



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

SÜNKROONGENERAATORITE VÄLJEPOOLUSTE
INSTALLEERIMISRAKISED
SYNCHRONOUS GENERATORS SALIENT POLE INSTALLATION STATION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ainar Elberg

Üliõpilaskood: 163042MATM

Juhendaja: Martin Eerme, professor

Tallinn 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Ainar Elberg

Õppekava, peeriala: MATM02/15 - Tootearendus ja tootmistehnika, transporditehnika

Juhendaja(d): Martin Eerme, professor, 6203270

Konsultandid: Robert Krõman, juhataja, Promeco OÜ, robert.kroman@promeco.ee;

Andrus Kimask, insener, Promeco OÜ, andrus.kimask@promeco.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) SÜNKROONGENERAATORITE VÄLJEPOLUSTE INSTALLEERIMISRAKISED

(inglise keeles) SYNCHRONOUS GENERATORS SALIENT POLE INSTALLATION STATION

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Selgitada välja kõik vajalikud parameetrid rakiste projekteerimiseks.
2. Projekteerida kogutud info põhjal kliendile sobivad rakised.
3. Kontrollida projekteeritud lahendust ja esitada hinnakalkulatsioon.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Algandmete kogumine, kontseptsiooni välja töötamine	29.03.2019
2.	Rakiste detailne projekteerimine	19.04.2019
3.	Tulemuste kontroll, lõputöö lõplik vormistamine	24.05.2019

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "....."201....a

Üliõpilane: Ainar Elberg

..... "....."201....a

/allkiri/

Juhendaja: Martin Eerme

..... "....."201....a

/allkiri

Konsultant:

"....."201....a

/allkiri/

SISUKORD

SISUKORD	4
EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS	7
1. NÕUDED NING TURUANALÜÜS.....	9
1.1. Defineeritud nõuded.....	9
1.1.1. Maksimaalne mass ning disbalants	9
1.1.2. Rootori ning võlli mõõtmed	9
1.1.3. Jõu ülekanne ning rootori pööramine.....	9
1.1.4. Lisatingimused pukkidele	9
1.2. Alternatiivsed tooted	11
1.2.1. Promeco OÜ 20 t pukid	11
1.2.2. Vijay Machine Tools rootori pukid	12
1.2.3. Rootorite balanseerimispingid	12
2. RAKISE PROJEKTEERIMINE	14
2.1. Esialgne mudel	14
2.2. Kontseptsioon	15
2.3. Trapetskeermega spindli dimensioneerimine.....	17
2.4. Spindli ülekande modelleerimine.....	19
2.4.1. Kettülekanne	19
2.4.2. Hammasülekanne.....	21
2.5. Rullide projekteerimine.....	24
2.6. Ülemise raami projekteerimine	28
2.7. Alusraami projekteerimine.....	31
2.8. Mootori raami projekteerimine	35
2.9. Laagripukid ja mutripukk.....	36
2.10. Katteplekkide projekteerimine, lõpulülitid	37
2.11. Mootoripuki projekteerimine	40
3. MUDELI KONTROLL JA OPTIMEERIMINE	42
3.1. Ülemine raami koost	42
3.2. Alusraami koost.....	46
3.3. Mootoripukk.....	52
4. ESIALGNE HINNAKALKULATSIOON.....	55
KOKKUVÕTE	57
SUMMARY	59
VIITED	61

LISAD	64
Lisa 1.....	64
Lisa 2.....	65
Lisa 3.....	66
Lisa 4.....	67
Lisa 5.....	68
Lisa 6.....	69
Lisa 7.....	70
Lisa 8.....	71

EESSÕNA

Promeco OÜ tegeleb eritellimusel valmistatud masinaehitusega, kus iga seade on valmistatud vastavalt kliendi nõudmistele. Põhiliseks suunaks on elektrotehnika töötuses kasutatavad tootmiseseadmed, kuid pakutakse inseneritehnilist täislahendust kõikvõimalikele automaatika ja masinaehitusprojektidele. Ettevõttes töötab 4 inimest, kelle põhitöö on seadmete välja töötamine. Seadmed modelleeritakse kohapeal, samuti vormistatakse joonised. Detailid ja töötlemine ostetakse sisse, mehaaniliste koostude komplekteerimine toimub ettevõtte siseselt.

Magistritöö sai alguse ettevõttele tehtud päringust ning on koostatud suures osas Tallinnas. Lõputöö algandmete kogumisel olid abiks kolleegid: Robert Krõman, Promeco OÜ juhataja ning Andrus Kimask, Promeco OÜ insener. Magistritöö on valminud professor Martin Eerme juhendamisel.

Sooviksin tänada professor Martin Eermet konstruktiivsete konsultatsioonide ning hea juhendamise eest.

SISSEJUHATUS

Lõputöö teema tuleneb Promeco OÜ-le tehtud tellimusest. Klient soovib saada sünkroongeneraatorite kuni 40 tonniste rootorite väljepooluste mähiste installeerimisrakiseid (edaspidi nimetatud pukke). Ettevõtte on varem tootnud pukke kuni 20 tonniste rootorite tarbeks ja üsna väikese variatsiooniga rootoritele. Seekordne tellimus hõlmas endas kõrguse reguleerimist väga erinevate rootori läbimõõtude tõttu. Lisaks on suured erinevused ka rootori võllide läbimõõdul ning kogupikkusel.

Probleemi lahendamisel tuleb uurida olemasolevaid lahendusi nii ettevõtte siseselt kui ka konkureerivaid tooteid. Kuna enamuse sarnastest pukkidest on samuti valmisatud erilahendusena ei leia nende kohta palju infot. Siiski võib internetist leitu põhjal kujundada ettekujutus turul pakutavatest alternatiividest.

Pukkide aktuaalsus seisneb selles, et pukid peavad sobima paljudele erinevatele toodetele. Kliendil on 13 tüüpi erinevaid rootoreid, mille pikkuse erinevus väikseima ning suurema vahel on üle 4,3 m. Väikseim rootor kaalub kõigest 6,5 t, samas suurim ligi 40 t. Nii suuri rootoreid pole klient seni tootnud, kuna hetkel puudub neil võimekus neid efektiivselt mähkida. Samuti on erinevad rootori võllide kontaktpindade läbimõõdud alates 225 mm kuni 450 mm. Tulenevalt Masinaehituse Direktiivist [1] tuleb projekteerimisel lisaks kliendi otsestele nõuetele arvestada veel masina ohutust ning operaatorite ergonoomikat. Ergonoomika hõlmab endast nii pukkide lihtsat ümberpaigutamist kui ka nende kõrguse muutmise võimalust – tagades rootori mähiste paigaldamisel õige töökõrgus.

Lõputöös on kasutatud DS SolidWorks 2019 projekteerimistarkvara ning lahenduste kontrollimiseks Ansys 16.0 lõplike elementide meetodi tarkvara. Lihtsamad insener-tehnilised arvutused on lahendatud kas käsitsi või kasutatud MS Excel tabelarvutusprogrammi.

Magistritöö esimeses peatükis seletatakse lahti kõik kliendilt saadud parameetrid. See hõlmab nii ametlikus päringus sisaldunud andmeid kui ka sellele eelnenud ning järgnenud suhtluses selgunud infot. Lisaks hõlmab peatükk endas kliendilt saadud tagasisidet olemasolevatest seadmetest ning probleemidest nende kasutamisel. Samuti analüüsitakse sarnaseid tooteid, nii ettevõtte siseselt kui ka internetist leitud alternatiive. Uuritakse ka sarnase tööpõhimõtte ning ehitusega seadmeid, tuuakse välja erinevate lahenduste eelised ja puudused.

Teises peatükis kirjeldatakse rakise projekteeritavaid sõlmi ja kooste. Selles osas kirjeldatakse lähemalt, mis põhjustel on kasutusele võetud konkreetsed lahendused. Samuti leitakse sobiv lahendus puki tõstmiseks ning tehakse vajalikud tugevusarvutused. Järgnevalt kirjeldatakse

töstmise ülekande projekteerimist ja võimalikke lahendusvariante. Lisaks arvutatakse tugirullide ja raskeima rootori vahele tekkivad kontaktpinged.

Seejärel kirjeldatakse lähemalt tugipuki raami disaini, esmalt ülemise osa ning seejärel alumise osa. Millele järgneb vedava puki modelleerimine, kirjeldatakse puki üldist ehitust ja lisavõimalusi puki projekteerimisel. Samuti kirjeldatakse kardaaani valikul olulisi parameetreid ning võrreldakse neid kahe konkureeriva toote näitel. Lisaks kirjeldatakse reduktormootori valiku protsessi ning tuuakse välja selle kriitilisemad parameetrid.

Kolmandas peatükis kontrollitakse kriitilisemaid sõlmi lõplike elementide meetodiga ning viiakse sisse vajalikud parandused toote tugevuse tagamiseks. Samuti leitakse sobivad kinnitusvahendid vedava puki pörandasse kinnitamiseks.

Neljas peatükk sisaldab endas esialgset hinnakalkulatsiooni, mille alusel tehakse kliendile pakkumine. Tuuakse välja hinnangulised tootmiskulud ning planeeritud tööaeg.

1. NÕUDED NING TURUANALÜÜS

1.1. Defineeritud nõuded

1.1.1. Maksimaalne mass ning disbalants

Klient soovib pukkidel paigaldada kuni 40 tonniste sünkroonmootorite ja -generaatorite väljepooluste mähiseid. Üldjuhul käib töö väiksemate toodetega (15 t kuni 25 t), maksimaalse massiga tooteid valmistatakse mõned korrad aastas. Klient esitas disbalansi väärtuse kuni 1,5 tonni või 16,5 kNm. Pöörlemiskiirus peab jääma 1 min⁻¹ lähedale. Varutegur pidurdusmomendile peab olema 2. Maksimaalset väändemomenti esineb 10 – 20 korral nädalas.

1.1.2. Rootori ning võlli mõõtmed

Maksimaalne rootori läbimõõt on 1650 mm ning minimaalne 700 mm. Rootori võlli kontaktpinna läbimõõdud jäävad vahemikku 225 – 450 mm. Samuti tõi klient välja, et suurema massi korral on ka võlli läbimõõt suurem. Lisaks võib osade toodete puhul jääda kontaktpinna pikkuseks kõigest 50 mm ning seejuures ei tohi pukid kahjustada rootori võlli. Kontaktpindade vahe varieerub 2000 - 4000 mm. Võlli pikkuse vahemikud varieeruvad 3500 – 9200 mm vahel, pooluste pikkused 610 – 2150 mm.

1.1.3. Jõu ülekanne ning rootori pööramine

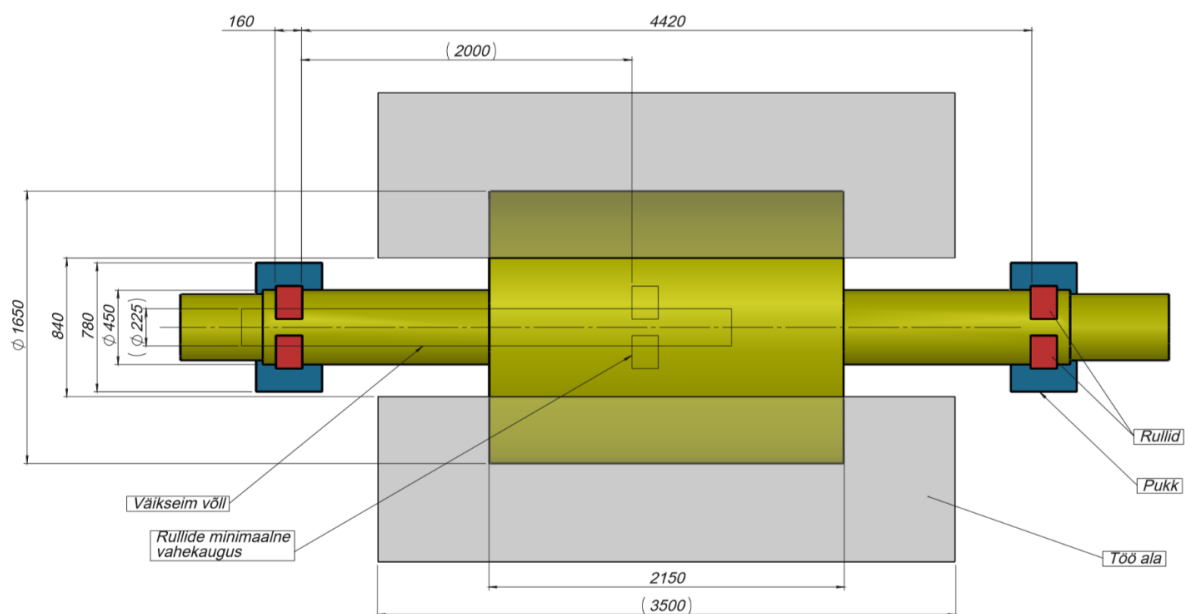
Jõu ülekanne rootorile peaks toimima läbi kardaanülekande kolmandast motoriseeritud pukist. Seda seetõttu, et seni kliendil kasutusel olevad motoriseeritud rullidega pukid kipuvad läbi libisema ning sellise disbalansi puhul võimenduks see veelgi. Kardaanülekande otsas peavad olema erineva poldivalemiga flantsid, mis tagavad erinevate toodete kinnitamise. Vedava puki kaugus esimesest toetuspukist peab olema seadistatav 500 mm ulatuses.

1.1.4. Lisatingimused pukkidele

Kliendi soov on saada rulle laiusega alla 160 mm. Pukkide maksimaalne laius 780 mm ning töökohtade vahe kahel pool rootorit 840 mm. Varieeruva kontaktpindade vahe tõttu peavad olema pukid liigutatavad ning soovituslik oleks kasutada ka juhiku süsteemi, et tagada telgede samasihilisust. Pukkide värv RAL 5017.

Tabel 1.1 Kliendi nõudmised esitatud tabelina

Väärtused	Miinumum	Maksimum	Ühik
Rootori parameetrid			
Mass		40000	kg
Võlli läbimõõt	225	450	mm
Pooluste läbimõõt	700	1650	mm
Kontaktpinna vahekaugus	2000	4400	mm
Võlli kogupikkus	3500	9200	mm
Disbalants		16500 (1500)	Nm (kg)
Disbalantsi kaugus teljest		1100	mm
Masskeskme kaugus teljest		52	mm
Lisatingimused pukile			
Varutegur pidurdamisele	2		
Rootori pöördtelje kõrgus	900	1000	mm
Kontaktpinna laius	50	160	mm
Puki laius		780	mm
Kardaani reguleeritavus	500		mm



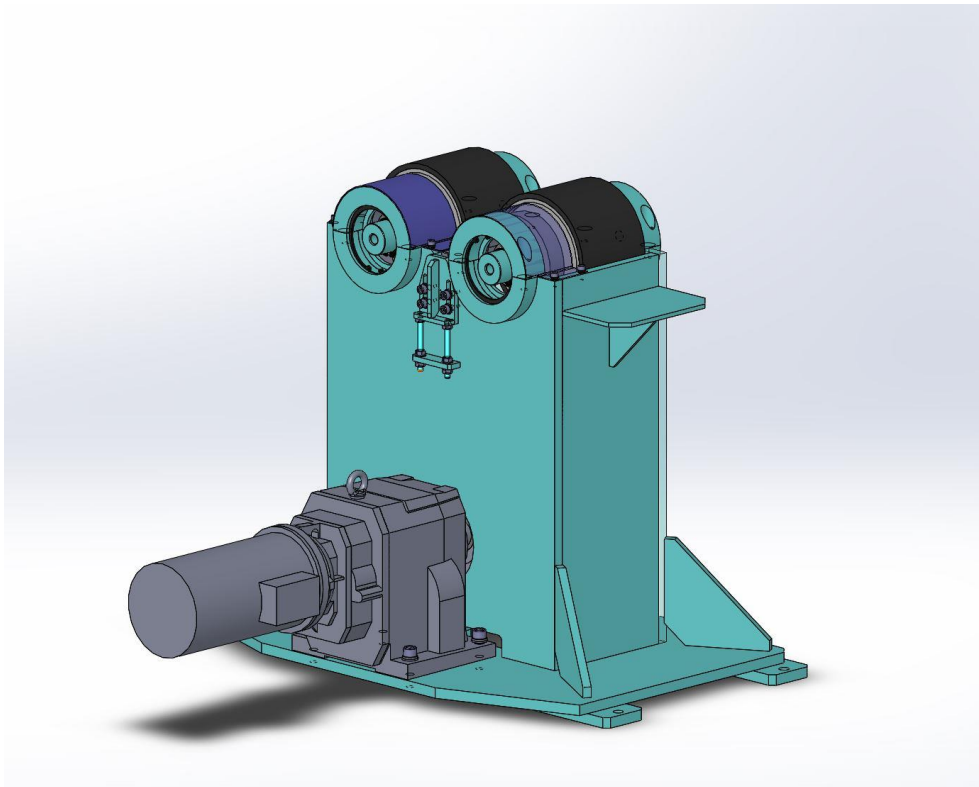
Sele 1.1. Joonis, toetuspukkideukkide ning rootori graafiline paigutus (rootor tähistatud kollasega, toetuspukid sinisega, rullid punasega)

1.2. Alternatiivsed tooted

1.2.1. Promeco OÜ 20 t pukid

Ettevõttes varem toodetud pukide maksimaalne rootori mass on 20 t. Lahenduses kasutatakse kahte pukki, motoriseeritud rullidega pukki ja vabalt veerevate rullidega tugipukki. Motoriseeritud tugipukk veab läbi kettülekande mõlemat rulli. Rullid on kaetud PUR (polüuretaan, polümeer) kattega, et tagada parem haardumine rullide ning rootori vahel. Samas aitab kate vähendada rootori kahjustamise riski. Motoriseeritud pukk on statsionaarne ja kinnitatakse kiilankrutega põranda külge. Tugipukk on varustatud vedrustatud ratastega, mis rootori asetamisel pukile liiguvad raami sisse. Koormuse all paikeb pukk terasest jalaplaatidega maa peal. Rataste abil on võimalik muuta kontaktpindade vahekaugust, mis annab võimaluse töötada erinevate rootoritega. Rataste kasutamine võimaldab ka pukki teisaldada ja ümber paigutada kui selleks tekib vajadus.

Lahendus töötab kliendi juures valdavalt hästi, kuid raskemate rootoritega on esinenud rullide läbi libisemist rootori pööramise alustamisel. Sama võib juhtuda ka mähist fikseerivate poltide pingutamisel. Seetõttu on klient sunnitud rootori stabiliseerimiseks kasutama erinevaid tugesid. Suhtluses kliendiga ilmnis selliste pukide kõige suurem puudus – rullide kettülekande ja laagripukkide tõttu ei saa rootorit alati paigutada kõige paremasse kohta. Kettülekande konstruktsioon ei võimalda panna pukki mähisele lähimale võimalikule kontaktpinnale, kuna sellest järgnev pind on valdavalt suurema diameetriga kui lähim võimalik kontaktpind. Sellest tulenevad ka olukorrad, kus klient on sunnitud rootorit toetama kõigest 50 mm pikkuse pinna peale. Samuti ei sobi antud lahendus 40 tonnise rootori puhul, kuna rullide konstruktsioon on disainitud oluliselt väiksemale massile ning võlli läbimõõdule. Lisaks puudub kõrguse seadistamise võimalus, mis muudaks suurema rootoriga töötamise ebamugavaks. Samuti puudub võimalus toetada erinevate võlli diameetritega rootorit.



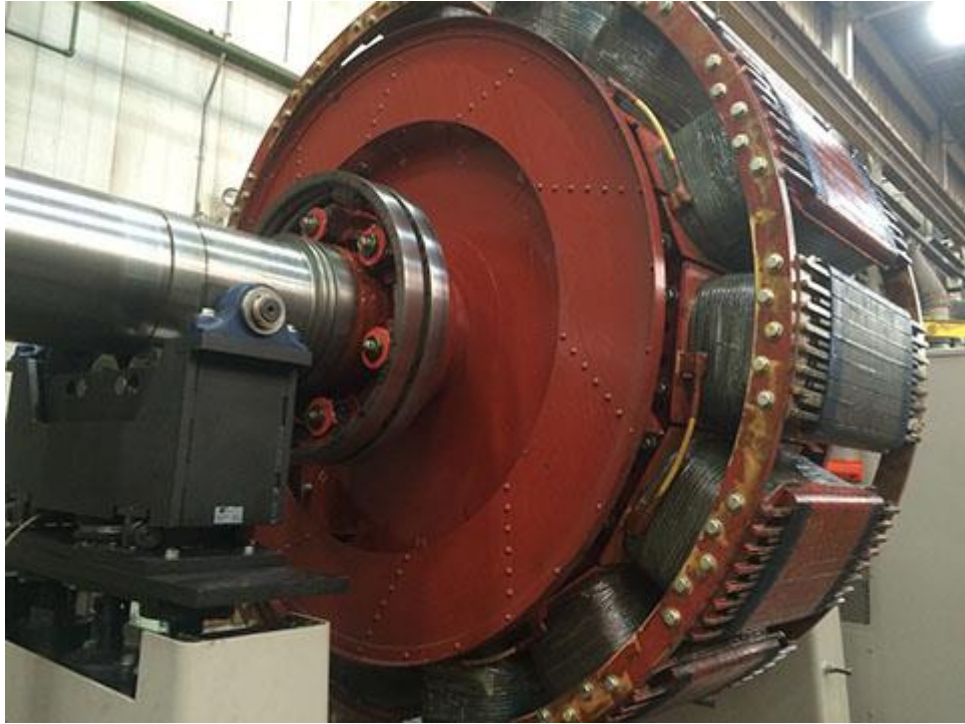
Sele 1.2 Kuvatõmmis, Promeco 20 t motoriseeritud pukk

1.2.2. Vijay Machine Tools rootori pukid

India tootja pakub kahte tüüpi pukke – üks lahendus tundub olevat muudetava kõrgusega ning lisa toega, mis kinnitab rootori ülevalt lisa rullidega puki külge. [2] Foto pealt ei ole tuvastatav, kuidas toimub rootori pööramine. Teine lahendus paistab tavapärasem – motoriseeritud pukk veab ringi ühte rulli. Mõlemad variandid on fotodel kujutatud statsionaarsed, seega puudub igasugune rootori pikkuse varieerimise võimalus.

1.2.3. Roorite balanseerimispingid

Internetist võib leida mitmeid rooorite balanseerimist pakkuvaid ettevõtteid, kelle galeriidest on üsna hästi näha ka kasutatavaid pukke ja pinke. [3] [4] Sarnase suurusega toodete puhul kasutatavad pingid on võrreldes kavandatava lahendusega oluliselt suuremad ja statsionaarsemad. Suuremate rooorite balanseerimine toimub suure treipingi laadse seadmega, kus rooorit veab ringi kardaanülekanne pingi ühes otsas. Toetuspukid on juhikutel, muudetava kaugusega kardaanist ning üksteisest. Ühise nimetajana nendel pinkidel tuleks välja tuua, et kasutatavad rullid on üsna väiksed ning üksteisele väga lähedastikku.



