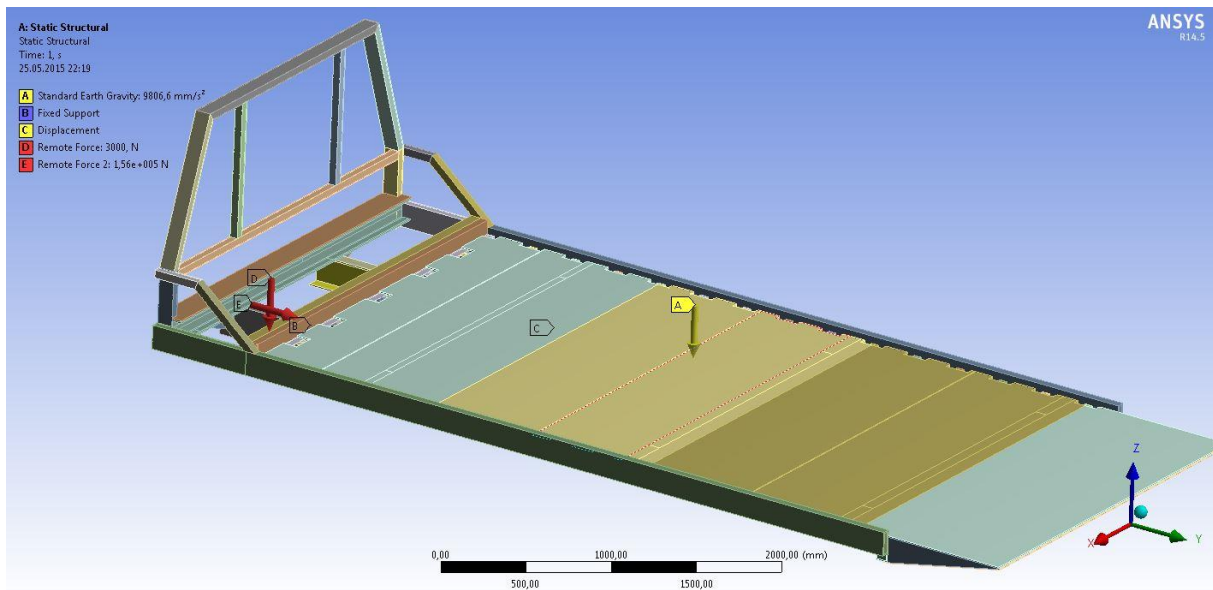


Sele 5.2.3.4. Optimeeritud pealisosal tekkinud pinged



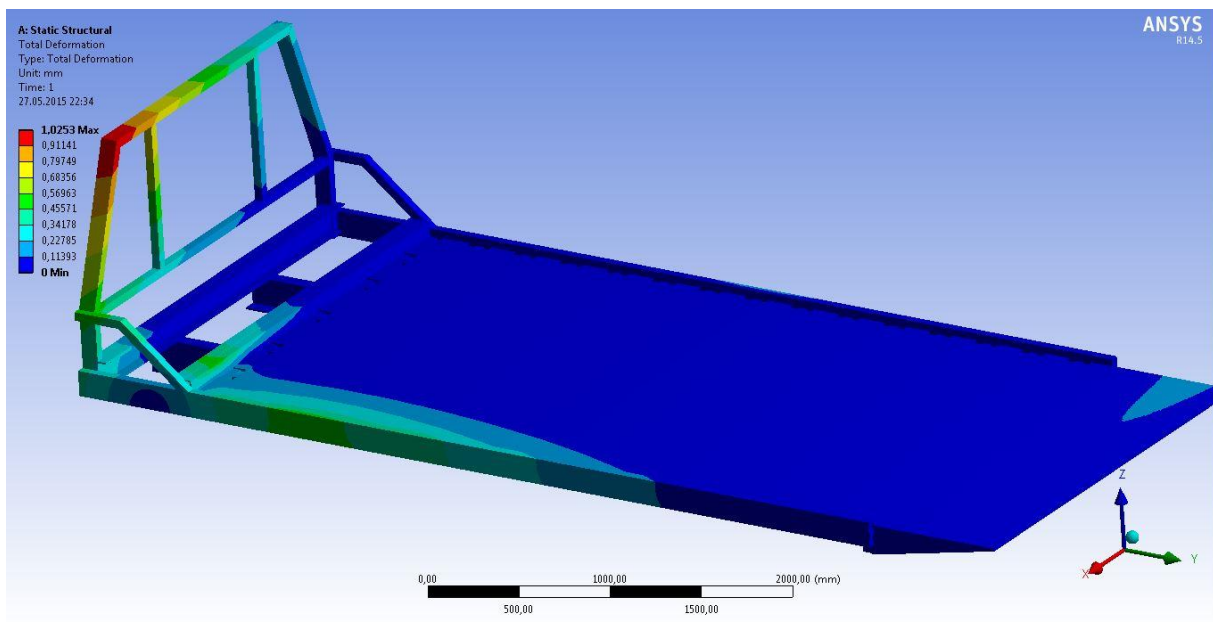
Sele 5.2.3.5. Suurimad pinged (213,73 MPa) on rullikute kontaktpinged

Järgmisena viidi läbi simulatsioon 2, kus kontrolliti vintsi liikurseadme jäikust ning tugevust olukorras, kus vintsi on pealisosa äärmises asendis. Mõjuvad jõud jäid samaks, kuid nende raskuskeskmed liikusid koordinaadistikus X-telje suunas (nullpunktist) 1000 mm. Selet 5.2.3.6 on ära toodud kõik pealisosale ning vintsi liikurseadmetele mõjuvad jõud.

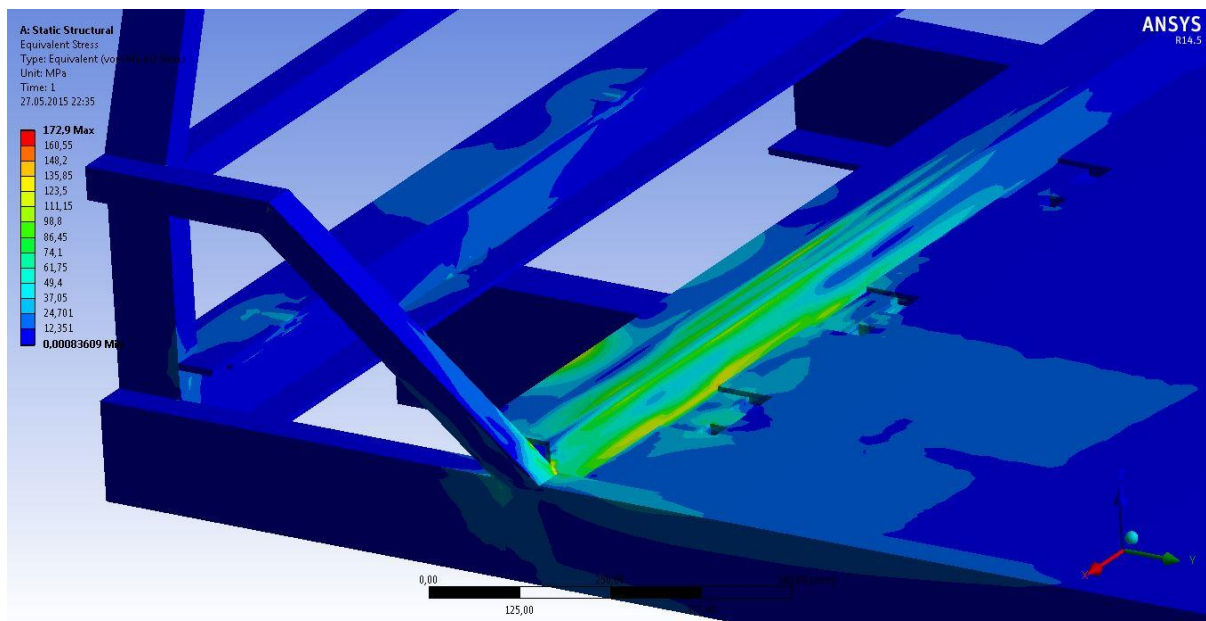


Sele 5.2.3.6. Äärmises asendis vints koos kõikide mõjuvate jõududega

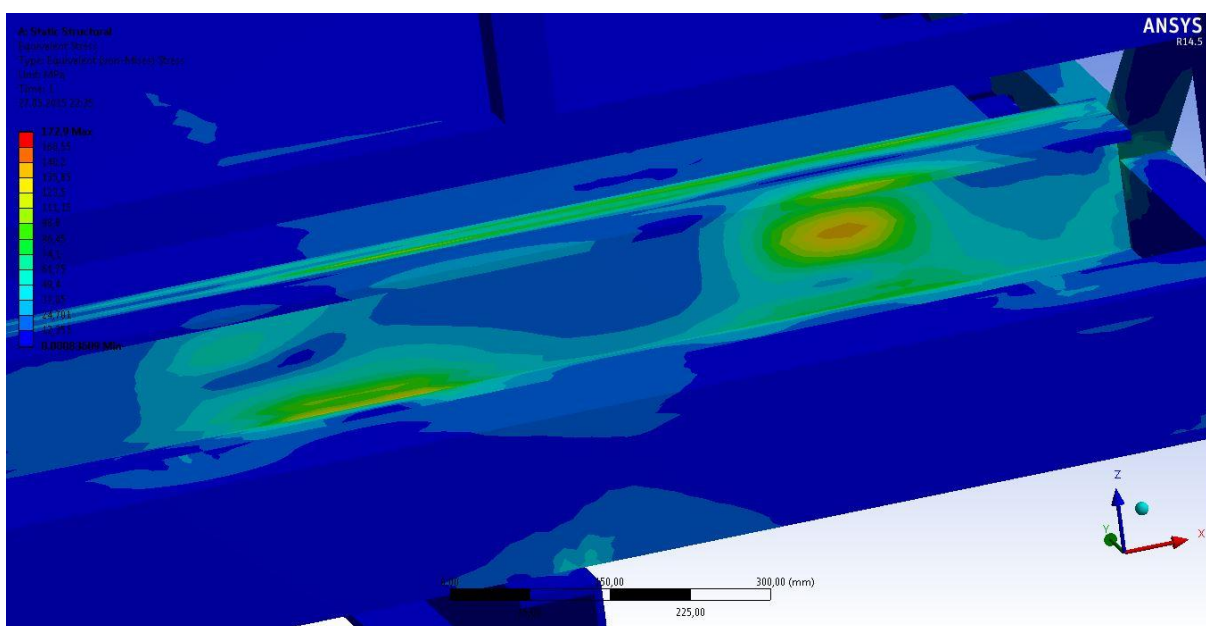
ANSYS sai arvutustulemusteks deformatsioonil 1,03 mm (Sele 5.2.3.7) ning maksimaalseteks pingeteks 172,9 MPa (Sele 5.2.3.9). See tähendab, et vintsiga on võimalik opereerida maksimaalsel võimusel, kui vints asetseb pealisosa äärmises asendis. Varuteguri arvutame $S = 355 / 172,9 = 2,05$, mis tähendab, et tugevus on tagatud



Sele 5.2.3.7. Suurimad deformatsioonid on 1,03 mm



Sele 5.2.3.8. Optimeeritud pealisosal tekkinud pinged

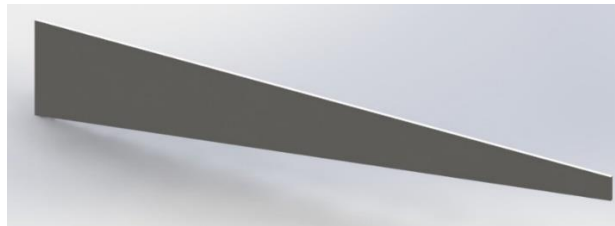


Sele 5.2.3.9. Maksimaalsete pingete tekkekoht (172,9 MPa)

.Kokkuvõtteks võib öelda, et pealisosa vintsi liikurseadme tugevus on tagatud. Tuleb ära märkida, et vintsi maksimaalset 15-tonnist tõmbevõimet nii vintsi keskmises asendis kui ka äärmises asendis. Reaalsuses võiks 15-tonnist objekti vintside ainult keskmises asendis, kus jõud jaotuvad ühtlaselt kallutusmehhanismi ning tugijala vahel ära.

5.2 Pealisosa konstruktsiooni tugede projekteerimine

Varasemast oli pealisosal probleem sellega, et konstruktsiooni paindus läbi, kui veetavateks objektideks olid elektrilised laotõstukid, mis olid paigutatud pealisosale kõrvuti. Need hakkasid ebatasasel teel nn vetruma ja see painutas konstruktsiooni ära. Selleks sai projekteeritud toetuskolmnurgad (Sele 5.2.1), et muuta konstruktsiooni jäigemaks.



Sele 5.2.1. Toetuskolmnurk pealisosa jäikuse tõstmiseks

5.3 Pealisosa konstruktsiooni LEM arvutused

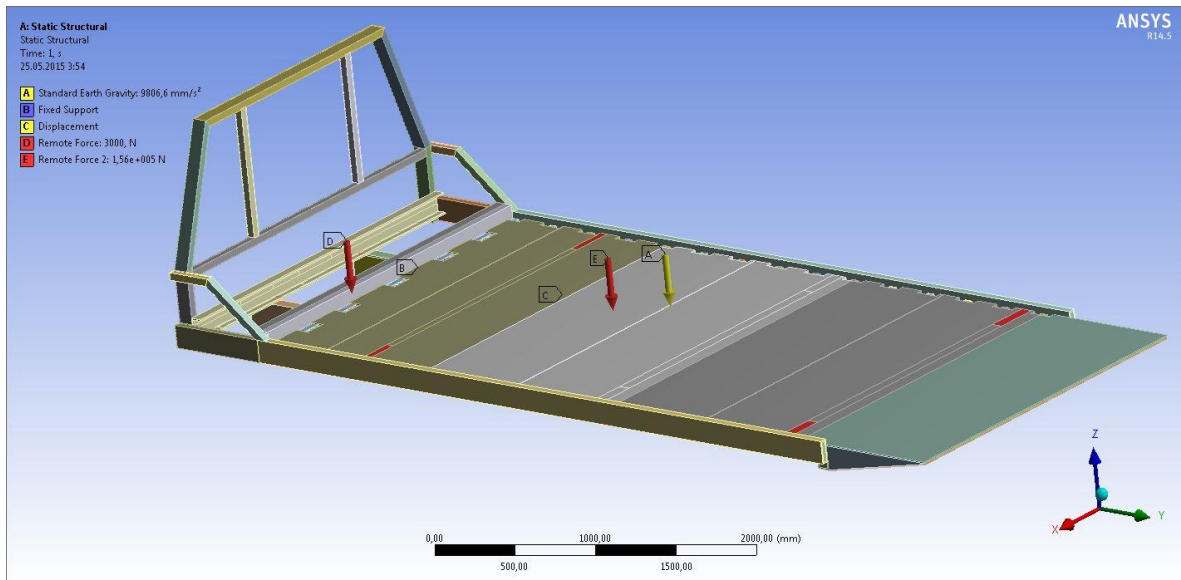
Tugevusarvutusi teostati samuti ANSYS tarkvaraga. Viidi läbi neli simulatsiooni (Tabel 5.3.1), mis peaksid näitama, kas projekteeritud tugikolmnurgad annavad konstruktsioonile piisava jäikuse. Pealisosa kandevõime peaks olema vähemalt 10 tonni, kuid teostame arvutusi suuremate jõududega, et kompenseerida ettearvamatute jõudude tekkimist ebatasasel maapinnal.