Sele 1.3 Foto, Hannon Electric 10 000 hp sünkroonmootori balanseerimine [3]

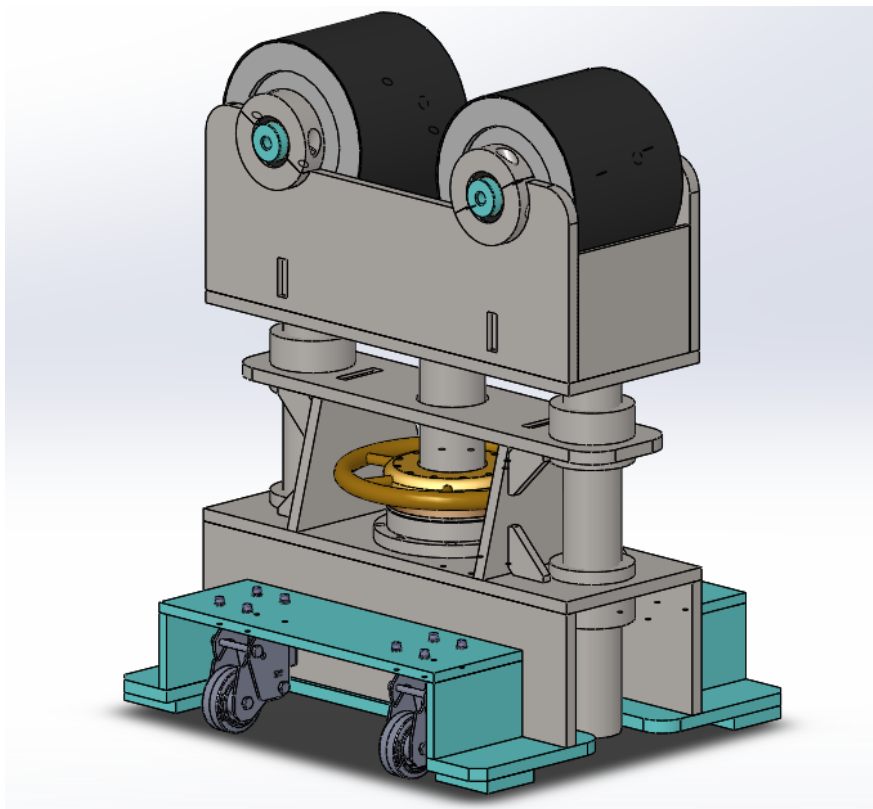
2. RAKISE PROJEKTEERIMINE

2.1. Esialgne mudel

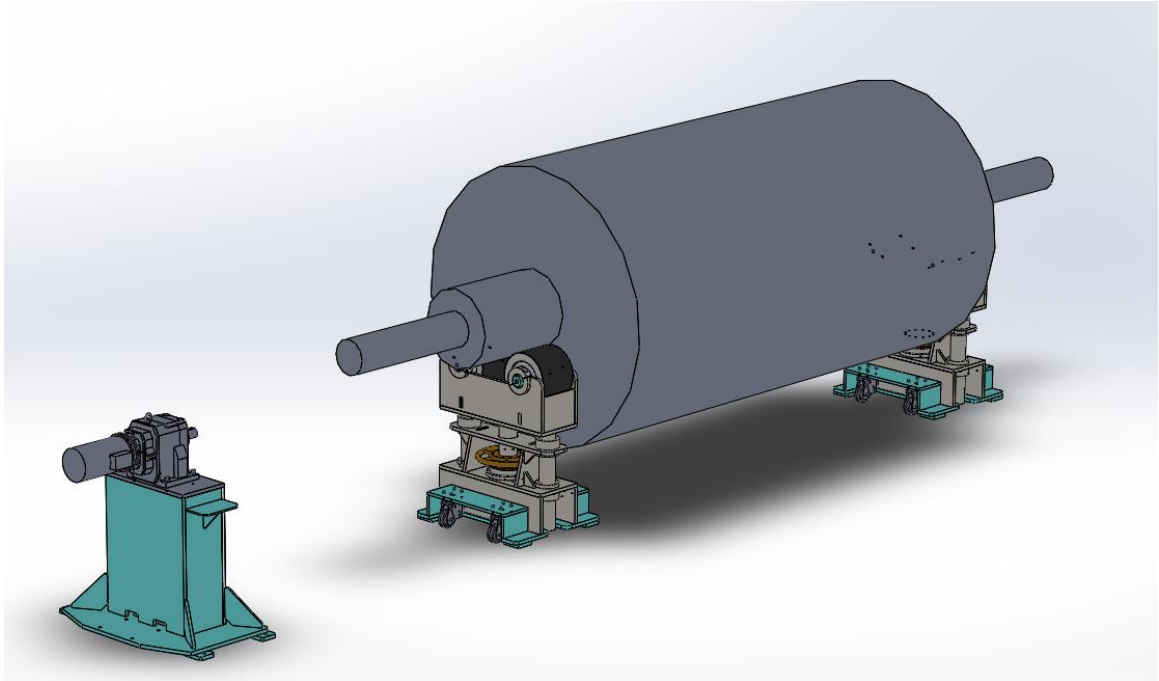
Projekti esimeses faasis projekteeriti kliendi esialgsete andmete põhjal manuaalse kõrguse reguleerimisega lahendus. Rootorit pöörab kolmas pukk läbi kardaanülekande. Esialgse mudeli eesmärk oli luua kliendile ettekujutus võimalikest lahendusvariantidest ja aidata kaasa kliendi inseneridele vajalike nõuete välja töötamises.

Toetuspukk (Sele 2.1.1) hõlmas endast põhja konstruktsiooni koos ära tõstetavate ratastega, mis lahendaks toetuspunktide vahekauguse muutmise ülesande. Kõrguse reguleerimine toimuks läbi käsiratta trapetsspindli mutri keeramisel. Rootori suure massi tõttu tuleks antud lahenduse puhul seda teha ilma koormuseta, kuna koormuse all oleks tõstmiseks vaja minev moment ligikaudu 1300 Nm. Variandina pakkusime välja elektrimootoriga varustatud tõstmise ning hüdrocilindri kasutamise võimaluse.

Vedav pukk on lihtsam konstruktsioon, mis hõlmab endas mootorreduktori toetavat raami ja kardaanid. Kaaluda tuleb kardaanid toetamist töö välisel ajal, sest enamikel kardaanidel on defineeritud paindenurk, mille ületamine ei ole soovituslik. Samuti lihtsustaks kardaanid toetusrakis kardaanid kinnitamist rootori otsaflantsile, kuna siis ei ole vaja seda käsitsi tõsta.



Sele 2.1.1 – Kuvatõmmis, manuaalselt tõstetav toetuspuki mudel



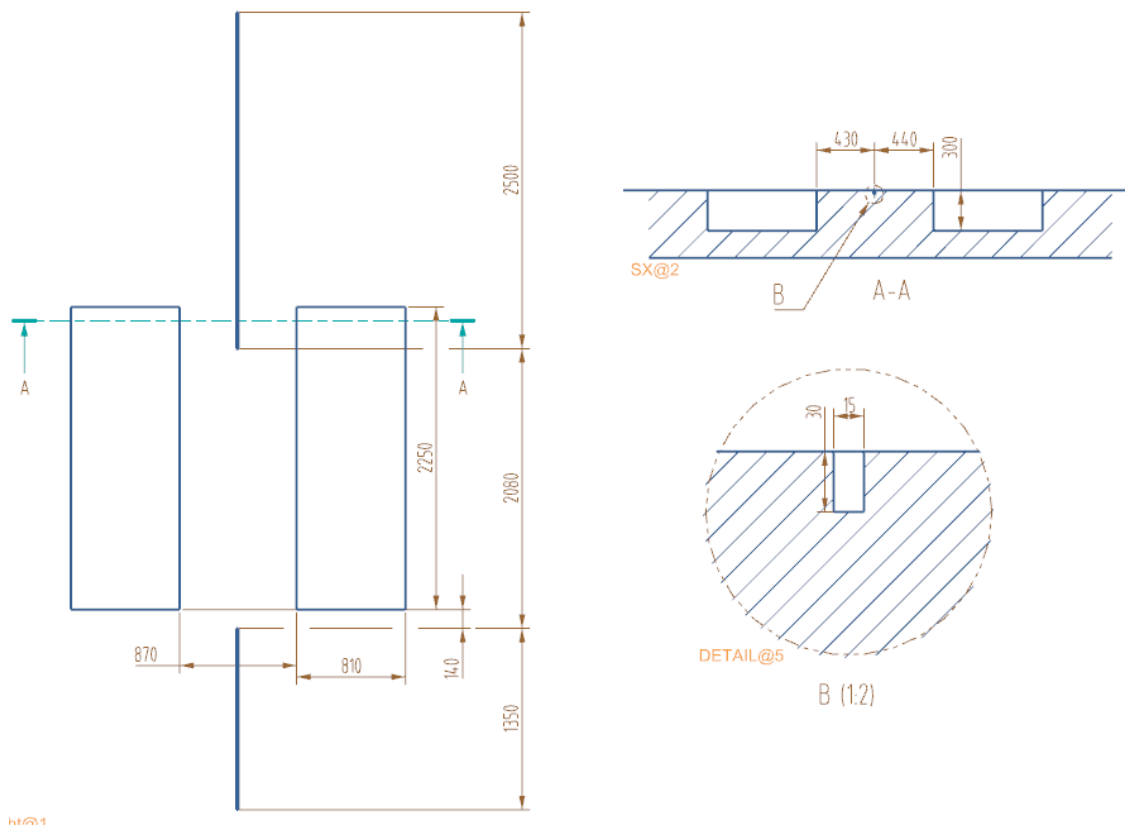
Sele 2.2.2 Kuvatõmmis, esialgne mudel

2.2. Kontseptsioon

Suhtlusest kliendiga selgus, et kõrguse reguleerimine peab toimuma olukorras kus rootor on asetatud pukkidele. See omakorda tähendab, et manuaalselt käsitsi keeramine on välistatud – esiteks tuleks seda tööd teha rootori all, mis võiks osutada seadme rikke korral potentsiaalselt ohtlikuks operaatorile ning oleks seal juures ka ebaergonoomiline. Teiseks ületab vajaminev moment mitmekordselt jõu, mida keskmine inimene suudab isegi meetrise jõu öla korral spindlile edasi kanda.

Kõrguse reguleerimise süsteemi aluseks on massi kandev ning ülemist raami tõstev element ning juhikud, mis takistavad ülemise raami ja rootori kõrvale paiskumist. Esialgses lahenduses on kasutatud juhikutena kahte 90 mm läbimõõduga h9 tolerantsiga ümarteras varrast. [5] Juhikud paiknevad koostu välimistes äärtes ning raskust kandev element on keskel. Tõstmisel on võimalik kasutada kahte lahendust – kuulkruvi või trapetsspindel. Kuulkruvi eelisteks on sujuvam liikumine ning madalam hõõrdetegur. Samuti on süsteem võrdlemisi hooldevaba ning spindlile ei jää suurt määride kihti, mis kogub mustust. Trapetsspindli kasutamise eelis on selle keerme isepidurdumus – isegi kui reduktormootorist tulenev ülekanne puruneb ei vaju pukk raskuse all kokku. Lisaks on trapetsspindli ja mutri kasutamine oluliselt odavam lahendus, kui kuulkruvi. [6] Kuna spindlile mõjub varutegureid arvestades kuni 30 t koormus, oleks kuulkruvi vaja valmistada eritellimusena, mis tõstab oluliselt toote hinda.

Toetuspukid peavad olema liigutatavad aksiaalsuunas erinevate rootori pikkuste tõttu. Soovitatav lahendus oleks kasutada liigutamiseks rattaid, mis veerevad olemasoleval siledal betoonpõrandal. Rootori pukile asetamisel peaks pukk toetuma järgalt maha ning ratastel veeremine peab olema välistatud. Pukile lisanduvad juhikud, mis asetsevad põrandasse lõigatud soonde. (Sele 2.2.1) Juhikute abil tagatakse pukkide lihtsam joondumine erinevate rootori pikkuste korral.



Sele 2.2.1 Kliendi joonis põrandas asuvast soonest (detailvaade B – juhiku soon)

Kliendi joonisel (Sele 2.2.1) on toodud olemasolevad väljalõiked põrandas, suurematesse avadesse paigutati algselt tööplatvormid. Nende abil tõsteti operaator piisavalt kõrgele, et saaks tööd teha ülemise pooluse juures. Keskel asub juhtsoon, mille abil vanu pukke joondati. Seda soont on võimalik pikendada, kuid vajadusel on võimalik teha ka uus soon. Kliendi olemasoleval lahendusel on võimalus seadistada rootorit ka külgsuunas, kuid see komplitseerib rootori paigaldamist pukkidele. Seega uues lahenduses seda võimalust ei tasu pakkuda.

2.3. Trapetskeermega spindli dimensioneerimine

Puki kõrguse reguleerimine toimub läbi trapetskeermega spindli pööramise. Arvutused on teostatud Excel tabelarvutusprogrammis lähtudes I.Penkov masinatehnika loengukonspekti. [7]

Keerme sisemõõdu saab tugevustingimusest survele.

$$\sigma = \frac{kF}{A} \leq [\sigma] = \frac{R_{eH}}{S} \quad (2.1)$$

$$[\sigma] = \frac{R_{eH}}{S} = \frac{R_{eH}}{S_1 \cdot S_2} = \frac{385 \cdot 10^6}{1,2 \cdot 1,5} \approx 214 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 214 \text{ MPa}$$

Kus, k – väändemomenti arvestav tegur;
 F – ühele pukile mõjuv koormus, N;
 R_{eH} – kruvi materjali voolepiir, Pa (C15 R);
 S_1 – varutegur materjalile;
 S_2 – varutegur massi jaotusele;
 A – kruvi ristlõikepindala, m² ($A = \frac{\pi d_1^2}{4}$);
 d_1 – kruvi siseläbimõõt, m.

Tugevustingimusest avaldub

$$[\sigma] = \sqrt{\frac{4kF}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 186 \cdot 10^3}{\pi \cdot 214 \cdot 10^6}} \approx 0,045 \text{ m} \quad (2.2)$$

Kuna sellist koormust taluvat tugilaagrit saab alates $d = 65$ mm võllile tuleb valida spindliks TR80X10, mille siseläbimõõt $d_1 = 68,6$ mm.

Kruvi pööramiseks vajalik pöördemoment

$$m = T = \frac{F d_2}{2} \tan(\psi + \phi') \quad (2.3)$$

Kus, d_2 – keerme läbimõõt, m;
 ψ – keerme tõusunurk, m;
 ϕ' – redutseeritud hõõrdenurk.

$$T = \frac{F d_2}{2} \tan(\psi + \phi') = \frac{186 \cdot 10^3 \cdot 0,0746}{2} \tan(2,44 + 8,83) = 2078 \text{ Nm} \quad (2.4)$$

Ekvivalentne pinge

$$\sigma_{ekv}^{III} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (2.5)$$

Kus, σ – survepinged, Pa;

τ – lõikepinge, Pa;

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 186 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,0686^2} \approx 76 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 76 \text{ MPa}; \quad (2.6)$$

$$\tau = \frac{T}{W_0} = \frac{16T}{\pi d_1^3} = \frac{4 \cdot 2078}{\pi \cdot 0,0686^3} \approx 33 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 33 \text{ MPa}. \quad (2.7)$$

Siis

$$\sigma_{ekv}^{III} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{76^2 + 4 \cdot 33^2} \approx 100 \text{ (MPa)} < [\sigma] = 214 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 214 \text{ MPa}$$

Seega jääb trapetsspindlile mõjuv ekvivalentpinge oluliselt alla lubatud pingele ning valitud spindel on sobilik.

Sellise koormuse juures on võimalik kasutada vaid terasest mutriga lahendust, kuna pronksist ning malmist mutrite lubatav koormus jääb tabeli järgi oluliselt vajalikule alla.

Mutri vajalik kõrgus H avaldub valemist:

$$H = zP \quad (2.10)$$

Kus, z – keermekäikude arv.

Erisurve avaldub

$$p = \frac{F}{\pi d_2 H_1 z} \leq [p] \quad (2.12)$$

Kus, H_1 – profiili töökõrgus, m; (trapetskeermel $H_1 = 0,5P$)

$[p]$ – materjali lubatav erisurve, Pa. (teras- teras $[p] = 12 \text{ MPa}$)

Siis,

$$z \geq \frac{F}{\pi d_2 H_1 [p]} = \frac{186 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,0746 \cdot 0,5 \cdot 0,01 \cdot 12 \cdot 10^6} = 13,24$$

seega oleks vajalik minimaalne arv keermekäike 13, mis on aga suurem soovitatavast väärtusest 10. Tarnijalt on võimalik saada mutter 12 keermekäiguga. Selle mutri kasutamiseks on vajalik kontrollida vastupidavust lõikele. (LISA 1)

$$\tau \geq \frac{F}{\pi d H_1 k k_m} \quad (2.13)$$

Kus, k – täitetegur;
 k_m – plastset deformatsiooni arvestav tegur.

Siis

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{186 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,08 \cdot 0,5 \cdot 0,012 \cdot 0,65 \cdot 0,55} \approx 17 \cdot 10^6 \text{ Pa} < [\tau] = 0,5 \cdot [\sigma] = 0,5 \cdot 214 \cdot 10^6 \\ &= 107 \cdot 10^6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Seega kannatab mutter koormuse välja.

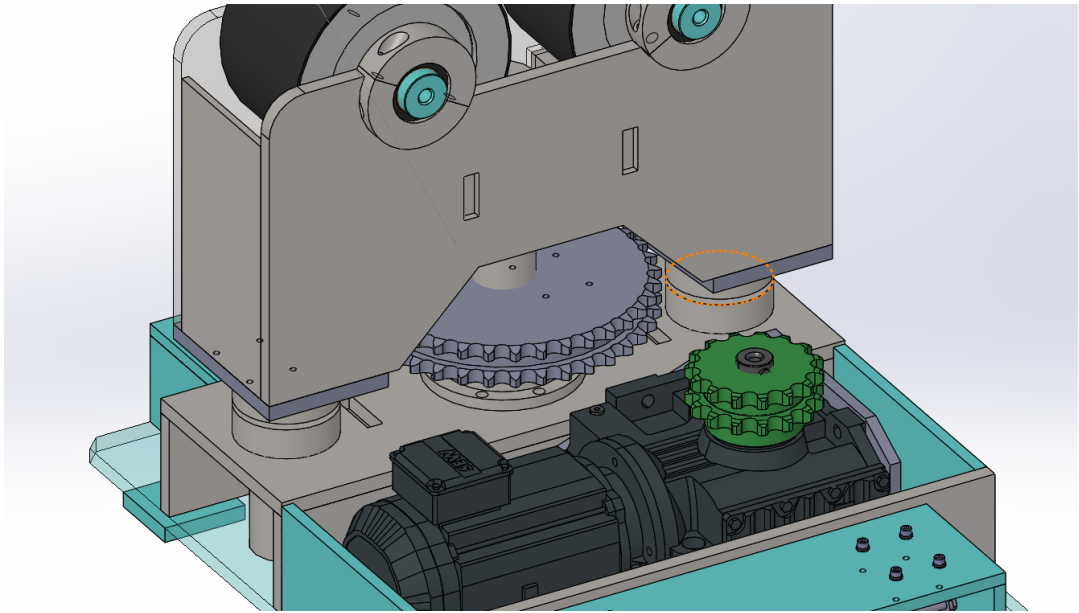
2.4. Spindli ülekande modelleerimine

Spindlile pöördemomendi üle kandmiseks on antud olukorras kaks teostatavat lahendust – kettülekanne või hammasülekanne. Lähtudes trapetsspindli arvutuskäigust saadud tulemusele on spindli pööramiseks vajalik moment 2078 Nm. Ülekannet projekteerides saab ära kasutada ülekandega momendi võimendamist. Optimaalne spindli kiirus seal juures oleks ligikaudu 10 1/min, mis tagaks lineaarseks üles- alla kiiruseks 100 mm/min.

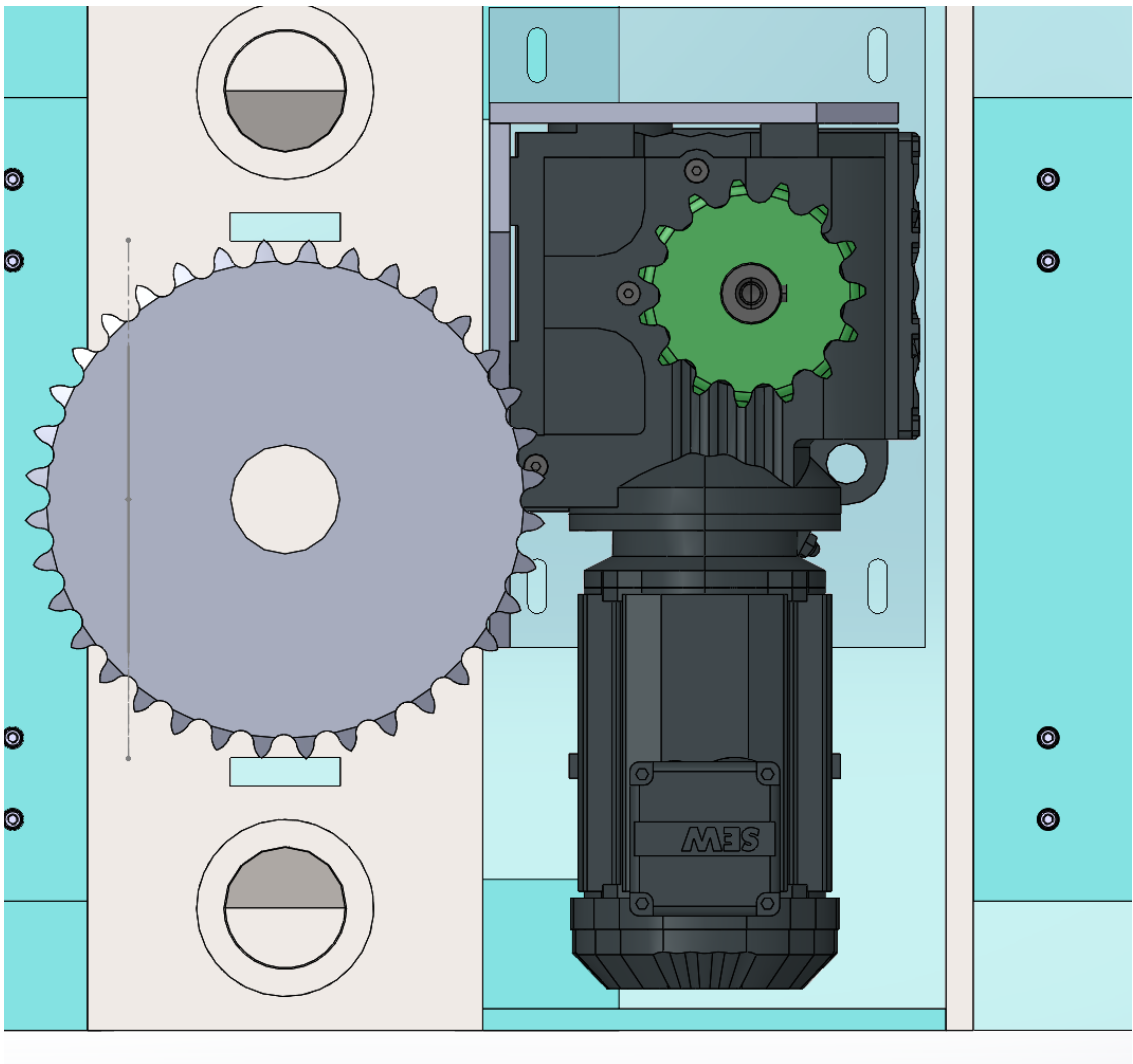
2.4.1. Kettülekanne

Esialgse uurimise tulemusena tuleks kettülekanne lahenduses kasutada kaherealist ketti, selle suurema tugevuse tõttu. Keti dimensioneerimisel kasutati I.Penkovi loengumaterjale. Keti kasutamine vertikaalsete telgedel puhul ei ole üldjuhul soovitatav lahendus kuna kett toetub küljplaatidega hammasratasele. See põhjustab nii keti kui hammasrataste suuremat kulumist, kuid projekteeritava seadmel on pörlemiskiirused ning kasutussagedus väike.

Dimensioneerimise tulemusena sobib kett 20 B-2 (DIN ISO 606). Vedav hammasatas $z = 15$, Mädler 12911500 ning veetavaks hammasrattaks $z = 36$. [8] [9] Väiksemat veetavat hammasrattast ei ole võimalik kasutada, kuna muidu muutub ringjõud liiga kõrgeks ning seega ka surve rullis üle lubatud väärtuse. Ülekandearv antud lahenduse puhul on 2,4. Mis tähendab mootorredukti voolu vajalikuks momendiks 866 Nm ning kiiruseks ligikaudu 26 1/min.



Sele 2.4.1 Kuvatõmmis, ketirataste paiknemine tugipukis



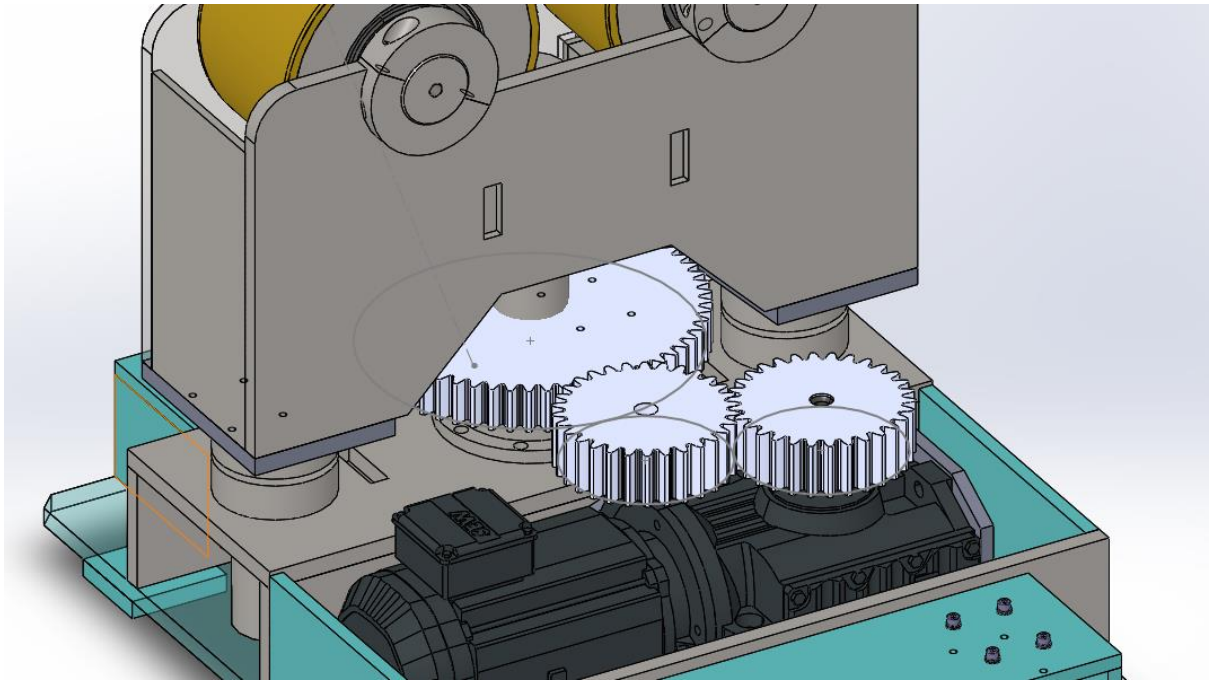
Sele 2.4.2 Kuvatõmmis, ketirataste paiknemine pealtvaates

Keti pingutamiseks saab kasutada mootori alusraami liigutamist trapetsspindli teljest eemale, mis tagab keti pingsuse mõlemas pöördsuunas. Automaatsete pingutite kasutamine on raskendatud, kuna ülekanne pöörleb mõlemas suunas. [10] Kuigi rootorit langetades on moment väiksem ei ole see lahendus pingutile ideaalne. Samuti tähendaks selle lahenduse kasutusele võtmine pinguti mahutamist reduktormootori kohale, mis omakorda muudaks reduktori paigutamist sinna koostu oluliselt raskemaks. Lisaks oleks selle koostu tootmine keerulisem ja kallim.

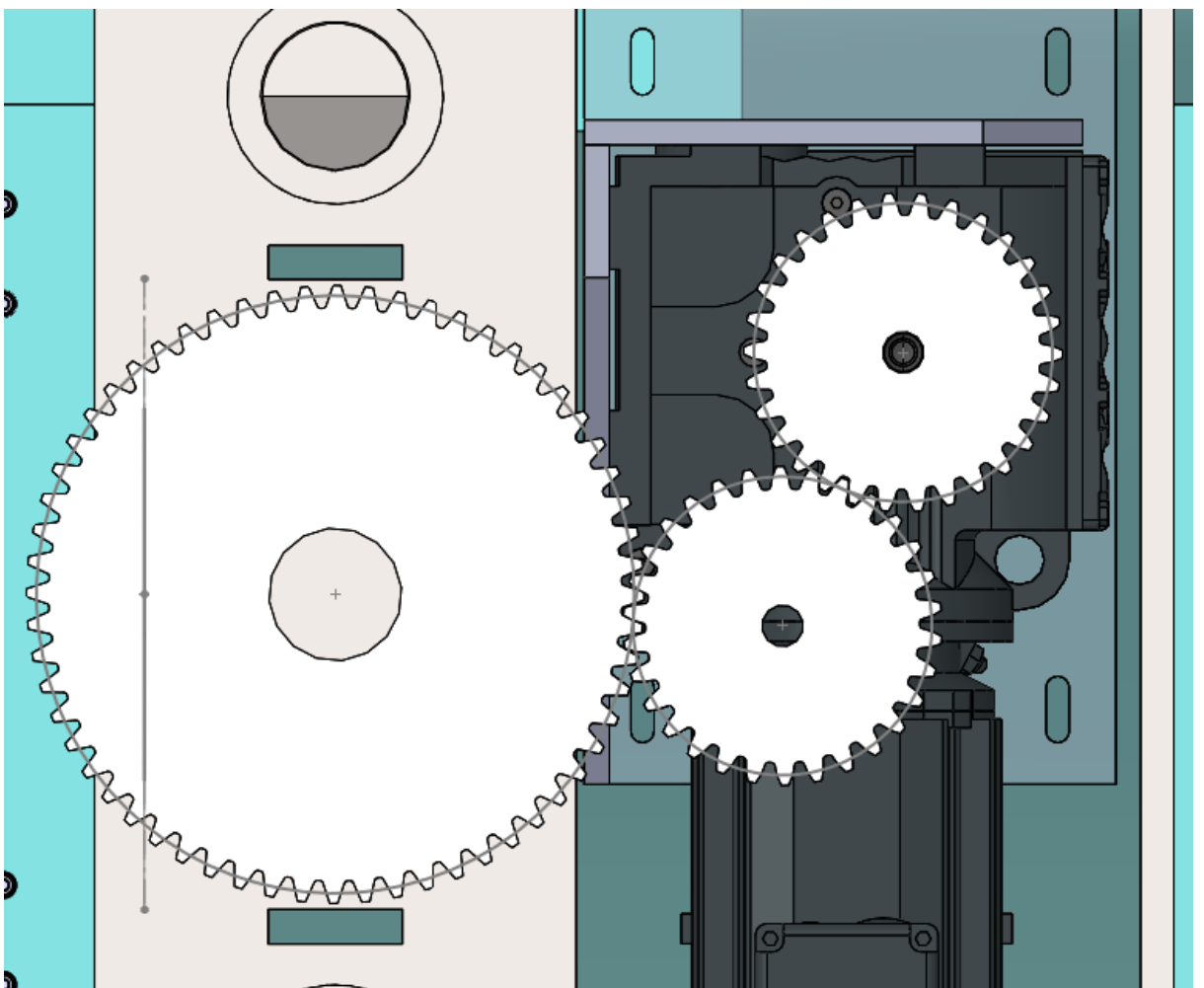
2.4.2. Hammasülekanne

Hammasülekanne lahenduses on võimalik kasutada kolme lahendust: sirghammastega ülekanne, tigu- või nurkülekanne. Neist kaks viimast langevad piisavalt tugevate komponentide puudumise tõttu ära. Ettevõttele mehaanikakomponentide tarnijate kataloogides puuduvad isegi ligilähedase momendi taluvusega lahendused. Erilahendused küll eksisteerivad kuid nende maksumus ning tarneajad on teadmata.

Sirghammastega lahendus sobivad moodul 6 hammasrattad – veetav $z = 60$ ja vedav $z = 30$. [11] Mis teeb ülekandearvuks 2, mootorreduktori momendiks 1040 Nm ning kiiruseks ligikaudu 20 1/min. Sirghammaste kasutusele võtmine tähendaks vahe hammasratta vajadust, kuna mootorreduktori ja spindli telgede vahe on liiga suur otse ülekandeks. Lisa hammasratta paigutamine koostu on problemaatiline mootorreduktori suuruse ning teljevahe tõttu. Samuti jääks väga vähe ruumi lisahammasratta kinnitamiseks mootori alusraamile. Lisaks peaks olema lisahammasratas seadistatav reduktormootori väljundvõlli suhtes, et tagada optimaalne hambuvus.

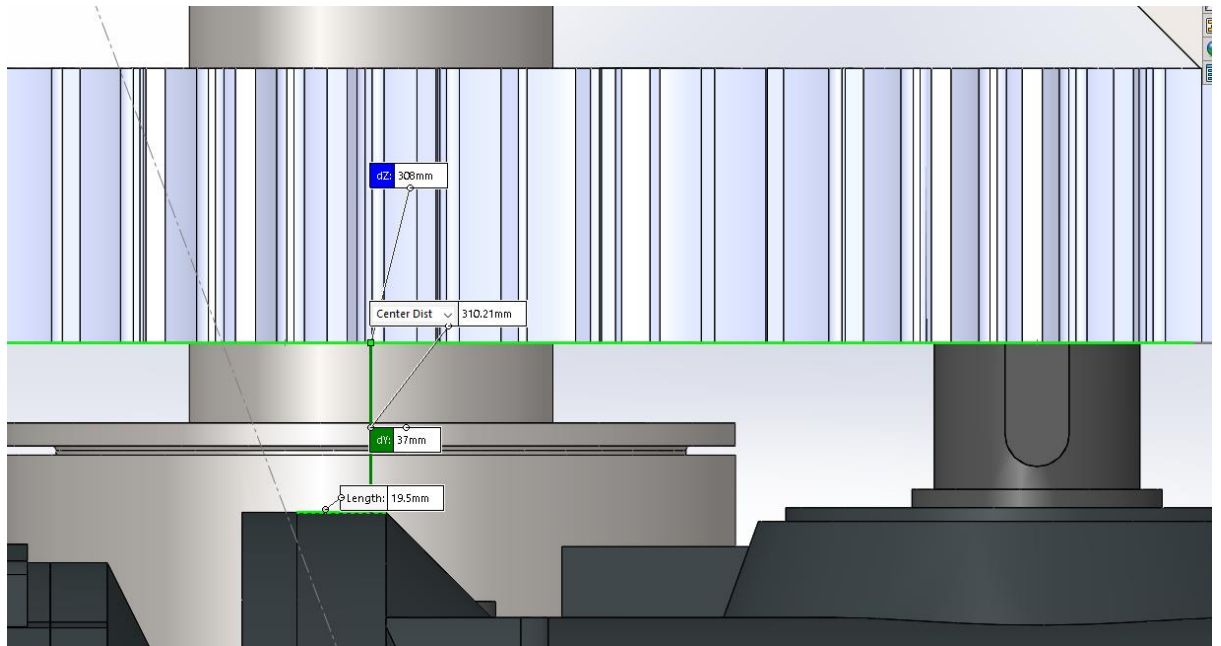


Sele 2.4.3 Kuvatõmmis, hammasrataste paiknemine tugipukis



Sele 2.4.4 Kuvatõmmis, hammasrataste paiknemine pealtvaates

Suhtluses kliendiga selgus, et eelistatud on hammasrattaste lahendus, selle väiksema hooldevajaduse ja töökindluse tõttu. Seega on vajalik lisahammasratta kinnituse täpsem projekteerimine. Tänu hammasratta suurele läbimõõdule on võimalik laagrid paigutada hammasratta sisse, hoides sellega kokku ruumi ning vähendades töötlust vajavate detailide hulka. Võllile projekteeritav tugi peab olema seadistatav reduktormootori väljundvõlli suhtes, et tagada optimaalne hambuvus, mida ei pruugi jäiga paigutuse puhul saavutada.

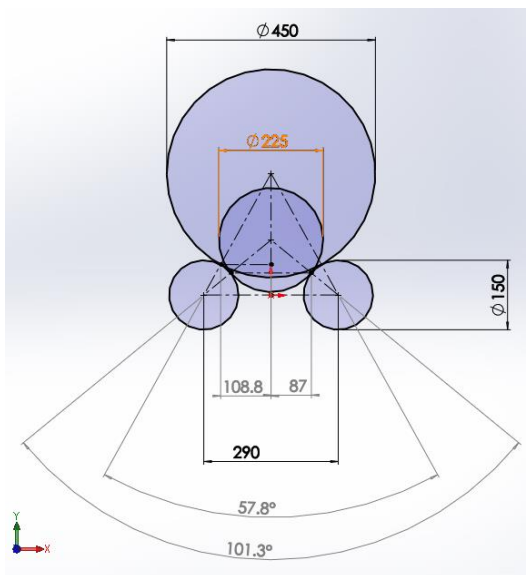


Sele 2.4.5 Reduktormootori korpuse kaugus hammasrattast

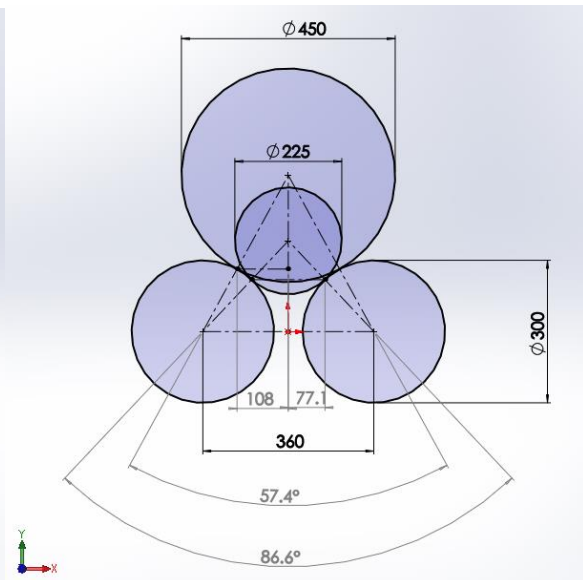
Kuna trapetsspindli pööramiseks vajalik moment on 2078 Nm, siis läbi planeeritud hammasülekanne on reduktormootori väljundvõllilt vajalik moment sellest pool ehk 1039 Nm. Reduktormootor valikul kasutatakse SEW Eurodrive konfiguratorit. [12] Valitud on tiguülekandega reduktormootor, mis sobib oma ehituslikult kõige paremini antud koostu sisse. Konfiguraatorisse sisestatud vajaliku momendi ning väljundvõlli kiiruse 20 min^{-1} kombinatsiooniga on valikus reduktormootor S77DRN100L4. Pakutava mootori võimsus on 3 kW, väljundvõlli nominaal pöörlemiskiirus on 17 min^{-1} . See annab kõrguse reguleerimise vertikaalkiiruseks 85 mm/min. Mootori arendatav moment on 1240 Nm, mis jätab varu ülekande kadudele ning hõõrdele ülekandes. (LISA 1)

2.5. Rullide projekteerimine

Rullide paigutuse ning suuruste määramine on üheks olulisemaks osaks projekteerimisprotsessis. Õige geometria määramine tagab kliendi poolt sätestatud nõuded läbimõõdule ning stabiilsuse rootori hoidmisel. Turuanalüüsist tulenevalt tuleb vaadelda nii väiksemaid kui suuremaid rulle. Väiksemate rullide kasutamine tagab väiksema veeretakistuse kuna puutepind on väiksem, samas kasvab kontaktpinge. Suuremate rullide eeliseks on väiksem kaasatud nurga varieeruvus erinevatel võlli läbimõõdudel. Lisaks lihtsustab suurema rulli kasutamine laagrite paigutamist rulli sisse. Laagripukid rullidest väljaspool puki otstes põhjustaksid kliendile probleeme rootori paigutamise rullidele, seega on eelistatud suurte rullide kasutamine.



Sele 2.5.1 Joonis, väikeste rullide geometria suurima ja väikseima rootori korral



Sele 2.5.2 Joonis, suurte rullide geometria suurima ja väikseima rootori korral

Olulisel kohal rullide paigutuse projekteerimisel on kontaktpinna kaugus rootori pöörlemisteljest, mis peab jääma väljapoole rootori masskeset. Kui rootori masskeset jääb kontaktpinna lähedale või sellest väljapoole on oht rootori pukkidelt maha keeramisele. Väikese vahekauguse puhul tuleks arvestada ka väliste jõududega, näiteks toetumine rootorile või töötamine poolustega. Samas suurenevad nurga suurenedes pinged rullile vastavalt valemile:

$$F_R = \frac{F}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (2.14)$$

Rullide laagrite valimisel on kasutatud trigonomeetriat ning vastavalt sellele leitud SKF Bearing Selectist sobiv laager. [13]

$$F_R = \frac{F}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot S_2 = \frac{186326}{\cos \frac{79,16}{2}} \cdot 1,5 = 181313 \text{ N}$$

Kus, F_R – Arvutuslik rullile mõjuv jõud, N;
 α – Kaasatud nurk, ° (kontaktnurk).

Kuna jõud jaguneb kahele kuullaagritele on ühe laagri arvutuslik koormus ligikaudu 91 kN. Valituks osutub laager 316-2Z, mille dünaamilise koormuse piir on 138 kN ning staatilise 129 kN. [14] Valitud laager tagab rulli pöörlemise laagritele ebavõrdse koormuse jagunemise olukorras jättes tugevusvaru ligikaudu 30 %.

Laagrid paigutatakse rullide korpusesse, et vähendada rulli kõrval asuvate tugipesade mõõtmeid, mis valmistab kliendile probleeme rootorite paigutamiseks. Lisaks aitab laagrite paigutamine rulli korpusesse vähendada suure keeviskoostu töötlemist ning selle vajalikku täpsust. Laagrid paigutatakse väiksema silindrilise detaili sees, milles on lihtsam tagada samateljelisust ning vajalikke iste. Samuti võimaldab see lahendus rullide lihtsamat vahetamist olukorras kus rullide pinnakate on kulunud. Seda peamiselt seetõttu, et laagreid ei pea võlli küljest ega pesadest eemaldama.

Rullide katematerjali valikus tuleb lähtuda kliendi soovist mitte kahjustada rootori poleeritud pindasid. See hõlmab pinna muljumist rulli servaga kui ka erinevate tahkete osakeste sattumist pindade vahele. Pinnakatte materjali valikus tuleb leida võimalikult väikese kõvadusega ning samas suure survetugevusega materjal. Samuti tuleb valida materjal võimalikult suure varuteguriga, kuna klient võib paigutada rootoreid lühemale kontaktpinnale. Kontaktingete arvutustes kasutati Hertzi kontakti reegleid. Esialgsed arvutused on teostatud pronksist rulli kontaktpinna ning terasest rootori vahel.