Tabel 5.3.1. Nelja simulatsiooni kirjeldus

| | |
|----------------|---|
| Simulatsioon 1 | 15-tonnine pikk veoauto, mis koormab pealisosa eesmisi ning tagumisi nurkasid. |
| Simulatsioon 2 | 15-tonnine lühike veoauto, mis koormab pealisosa eesmisi nurkasid ning keskmisi servasid. |
| Simulatsioon 3 | 15-tonnine objekt, mis toetab pealisosa servadele. Objektiks võib olla saun, maja, konteiner vms. |
| Simulatsioon 4 | Kaks elektrilist laotõstukit, mille mass on 3 tonni ning üks suur tõstuk, mille mass on 6 tonni. Kaks väikest tõstukit on paigutatud pealisosa etteotsa kõrvuti ning suur tõstuk on paigutatud pealisosa taha otsa. |

5.3.1 Piirtingimused

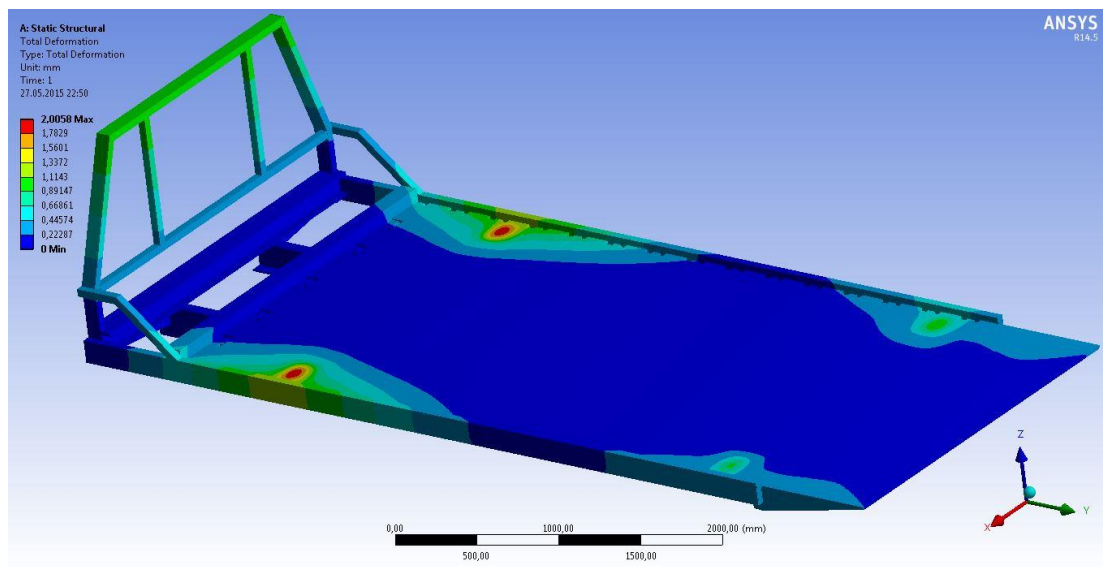
Tugevusarvutusi teostati samuti ANSYS tarkvaraga. Pealisosa piirtingimused jäid samaks (peatükk 5.2.1), kuid muutusid jõudude mõjumise suunad ning suurused (Sele 5.3.1.2). Esmalt viidi läbi simulatsioon 1, milleks oli 15-tonnine pikk veoauto. Seel 5.3.1.2 jõud E on veoauto raskuse ning punased pinnad tähistavad veoauto rehvide toetuspindasid.



Sele 5.3.1.2. Pealisosale mõjuvad jõud koos toetuspindadega

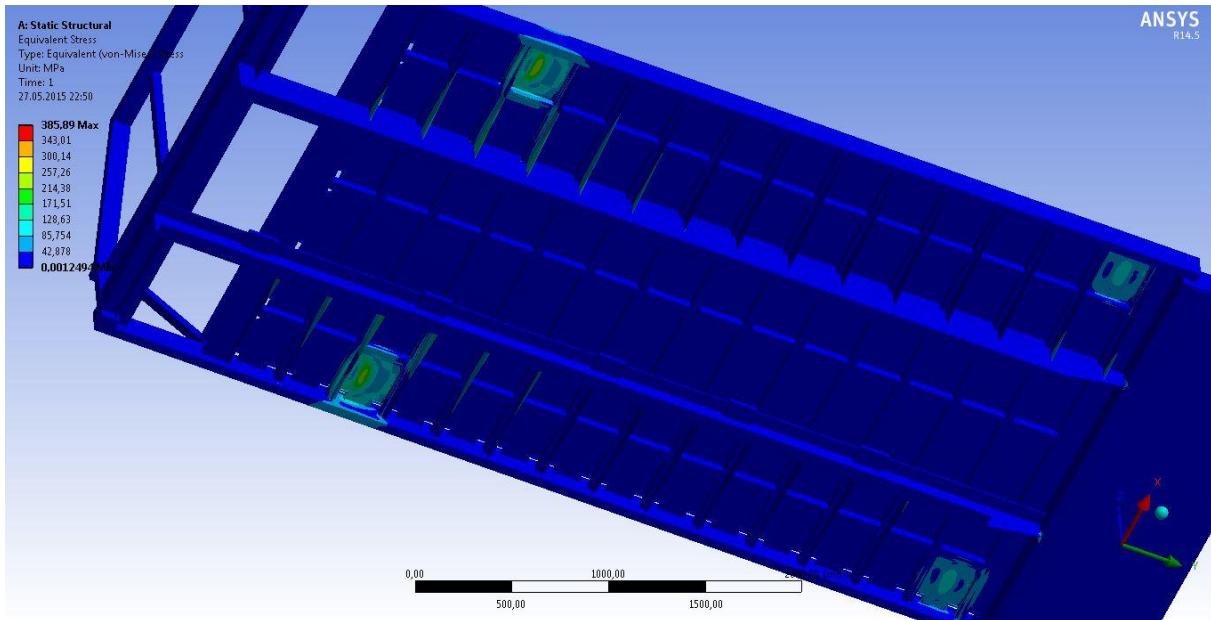
5.3.2 Pealisosa konstruktsiooni LEM arvutustulemused

ANSYS sai arvutustulemusteks deformatsioonil 2,01 mm (Sele 5.3.2.3).



Sele 5.3.2.3. Tugevdatud pealisosa maksimaalne deformatsioon 2,01 mm

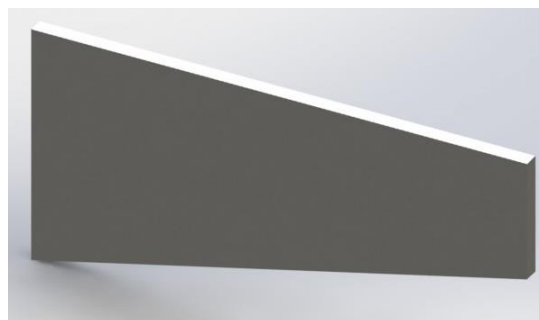
Maksimaalseteks pingeteks arvutas simulaator 385,89 MPa (Sele 5.3.2.4). Suurim pinge tekkis modelleeritud kinnitusava tugevdusdetailil ning see on pinge kontsentratsioonipunktiks. Seda ümbritseb aga reaalsuses keevisvall ning tegelikud pinged peaksid jääma alla 300 MPa. See tähendab, et tugevus on tagatud.



Sele 5.3.2.4. Tugevdatud pealisosa maksimaalne pinge 385,89 MPa

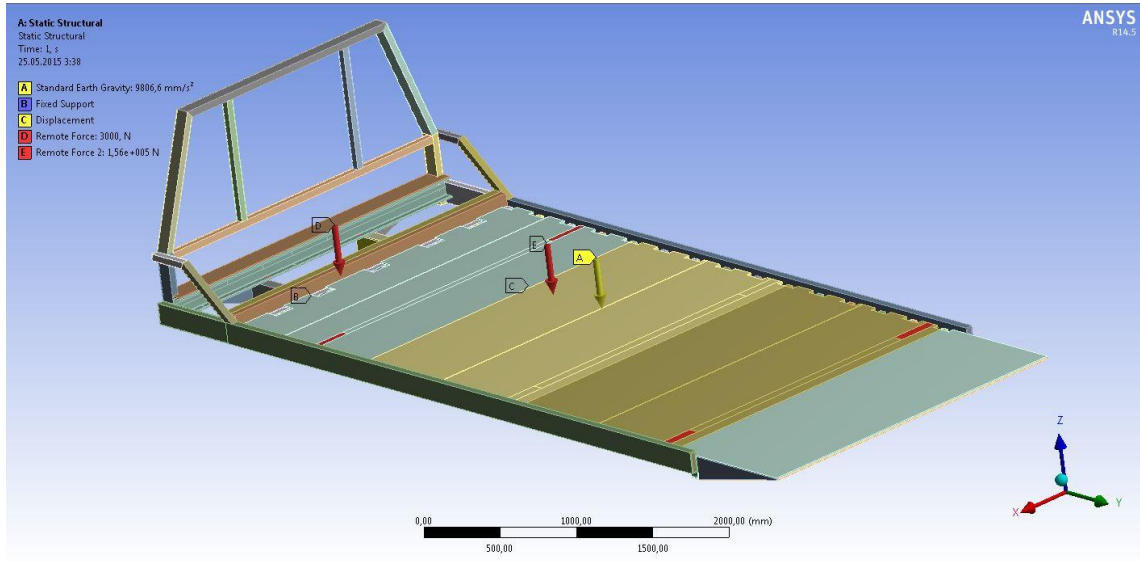
5.3.4 Pealisosa tugikolmnurkade optimeerimine, simulatsioonide tulemused

Eelmine valitud toetuskolmnurk ulatus C-karbist kuni konstruktsiooni äärmise karptalani. See on üsna suur detail, mis kaalub 1,66 kg. Pealisosal on neid tugesid 32 tükki, mis teeb lisamassiks 53,12 kg. Seda saaks kindlasti optimeerida. Selleks sai proovitud mitmeid erinevaid tugesid ning parimaid tulemusi andis tugikolmnurk (Sele 5.3.4.1), mis kaalub kõigest 0,98 kg. Kaalu sääst on optimeerimisel 21,76 kg.



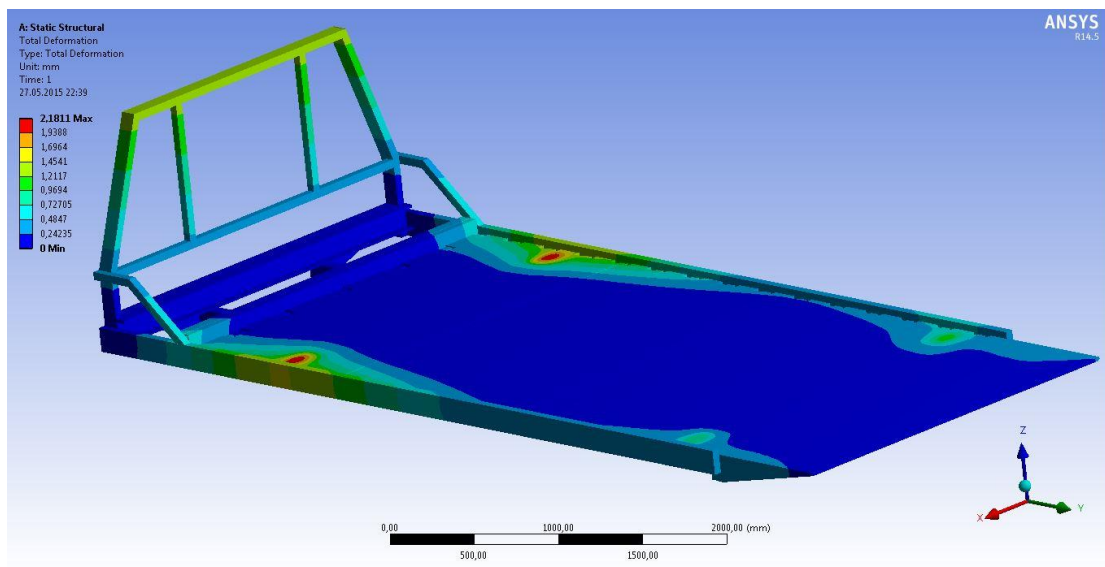
Sele 5.3.4.1. Optimeeritud kolmnurktugi

Piirtingimused jäid pealisosal samaks. Simulatsioonis 1 oli testitavaks objektiks 15-tonnine pikk veoauto. Seel 5.3.4.2 jõud E on veoauto raskukese ning punased pinnad tähistavad veoauto rehvide toetuspindasid.

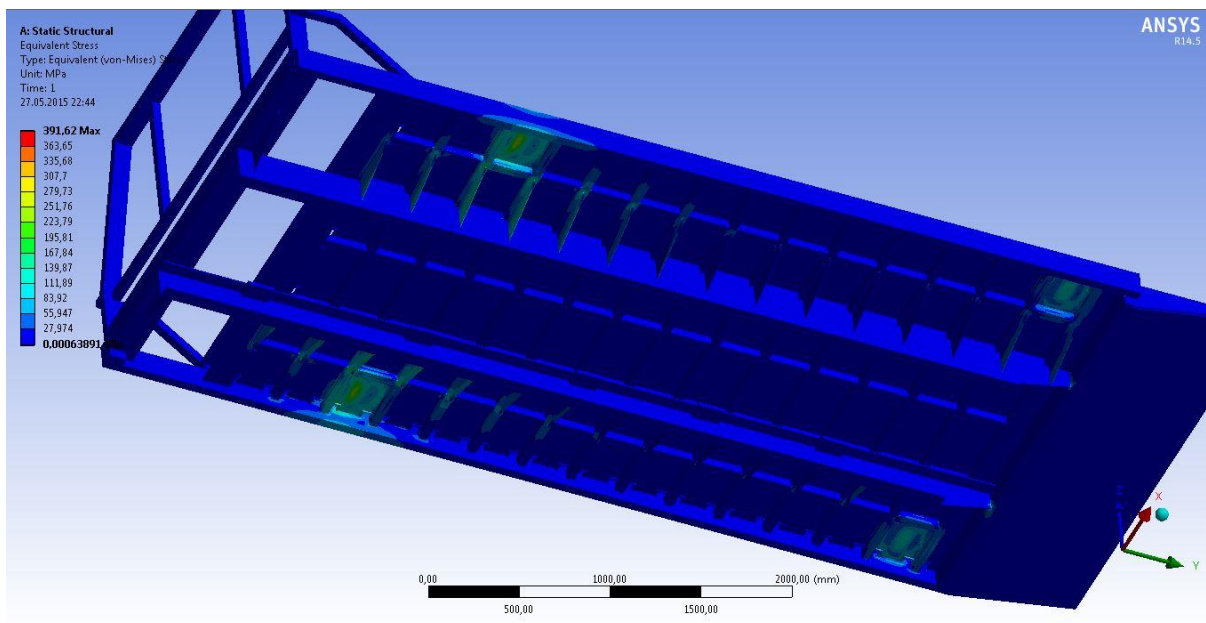


Sele 5.3.4.2. Optimeeritud pealisosa koormused koos toetuspindadega (pikk veoauto)

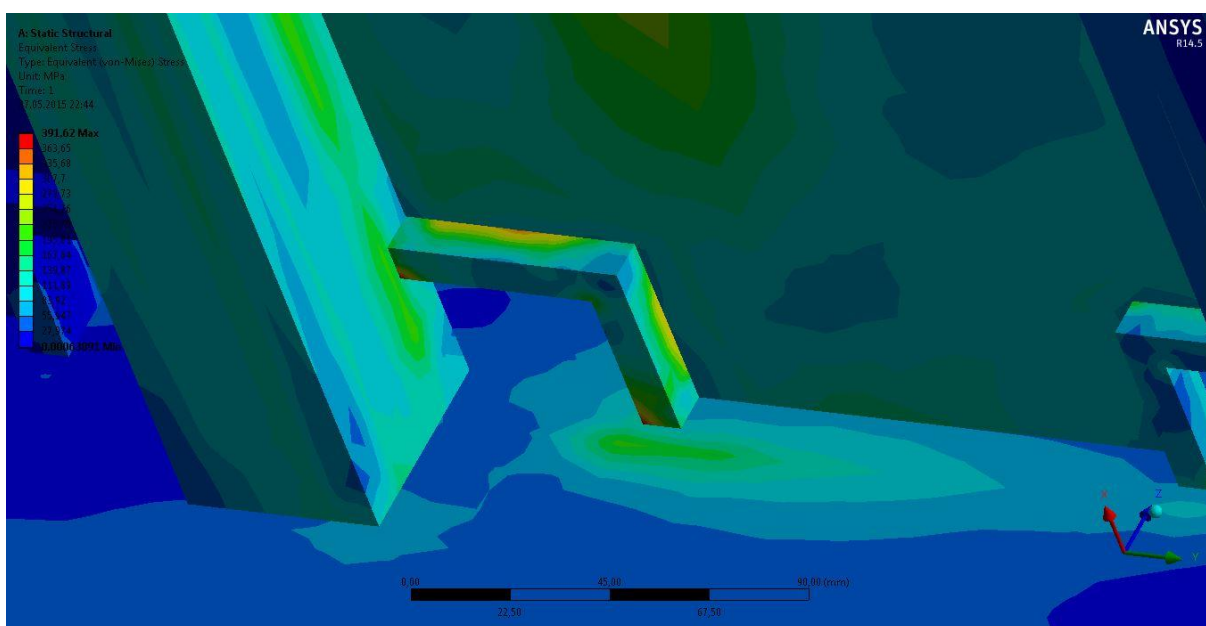
ANSYS sai arvutustulemusteks deformatsioonil 2.19 mm (Sele5.3.4.3) ning maksimaalseteks pingeteks 391.62 MPa (Sele 5.3.4.4). Suurim pinge tekkis modelleeritud kinnitusava tugevdusdetailil ning see on pinge kontsentratsioonipunktiks (Sele 5.3.4.5). Seda ümbritseb aga reaalsuses keevisvall ning tegelikud pinged peaksid jääma alla 300 MPa. See tähendab, et tugevus on tagatud.



Sele 5.3.4.3. Optimeeritud pealisosa maksimaalne deformatsioon 2,19 mm

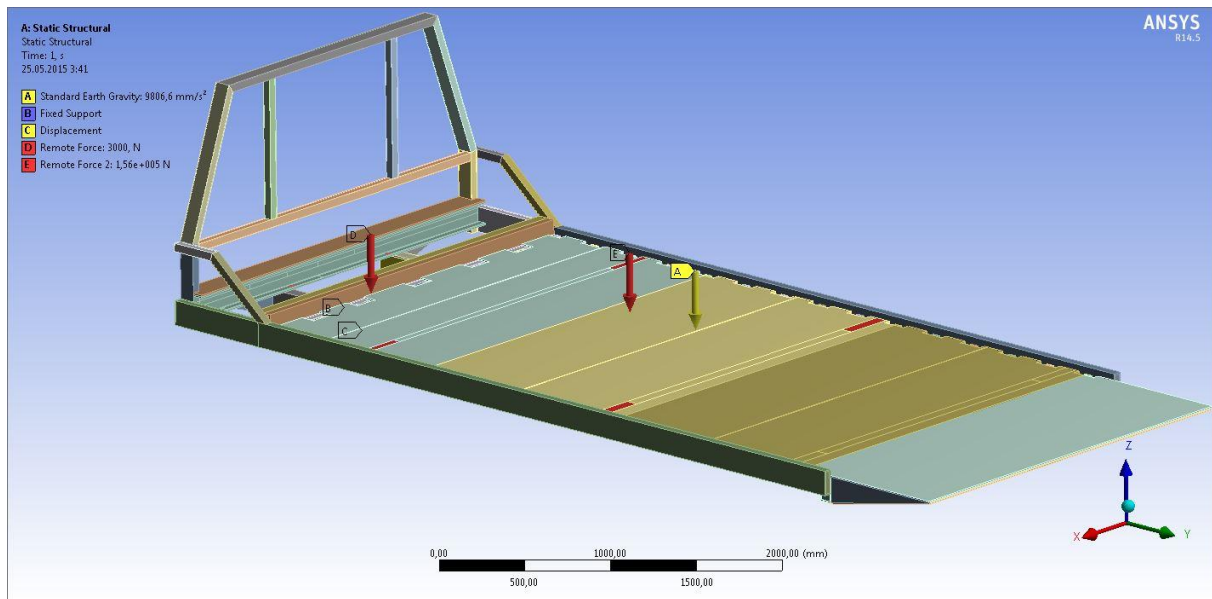


Sele 5.3.4.4. Optimeeritud pealisosa maksimaalne pinge 391,62 MPa



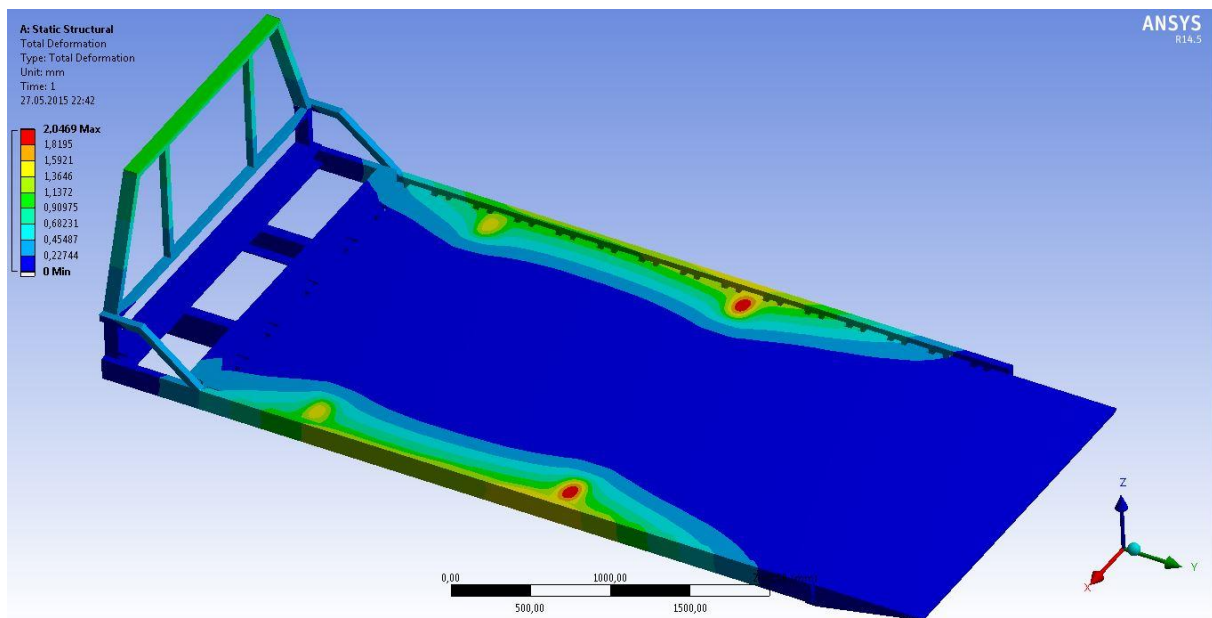
Sele 5.3.4.5. Tekkinud pingete kontsentratsioonipunktid

Simulatsioon 2 oli testitavaks objektiks 15-tonnine lühike veoauto. Selet 5.3.4.6 märgitud jõud E on veoauto raskukese ning punased pinnad tähistavad veoauto rehvide toetuspindasid.

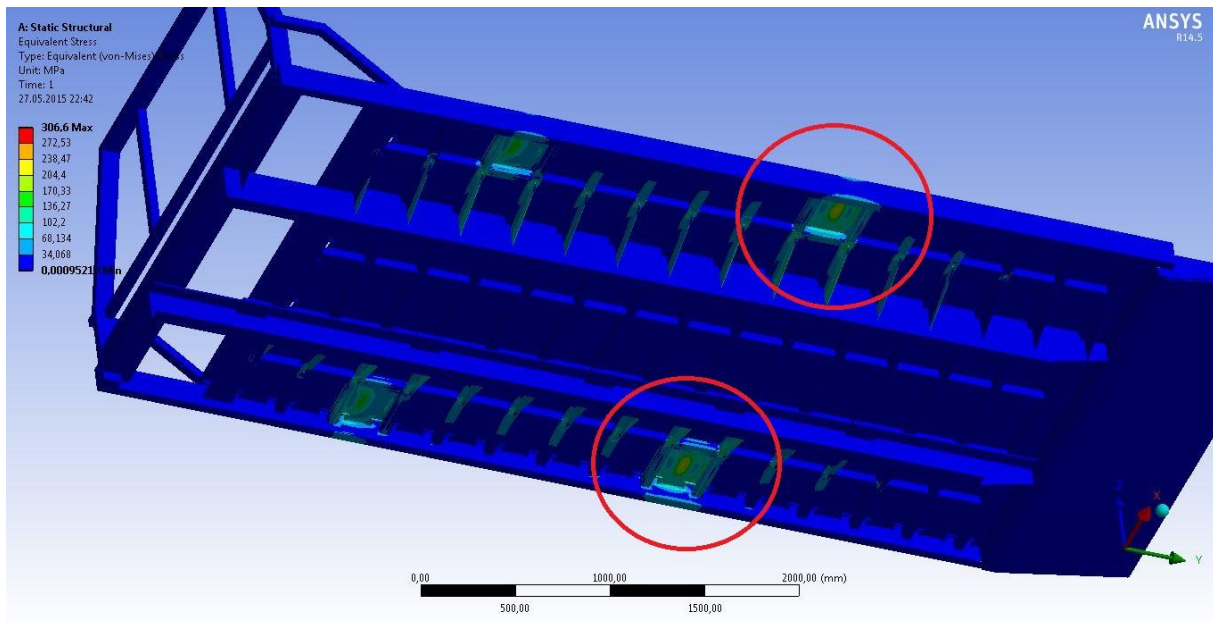


Sele 5.3.4.6. Optimeeritud pealisosa koormused koos toetuspindadega (lühike veoauto)

ANSYS sai arvutustulemusteks deformatsioonil 2,05 mm (Sele 5.3.4.7) ning maksimaalseteks pingeteks 306,6 MPa (Sele 5.3.4.8). See tähendab, et konstruktsiooni tugevus ning jäikus on tagatud.

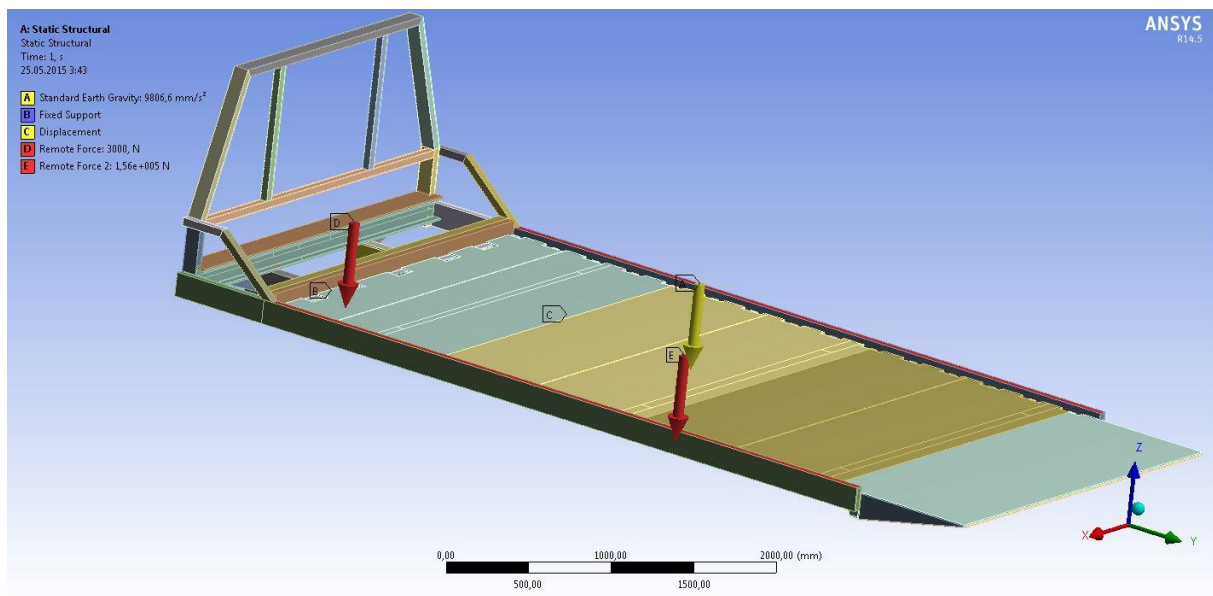


Sele 5.3.4.7. Optimeeritud pealisosa maksimaalne deformatsioon 2,05 mm



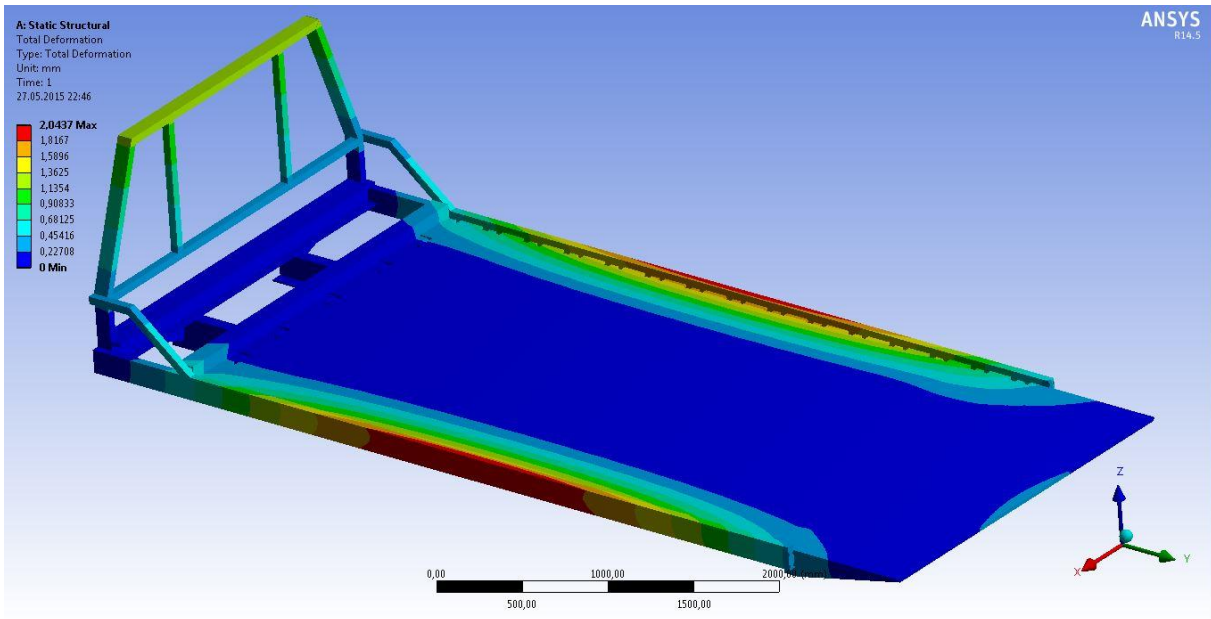
Sele 5.3.4.8. Optimeeritud pealisosa maksimaalne pinge 306,6 MPa

Simulatsioon 3 oli testitavaks objektiks 15-tonnine ehitis või konstruktsioon, mis toetub pealisosa servadele ehk karpkonstruktsioonile. Antud objekt võib olla näiteks saun, väike maja, konteiner vms. Selet 5.3.4.9 märgitud jõud E on objekti raskuse ning punased pinnad tähistavad objekti toetuspindasid karpkonstruktsioonil.



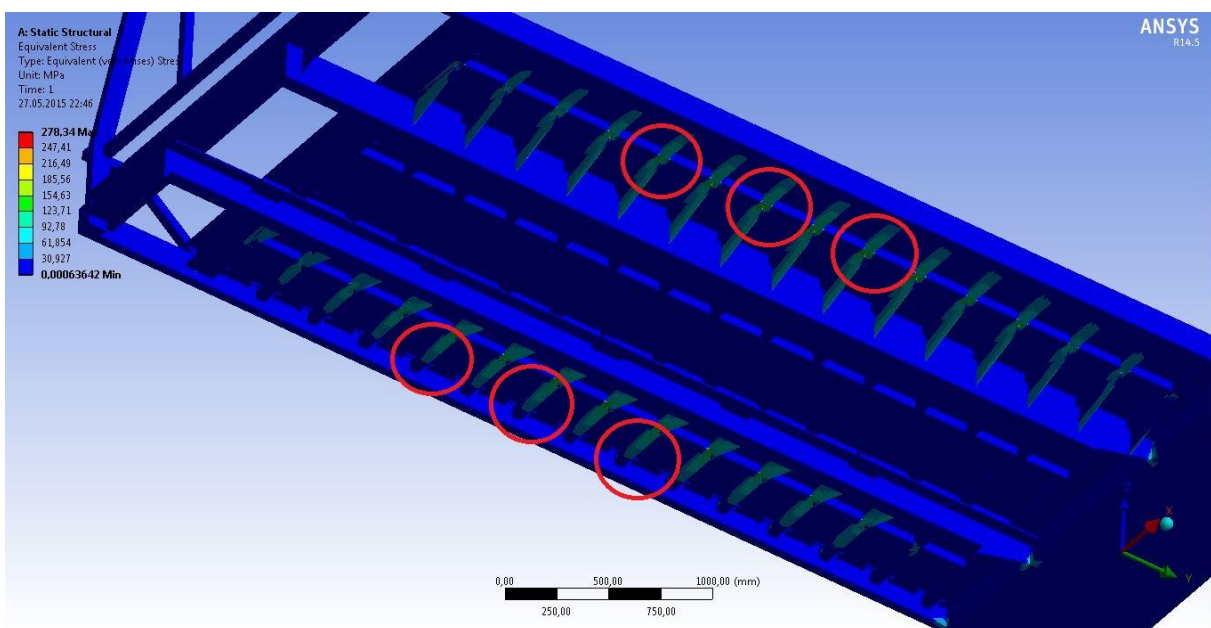
Sele 5.3.4.9. Optimeeritud pealisosa koormused koos toetuspindadega (saun, maja või konteiner)

ANSYS sai arvutustulemuseks deformatsioonil 2,05 mm (Sele 5.3.4.10) ning maksimaalseteks pingeteks 278,4 MPa (Sele 5.3.4.11). See tähendab, et koostu tugevus ning jäikus on tagatud.