Esmalt tuleb leida kontaktpinna laius w mis avaldub: [15]

$$w = \sqrt{\frac{16F \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)}{\pi L \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}} = \quad (2.15)$$

Kus, E_1 – võlli materjali elastsusmoodul MPa;
 E_2 – rulli materjali elastsusmoodul MPa;
 R_1 – võlli raadius, mm;
 R_2 – rulli raadius, mm;
 ν_1 - võlli materjali Poissoni tegur;

ν_2 - rulli materjali Poissoni tegur;

L – kontaktpinna pikkus, mm.

$$w = \sqrt{\frac{16 \cdot 181313 \left(\frac{1 - 0,28^2}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{1 - 0,35^2}{1 \cdot 10^5} \right)}{\pi \cdot 160 \left(\frac{1}{132,5} + \frac{1}{150} \right)}} = 2,36 \text{ (mm)}$$

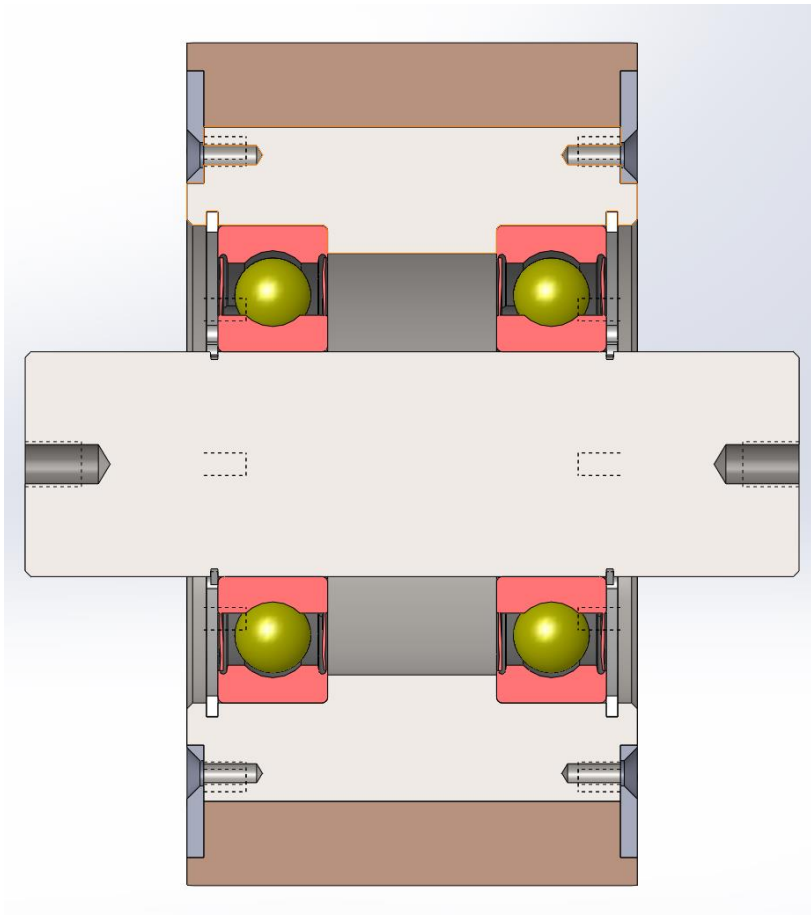
Sellest tulenevalt avaldub kontaktpinge:

$$\sigma_c = \frac{4F}{\pi w L} = \frac{4 \cdot 181313}{\pi \cdot 2,36 \cdot 160} = 637 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 637 \text{ MPa} \quad (2.16)$$

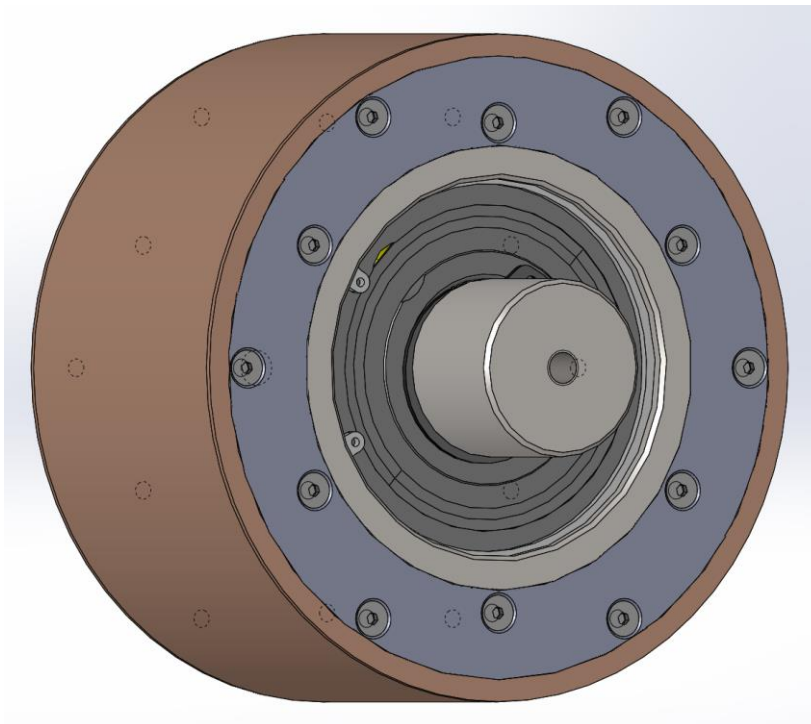
See omakorda ületab pronksi survetugevust peaaegu kahekordselt. Eemaldades varuteguri massi jaotusele jääb väärtuseks endiselt 509 MPa, mis tähendab, et raskeima rootori korral tekivad rulli pinnale kindlalt jäävad deformatsioonid. Järgneva 29 tonnise rootori korral on kontaktpinge 445 MPa, mis samuti ületab pronksi voolepiiri. Seega oli vajalik otsustada, kas suurendada kontaktpinna pikkust või leppida deformatsioonidega pronksist kontaktpinnal. Minimaalne kontaktpinna pikkus 38 t rootori kandmiseks ilma püsivate deformatsioonideta oleks ligikaudu 300 mm, 29 t rootori puhul 250 mm. Kliendi otsus oli jääda esialgse rulli laiuse juurde, kuna enamik toodetavatest rootoritest on väiksematest seeriastest ja seega oleks laiema rulliga sobiva kontaktpinna leidmine keeruline. Seega oli klient valmis suurema rootori korral pronksist pinnakatet deformeerima ning vajadusel seda vahetama.

Promeco 20 t pukkidel kasutati MILPUR 1495A pinnakatet, paksusega 10 mm. (LISA 3) Materjali tehnilisest spetsifikatsioonist selgub, et materjali tõmbetugevus on 49 MPa ning kõvadus 95 Shore A skaala järgi. Muid andmeid materjali kohta ei ole saadaval, seega ei saa selle kohta arvutisi läbi viia. Pinnakatte valmistajal ei olnud võimalik omaduste teada saamiseks katsekeha valmistada. Võrdsustades tõmbetugevuse survetugevusega tekib üle kümne kordne tugevuse puudujääk. Seega ei sobi antud materjal 40 t pukkidel kasutamiseks.

Pronksist kontaktpinna suurema tugevuse tagamiseks on oluline piisav seinapaksus. Esialgsel kavanditel oli planeeritud paksus 10 mm. Kuid lihtsama vahetamise ja fikseerimise kaalutlustel on otstarbekas muuta see 30 mm peale. See jätab piisava varu ääriku kinnitamiseks poltidega nii pronksi kui rummu sisse. Ääriku kinnitamiseks sobivad DIN 7991 peitepeaga poldid, suurus M8 x 20. Peitepeaga poldid sobivad antud rakendusse kõige paremini, kuna pöörlemisel ei põhjusta süvistatud pead mingit ohtu. Komplekteerimisel tuleks kasutada poltide peade all ja keermetel mäaret, kuna süvistatud poldipead kipuvad tsingitud pinna külge kinni kiiluma. Võllide otstesse on projekteeritud keermetatud avad tõsteasade kinnitamiseks.



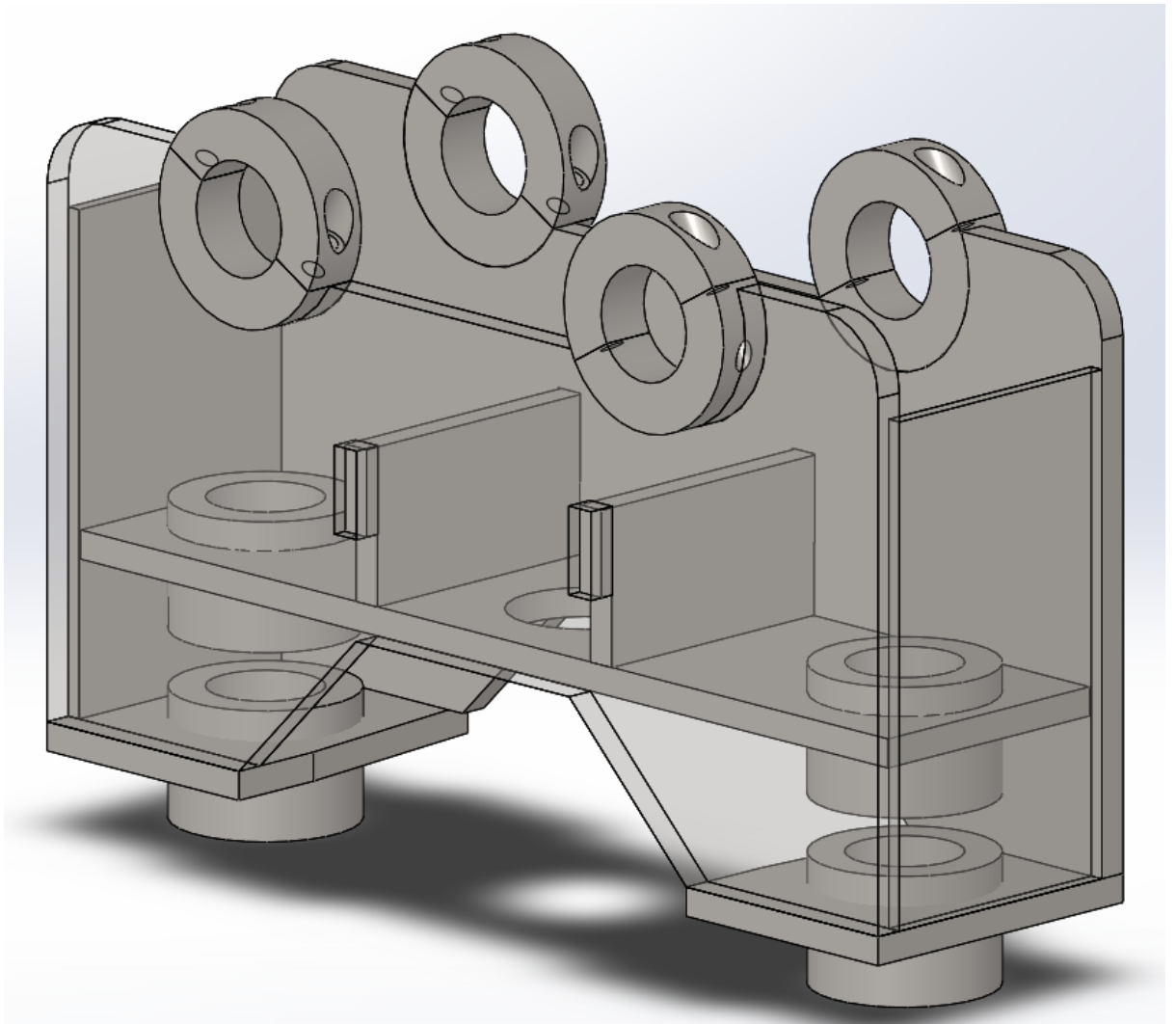
Sele 2.5.3 Kuvatõmmis, läbilõige tugirullist



Sele 2.5.4 Kuvatõmmis, tugirulli koost

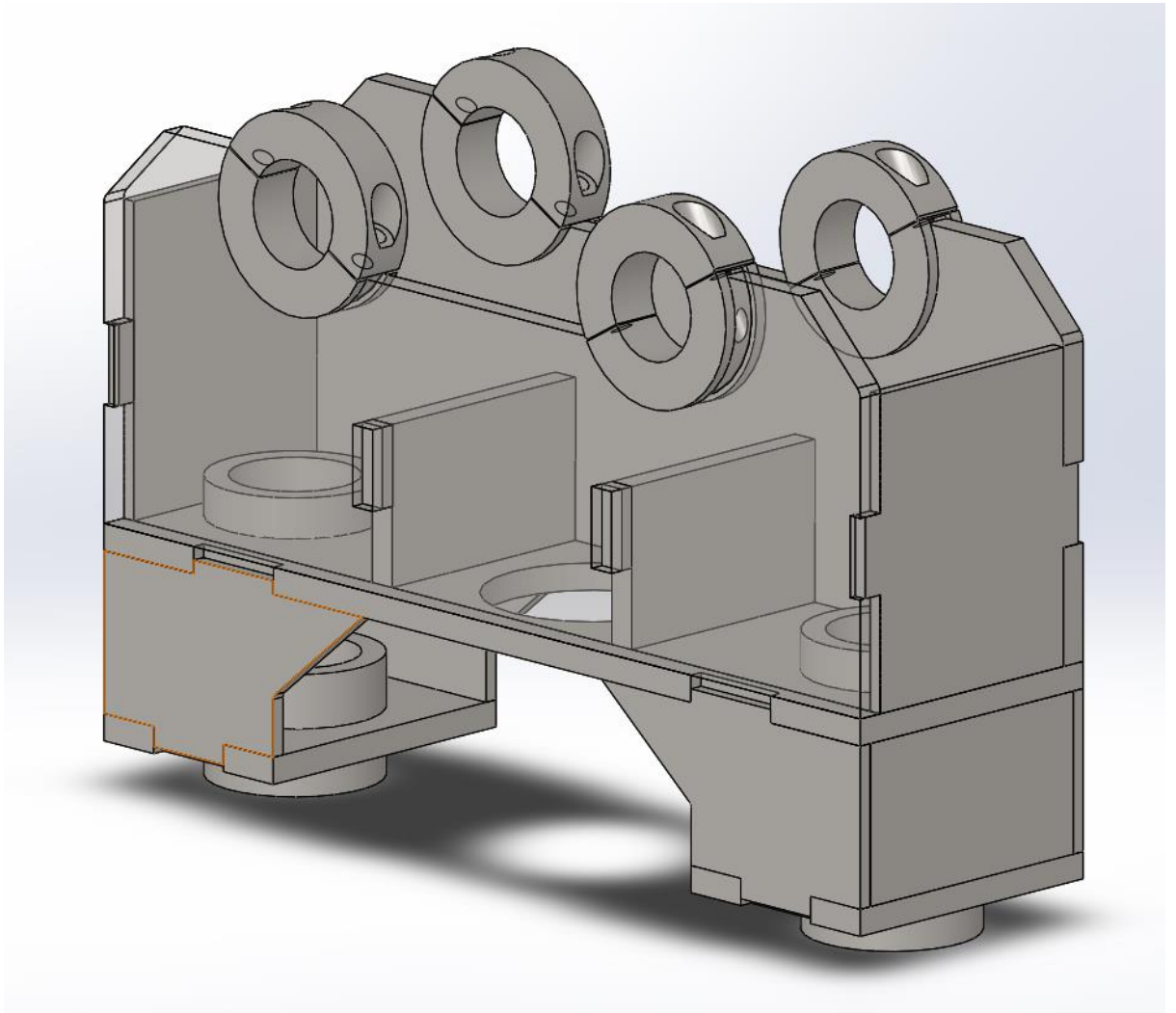
2.6. Ülemise raami projekteerimine

Ülemise raami projekteerimisel tuleb lähtuda peamiselt sellele langeva massi üle kandmisest trapetsspindlile, seadmele vajaliku käigupikkuse saavutamise ning koostu tootmise võimalikkusest. Tootmine omakorda hõlmab kokku keevitatavust ja hilisemat töötlemist. Et saavutada võimalikult kvaliteetseid keevisõmbusi peab olema keevitajal hea ligipääs planeeritavatele õmblustele. Esialgse lahenduse puhul oli kokku keevitamine keeruline. Lisaks kandis kogu koormust rootorilt kruvile üle keevisõmbus, mis hoidis mutripukki toetavat alusplaati. Keevisühenduse tähtsuse vähendamiseks ja lihtsamaks koostamiseks oli otstarbekas eraldada massi kandvad küljeplaadid alumistest juhikutest ning toetada need otse mutrit toetavale alusplaadile. Mis tähendas seda, et keevis on fikseeriv mitte massi kandev.



Sele 2.6.1 Kuvatõmmis, ülemise raami kavand

Täiustatud versiooni koostamise lihtsustamiseks kasutatakse tappühendusi, et vähendada mõõtmise ja kinnitamise vajadust. Raam koosneb kahest poolest, ülemine osa hõlmab võllipesasid, kahte ülemist juhiku pesa ning massi kandvad alusplaati koos külgi siduvate ribidega. Alumise osasse jäävad kaks alumist juhiku pesa koos vajalike kinnitusplaatidega.

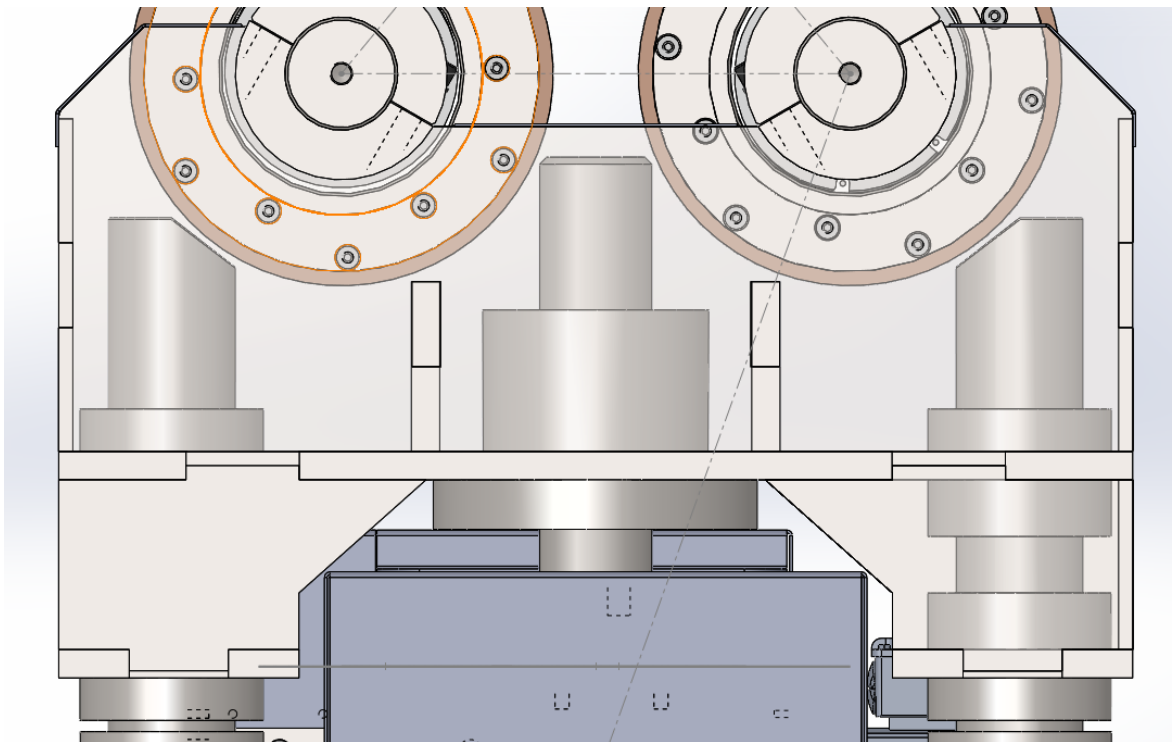


Sele 2.6.2 Kuvatõmmis, ülemise raami lõppversioon

Raamil on kaks silindrilist juhiku ava, mille teljed peavad olema täpselt paralleelsed ning asuma samal kujuteldaval tasandil. Selle saavutamiseks tuleb juhiku avad töödelda peale keevitamist. Sarnane olukord tekib võlli pukkidega, mis koosnevad alumisest keevitatud osast ning ülemisest kinni polditavast osast. Töötlemisel tuleb koost poltidega fikseerida ning avad töötluskeskuses läbi freesida, et tagada rullide paralleelsus. Hiljem on vaja eemaldatava kaane alumisest servast maha freesida umbes 1 mm paksune osa, et poldid võlli kindlalt kinni pigistaksid. Eripärane antud lahenduse puhul on veel võllipukkide asend – keevitatud osad on nurga all, et tagada parem massi ülekanne raami. See aitab vähendada koormust poltidele ja kaanele. Samuti on

võlli pesa välisküljele tehtud väljalõige pesa tsentreerimiseks plaadi suhtes ning koostamise lihtsustamiseks.

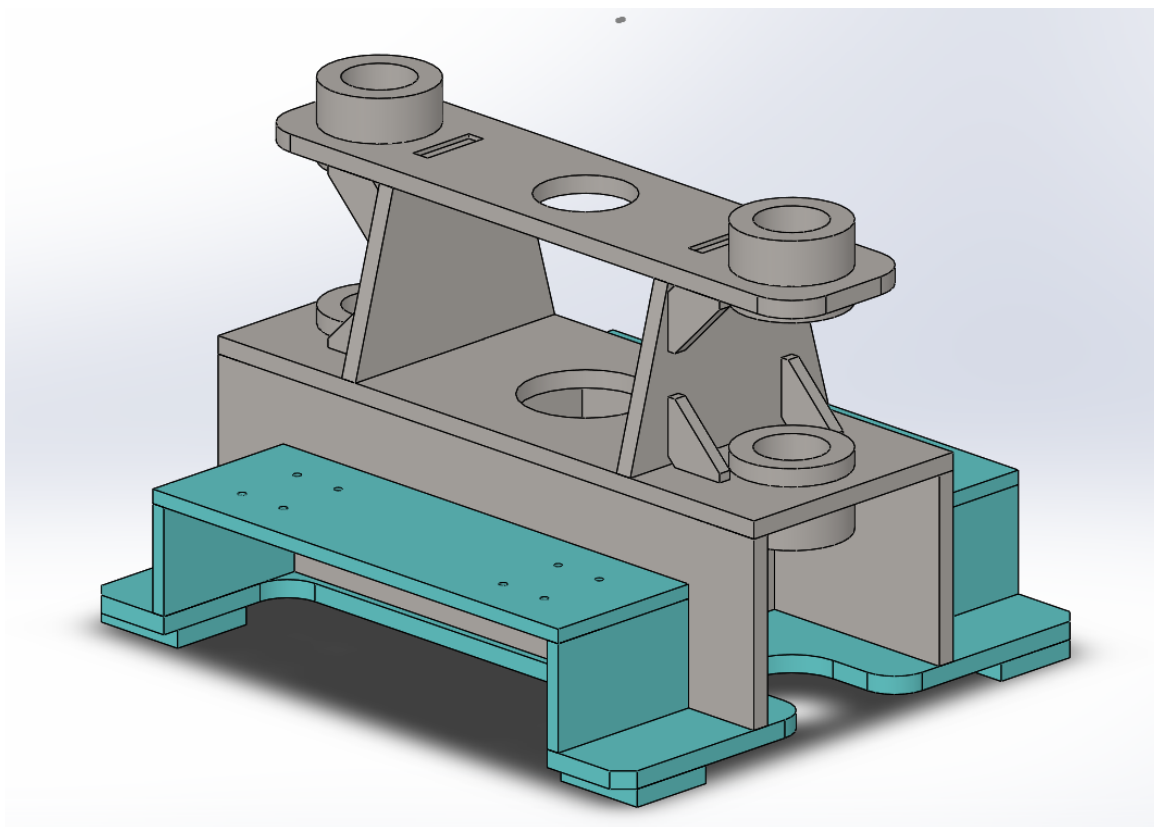
Kuna erinevate läbimõõtudega rootorite tsentrid peaksid jääma ca 1 m kõrgusele maapinnast on kõrguse reguleerimise mahutamine üsna keeruline. Juhiku pukkidele peab jääma piisav vahekaugus, et tagada stabiilsus. Samas tuleb arvestada, et käigu kogupikkus peab jääma 120 mm lähedale. Sellest tulenevalt oli vajalik tekitada juhikule rulli äärde faas, mis välistaks rulli kokkupuute juhikuga. Lahendus ei ole ideaalne, kuid soovitud käigupikkuse saavutamiseks tuli leida kompromiss. Puki ülemises asendis jääb lõikejoone algus puki ülemisest servast 25 mm kaugusele. Ülemist asendit kasutatakse üldjuhul väiksemate toodete valmistamisel (massiga kuni 13 t). Seega ei tohiks lahendus olla ebastabiilne. Liigepindadel kasutatakse sisse pressituna SKF PRM 909590 pronkspukse. [16]



Sele 2.6.3 Kuvatõmmis, ülemise raami koost koos rullide ning mutripukiga (juhiku faas rulli ääres)

2.7. Alusraami projekteerimine

Alusraami peamiseks eesmärgiks on stabiilselt koormuse kandmine maapinnale, olles seal juures vajadusel lihtsalt ümber positsioneeritav. Samuti peab alusraami mahutama reduktormootori ja selle ülekande trapetsspindlile nii, et need komponendid ei jääks ette rootorile. Sarnaselt ülemisele osale tuleb tähelepanu pöörata kõrguse reguleerimisele. Esialgses lahenduses projekteeritud liugepinnad alusraami koostus muutsid selle liiga kõrgeks. (Sele 2.7.1) Kõrguse reguleerimise ülekandes pöörati mutrit ning kasutusel oli tugirull laager.