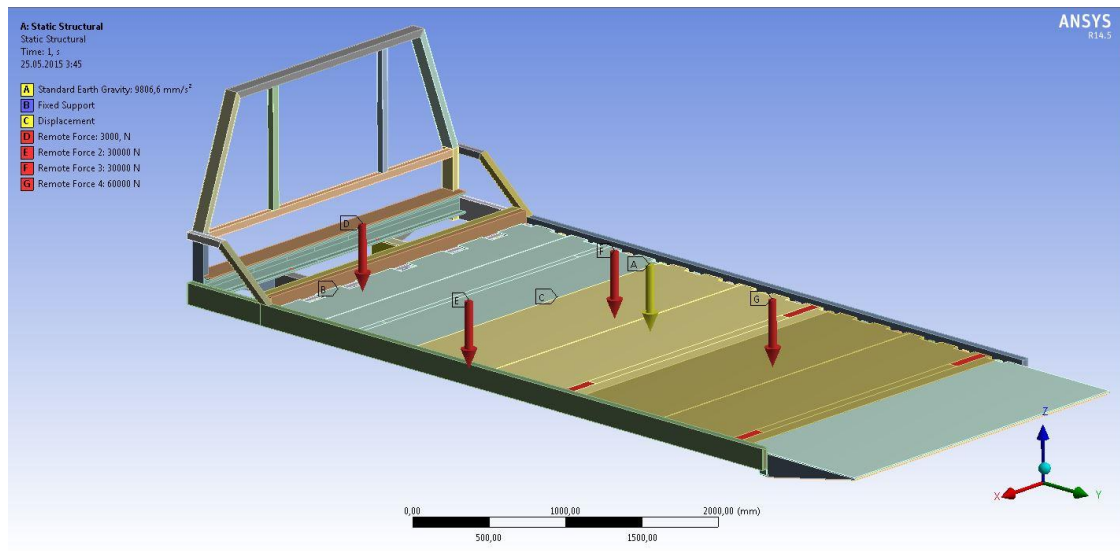
Sele 5.3.4.10. Optimeeritud pealisosa maksimaalne deformatsioon 2,05 mm

Selel 5.3.4.11 on ära märgitud pingekontsentratsioonipunktid. Kuna kolmnurgad ulatuvad konstruktsioonil C-karbi vahelise ala ja külgede vahepeale, siis tekivadki sinna suurimad pinged. Seda oli vaja eelkõige kontrollida selle pärast, et tugikolmnurgad ei lõhuks ebatasasel pinnal muud konstruktsiooni ära. Kuna tulemus tuli rahuldav, siis on olemas ka varutegur.



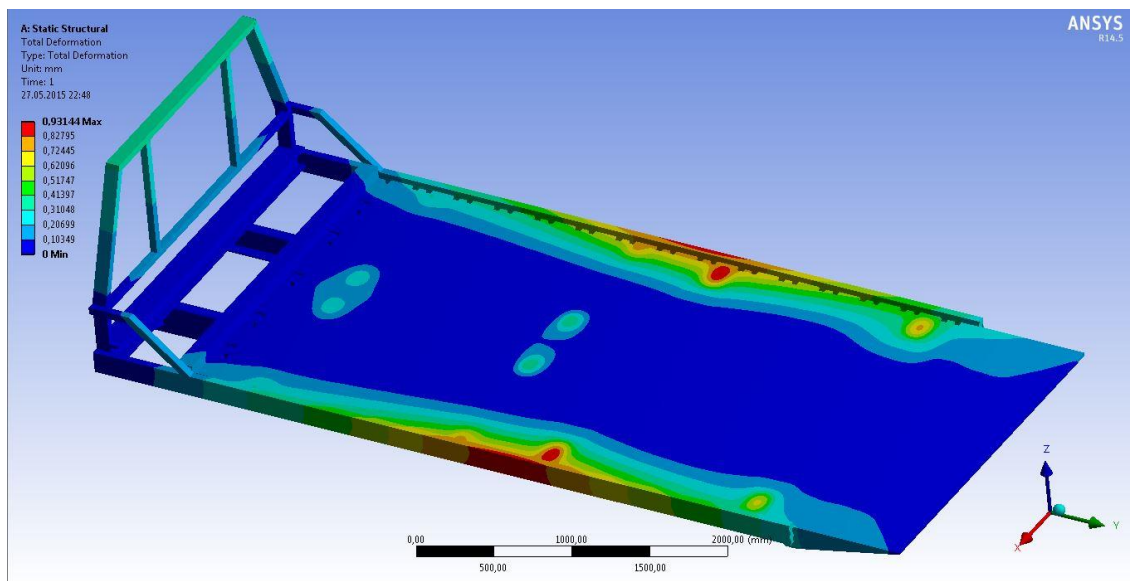
Sele 5.3.4.11. Optimeeritud pealisosa maksimaalne pinge 278,4 MPa

Simulatsioon 4 olid uuritavateks objektiks tõstukid. Kaks väiksemat tõstukit on paigaldatud pealisosa eesmisele poolele. Nende raskuskeskmeid näitavad Selet 5.3.4.12 tähistused E ja F. Tõstukite mass on arvutuste jaoks valitud 3000 N. Pealisosa tagumises otsas on paigaldatud lisaks veel üks suur tõstuk, mille raskuskeset näitab tähistus G. Suure tõstuki massiks on valitud 6000 N. Punased alad tähistavad kolme tõstuki rataste kontaktpindasid.

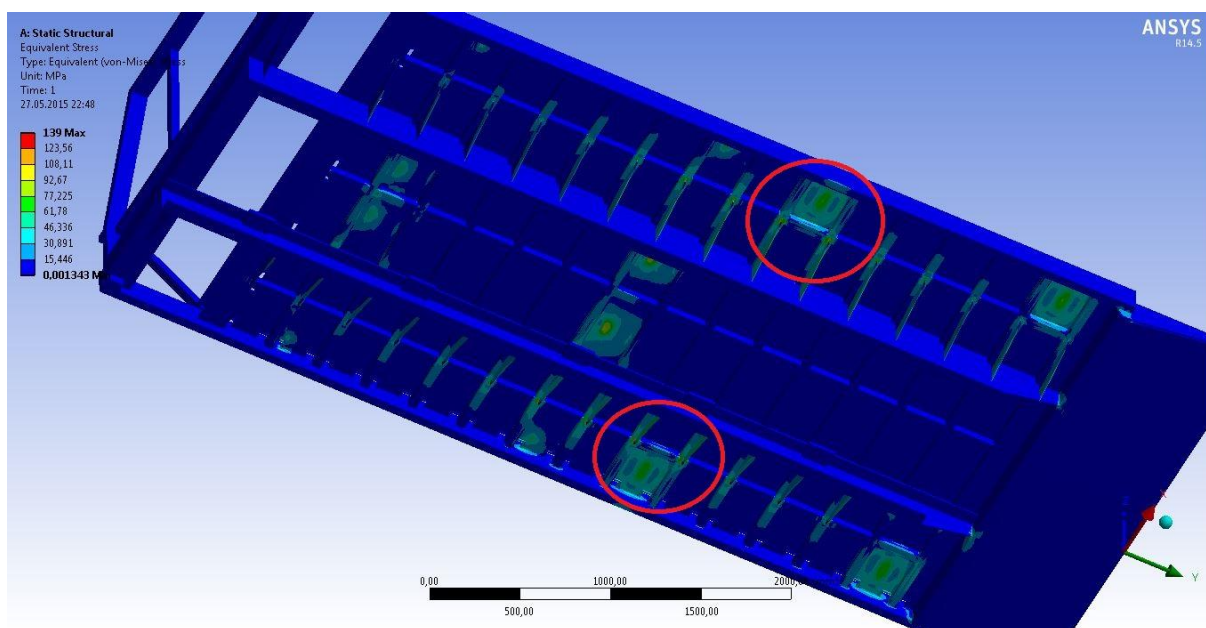


Sele 5.3.4.12. Optimeeritud pealisosa koormused koos toetuspindadega (2 väikest ja 1 suur tõstuk)

ANSYS sai arvutustulemusteks deformatsioonil 0,94 mm (Sele 5.3.4.13) ning maksimaalseteks pingeteks 139 MPa (Sele 5.3.4.14). See tähendab, et koostu tugevus ning jäikus on tagatud.



Sele 5.3.4.13. Optimeeritud pealisosa maksimaalne deformatsioon 0,94 mm



Sele 5.3.4.14. Optimeeritud pealisosa maksimaalne pinge 139 MPa

Tabel 5.3.4.1. Simulatsioonide tulemused

| Simulatsioon | Deformatsioon, mm | Maksimaalne pinge, MPa |
|--------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 2,19 | 391,62 |
| 2 | 2,05 | 306,6 |
| 3 | 2,05 | 278,4 |
| 4 | 0,94 | 139 |

Kokkuvõtteks saab öelda, et suurimaks pingeks tuli 391,62 MPa. Suurim pinge tekkis modelleeritud kinnitusava tugevdusdetailil ning see on pinge kontsentratsioonipunktiks (Sele 5.3.4.5). Seda ümbritseb aga realsuses keevisvall, mis peaks kompenseerima väga väikeses punktis olevaid pingeid. Ülejäänud simulatsioonides tulid suurimad pinged alla 310 MPa. See tähendab, et meil on veel tugevusvarutegur $S = 355 / 310 = 1,14$, mis tähendab, et konstruktsiooni tugevus on tagatud. Suurim deformatsioon tuli simulatsioonis 1, kus puksiiriti pikka 15-tonnist veoautot. Deformatsiooni maksimaalseks suuruseks oli 2,19 mm.






KOKKUVÕTE

Eritehnik OÜ valmistas puksiirseadme prototüübi, mis on töötanud umbes 10 aastat ning tuli tagasi hooldusesse. Kuna puksiirehitisel on mitmeid puudusi ning optimeerimise võimalusi, otsustas firma selle pöördprojekteerida (*reverse engineering*). Pöördprojekteeritud CAD mudel võeti lõputöö baasiks ning sellele hakati parandusi tegema. Puksiirseade koosneb kolmest osast: 1) kallutusmehhanism 2) tugijalg 3) pealisosa.

Lõputöö põhiliseks eesmärgiks oli prototüübi vintsi muutmise statsionaarsest liikuvaks. Eritehnik OÜ soovil tuli vints muuta küljelt küljele liigutatavaks, mis tähendas, et tuli modelleerida ka sellele vastav liikurseade. Liikurseadme projekteerimine moodustas suurima osa valminud lõputööst. Liikurseade pidi vastama kindlatele kriteeriumitele ning olema projekteeritud valitud vintsidele. Teiseks tuli lõputöös kontrollida konstruktsiooni tugevusi.

Esmalt teostati 15-tonniste vintsidele turuanalüüs ning uuriti tuntumate firmade toodanguid. Turuanalüüsist lähtudes tehti viie vintsi valik, millele järgnes nende detailsem analüüs. Analüüsides põhjal pandi kirja tähtsaimad kriteeriumid ning hinnati neid viiepallisüsteemis. Selleks tehti hindamismatriks ning saadi igale seadmele lõpphinne. Lõpphinne põhjal valiti välja parimate omadustega vints, milleks osutus Ramsey RPH 35,000. Sellele vintsidele tuli projekteerida ka liikurseade, mis peaks vastu 15-tonnisele tõmbevõimele. Tabelis 1 on toodud turuanalüüsist valitud viis vintsi.

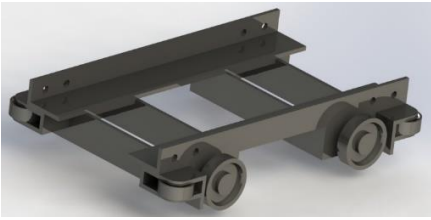

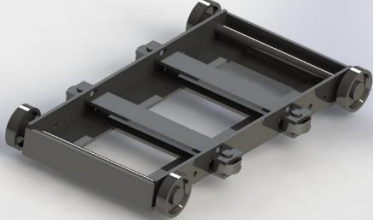
Tabel 1. Viis turuanalüüsist valitud vintsi

| WPT WHP 156 | TMA TMT 150 | Ramsey RPH 35,000 | Zhongxin YJP 150 | Sepson H150 |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |

Vintsi valikule järgnes liikurseadme projekteerimine. Eritehnik OÜ juhendamisel ning soovitusel olid kirja pandud nõuded: 1) liikurseade peaks liikuma rullikutel 2) liikurseade peaks liikuma kahe C-tala vahel. Rullikute läbimõõduks soovitati 120 mm ning nendest lähtudes valiti

ka C-karbid. C-talad sai valitud Ruukki kataloogidest ning tala tüübiks valiti UPE. Rullikute projekteerimisel sai modelleerimisel inspiratsiooni internetikataloogidest. Modelleeritud rullikud on täismetallist ning isevalmistatavad. Neid nõudeid jälgides projekteeriti kolm vintsi liikurseadet. Kolme lahenduse valmides moodustati hindamismaatriks, kuhu kanti tähtsaimad kriteeriumid. Nende võrdlusel sai suurima lõpphinde lahendus 3.

Tabel 2. Valminud kolm vintsi liikurseadet

| Lahendus 1 | Lahendus 2 | Lahendus 3 |
|---|--|---|
|  |  |  |

Vintsi liikurseadme parameetritest lähtudes joonestati eestvaates eskiis koos vastava koormusskeemiga. Eskiisil on ära märgitud vint, liikurseade koos horisontaal- ning vertikaalrullikutega. Koormusskeemi põhjal tehti vertikaalrullikutele kontaktpingete arvutused. Kontaktpingeks saadi 341,44 MPa, mis tähendas, et tugevus oli tagatud. Koormusskeemi põhjal tehti ka horisontaalrullikutele kontaktpingete arvutused. Kontaktpinge suuruseks tuli 1050,48 MPa, mis tähendas, et tugevus polnud tagatud. Tehti tugevusarvutusi horisontaalrullikutele, kus suurendati rullikute arvu neljani ning rullikute mõõtmeid. Tulemuseks saadi 575,4 MPa, mis tähendas, et tugevustingimused polnud täidetud.

Probleemi lahendamiseks oli kaks võimalust. Eritehnik OÜ pakkus lahenduseks karp karbi sees lahendust, mis tähendab, et rullikute asemel on karpkonstruktsioon, mis libiseb omakorda teise karpkonstruktsiooni sees. Teiseks võimaluseks oli projekteerida rullikute asemel liugurid. Otsustati projekteerida liuguritega liikurseade. Projekteeriti 120 x 60 x 65 mm liugurid.

Liikurseadmele tehti LEM arvutused, mille käigus simuleeriti 156 kN vintsi tõmbamist. Selleks tehti kõige pealt materjali valik, kus konstruktsiooni materjaliks valiti konstruktsiooniteras S355J0. Liugurite materjalina kasutati POM-H plastikut, mis on liuguritena laialdast kasutust leidnud. Sellele järgnesid tugevusarvutused. Kuna tugevusarvutused ei rahuldanud nõuete vajadusi, siis tehti mitmeid optimeerimisi. Optimeerimiste tulemused on toodud Tabelis 3.

Tabel 3. Liikurseadme LEM arvutustulemused

| | Esialgne | 1. Optimeerimine | 2. Optimeerimine |
|-------------------|----------|------------------|------------------|
| Deformatsioon, mm | 1,50 | 1,33 | 0,85 |
| Pinge, MPa | 961,21 | 344,83 | 241,89 |

Sellele järgnes pealisosa vintsi projekteerimine, mille käigus modelleeriti ka uus pealisosa eesmine kaitsesein. Järgnesid pealisosa vintsi tugevusarvutused, kus viidi läbi kaks koormusolukorda ehk simulatsiooni. Esialgse konstruktsiooniga pealisosa simulatsioon 1 ebaõnnestus, sest pinged ning deformatsioonid tulid liiga suured. Selleks tehti optimeerimine.

Tabel 4. Pealisosa vintsi simulatsioonide LEM arvutustulemused

| Simulatsioon | Deformatsioon, mm | Maksimaalne pinge, MPa |
|----------------------------------|-------------------|------------------------|
| 1. 15 tonni keskel, esialgne | 2,00 | 494,00 |
| 1. 15 tonni keskel, optimeeritud | 0,41 | 213,73 |
| 2. 15 tonni ääres, optimeeritud | 1,03 | 172,90 |

Pealisosal esines tööea jooksul probleem sellega, et ebastabiilsel maapinnal pukseerimisel hakkas pealisosa nn vedrutama, mistõttu konstruktsioon paindus läbi. Selle vältimiseks projekteeriti tugikolmnurgad, mis muutsid konstruktsiooni jäigemaks. Teostati ka optimeerimine.

Tabel 5. Simulatsioonide tulemused

| Simulatsioon | Deformatsioon, mm | Maksimaalne pinge, MPa |
|--------------------------|-------------------|------------------------|
| 1. pikk veoauto | 2,19 | 391,62 |
| 2. lühike veoauto | 2,05 | 306,60 |
| 3. saun, maja, konteiner | 2,05 | 278,40 |
| 4. tõstukid | 0,94 | 139,00 |

Lõpetuseks võib märkida, et magistritöös saadud arvutustulemused rahuldasi esitatud vajadusi ning nõudeid. Tabelites 3, 4 ja 5 toodi välja maksimaalsed deformatsioonid ning pinged. Ühe olukorra mööndusega, mis simulatsioonis erineb reaalsest olukorrast, võib tabelite uurimisel järeldada, et tugevus ning jäikus on tagatud.

SUMMARY

Specialtruck LLC made a prototype of towing mechanism that has worked over 10 years. It was bought back for maintenance. Since the towing construction had many flaws and could be made better, the company decided to reverse engineer the prototype. The modelled assemblies were taken as a base that were being used for optimization and improving. The prototype consists of 3 assemblies: 1) tilting mechanism 2) mounting foot 3) top component.

The main goal of the thesis was to make the stationary winch to move from side to side. It meant that a special moving appliance had to be modelled (we called it carrier). The project of the carrier made up the bigger part of Master’s thesis. The carrier had to meet certain requirements and had to be modelled specially to the chosen winch. Secondly the construction had to meet strain and deformation requirements.

At the beginning of the thesis, a market analysis of the most known companies’ 15 ton winches was made. Five winches were selected and an analysis was made. Based on the results of analysis, the most important criteria was brought out and assessment matrix was made. Based on the assessment, final results were calculated. Based on the results Ramsey RPH 35,000 winch was chosen. The carrier had to be modelled for this exact winch. The main criteria was that it would have to resist the tension of 15 tons. Table 1 contains the winch’s specification.

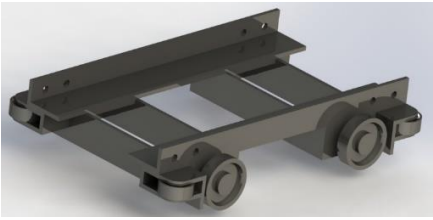

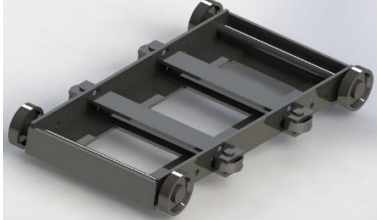
Table 1. Five analyzed winches

| WPT WHP 156 | TMA TMT 150 | Ramsey RPH 35,000 | Zhongxin YJP 150 | Sepson H150 |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |

After the analysis of winches a carrier had to be modelled. Specialtruck LLC gave guidance and suggestions about the carrier’s requirements: 1) it had to roll on rollers 2) it should move between two C-shaped beams. Rollers were suggested to be 120 mm in diameter and based on that information, C-shaped beams were chosen. Ruukki catalogues had an exact match for our requirements and UPE type beam was chosen. The internet catalogues contained different

rollers. A certain type was chosen and could be made on the spot in the company. Following those requirements, three carriers were made. The most important criteria was brought out and assessment matrix was made. Based on final results of the matrix, solution 3 was chosen.

Table 2. Five analyzed winches

| Lahendus 1 | Lahendus 2 | Lahendus 3 |
|---|--|---|
|  |  |  |

After analyzing the parameters of the carrier, two sketches were made. The first was a draft about a winch with the carrier and the second was loading diagram. The draft contained the carrier’s vertical and horizontal rollers. Based on loading diagram, contact strain calculations were made. Vertical rollers had maximum of 341,44 MPa tension and horizontal rollers had maximum of 1050,48 MPa. This meant that tension requirements were not met. Second calculations were made on horizontal rollers, where the number of rollers were increased from two to four and contact line dimension was increased to 50 mm. Results were not good enough – maximum tension was 575,4 MPa. It meant that another solution had to be found.

There were two ways to solve the problem. The first solution was to use box construction in another box. This means that one box, that holds the carrier, slides in another box. The second solution was to use sliders instead of rollers. The second solution was chosen to solve the problems. 120 x 60 x 65 mm sliders were chosen and modelled.

FEM (finite element method) was used to simulate different winching scenarios. The rated line pull was 15,6 kN. Before proceeding to calculations, materials had to be chosen. The material of construction was chosen to be construction steel S355J0 and slider material construction plastic POM-H. The first results of FEM did not meet our requirements and optimizations were made. The results are brought out in Table 2.

Table 3. FEM results of the carrier

| | Initial | 1 st Optimization | 2 nd Optimization |
|-----------------|---------|------------------------------|------------------------------|
| Deformation, mm | 1,50 | 1,33 | 0,85 |
| Strain, MPa | 961,21 | 344,83 | 241,89 |

The next step was to project and make FEM calculations to the top component. Two stress simulations were created. The first was where winch is in the middle of top component. The second was where winch was on the outer side of the top component. The first simulation of the top component failed, so optimizations needed to be made.

Table 4. Top component winch FEM results

| Simulation | Deformation, mm | Maximum strain, MPa |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------|
| 1. 15 ton, middle position, initial | 2,00 | 494,00 |
| 1. 15 ton, middle position, optimized | 0,41 | 213,73 |
| 2. 15 ton, side position, optimized | 1,03 | 172,9 |

The top component has had several problems with towing different heavy objects. While towing on rough terrain, the top component started swinging and bended the construction. To prevent that, support details were made. These made the construction stiffer. Four different FEM simulations were made and optimization was needed. Table 2 shows optimized results.

Table 5. FEM results of optimized top component

| Simulation | Deformatsioon, mm | Maksimaalne pinge, MPa |
|--------------------------|-------------------|------------------------|
| 1. pikk veoauto | 2,19 | 391,62 |
| 2. lühike veoauto | 2,05 | 306,6 |
| 3. saun, maja, konteiner | 2,05 | 278,4 |
| 4. tõstukid | 0,94 | 139 |

To sum up, the results of FEM calculations met the requirements of demands and requirements. Tables 3, 4 and 5 brought out simulations' deformations and strains. Without looking at one result (which is far from real situation), it can be concluded that the requirements for strain and deformation were met.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Tow Truck [WWW] http://en.wikipedia.org/wiki/Tow_truck
2. Winch [WWW] <http://en.wikipedia.org/wiki/Winch>
3. Offroaders Winch [WWW] <http://www.offroaders.com/tech/winches/Winch-Components.htm>
4. WPT About Us [WWW] <http://www.wptpower.com/about-us/>
5. WPT Winches [WWW] http://wptpower.com/wp-content/uploads/2014/09/WPT_Winch.pdf
6. TMA Winches [WWW] <http://www.engineering.com/Products.aspx?page=comp/TMA003>
7. TMA Winches Legenda [WWW] <http://www.tmawinches.com/Search.aspx?kg=11>
8. TMA Recovery Winch [WWW] <http://www.tmawinches.com/Docs/TMT-150-315T-2R.pdf>
9. Ramsey RPH 35,000 [WWW] <http://www.ramsey.com/en-us/products/planetary-hydraulic-winches/rph-35000>
10. Ramsey RPH 35,000 [WWW] <http://www.ramsey.com/content/documents/ramsey-winch-industrial-selection-guide.pdf>
11. Hydraulic planetary winches [WWW] <http://www.ramsey.com/content/documents/ramsey-hydraulic-planetary-winches-catalog.pdf>
12. Yjp150 Hydraulic Winch [WWW] <http://jyzhongxin.en.made-in-china.com/product/NbVJgDnoZdhL/China-Yjp150-Hydraulic-Winch-15-ton-35000lbs-.html>
13. Jyzhongxin YJP 150 [WWW] http://jyzhongxin.en.alibaba.com/product/456880146-200149295/15_ton_35000lbs_truck_hydraulic_winch.html
14. Sepson Sepdurance winches [WWW] <http://www.sepson.se/products/sepduration/>
15. Sepson Sepdurance H150 [WWW] <http://www.sepson.se/wp-content/uploads/63.34-010.pdf>
16. Ruuki metallikataloog, Teras, roostevaba teras ja alumiinium [WWW] <http://www.ruukki.ee/~media/Estonia/Files/Steel-products/Ruukki-terastoodete-laoprogramm.pdf>
17. Polyurethane Wheels & Castors [WWW] <http://www.swagathurethane.co.in/polyurethane-wheels-castors.html>

18. Lõplike elementide meetod [WWW]
http://et.wikipedia.org/wiki/L%C3%B5plike_elementide_meetod
19. S 355 Grade Descriptions [WWW]
<http://www.metricmetal.com/products/Grade%20Descriptions/S355%20Grade%20Description.php>
20. HYSteelPipe [WWW] http://hysteelpipe.blogspot.com/2014_07_01_archive.html
21. POM (hom.) [WWW] <http://www.matbase.com/material-categories/natural-and-synthetic-polymers/engineering-polymers/material-properties-of-polyoxymethylene-homopolymer-pom-h.html#properties>
22. Truck classification [WWW] http://en.wikipedia.org/wiki/Truck_classification
23. Eritehnik OÜ [WWW] <http://www.specialtruck.ee/eritehnik-o%C3%BC>
24. Priit Põdra, Tugevusõpetus [WWW]
http://www.mh.ttu.ee/priitp/Tugevusopetus/TUGEVUS_I_veeb/TUG_I_Harjutus/Pike/PIKE_VARRASTARIND/PIKE-VARRASTARIND_Pinged_2.pdf
25. Ilmar Kleis, Masinaelemendid [WWW]
http://www.mh.ttu.ee/priitp/Masinaelemendid/Kirjandus/Kleis_Masinaelemendid_Konспект.pdf (2005)
26. P. Kulu, E. Hendre, Mehaanikainseneri käsiraamat. TTÜ kirjastus, 2013.
27. Arensbürger Daniil, Kulu Priit, Kübarsepp Jakob, Pirso Jüri. Metallioõpetus ja metallide tehnoloogia. 3, Materjali ja tehnoloogia valik. Tallinna Tehnikaülikool, materjalitehnika instituut, 1999.

LISAD

Outline of Schematic A2: Engineering Data

| | A | B | C | D | E |
|---|------------------------------|---|--------|---|---|
| 1 | Contents of Engineering Data | | source | Description | |
| 2 | Material | | | | |
| 3 | Structural Steel | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 | |

Properties of Outline Row 3: Structural Steel

| | A | B | C | D | E |
|----|---|---------|--------------------|---|---|
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Density | 8000 | kg m ⁻³ | | |
| 3 | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | | | | |
| 6 | Isotropic Elasticity | | | | |
| 12 | Alternating Stress Mean Stress | Tabular | | | |
| 16 | Strain-Life Parameters | | | | |
| 24 | Tensile Yield Strength | 355 | MPa | | |
| 25 | Compressive Yield Strength | 355 | MPa | | |
| 26 | Tensile Ultimate Strength | 630 | MPa | | |
| 27 | Compressive Ultimate Strength | 0 | Pa | | |

Sele 1. ANSYS-is sisestatud konstruktsiooniterase S355J0 parameetrid

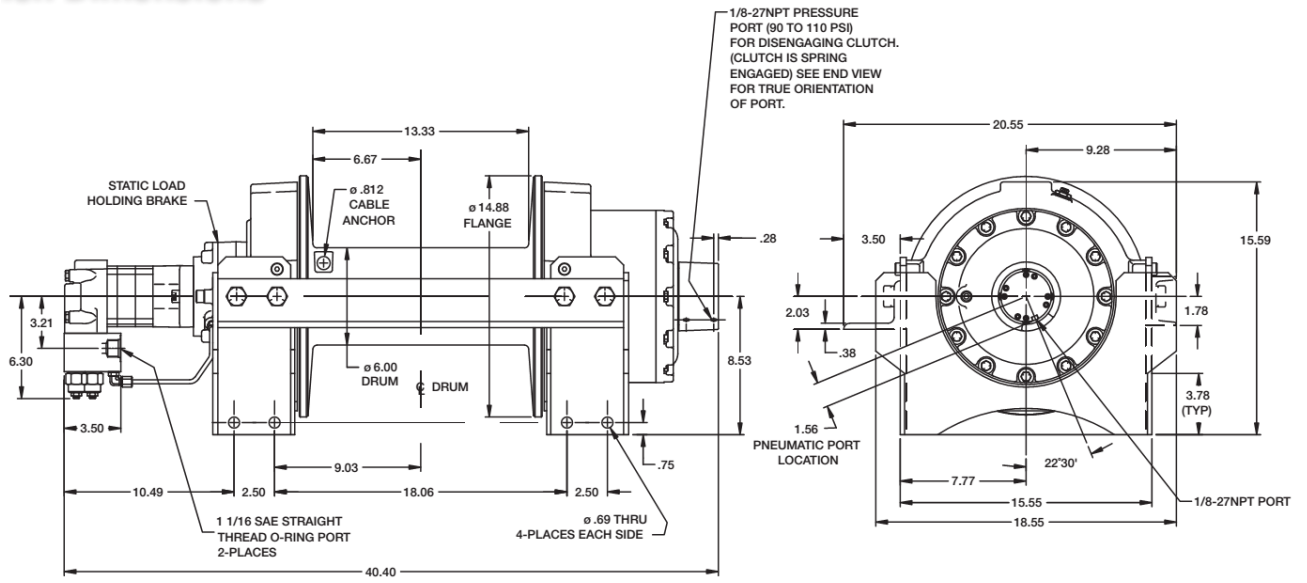
Outline of Schematic A2: Engineering Data

| | A | B | C | D | E |
|---|------------------------------|---|--------|---|---|
| 1 | Contents of Engineering Data | | source | Description | |
| 2 | Material | | | | |
| 3 | POM | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 | |

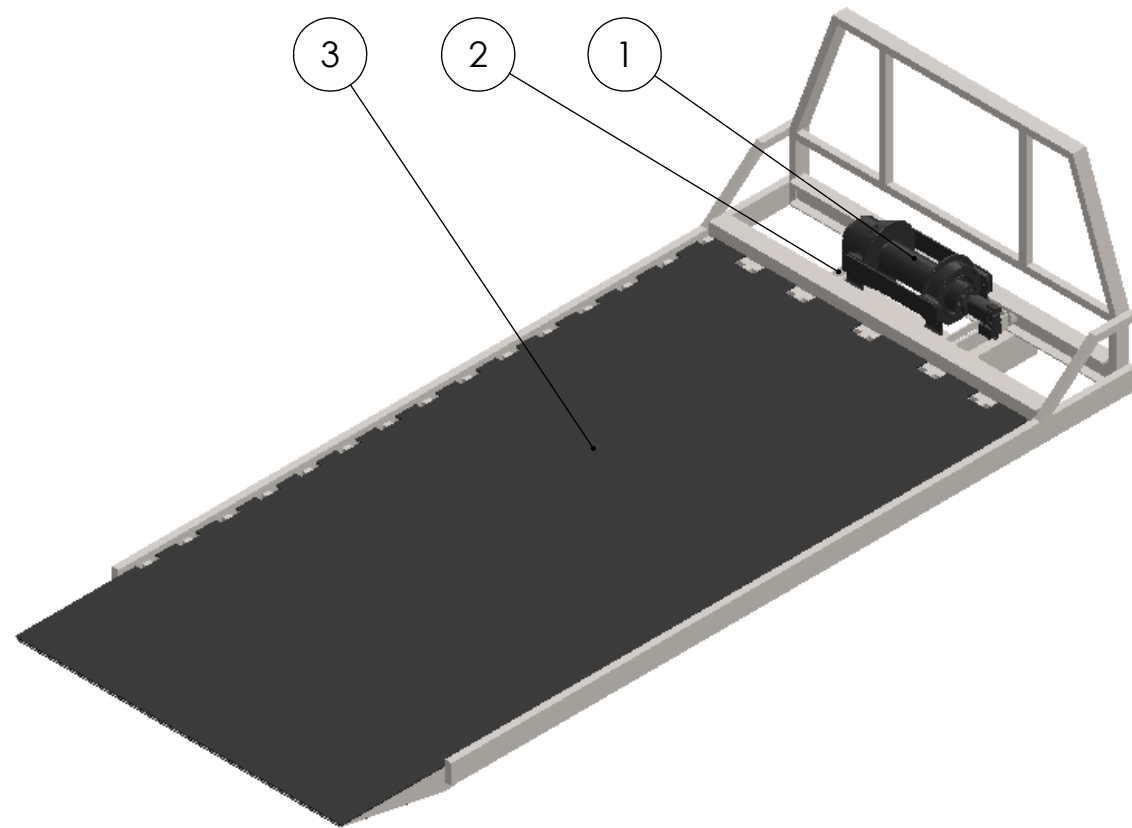
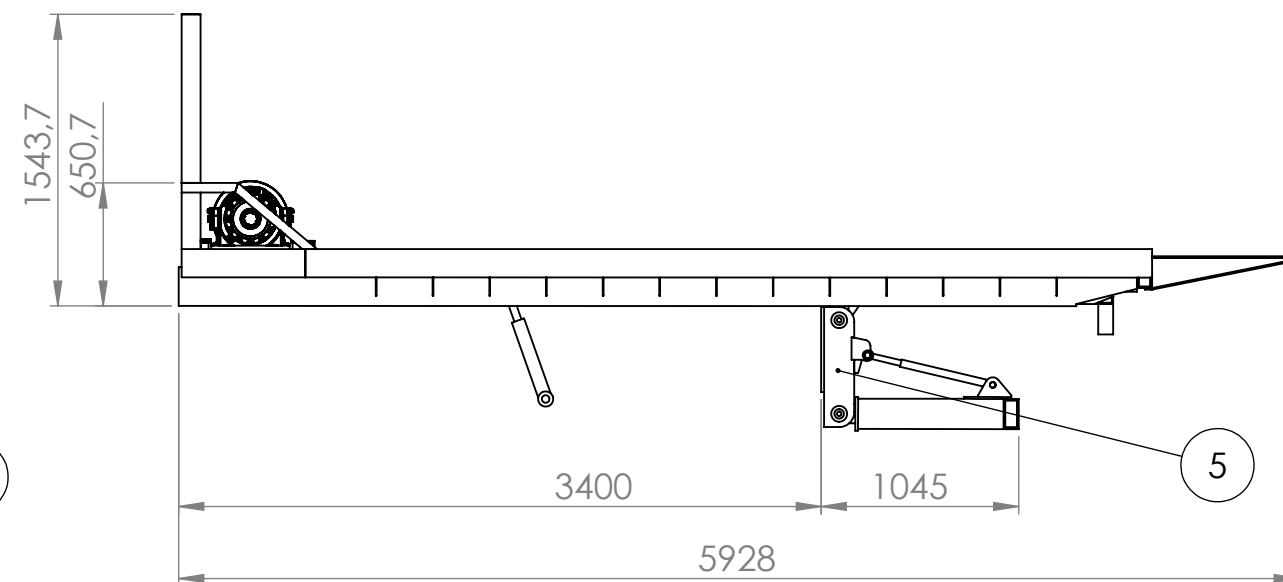
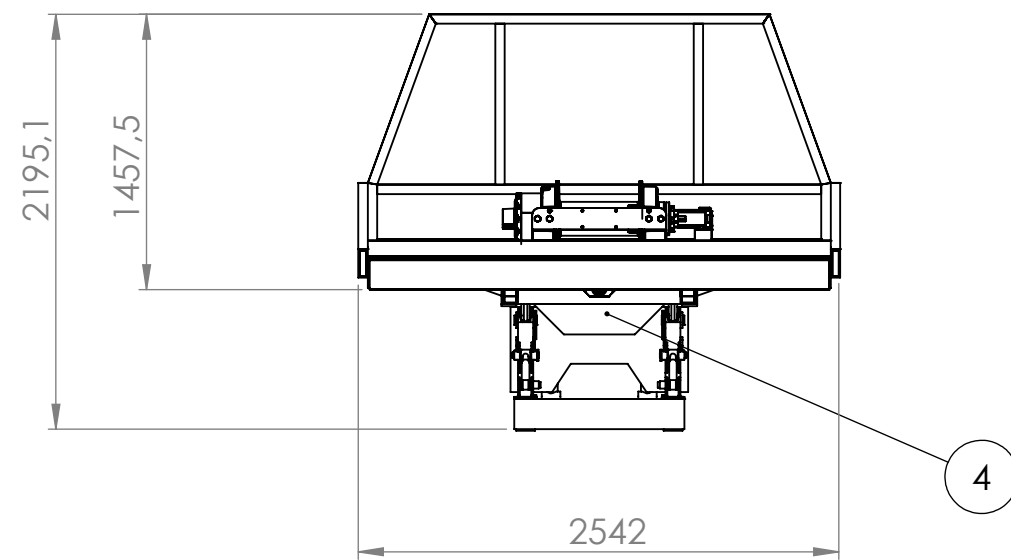
Properties of Outline Row 3: POM