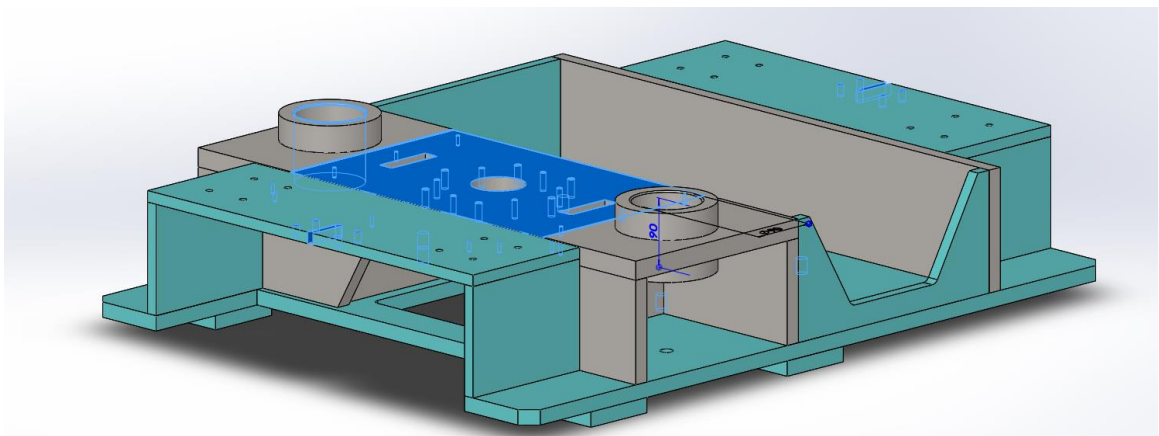
Sele 2.7.1 Kuvatõmmis, esialgne alusraami kavand

Motoriseeritud lahenduse puhul ei ole selline lahendus sobiv, kuna ülekandest tekivad spindlile külgjõud. Selle vastu võtmiseks tuleb kasutada kas koonusrull- või radiaaltugikuullaagreid, mis suudavad koormust vastu võtta mõlemas suunas. Trapetsspindli mutri läbimõõt on 120 mm ja sellise sisemõõdu juures lähevad laagrite gabariitmõõtmed väga suureks ning ülekande mahutamine muutub keeruliseks. Samuti oleks spindli fikseerimine keeruline, see tuleks tõenäoliselt keevitada ülemise raami külge, et vastu võtta tõstmiseks vaja minev moment. Ülekanne tuleks kõrgemale, mis omakorda raskendaks toote paigutamist pukkidele, kuna poolused või suuremad võlli raadiused kontaktpinnast seespool võivad põrkuda kas ülekandemehhanismi või mootorreduktoriga. Samuti liigub puki raskuskese kõrgemale, mis teeb selle transportimisel ebastabiilsemaks. Seega tuli üle minna lahendusele, kus juhikud on

alusraami külge fikseeritud ning liikumine käib ülemises osas. Kuna juhikud on fikseeritud alusraami külge muutub ka puki koostamine lihtsamaks, sest siis puudub vajadus ülemise osa kõrgele tõstmiseks ning juhikute rihtimiseks alusraamil olevate pesadega.

Alusraam koosneb suurest põhjaplaadist ning selle peal asuvast neljast sektsioonist. Äärmised sektsioonid on rataste kinnitamiseks. Kasutusel on Blicke BHF-ALEV 125K-1 vedrustatud rattad, mille nimikoormus on 250 kg. [17] Vedrustatud rataste abil seisab pukk ilma koormuseta ratastel ning rootori paigutamisel pukile, surutakse rattad ülemisse asendisse ning pukk toetub terasest jalaplaatidele. Alternatiivina oli valikus terasest rullikute ning rööbaste kasutamine, kuid selle lahenduse kasutamiseks oleks pidanud klient tegema liiga suuri investeeringuid põranda ümber töötlemiseks. Samuti oleks muutunud keerukamaks pukk ise, kuna oleks vaja oleks olnud rohkem rullikuid ning nende fikseerimiseks piduri süsteemi.

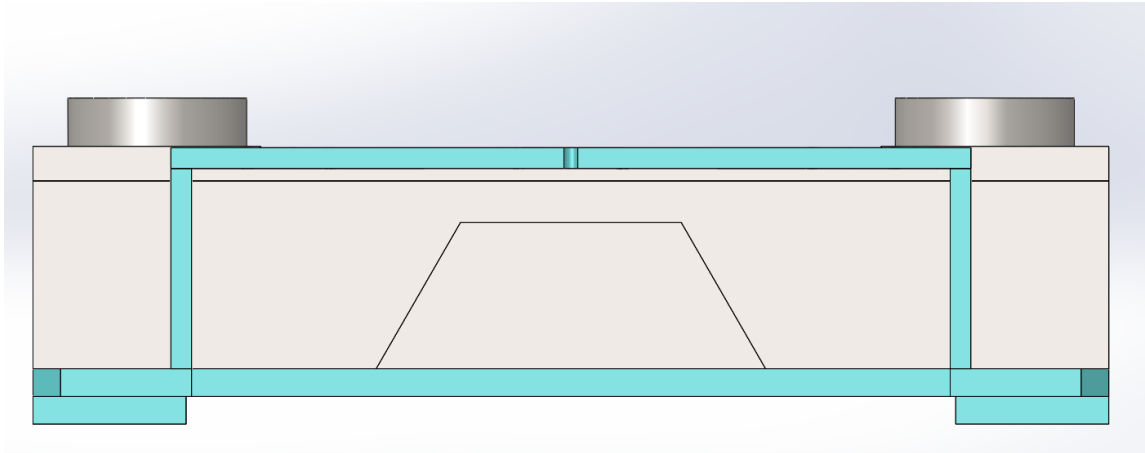
Järgnevad sisemised sektsioonid on vastavalt puki keskne massi vastu võttev osa ning nn mootori kast. Keskne koost hõlmab endas külgplaate, ristplaate ja ülemist plaati. Jällegi on silmas peetud spindlilt massi vastu võtmist ning põrandale juhtimist. Külgplaatidesse on tehtud väljalõiked spindlit toetavate koonusurull-laagrite eelpingestamiseks. Lisaks võimaldavad need avad ristplaatide keevitamist põhjaplaadi ja ülemise plaadi külge. Ülemise plaadi lihtsamaks positioneerimiseks on kasutusel tappliited. Reduktormootorit mahutav osa koosneb sisuliselt kahest külgplaadist mis aitavad hoida põhjaplaati sirgena ning seovad rataste osa ülejäänud raamiga. Mootori poolsele külgplaadile on tehtud väljalõige mootori koostu lihtsamaks paigaldamiseks alusraami sisse.



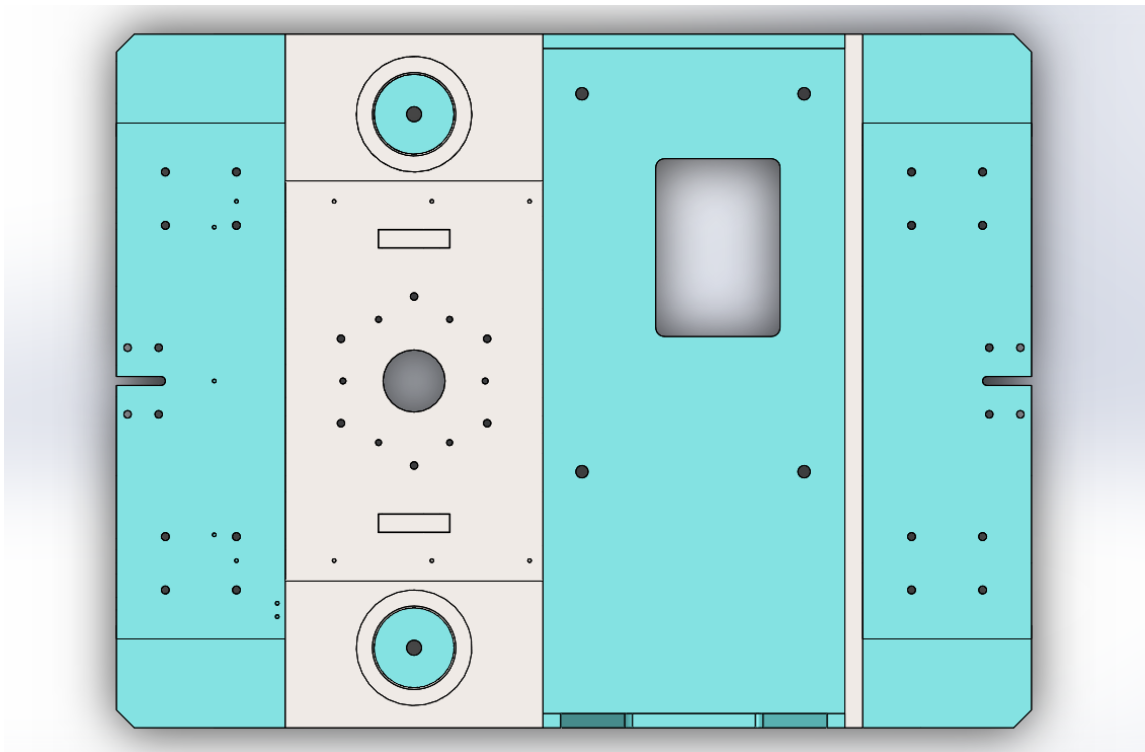
Sele 2.7.2 Kuvatõmmis, alusraami koost (töödeldud pinnad sinisega esile tõstetud)

Töötlust vajavad antud koostul juhikute pesad, millel on sarnased tolerantsid ülemisele raamile. Samuti tuleks töödelda ülemise plaadi tasapind, et see oleks paralleelne alusraami jalgadega. Kõige otstarbekam on antud juhul freesida sirge tasapind, mis ulatub üle sisemiste toetusplaatide. (Sele 2.7.2) See aitab vältida pingekontsentraatorite teket laagripukilt tuleva

koormuse toimel. Freesimist vajavad antud koostul veel põrandani ulatuvate juhikute sooned. Need peavad asuma raami tsentris ning olema paralleelsed rullide pöörlemisteljega. Samuti tuleb puurida juhikute kinnitamiseks avad. Lisaks on otstarbekas samal ajal puurida ja keermestada avad laagripukkide kinnitamiseks ning katteplekkide paigutamiseks. Nende avade töötlemine töötlemiskeskuses ei lisa olulist kulu kuid tagab detailidele parema omavahelise sobivuse.

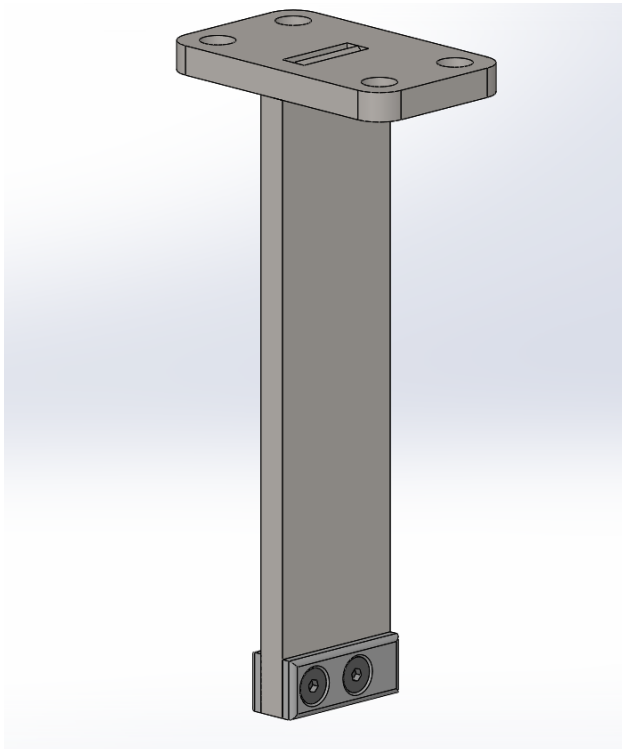


Sele 2.7.3 Kuvatõmmis, alusraami koost eestvaates



Sele 2.7.4 Kuvatõmmis, alusraami koost pealtvaates

Alusraami külge kinnituv juhikukoost on moodustatud kahest terasplaadist, mis asetsevad üksteise suhtes risti. Pikem plaat ulatub seadme ratastest 10 mm madalamale pörandi sisse ning selle otsa on kinnitatud polükarbonaadist liugurid. Ülemine kinnitusplaat on keevitatud juhiku plaadi külge ja kinnitub alusraamile nelja poldiga. Juhikute paigutamisega puki mõlemasse otsa tagatakse kogu rakise joondumine. Selline juhikute paigaldamine vajab kliendilt olemasoleva soone 10 mm sügavamaks tegemist. Kuid polditav lahendus tähendab seda, et juhik on puki küljest kergesti eemaldatav, lihtsustades seega puki transportimist väljaspoole tööala.



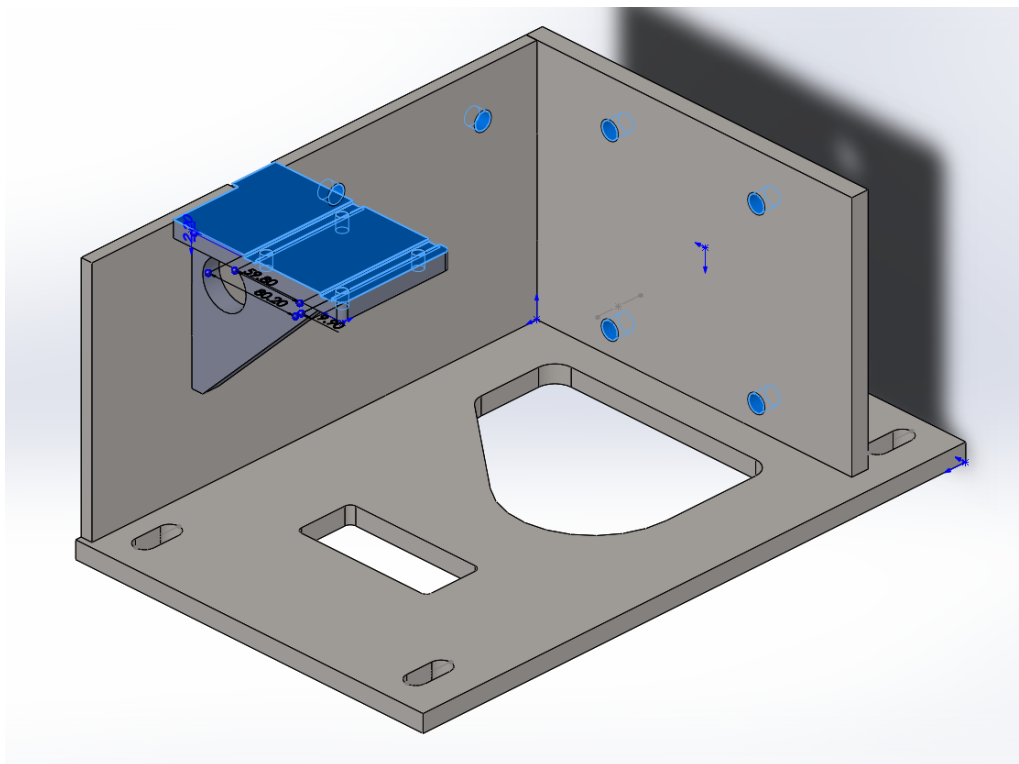
Sele 2.7.5 Kuvatõmmis, rakise juhik

2.8. Mootori raami projekteerimine

Mootori raami vajalikkus tuleneb mootorredukti kinnitusavadest, mis asuvad reduktori külgedel. Olemasolevate avadega kinnitamine raami külge oleks keeruline, kuna alumised avad jääksid mootorreduktorit otse alusraami kinnitades peidetuks. Keerukust lisab reduktori asendi seadistamise vajadus, mis peaks antud süsteemil olema parima hambuvuse saavutamiseks. Seadme disaini esialgses faasis täitis see seadistamise osa ka keti pingutamise eesmärgi.

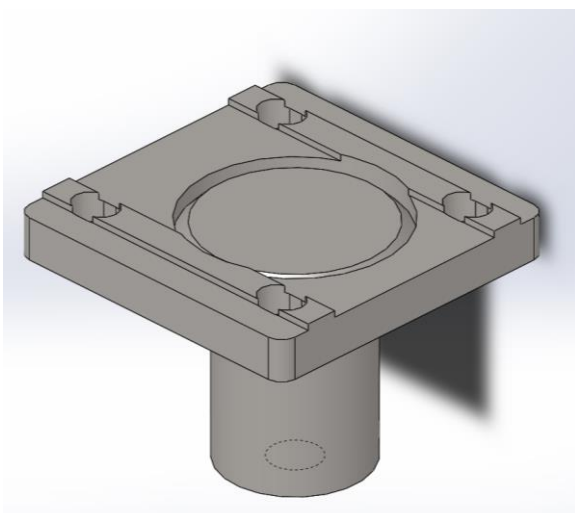
Mootori alusraam koosneb põhjaplaadist ning kahest püstisest plaadist, mille külge on võimalik reduktormootor kinnitada. Põhjaplaadile on tehtud väljalõiked reduktori ja mootori ühendusflantsile ning samuti reduktori korpuses olevate väljundvõlli laagripukkide juurde. Väljalõigete eesmärk on viia reduktor võimalikult madalale jättes seega rohkem ruumi hammasülekandele. Väljundvõlliga kohakuti asuva väljalõike kaudu kinnitatakse alumised kinnituspoldid.

Alusraamile on lisatud vahehammasratta puki kinnitamise koost, mille abil saab seadistada selle hammaspaari hambuvust. Koost hõlmab endas vahehammasratta puki alusplaati ning diagonaali küljeplaadi vahel. Vahehammasratta alusplaati tuleb pealtpoolt töödelda, et tagada reduktormootori väljundvõlli paralleelsus vahehammasratta võlliga. See töötus peaks aset leidma keevitatud raamiga ja hõlmama vahehammasratta koostu juhiku sooni ning mootorredukti kinnitusavasid.

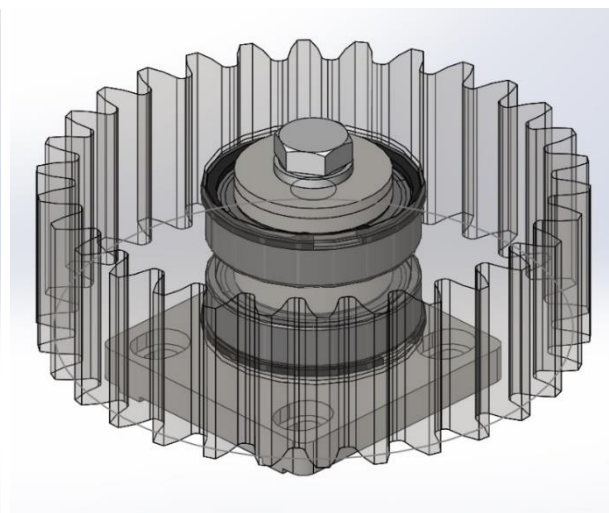


Sele 2.8.1 Kuvatõmmis, mootori raam (töödeldud osad sinisega esile tõstetud)

Vahehammasratas kinnitatakse eraldi koostu külge läbi kahe 6009-2Z laagri ja fikseeritakse DIN 6912 M10 madala peaga poltidega. [18] Vahehammasratta toe koost koosneb kahest detailist: völli ja alusplaadist. (Sele 2.8.2) Alusplaat on freesitud detail, kus on positioneerimiseks sooned ja pesa völli täpseks paigutamiseks. Völl on treitud ja pesasse paigutataval osal on faas, mille abil keevitatakse see pesa külge. Lisaks allpool olevale keevitusele on planeeritud nurkõmblus ülemisele poolele.



Sele 2.8.2 Kuvatõmmis, vahehammasratta keeviskoost



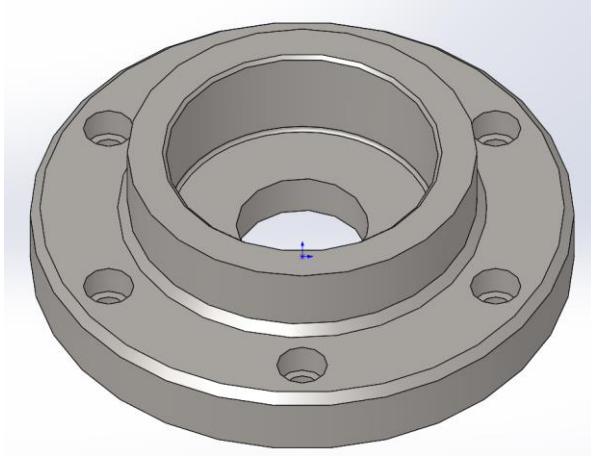
Sele 2.8.3 Kuvatõmmis, vahehammasratta koost (hammasratas muudetud läbipaistvaks)

2.9. Laagripukid ja mutripukk

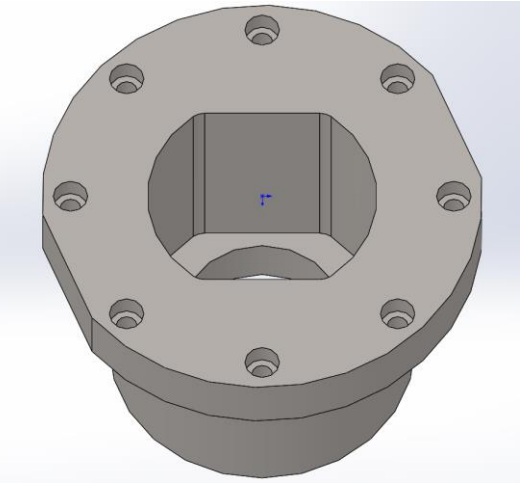
Laagripukid ja mutripukk on rootori toetuspukile väga olulised osad – läbi nende jaotatakse koormus nii alumisele kui ülemisele raamile. Samas on polditavate laagripukkide kasutamine majanduslikult otstarbekam, kuna suuri raamikooste ei pea nii täpselt töötlema. Raskust kandev ülemine laagripukk ja mutripukk on oma mõõtmetelt üsna suured, et kanda koormus võimalikult laiale toetuspinnaile. Samas on ka materjali paksused üsna suured, et vähendada koormuse all deformatsioone.

Laagripukid on oma geomeetria poolest väga sarnased, mõlemasse paigutatakse koonusrull laager ja mõlemad kinnituvad alusraami külge kuue poldiga. Ülemine laagripesa ja ka valitud laager SKF 32313 on oluliselt suuremad. [19] Lisaks on suurem ka poltide mõõt - M16 ning keskringi diameeter - 230 mm. Lisas 4 on ära toodud ülemise laagripuki joonis. Völli lukustab SKF KM 13 mutter koos lukustusseibiga. [20]

Mutripukk on veidi keerulisema ehitusega kuna kiilusoone freesimine umbava sisse on raske. Seetõttu kannab momenti mutripukile üle ümarmutritele tehtud väljalõige, mis on modelleeritud süvendina mutripukile. Mutripukk kinnitatakse ülemise raami külge 8 M10 poldiga.