| | A | B | C | D | E |
|----|---|---------|--------------------|---|---|
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Density | 1410 | kg m ⁻³ | | |
| 3 | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | | | | |
| 6 | Isotropic Elasticity | | | | |
| 12 | Alternating Stress Mean Stress | Tabular | | | |
| 16 | Strain-Life Parameters | | | | |
| 24 | Tensile Yield Strength | 69 | MPa | | |
| 25 | Compressive Yield Strength | 31 | MPa | | |
| 26 | Tensile Ultimate Strength | 72 | MPa | | |



Sele 2. ANSYS-is sisestatud konstruktsiooniplastiku POM-H parameetrid

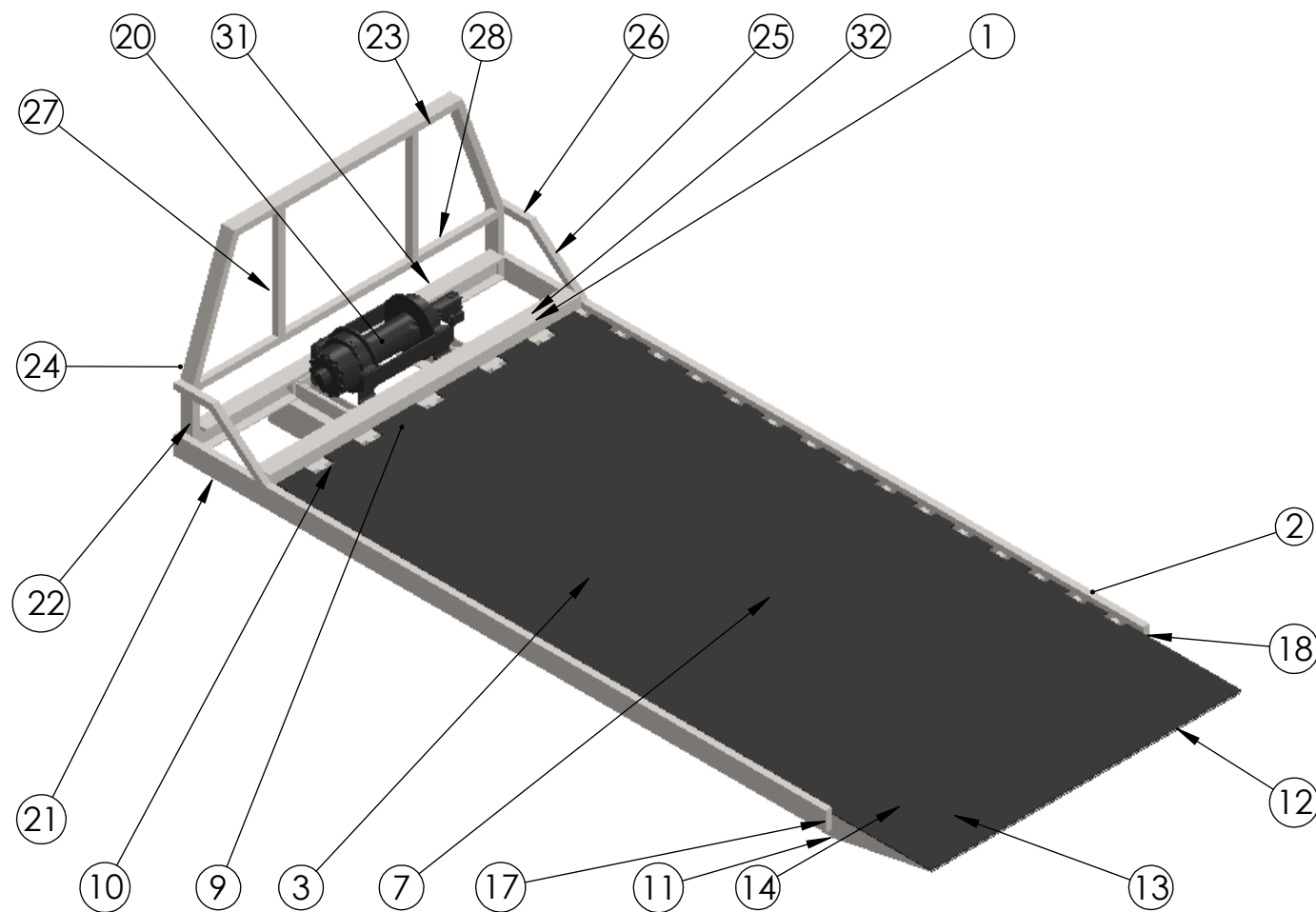
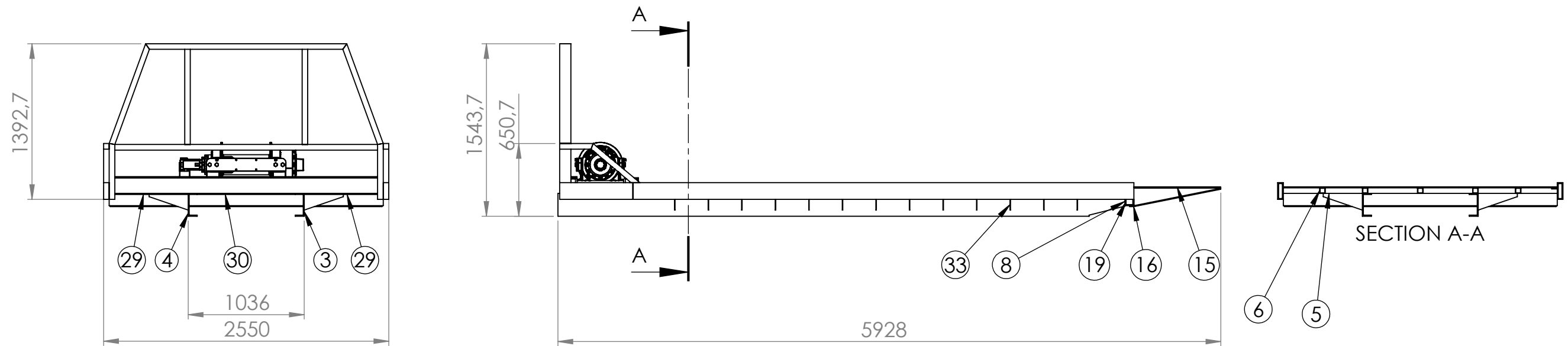


Sele 3. Ramsey RPH 35,000 jounised [11]



1. Teravad servad ümardada $r=2\text{mm}$
2. KEEVITUSMATERJALELID PEAVAD VASTAMA KASUTATAVA TERASE MARGILE!
3. KEEVISTE KÕRGUSED VASTAVALT ÕHEMA ELEMENDI PAKSUSELE
 $s \leq 8; a=s-1, t=s+1$
 $s > 8; a=s-2, t=s+2$

| Number | Nimi | Tähis | Materjal | Kogus | |
|---|-------------------|------------------------|---------------------|-----------|-------|
| 1 | Vints | ABA 1 | | 1 | |
| 2 | Liikurseade | ABA 2 | | 1 | |
| 3 | Pealisosa | AB | | 1 | |
| 4 | Kallutusmehhanism | AA | | 1 | |
| 5 | Tugijalg | AC | | 1 | |
|  Materjal: | | Määramata piirhälbed: | | Mass: | Mõõt: |
| | | $\pm IT14/2, H12, h12$ | | 3306 | 1:40 |
| Teostas: | Ardi Blumkvist | Projekt: | Puksiirseade | | |
| Kontrollis: | | Nimi: | Puksiirseadme koost | | |
| Kinnitas: | | Lehek: | Leht: | Tähistus: | |
|  Tallinna Tehnikaülikool | | 1/4 | A3 | A | |

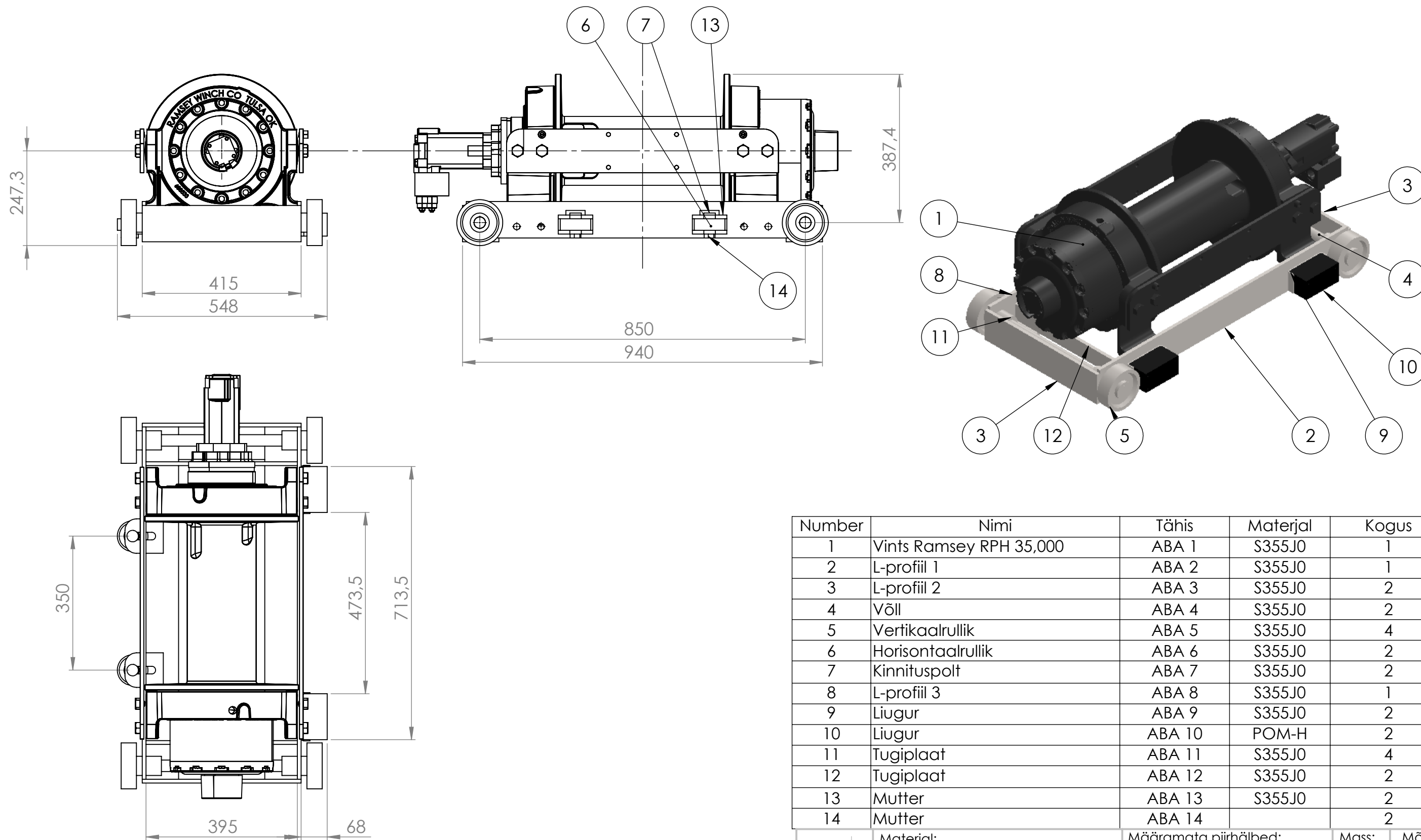


1. Teravad servad ümardada $r=2\text{mm}$
2. KEEVITUSMATERJALELID PEAVAD VASTAMA KASUTATAVA TERASE MARGILE!
3. KEEVISTE KÕRGUSED VASTAVALT ÕHEMA ELEMENTI PAKSUSELE
 $s \leq 8; a=s-1, t=s+1$
 $s > 8; a=s-2, t=s+2$
4. Kolmnurkribid keevitatakse nurkõblusega, keevitustüübiks on 111 / ISO 5817 - B järgi
5. Karpkonstruktsiooni keevitamisel kasutatakse vajadusel kas põkk- või nurkõmblust, keevitustüübiks on 111 / ISO 5817 - B järgi

| Number | Nimi | Tähis | Materjal | Kogus |
|--------|----------------------------|-----------|----------|-------|
| 1 | Eesmine tala | AB1 | S355J0 | 2 |
| 2 | Küljekarp | AB2 | S355J0 | 2 |
| 3 | Sisemine I-tala parem | AB3 | S355J0 | 1 |
| 4 | Sisemine I-tala vasak | AB4 | S355J0 | 1 |
| 5 | Pikk konstruktsioonitala | AB5 | S355J0 | 15 |
| 6 | Lühike konstruktsioonitala | AB6 | S355J0 | 70 |
| 7 | Pealne plaat 1 | AB7 | S355J0 | 2 |
| 8 | Tagumine tugitala | AB8 | S355J0 | 1 |
| 9 | Pealisplaat 2 | AB9 | S355J0 | 1 |
| 10 | Koormakinnituse tugevdus | AB10 | S355J0 | 40 |
| 11 | Tagaosa kolmnurkplaat | AB11 | S355J0 | 2 |
| 12 | Tagaosa vaheplaat 1 | AB12 | S355J0 | 1 |
| 13 | Tagaosa vaheplaat 2 | AB13 | S355J0 | 1 |
| 14 | Tagaosa vaheplaat 3 | AB14 | S355J0 | 1 |
| 15 | Pealisplaat 3 | AB15 | S355J0 | 1 |
| 16 | Tagaosa alumine plaat | AB16 | S355J0 | 1 |
| 17 | Talade katteplaat | AB17 | S355J0 | 2 |
| 18 | Talade katteplaat 2 | AB18 | S355J0 | 2 |
| 19 | Talade katteplaat 3 | AB19 | S355J0 | 2 |
| 20 | Vints koos liikurseadmega | ABA_koost | | 1 |
| 21 | Kaitsesein välistala 1 | AB20 | S355J0 | 2 |
| 22 | Kaitsesein välistala 2 | AB21 | S355J0 | 2 |
| 23 | Kaitsesein välistala 3 | AB22 | S355J0 | 1 |
| 24 | Kaitsesein välistala 4 | AB23 | S355J0 | 2 |
| 25 | Kaitsesein tugitala 1 | AB24 | S355J0 | 2 |
| 26 | Kaitsesein tugitala 2 | AB25 | S355J0 | 2 |
| 27 | Kaitsesein sisetala 1 | AB26 | S355J0 | 2 |
| 28 | Kaitsesein sisetala 2 | AB27 | S355J0 | 1 |
| 29 | Alumine tugiplaat 1 | AB28 | S355J0 | 2 |
| 30 | Alumine tugiplaat 2 | AB29 | S355J0 | 1 |
| 31 | Pealne tugiplaat | AB30 | S355J0 | 1 |
| 32 | Tugivaheplaat | AB31 | S355J0 | 1 |
| 33 | Kolmnurktugiplaat | AB32 | S355J0 | 26 |

| | | | |
|-----------|-----------------------|-------|-------|
| Materjal: | Määramata piirhõlbed: | Mass: | Mõõt: |
| | $\pm T14/2, H12, h12$ | 2363 | 1:40 |

| | | | | |
|-------------|-------------------------|---------|--------------|-----------|
| Teostas: | Ardi Blumkvist | Projekt | Puksiirseade | |
| Kontrollis: | | Nimi: | Pealisosa | |
| Kinnitas: | | Lehek: | Leht: | Tähistus: |
| | Tallinna Tehnikaülikool | 2/4 | A3 | AB |

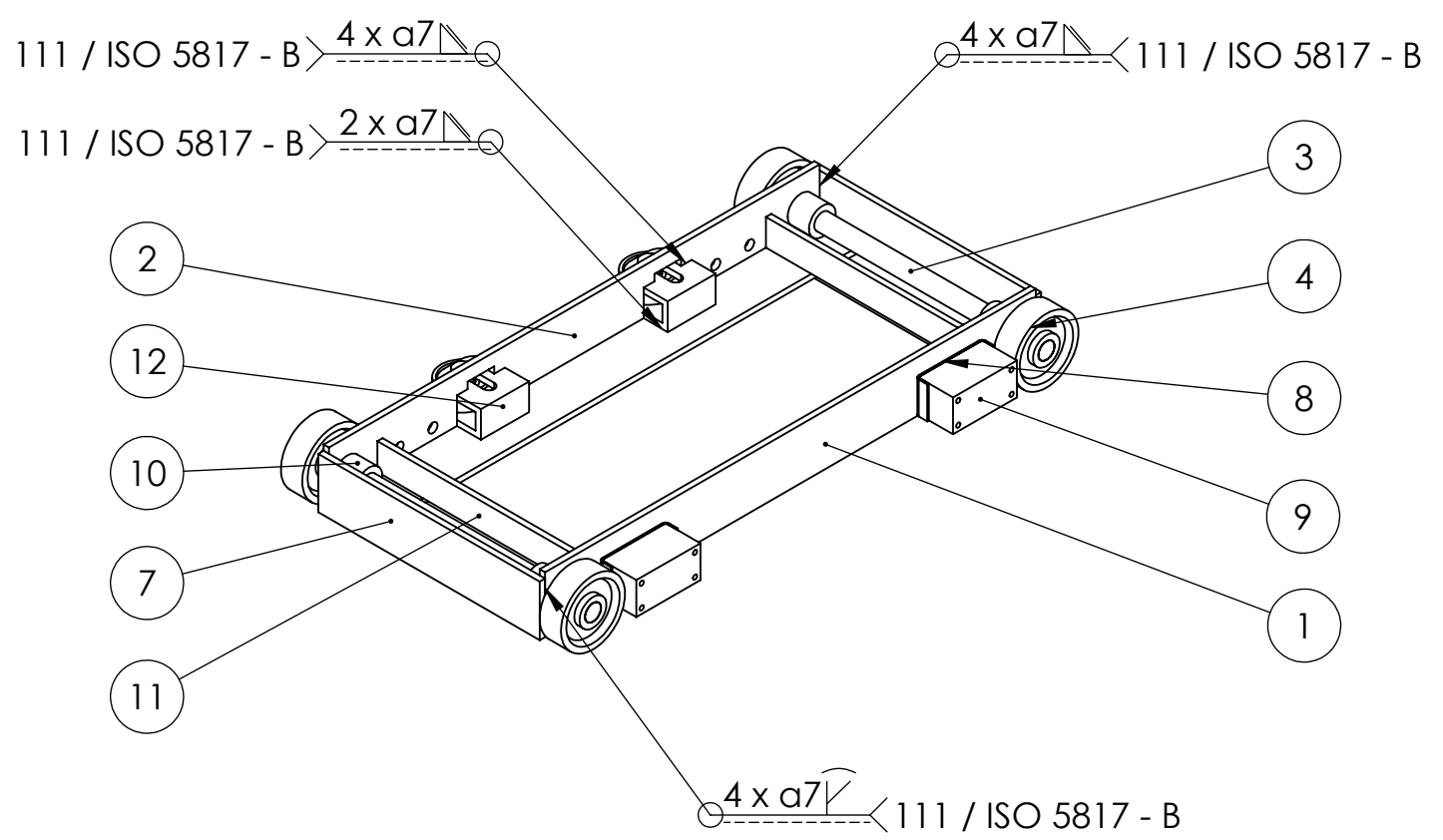
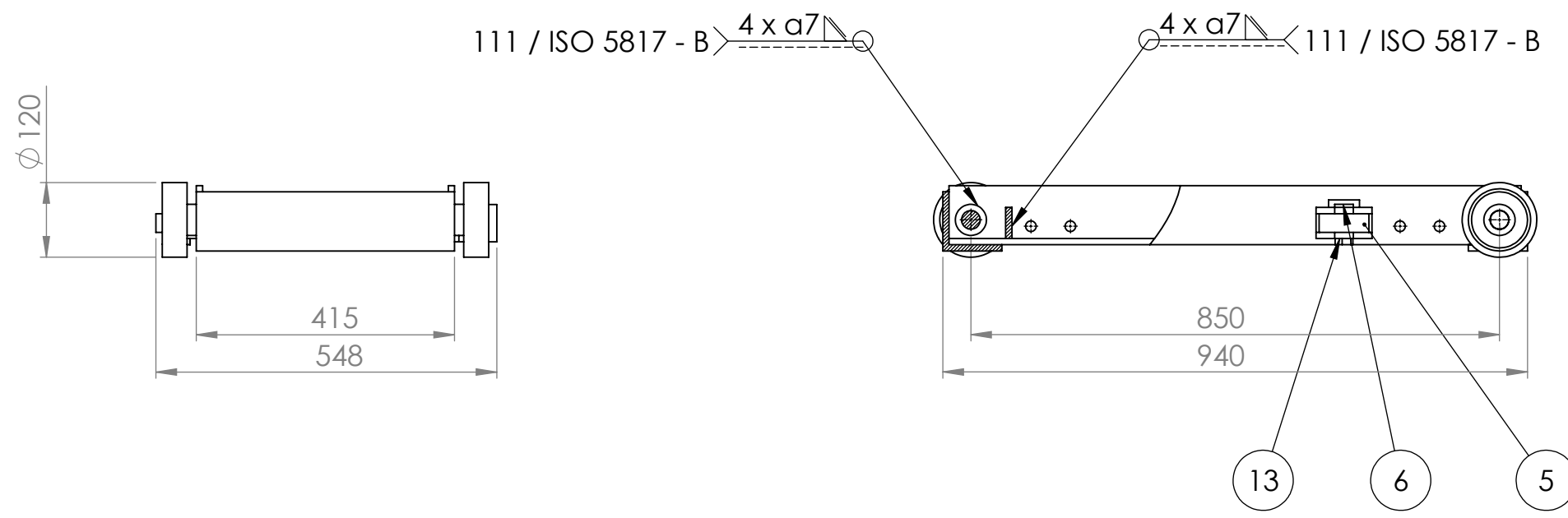


1. Teravad servad ümardada $r = 2\text{mm}$
 2. KEEVITUSMATERJALELID PEAVAD VASTAMA KASUTATAVA TERASE MARGILE!
 3. KEEVISTE KÕRGUSED VASTAVALT ÕHEMA ELEMENTI PAKSUSELE
 $s \leq 8; a = s - 1, t = s + 1$
 $s > 8; a = s - 2, t = s + 2$

| Number | Nimi | Tähis | Materjal | Kogus |
|--------|-------------------------|--------|----------|-------|
| 1 | Vints Ramsey RPH 35,000 | ABA 1 | S355J0 | 1 |
| 2 | L-profiil 1 | ABA 2 | S355J0 | 1 |
| 3 | L-profiil 2 | ABA 3 | S355J0 | 2 |
| 4 | Võll | ABA 4 | S355J0 | 2 |
| 5 | Vertikaalrullik | ABA 5 | S355J0 | 4 |
| 6 | Horisontaalrullik | ABA 6 | S355J0 | 2 |
| 7 | Kinnituspolt | ABA 7 | S355J0 | 2 |
| 8 | L-profiil 3 | ABA 8 | S355J0 | 1 |
| 9 | Liugur | ABA 9 | S355J0 | 2 |
| 10 | Liugur | ABA 10 | POM-H | 2 |
| 11 | Tugiplaat | ABA 11 | S355J0 | 4 |
| 12 | Tugiplaat | ABA 12 | S355J0 | 2 |
| 13 | Mutter | ABA 13 | S355J0 | 2 |
| 14 | Mutter | ABA 14 | | 2 |

| | | | | |
|--|-----------|------------------------|-------|-------|
| | Materjal: | Määramata piirhälbed: | Mass: | Mõõt: |
| | | $\pm IT14/2, H12, h12$ | 292,7 | 1:10 |

| | | | | | |
|-------------|-------------------------|---------|----------------------|-----------|--|
| Teostas: | Ardi Blumkvist | Projekt | Puksiirseade | | |
| Kontrollis: | | Nimi: | Vints ja liikurseade | | |
| Kinnitas: | | Lehek: | Leht: | Tähistus: | |
| TTU | Tallinna Tehnikaülikool | 3/4 | A3 | ABA | |



| Number | Nimi | Tähis | Materjal | Kogus |
|--------|-------------------|--------|----------|-------|
| 1 | L-profiil 1 | ABA 2 | S355J0 | 1 |
| 2 | L-profiil 2 | ABA 3 | S355J0 | 2 |
| 3 | Võll | ABA 4 | S355J0 | 2 |
| 4 | Vertikaalrullik | ABA 5 | S355J0 | 4 |
| 5 | Horisontaalrullik | ABA 6 | S355J0 | 2 |
| 6 | Kinnituspolt | ABA 7 | | 2 |
| 7 | L-profiil 3 | ABA 8 | S355J0 | 1 |
| 8 | Hoidjaplaat | ABA 9 | S355J0 | 2 |
| 9 | Liugur | ABA 10 | POM-H | 2 |
| 10 | Puks | ABA 11 | S355J0 | 4 |
| 11 | Tugiplate | ABA 12 | S355J0 | 2 |
| 12 | Kinnitus | ABA 13 | S355J0 | 2 |
| 13 | Mutter | ABA 14 | | 2 |

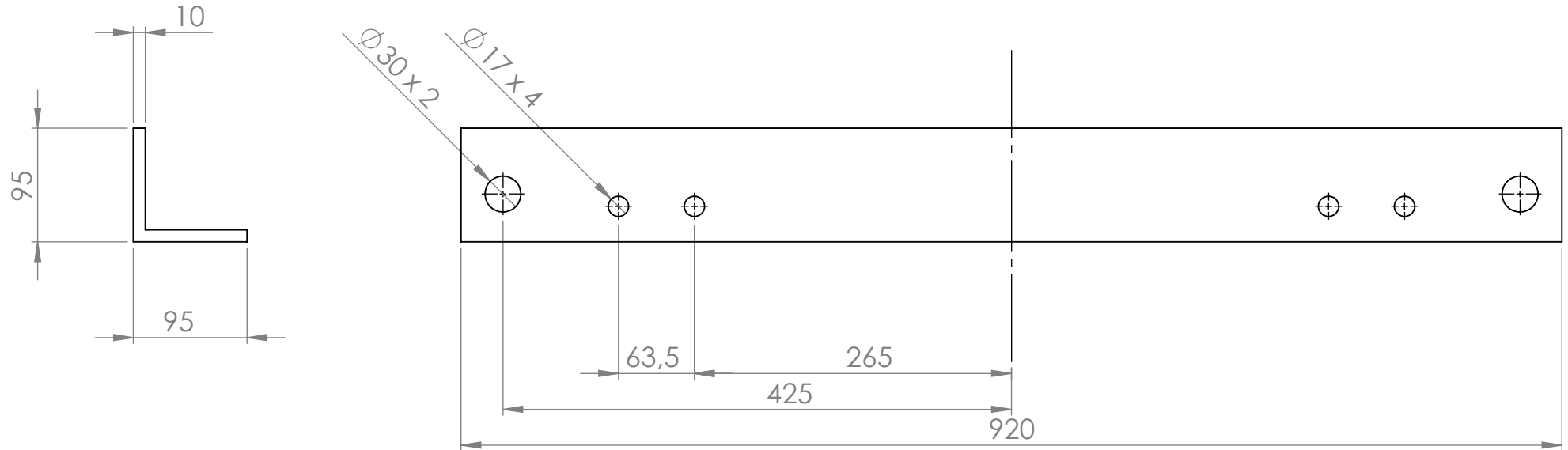
| | | | | |
|--|-----------|------------------------|-------|-------|
| | Materjal: | Määramata piirhälbed: | Mass: | Mööd: |
| | | $\pm IT14/2, H12, h12$ | 63,7 | 1:10 |

| | | | | |
|-------------|----------------|---------|--------------|--|
| Teostas: | Ardi Blumkvist | Projekt | Puksiirseade | |
| Kontrollis: | | Nimi: | Liikurseade | |
| Kinnitas: | | | | |

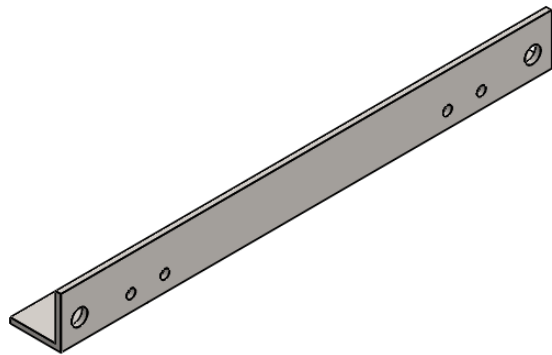
| | | | | |
|--|-------------------------|--------|-------|-----------|
| | Tallinna Tehnikaülikool | Lehek: | Leht: | Tähistus: |
| | | 4/4 | A3 | ABB |

1. Teravad servad ümardada $r=2\text{mm}$
2. KEEVITUSMATERJALELID PEAVAD VASTAMA KASUTATAVA TERASE MARGILE!
3. KEEVISTE KÕRGUSED VASTAVALT ÕHEMA ELEMENTI PAKSUSELE
 $s \leq 8; a=s-1, t=s+1$
 $s > 8; a=s-2, t=s+2$

$\sqrt{Ra12.5}$ ($\sqrt{\quad}$)



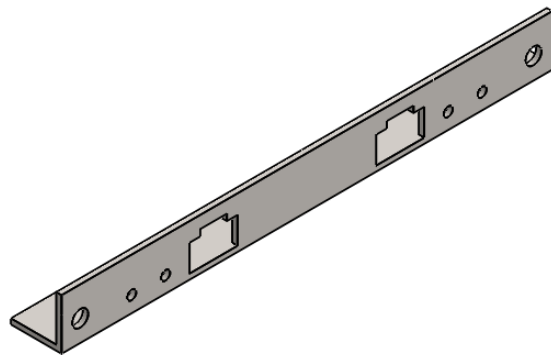
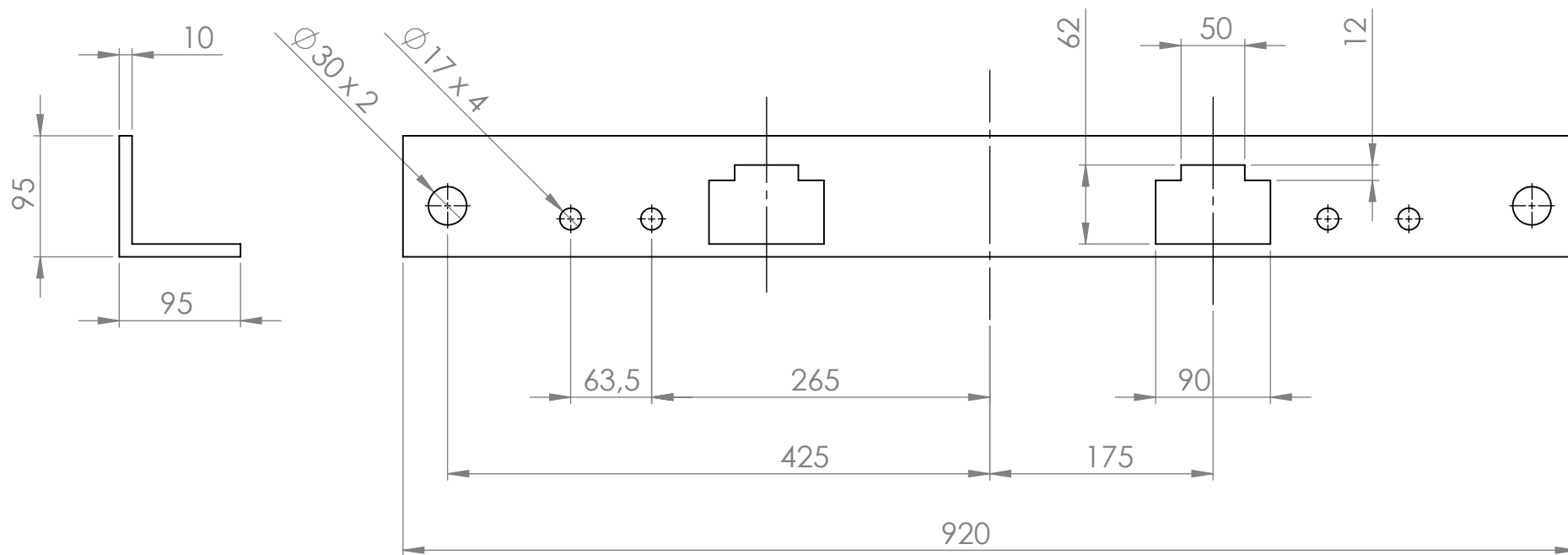
Isomeetiline vaade
Scale 1:10