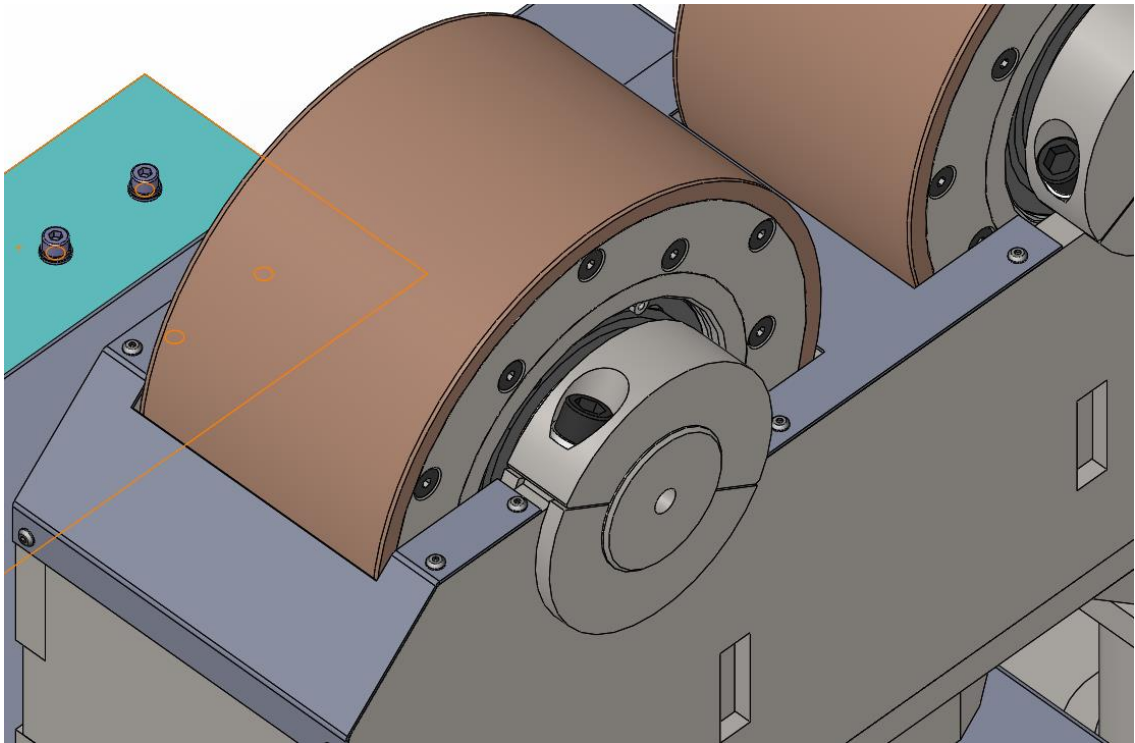
Sele 2.9.1 Kuvatõmmis, ülemine laagripukk



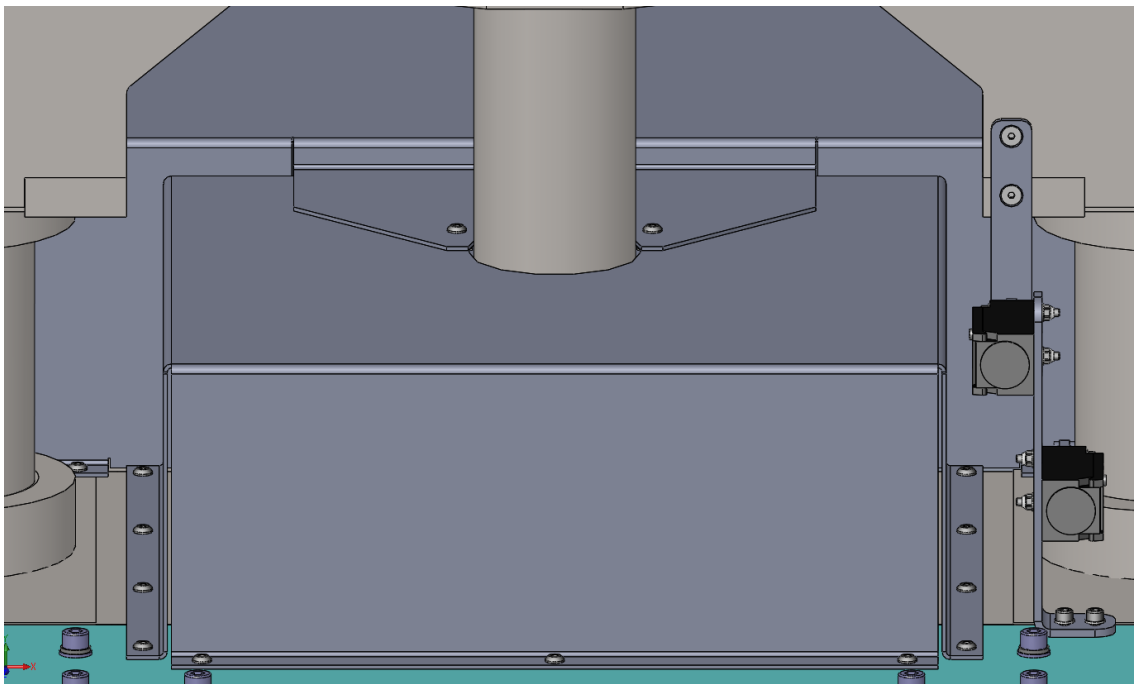
Sele 2.9.2 Kuvatõmmis, mutripukk

2.10. Katteplekkide projekteerimine, lõpulülitid

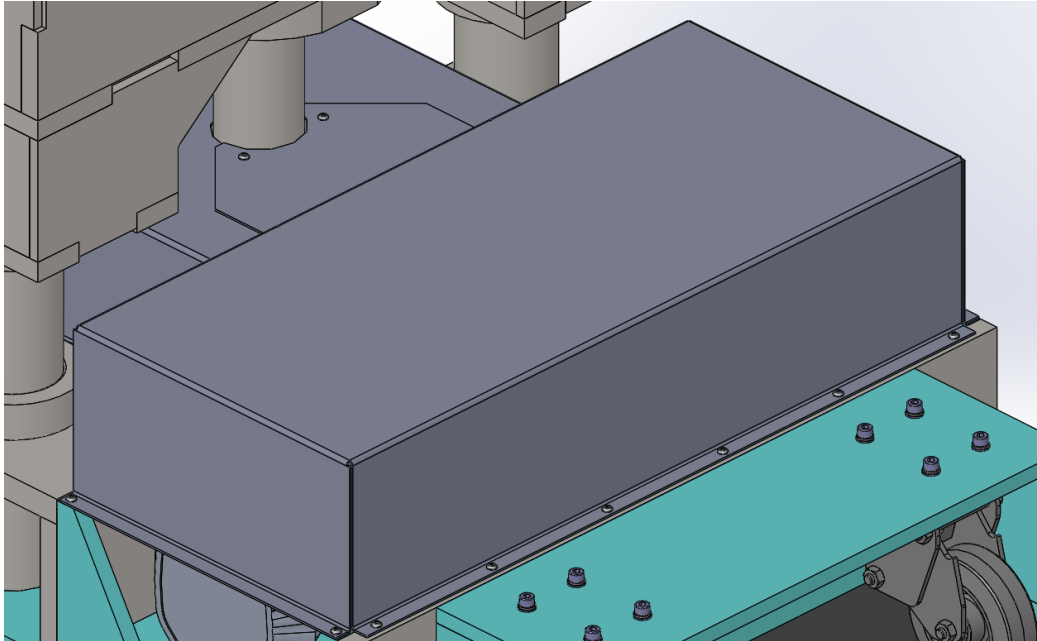
Masina liikuvate osade katmine on oluline osa selle ohutusest. Eriti ohtlikud on just pöörlevad mehhanismid ja hammas- ning rihmarattad, millesse takerdumise korral võib pöörlev ülekanne operaatori käe ülekande vahele tõmmata. Selle vältimiseks tuleb katta kõik ohtu põhjustavad osad nii, et operaatoril ei oleks võimalik ennast isegi valede töövõtete kasutamisel ohtu seada. Samas tuleb jälgida, et planeeritavad kaitsemeetmed ei mõjuta rakise funktsionaalsust ning ei tekita uusi ohte seadme kasutamisel. Katteplekid on projekteeritud ka rullide äärtesse ning vahele nii, et operaatori käsi ei mahuks rulli ja pleki vahele. Sarnaselt on lahendatud ka trapetsspindli ümbrus, kus pleki serva ja spindli vahele jääb 3 mm. Selline vahe peaks olema piisav, et vältida detailide kokkupuuteid, vähendades samal ajal liikuvate osade vahele tõmbamise ohtu.



Sele 2.10.1 Kuvatõmmis, rullide ümbruse katteplekid

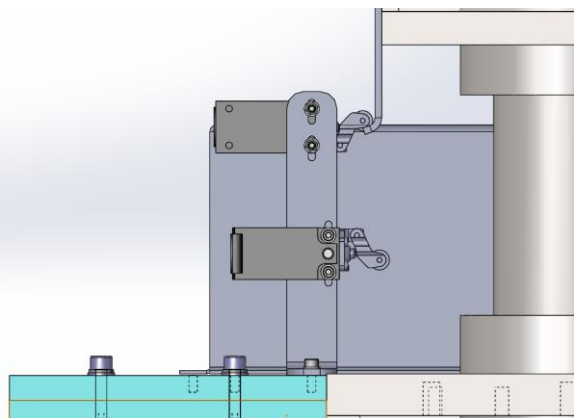


Sele 2.10.2 Kuvatõmmis, veetava hammasratta katteplekk

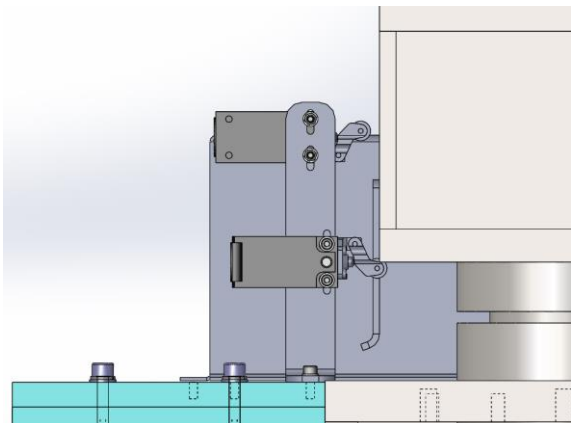


Sele 2.10.3 Kuvatõmmis, reduktormootori katteplekk

Osa ohutusest on ka rakise töökõrguse reguleerimine lubatud piirides. Ülemist piiri ületades võib ülemine raam halvimal juhul ennast mutri otsast maha keerata ning jääda üsna ebastabiilselt toetuma ainult alumistele juhiku pesadele. Alumist piiri ületades sõidab ülemine raam alumisele sisse ning puruneda võivad ülekanded ning reduktor. Seega on ülimalt oluline, et toetuspukk oleks varustatud lõpulülititega, mis peataksid reduktormootori lõpuasendisse jõudmise korral. Lõpulülititena on kasutusel Omron D4N-4162, mida on eelnevalt kasutatud mitmetes projektides ning on ülimalt robustsed ning töökindlad. [21] Lõpulülitite kinnitamiseks tuli projekteerida eraldi kronstein, mille küljes on lüliti kõrgus muudetav. See on vajalik, et seada paika reaalne piir, sest mudel ja valminud koost on sageli oma mõõtmetelt veidi erinevad. Ülemise piirasendi tuvastamiseks oli vajalik valmistada eraldi detail, mis ülemise raami tõstmisel piirasendile aktiveerib lõpulüliti.



Sele 2.10.1 Kuvatõmmis, lõpulüliti ülemine asend



Sele 2.10.2 Kuvatõmmis, lõpulüliti alumine asend

2.11. Mootoripuki projekteerimine

Mootoripukk kujutab endas terasplaatidest keevitatud karp, millele kinnitatakse mootorreduktor. Oluline on leida optimaalne kõrgus, mis tagaks mootorreduktori väljundvõlli ja rootori võlli telgede vahele võimalikult väikse kõrguste erinevuse. See omakorda tagab sujuvama jõuülekanne läbi kardaani ning kardaani laagrite pikema eluea. Optimaalse kõrgise leidmiseks esimene aspekt on kliendi spetsifitseeritud töökõrgus, milleks on 900 – 1000 mm rootori tsentri ning põranda vahel. Kuna tugipukkide kõrguse reguleerimise süsteemi mahutamine tõstis töökõrguse 1030 mm peale on see ka reduktormootori väljundvõlli optimaalne kõrgus. Suurima ja väikseima rootori paigutamisel tugipukil vastavalt madalaimasse ning kõrgeimasse asendisse teeb võllide tsentrite vahekauguseks vähem kui 4 mm. Projekteerimisel tuli silmas pidada mootorreduktori ligi 800 kg massi ning genereeritava momendiga. Mootoripukk kinnitatakse betooniankrutega jäigalt põrandale, mis välistab puki liikumise rootori pööramise ajal. Lisafunktsioonina saab mootoripuki koostu sisse mahutada kogu rakise juhtelektroonika.

Reduktormootor valiti sarnaselt tugipukile SEW Eurodrive konfiguratsioonist, kuhu sisestati momendiks 20 kNm. [12] Sisestatud väärtus jätab reduktormootorile varuteguri 1,2. Valikus oli reduktormootor R167R97DRN100LS4BE5, mille arendatav moment on 19,1 kNm ning väljundvõlli nominaal pöörlemiskiirus 1 min^{-1} . Mootori võimsus on seejuures 2,2 kW ning ülekandearv 1438. Reduktormootor on varustatud ka elektromehaanilise piduriga, mis on rakendatud mootori otsa ning mille pidurdusmoment on 55 Nm. See moment ületab oluliselt mootori arendatava momendi ning läbi reduktori on pidurdusmoment ligi 80 kNm. Mis aga reduktori 1,05 kordse varuteguri juures tähendab maksimaalset lubatavat pidurdusmoment 20 kNm. (Lisa 5)

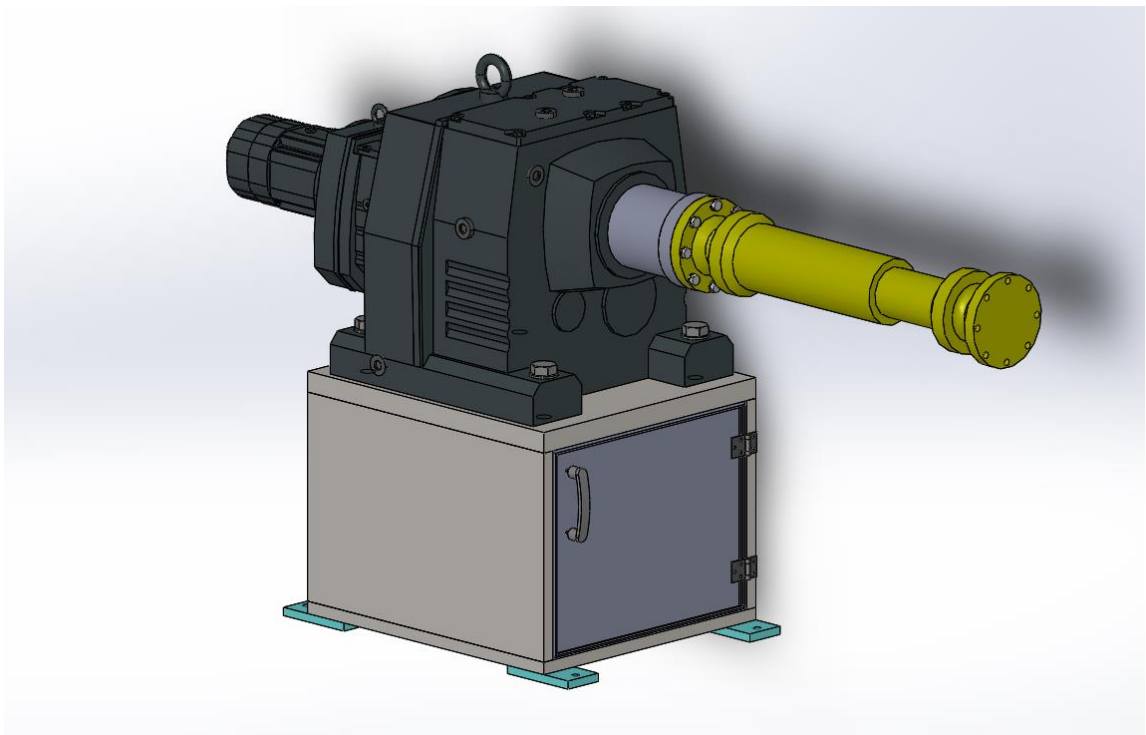
Kardaani projekteerimine ja valmistamine ei ole majanduslikult otstarbekas ning sobilikum variant on see tellida. Tööstusseadmetele toodavad Euroopas kardaane mitmed ettevõtted. Antud projekti raames uuriti põhjalikumalt kahe tootja: Voith Turbo GmbH & Co. KG ning WiCHMANN GmbH toodangut. [22] [23] Kardaani puhul on olulisteks parameetriteks esiteks selle momenditaluvus mõlemas pöördsuunas, reguleerimisvõimalus kliendi spetsifitseeritud ulatuses ja võimalikult väikesed lõtkud.

Voith R seeria 208.8 kardaani pakub pööratava väändmomendi piires 20 kNm. [22] Standard pikkuse reguleeritavus on 120 mm ja minimaalne kogupikkus seal juures on 815 mm. Pikkuse reguleerimisel kasutatakse *Involute* profiili ja võimalik on tellida ka pikema reguleerimisvõimalusega kardaane. [24] Ühendamisvõimalused on erinevad äärikud: polditav

äärrik, kiiluga polditav äärrik ja Hirth äärrik. [25] Samuti on võimalik kõiki eri liike äärrikuid tellida veel erineva pikkuse ja kinnitamiskonfiguratsiooniga.

Wichmann XL seeria 22580 kardaani pööratava väändemomendi piir on 23 kNm. [23] Pikkuse reguleeritavus on 110 mm. Pikkuse reguleerimine on võimalik läbi *Involute* või SAE profiili. [24] Äärrikutest on antud mudelile võimalik tellida polditavat äärrikut ilma või koos kiilusoonega. Lisaks on võimalik juurde tellida ülemine mootorredukti völli.

Kumbki tootja ei spetsifitseerinud andmelehtedes kardaanis olevaid lõtkusid, samuti polnud kätte saadavaid 3d (kolmemõõtmelisi) mudeleid. Seega oli raskendatud kardaani reaalse sisse projekteerimine rakise mudelisse. Mudelis kujutatud kardaani on modeleeritud ühe detailina ning väljendab pikkuses Wichmann 22580 kardaani mõõtmeid. Lõpliku kardaani valik tehakse hinna ja kvaliteedi suhte alusel. Lõputöö kirjutamise hetkel ei olnud autor mõlemalt tootjalt tagasisidet saanud.



Sele 2.11.1 Kuvatõmmis, mootoripukk koos reduktormootori ja kardaani kuvandiga

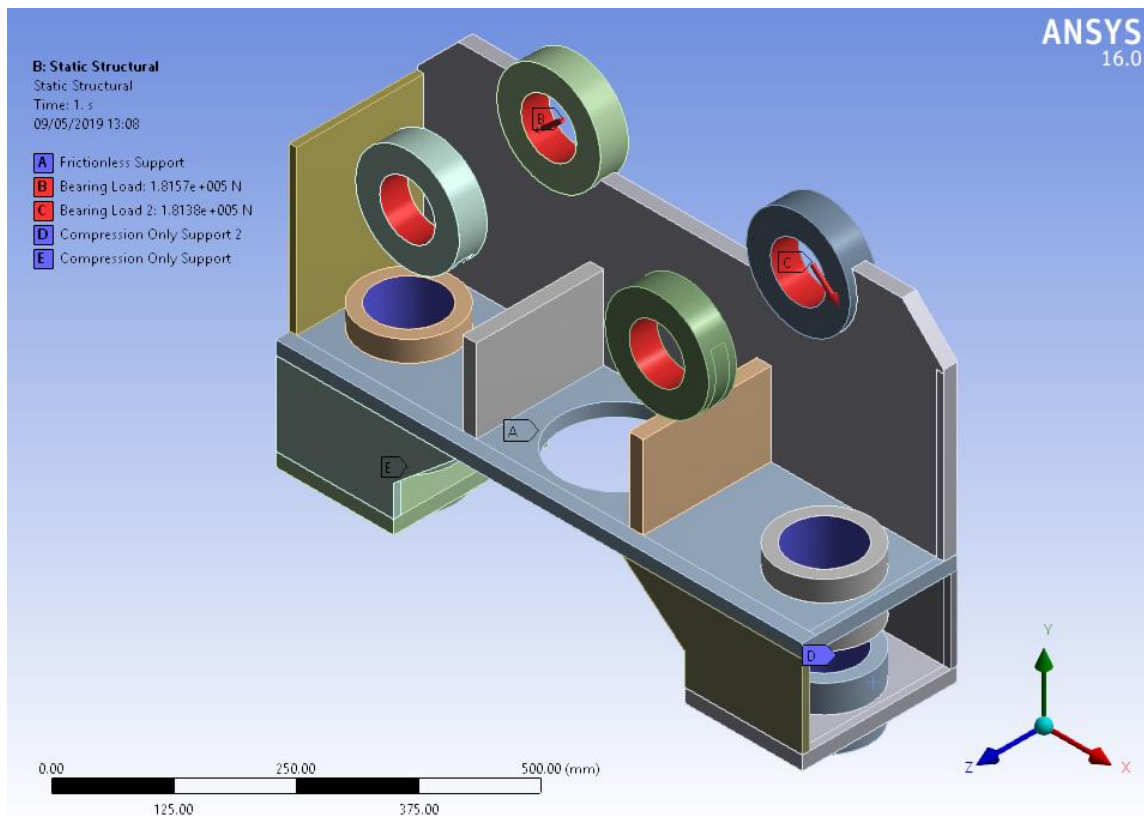
3. MUDELI KONTROLL JA OPTIMEERIMINE

Mudeli kontrollimise eesmärgiks on leida võimalikud nõrgad kohad planeeritavas seadmes ja nendele tugevuse lisamine. Simulatsioonis kasutatakse ANSYS 16.0 tarkvara, mille abil on võimalik läbi viia lõplike elementide meetodil (LEM) tugevusarvutusi. LEM arvutused on arvutile väga nõudlikud, siis tuleb kasutatavaid mudeleid lihtsustada. Loodud simulatsiooni mudelil vähendatakse detailsust läbi detailide detailsuse vähendamise ning koostude liitmisega üheks detailiks. Oluline on vähendada kõikvõimalike kontaktide osakaalu simulatsioonimudelis, seega ei tähistata eraldi keevisliiteid. Korrektne keevitamine liidab detailid ühtseks tervikuks, samuti õigete keevitusprotseduuride ning materjalide kasutamisel on liide tugevam kui keevitatav materjal.