NB! Detail on tsentrijoone suhtes sümmeetriline

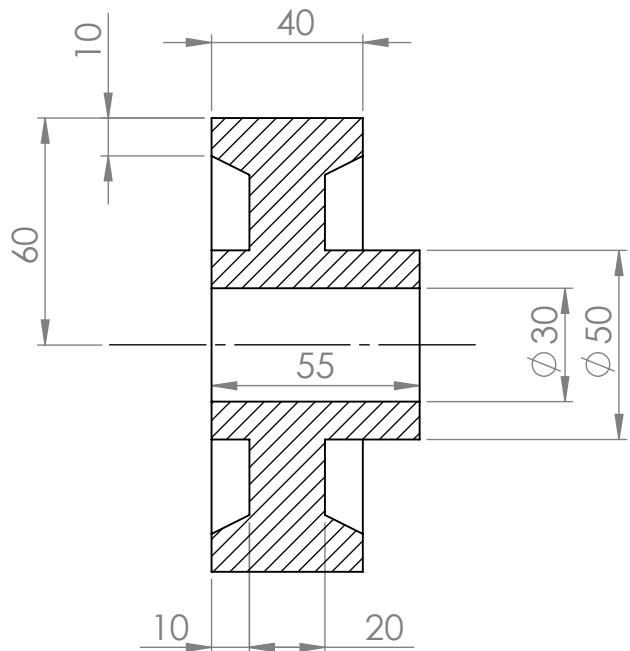
| | | | | |
|-------------|------------------------------|--|-----------------------|--------------|
| | Materjal: 1.0569 (S355J0) | Määramata piirhälbed: $\pm T14/2, H12, h12$ | Mass: 12,74 | Mööd: 1:5 |
| Teostas: | Ardi Blumkvist | Projekt | Puksiirseade | |
| Kontrollis: | | Nimi: | L-profiil, parem pool | |
| Kinnitas: | | Lehek: | Leht: | Tähistus: |
| | Tallinna Tehnikaülikool | 1/1 | A4 | ABA 2 |

√ Ra12.5 (√)

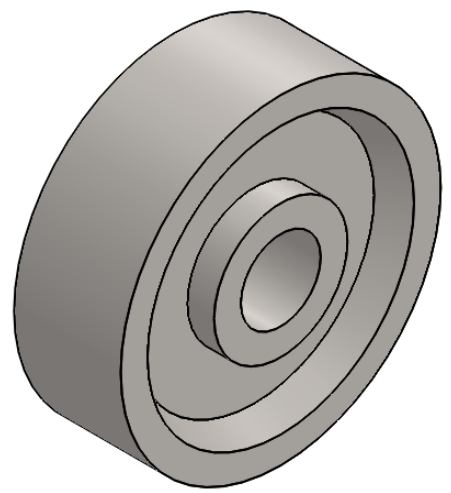
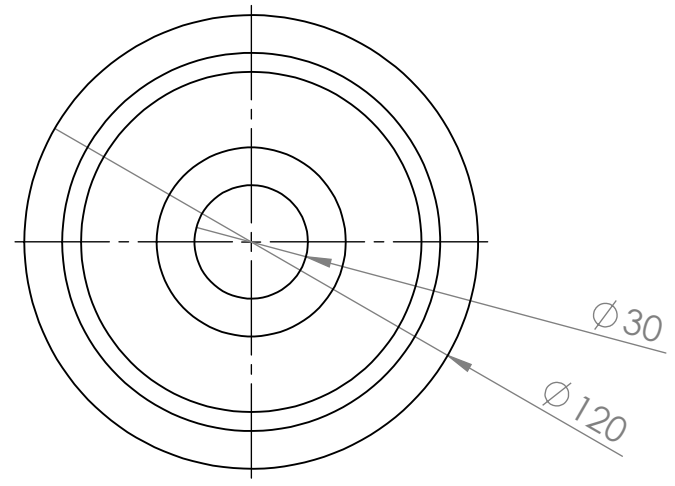



NB! Detail on tsentrijoone suhtes sümmeetriline

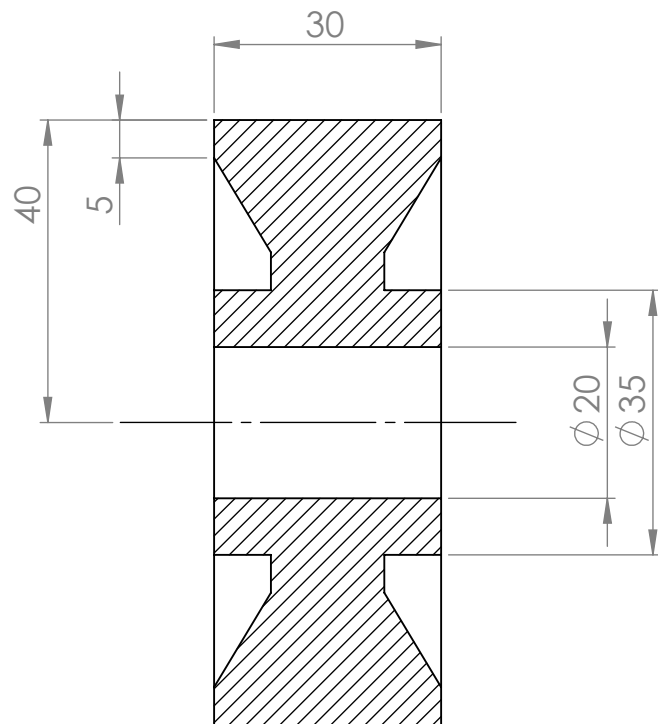
| | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| | Materjal: 1.0569 (S355J0) | | Määramata piirhälbed: $\pm IT14/2, H12, h12$ | | Mass: 11,94 | Mõõt: 1:5 |
| | Teostas: Ardi Blumkvist | Projekt Puksiirseade | | | | |
| Kontrollis: | Nimi: L-profiil, vasak pool | | | | | |
| Kinnitas: | Lehek: 1/1 | | Leht: A4 | Tähistus: ABA 3 | | |
| | | Tallinna Tehnikaülikool | | | | |



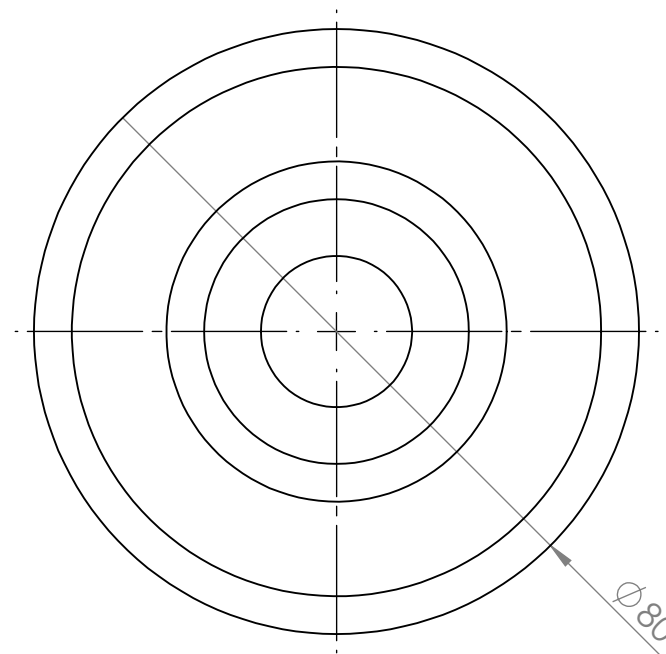
$\sqrt{Ra12.5}$ (✓)



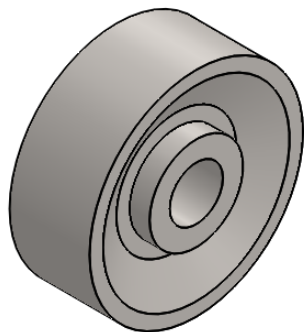
| | | | | | |
|--|---|--------------------------------|---|---------------------------|---------------------|
|  | Materjal: 1.0569 (S355J0) | | Määramata piirhälbed: $\pm IT14/2, H12, h12$ | Mass: 2,655 | Mõõt: 1:2 |
| | Teostas: Ardi Blumkvist | Projekt Puksiirseade | | | |
| Kontrollis: | Nimi: Vertikaalrullik | | | | |
| Kinnitas: |  Tallinna Tehnikaülikool | Lehek: 1/1 | Leht: A4 | Tähistus: ABA 5 | |

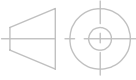



$\sqrt{Ra\ 12.5}$ (✓)

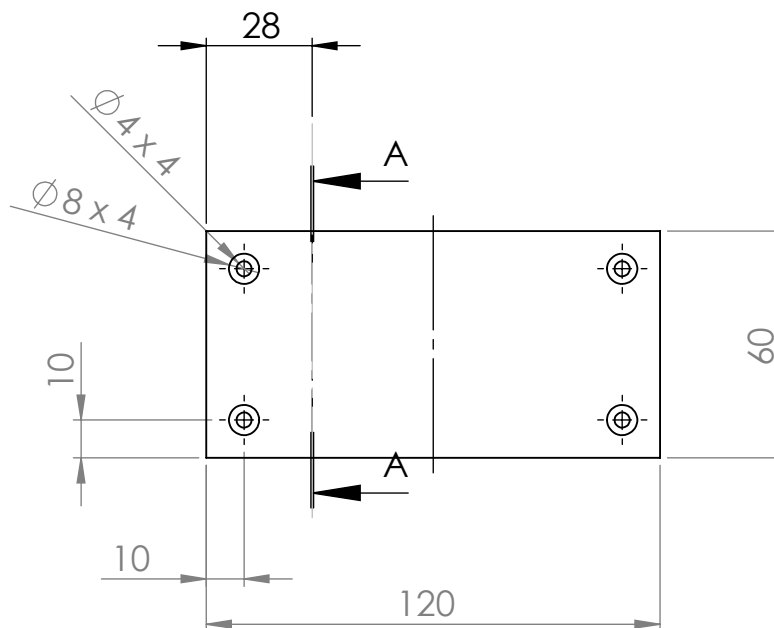
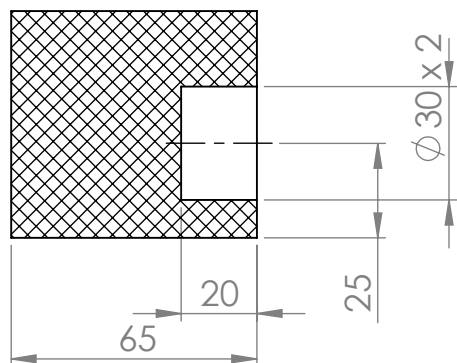


Isomeetriline vaade
Scale 1:2

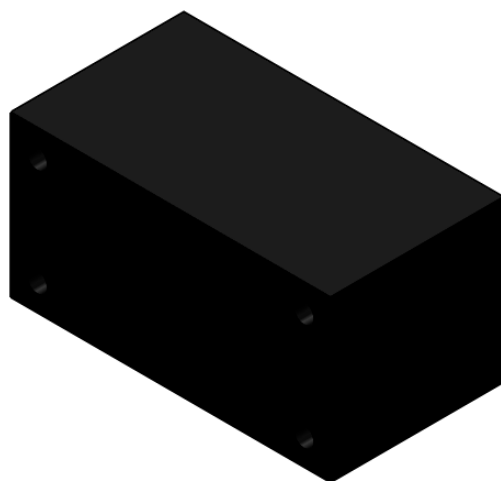


| | | | | |
|--|-------------------------|------------------------|-------------------|-----------|
|  | Materjal: | Määramata piirhälbed: | Mass: | Mööd: |
| | 1.0569 (S355J0) | $\pm IT14/2, H12, h12$ | 0,907 | 1:1 |
| Teostas: | Ardi Blumkvist | Projekt | Puksiirseade | |
| Kontrollis: | | Nimi: | Horisontaalrullik | |
| Kinnitas: | | Lehek: | Leht: | Tähistus: |
|  | Tallinna Tehnikaülikool | 1/1 | A4 | ABA 6 |

SECTION A-A

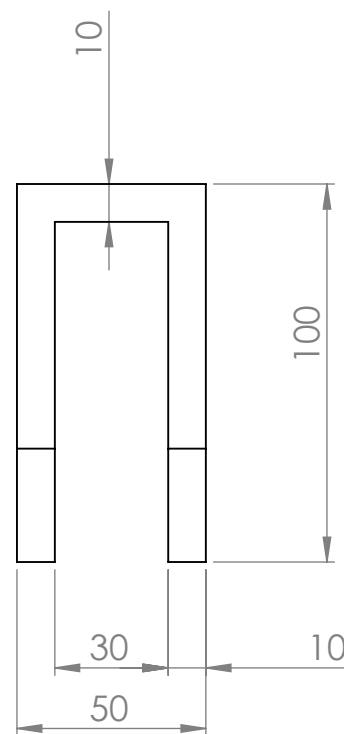
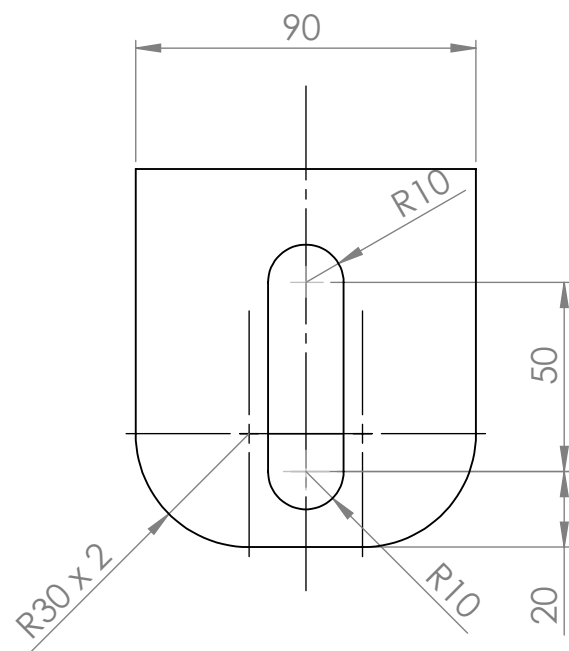


√ Ra12.5 (√)

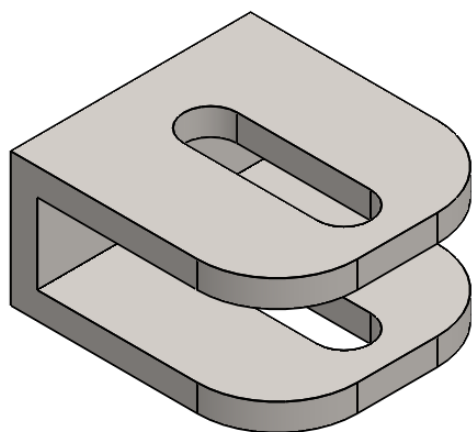


NB! Detail on tsentrijoone suhtes sümmeetriline

| | | | | |
|-------------|------------------------------|--|----------------|--------------|
| | Materjal: 1.0569 (S355J0) | Määramata piirhälbed: ±IT14/2, H12, h12 | Mass: 0,562 | Mööd: 1:2 |
| Teostas: | Ardi Blumkvist | Projekt | Puksiirseade | |
| Kontrollis: | | Nimi: | Liugur | |
| Kinnitas: | | Lehek: | Leht: | Tähistus: |
| | Tallinna Tehnikaülikool | 1/1 | A4 | ABA 10 |



$\sqrt{\text{Ra12.5}}$ (✓)



| | | | | | |
|-------------|---------------------------|-----------------------|--|------------------|-----------|
| | Materjal: 1.0569 (S355J0) | | Määramata piirhälbed: $\pm IT14/2, H12, h12$ | Mass: 1,349 | Mõõt: 1:2 |
| | Teostas: Ardi Blumkvist | Projekt: Puksiirseade | | | |
| Kontrollis: | Kinnitas: | | Nimi: Horisontaalrulliku kinnitus | | |
| | Tallinna Tehnikaülikool | Lehek: 1/1 | Leht: A4 | Tähistus: ABA 13 | |