3.1. Ülemine raami koost

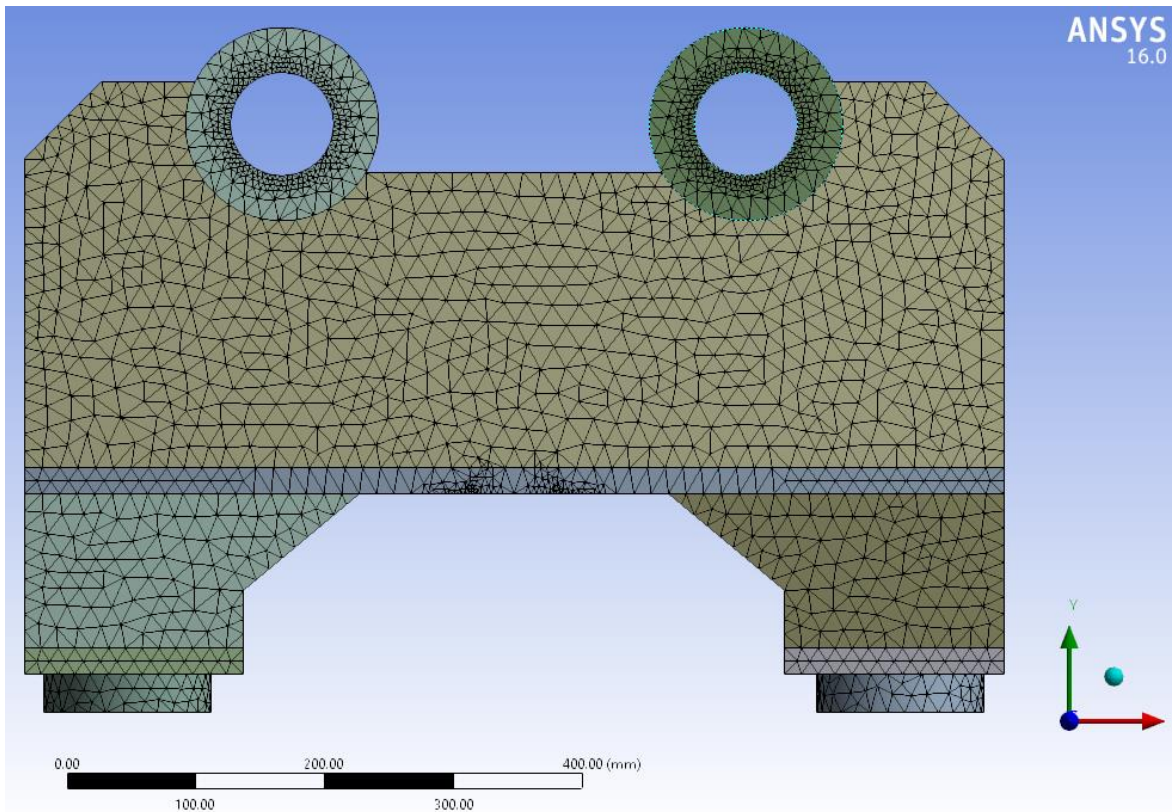
Ülemise raami LEM simulatsiooni teostamiseks oli esmalt vajalik mudeli lihtsustamine. Ära tuli kaotada keeviskoostu koostamiseks modelleeritud tapid. Detailidelt tuli eemaldada väiksed raadiused ning faasid. Samuti tuli lihtsustada võlli pukke – simulatsioonis kasutatav pukk on ühes tükis. Poltliite kaotamine võllipukkidelt lihtsustab oluliselt simulatsiooni defineerimist ning võrgu moodustamist. Kuna alumised pinnad on koostu paigutatud nurga all ei mõju poldile löikejõude ning seega töötab polt tänu eelpingutusele vaid tõmbele, mille väärtused on leitavad tabelitest. [26] Lisaks on eemaldatud paigaldamise lihtsustamiseks laagripesasse tehtud väljalõige, mis tsentriseerib puki raamile.

Saadud mudeli viimisel simulatsioonitarkvarasse tuli lisada see materjalina, üle toodi ka koordinaatsüsteemid. Seejärel tuli liita üle toodud mudeli detailid ühtseks tervikuks, kasutades *form new part* funktsiooni. Simulatsiooni läbi viimiseks tuli tekitada tugimutri puki pind, selleks kasutati *face split* funktsiooni. Saadud pinda saab lihtsustamise eesmärgil kasutada raskust kandva toena. Külgmistele juhiku pindadele rakendati ainult survele töötavad toed. Jõud rakendati võllipesadele eraldi, kasutades laagri koormuse funktsiooni. (Sele 3.1.1) Selle koormuse funktsiooni kasutamine jaotab koormuse jõu normaali suhtes koefitsiendiga 1 ning väheneb 60 kraadise nurga all 0,5 -ni. Risti jõu normaaliga ning sealt edasi tõmbele enam jõudu ei rakendata. Selle koormuse viisik kasutamine loob üsna reaalse koormusolukorra.

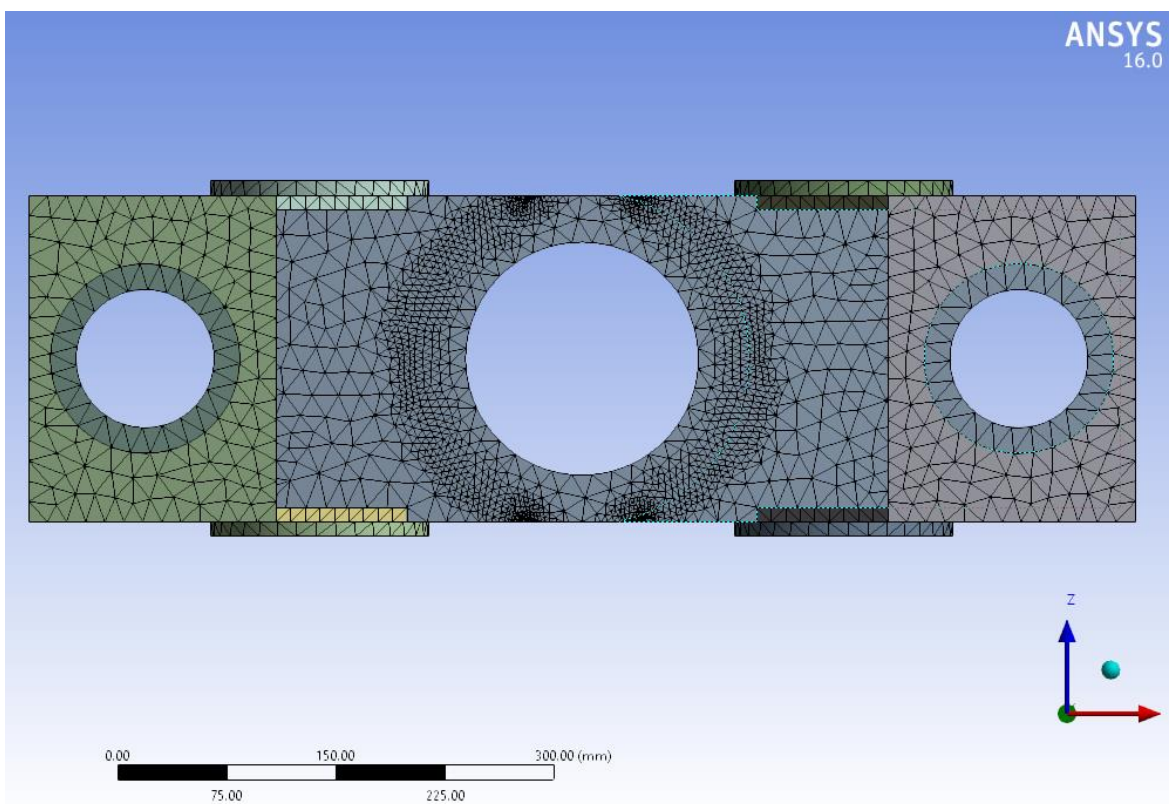


Sele 3.1.1 Kuvatõmmis, ülemisele raamile rakendatud jõud ning toed (jõud tähistatud punasega, toed sinisega)

Võrgu (*mesh*) moodustamisel kasutati standard lahendusi, täpsuse tõstmiseks suurendati *relevance center fine* peale, *smoothing medium*, *transition slow*, *span angle center fine*. Saadud võrk oli plaatide keskelt piisava täpsusega, kuid mutri- ning võllipesa kontaktpindadel tuli seda täiustada. Selleks kasutati *refinement* funktsiooni, mutripuki välimise kontaktserva puhul kahekordset ning võllipesa pindadel ühekordset täiustust. (Sele 3.1.2, Sele 3.1.3) Lõplik võrk koosneb 130024 elemendist ning 206381 *node*-ist.

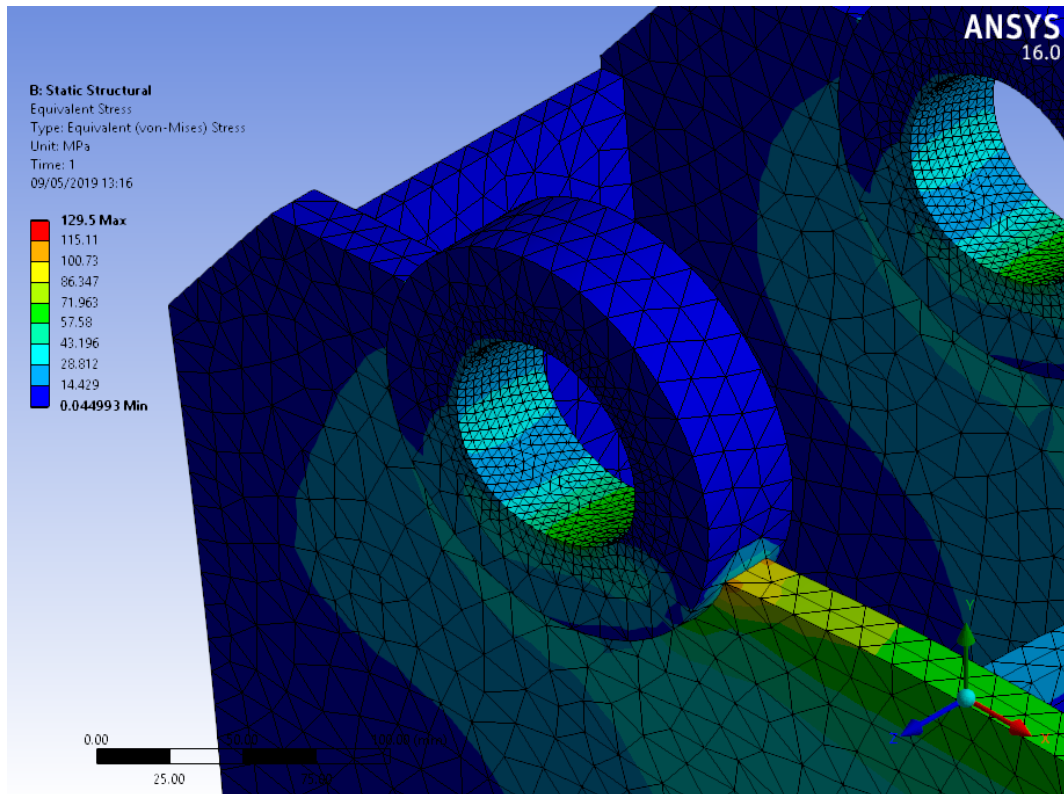


Sele 3.1.2 Kuvatõmmis, ülemise raami võrk eestvaates

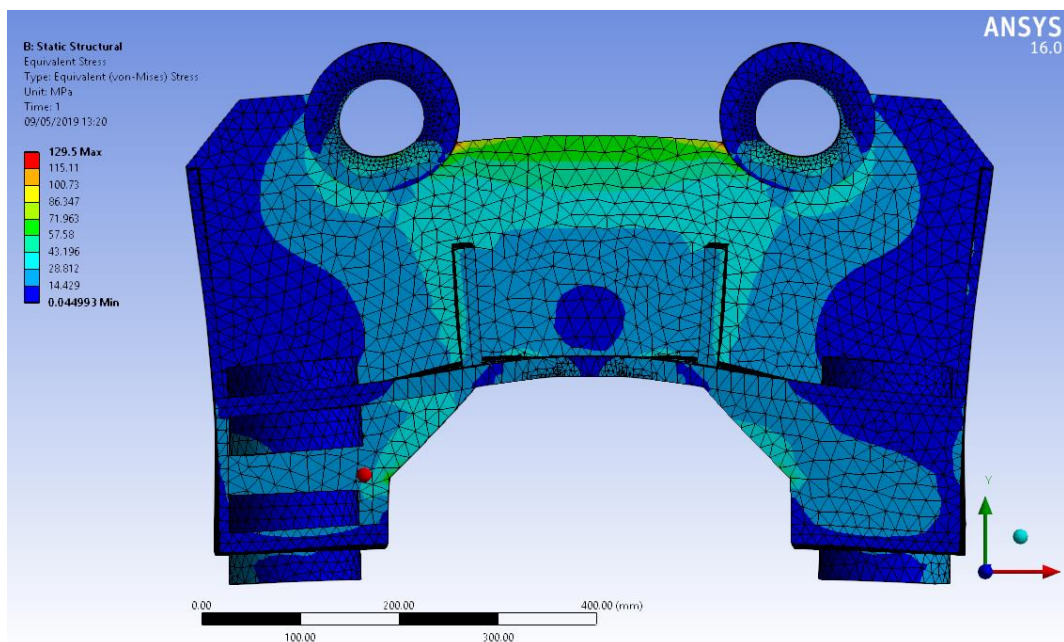


Sele 3.1.3 Kuvatõmmis, ülemise raami koost altvaates (mutripuki ümbrus tihedama võrguga)

Simulatsioonist selgub, et koost on piisava tugevusega – maksimaalne ekvivalentpinge on 130 MPa. (Sele 3.1.4) See pinge tekib völlipesa siseserval, kus reaalsel koostul paikneb keevis ning pingekontsentraatorit ei teki. Suurimad pinged tekivad kahe rulli vahelisele alale, mida rulldele toetuv rootor üksteisest eemale tõukab. Ekvivalentpinged külgsplaadis jäävad alla 80 MPa, mutripuki ümbruse pinged on 50 MPa lähedal ning ei vaja lisatugevdust.



Sele 3.1.4 Kuvatõmmis, ekvivalentpinged völlipesade ümbruses

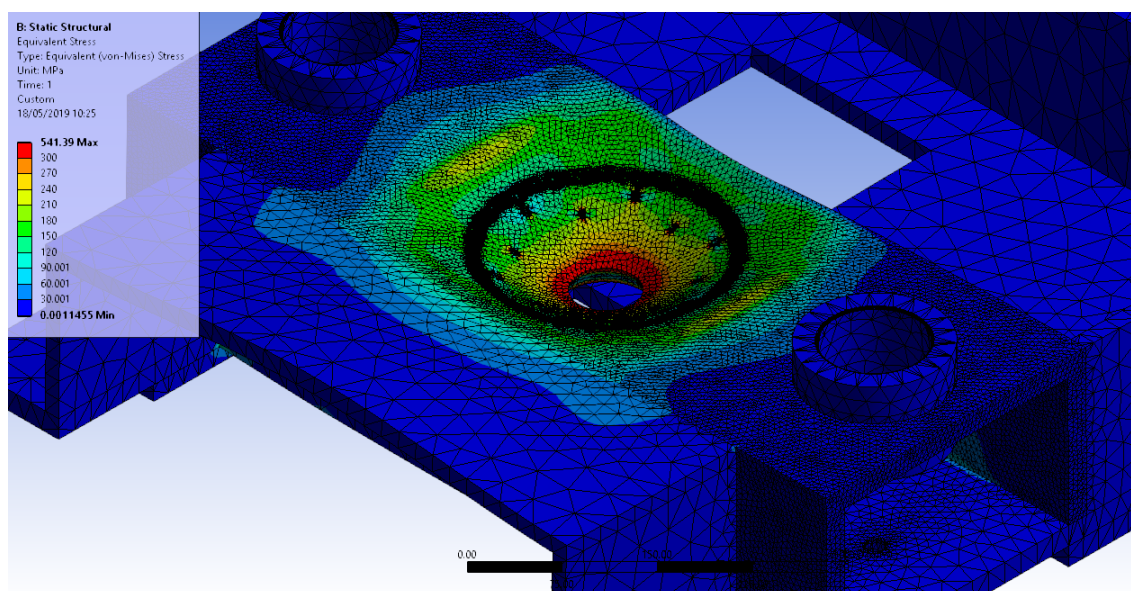


Sele 3.1.5 Kuvatõmmis, pingete jagunemine ülemise raami sees (otsaplaat muudetud läbipaistvaks)

3.2. Alusraami koost

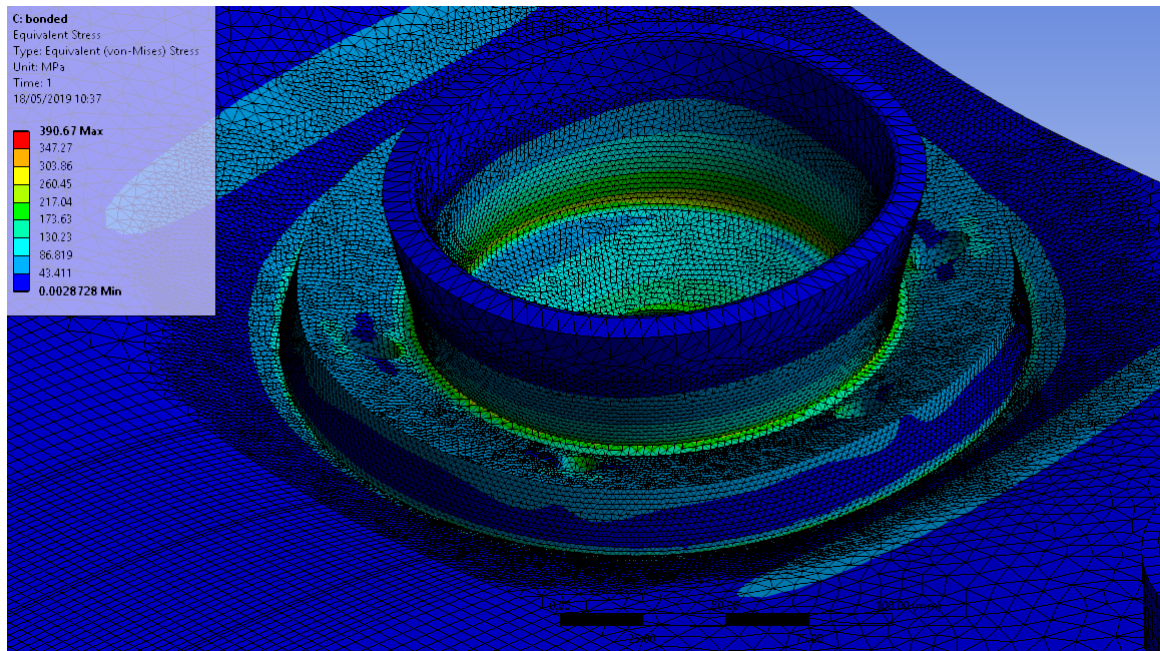
Alumine raam on oma mõõtmetelt oluliselt suurem üksus kui ülemine raam, seega on selle koostu simulatsioonimudeli koostamine kriitilisem. Suurema koostu peale koguneb rohkem võrgu elemente ning arvutuskiirus langeb. Seega tuleb täpsemalt defineerida võrgu parameetrid, kasutada ebaolulistest kohtades madalamat kvaliteeti ning rafineerida vaid olulisi osi.

Alusraami moodustavad suures enamuses nelinurksed plaadid, mida oluliselt lihtsustada ei ole võimalik. Siiski oli võimalik ära kaotada väljalõigetel olevad raadiused ja tappliited. Sarnaselt ülemise raamiga viidi mudel simulatsioonikeskkonda ning moodustati ühtne mudel. Erinevuseks on eraldi laagripuki sisse toomine. Esimese simulatsiooni korral deformeerus alusplaat sinna asetatud koormuse tõttu ebarealistlikult palju ning pinged kasvasid spindli ava juures üle 540 MPa. (Sele 3.2.1)

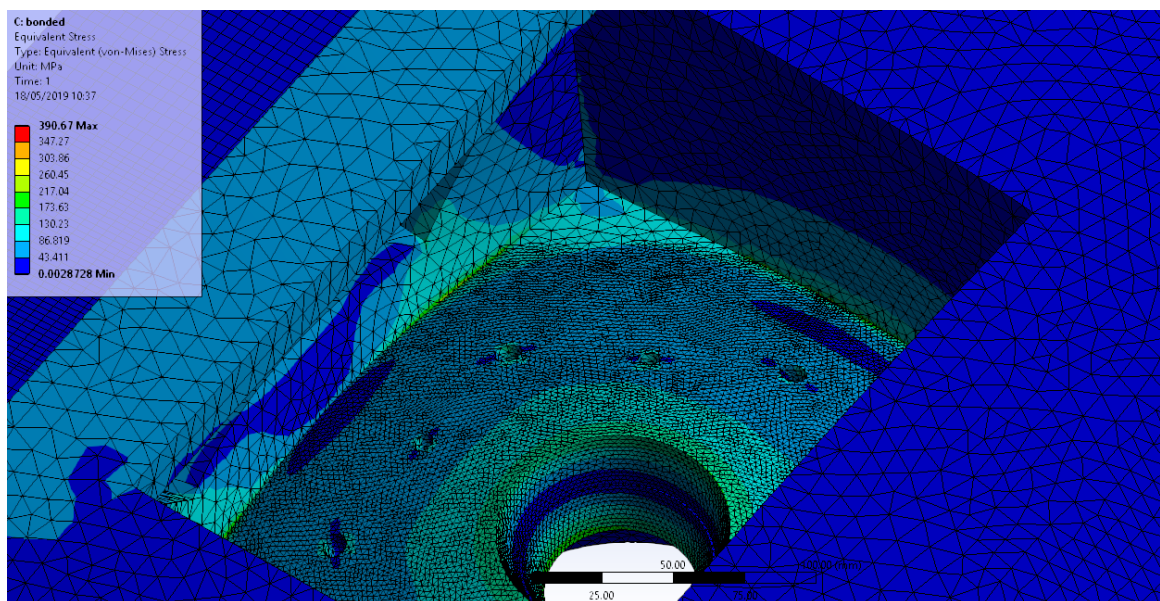


Sele 3.2.1 Kuvatõmmis, alusraami esimene simulatsioon (deformatsioonid 71x suurendatud)

Seega tuli sisse tuua laagripukk, mis annab materjalile paksust juurde ning ei luba alusplaadil nii palju läbi vajuda. Laagripukk on koostus eraldi osana ning teises simulatsioonis on ta lihtsustamise mõttes ühendatud jäigalt alusraamiga. Deformatsioonidest tulenevalt tekkisid suured pinged ka alusplaadi ning toetusplaadi sisemistele kontaktservadele.



Sele 3.2.2 Kuvatõmmis, alusraami simulatsioon koos laagripukiga



Sele 3.2.3 Kuvatõmmis, alusraami koost alt vaates (pinged alusplaadi ning tugiplaatide siseservadel)

Et deformatsioone vähendada oli otstarbekas suurendada laagripuki paksust ning läbimõõtu. See meede on tunduvalt soodsam kui muuta alusplaadi paksust ning aitab koormuse jaotada ühtlasemalt plaadile. Lisaks vähendati risti asetsevate tugiplaatide vahekaugust ja vähendati küljeplaatide väljalõike suurust.

Realistlikuma pildi saamiseks oli võimalik simulatsiooni kaasata poldid. Mis omakorda tähendas kontaktide defineerimist ning poldide eelpingestamise määramist. Poldide ja alusplaadi vahele määrati *no separation* kontakt, mille puhul kasutati geomeetria muutmise funktsiooni poldikeermele. Selleks tuli sisestada keerme diameeter ning samm. Poldi pea ja laagripuki

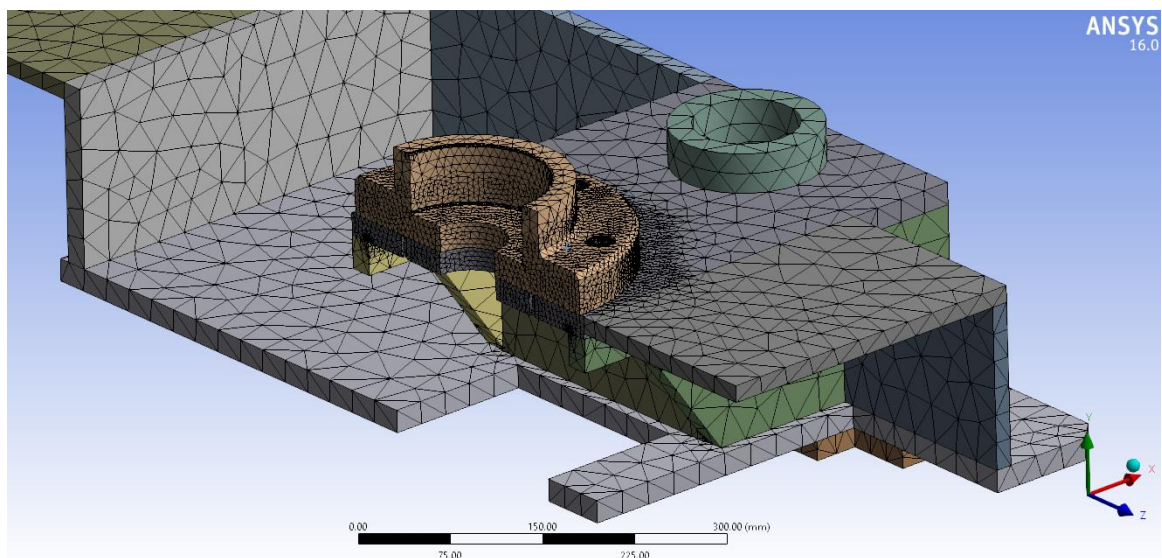
vahele määrati hõõrdevaba kontakt. Poltide eelpingestamise koormuseks määrati 60 kN, mis on 8.8 tugevusklassiga poldile sobiv väärtus. [26]

Poltide modelleerimine tähendas ka simulatsiooni mitme osaliseks muutmist:

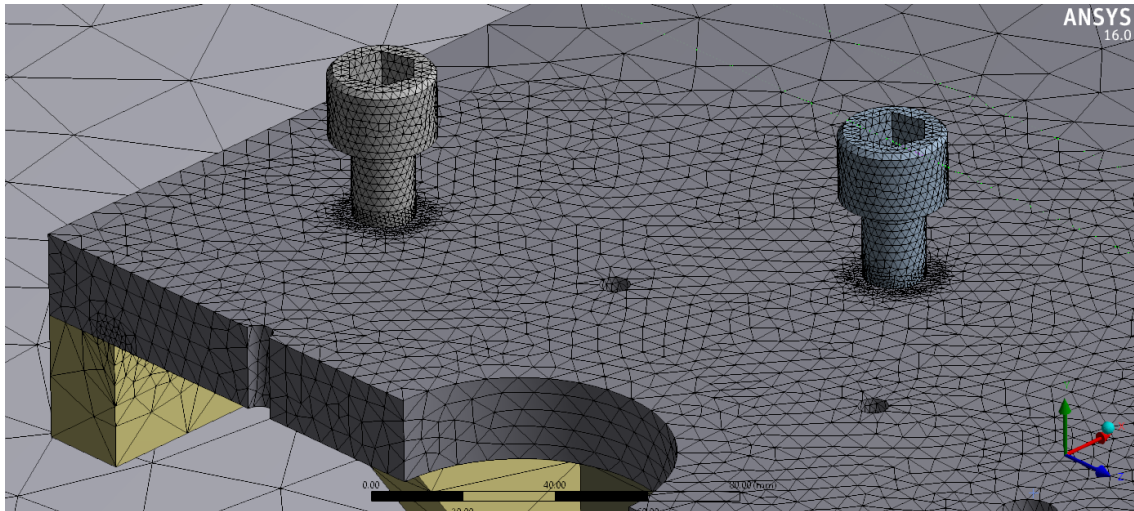
- 1) eelpingestatakse poldid;
- 2) eelpingestamise seadistamine optimaalsele väärtusele;
- 3) poltide lukustamine;
- 4) koormuse rakendamine laagripukile.

Samuti tuli poltliites tekkivate pingete täpsemaks arvutamiseks oluliselt suurendada võrgu täpsust. Esmalt määrati poldi detailidele võrgu elemendi suuruseks 2 mm ning seejärel kasutati kontaktpinna võrgu suuruse määramise funktsiooni. Kontaktpindadele poldi ning alusplaadi vahel määrati võrgu elemendi suuruseks 1 mm. Sama funktsiooni kasutati ka laagripuki ning alusplaadi vahelisel ühendusel, ühendus oli defineeritud kui hõõrdevaba kontakt ja elemendi suurus 2 mm.

Kuna elementide arv terve mudeli peale küündis miljoni elemendi peale tuli selle vähendamiseks kasutada sümmeetriat ning vähendada võrgu täpsust vähem olulistest kohtades. Sümmeetria abil vähenes elementide arv veidi rohkem kui kaks korda. Kuna elemente oli endiselt liiga palju muudeti võrgu algparameetrid keskmise täpsuse peale. Täpsust tuli tõsta alusplaadi ning toetusplaatide siseservadel, kus eelnevatel simulatsioonidel tekkisid suuremad pinged. Lõpptulemusena koosnes võrk 299343 elemendist ning 443089 *node*-ist.

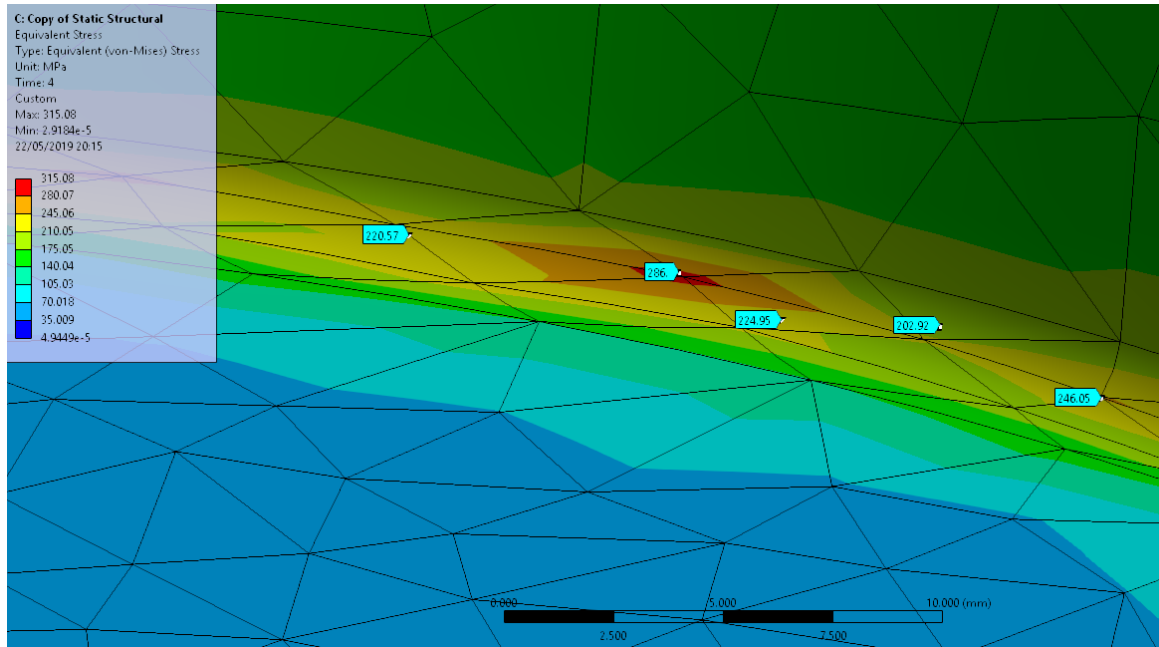


Sele 3.2.4 Kuvatõmmis, alusraami võrk



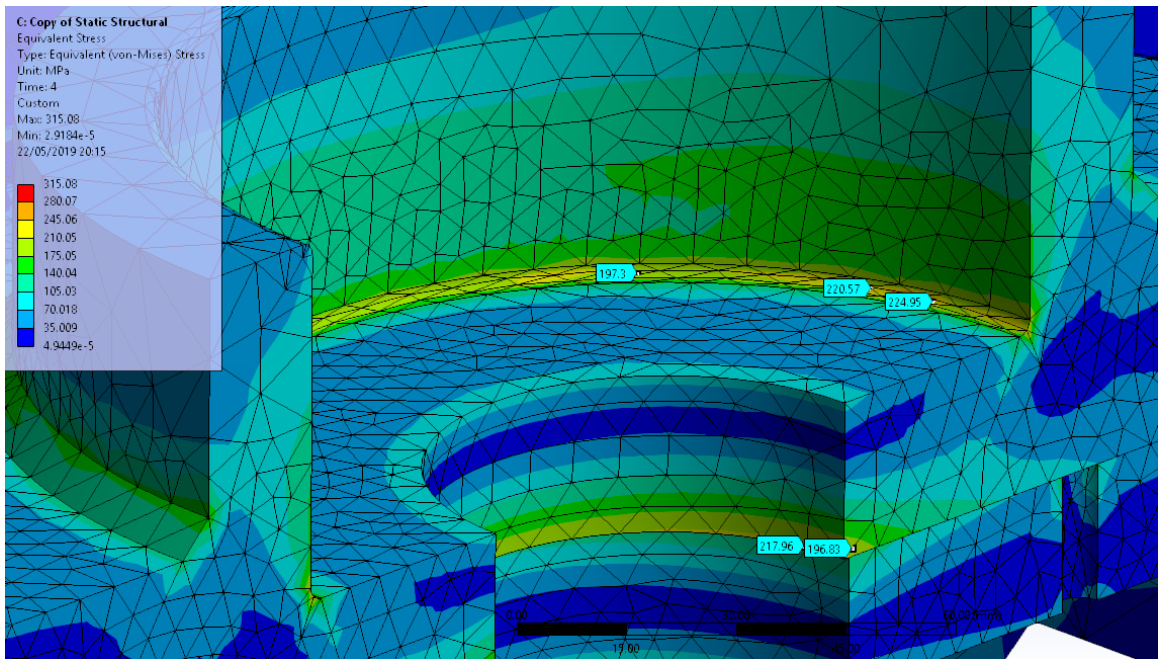
Sele 3.2.5 Kuvatõmmis, alusraami võrk poltide ümber

Parandatud mudeli tulemuste analüüsist selgub, et saavutatud maksimaalne ekvivalentne pinge on 315 MPa. Kõrgeim pinge tekib laagripuki tugipinna üleminekuraadiusel külgpinnaks ja seda võib põhjendada võrgu vähene täpsus antud kohas ning lugeda singulaarsuseks. Kuna pingekontsentraatorite ümber on pinge ühtlaselt oluliselt madalam, olles 200 MPa lähedal, võib neid mitte arvestada. Samuti on pingekontsentraatorites tekkiv pinge madalam kasutatava materjali S355J2G3 voolepiirist, seega ohtu konstruktsiooni vastupidavusele ei ole.

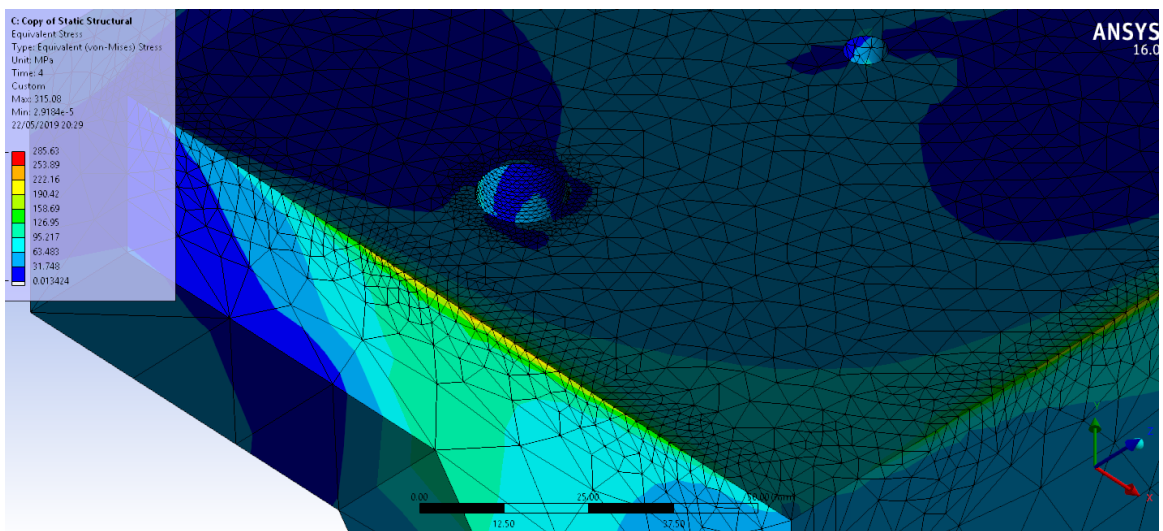


Sele 3.2.6 Kuvatõmmis, pingekontsentraatori teke laagripukis

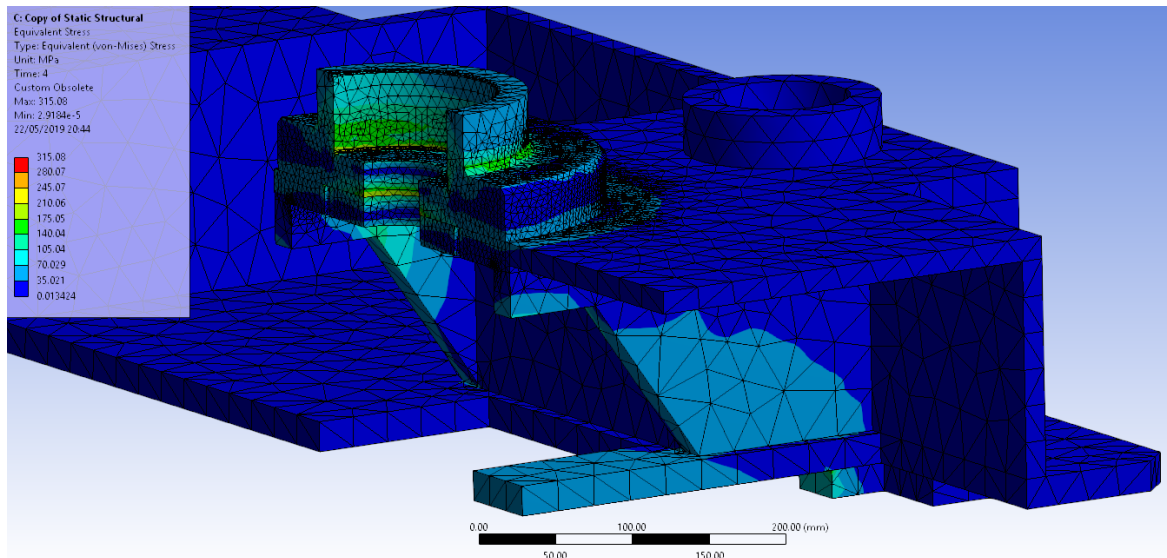
Suuremad arvestatavad pinged tekivad alusplaadi ja tugiplaatide vahele, sisemistesse servadesse. (Sele 3.2.8) Seal küündivad pinged kuni 285 MPa, mis jääb samuti allapoole materjali voolepiiri, lisaks paikevad realsel tootel nendes kohtades keevisõmblused. Kuni 220 MPa küündivaid pingeid leiab veel laagripuki ning alusplaadi kokkupuutepinnalt spindli ava vahetus läheduses. Siiski on pinged piisavalt madalad, et tagada koostu tugevus ja koost ei vaja täiendavalt tugevdamist.



Sele 3.2.7 Kuvatõmmis, pinged laagripukis ja alusplaadis

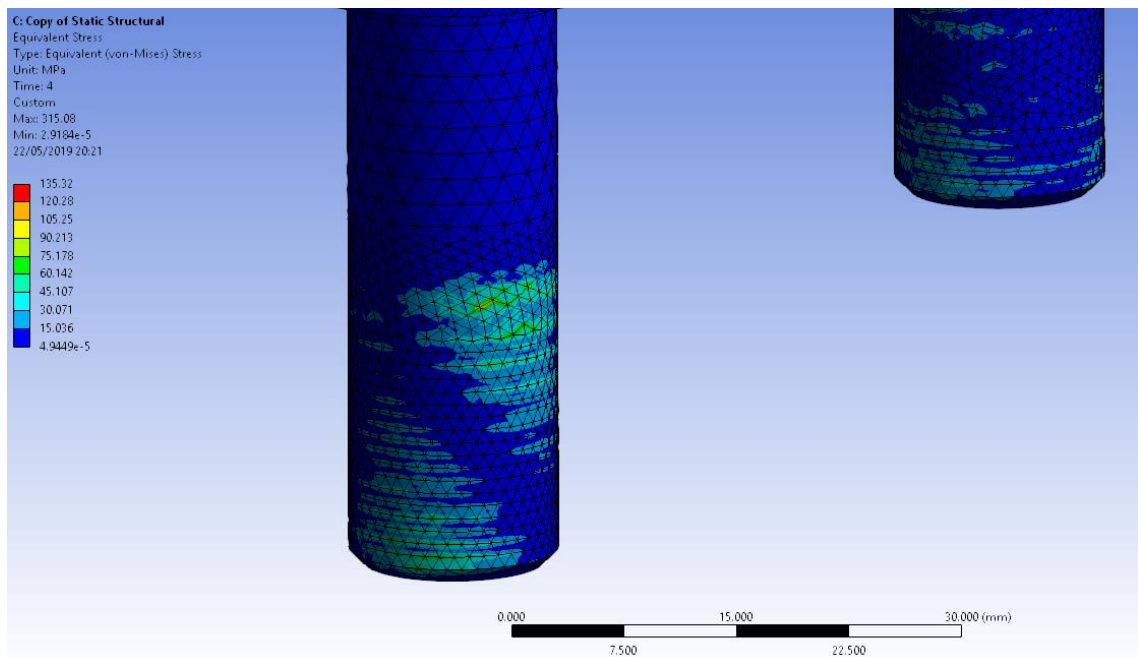


Sele 3.2.8 Kuvatõmmis, pinged alusplaadi ja tugiplaadi servadel



Sele 3.2.9 Kuvatõmmis, pinged alusraamis

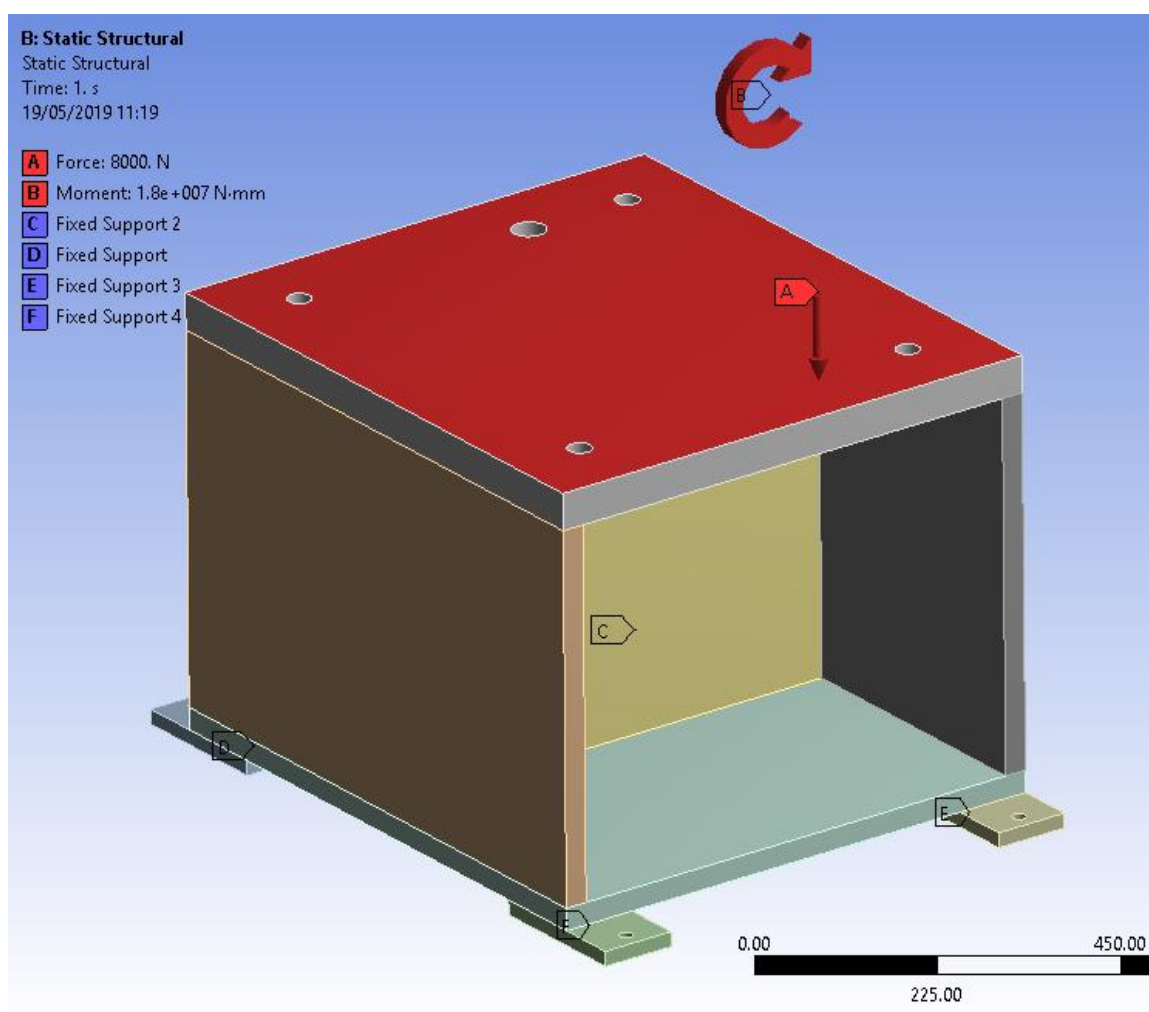
Poltides tekkivad pinged jäävad oluliselt alla ülejäänud konstruktsioonist, seega oli ka nende suurendamine ennatlik. Siiski ei tasu nende mõõtmeid enam vähendada, kuna hinnavahe on minimaalne. Samuti võtaks uue simulatsiooni läbi viimine ligikaudu 5 tundi lisa aega ning see ei ole majanduslikult otstarbekas. Maksimaalsed pinged poldis on 135 MPa.



Sele 3.2.10 Kuvatõmmis, pinged poltide keerme kontaktil

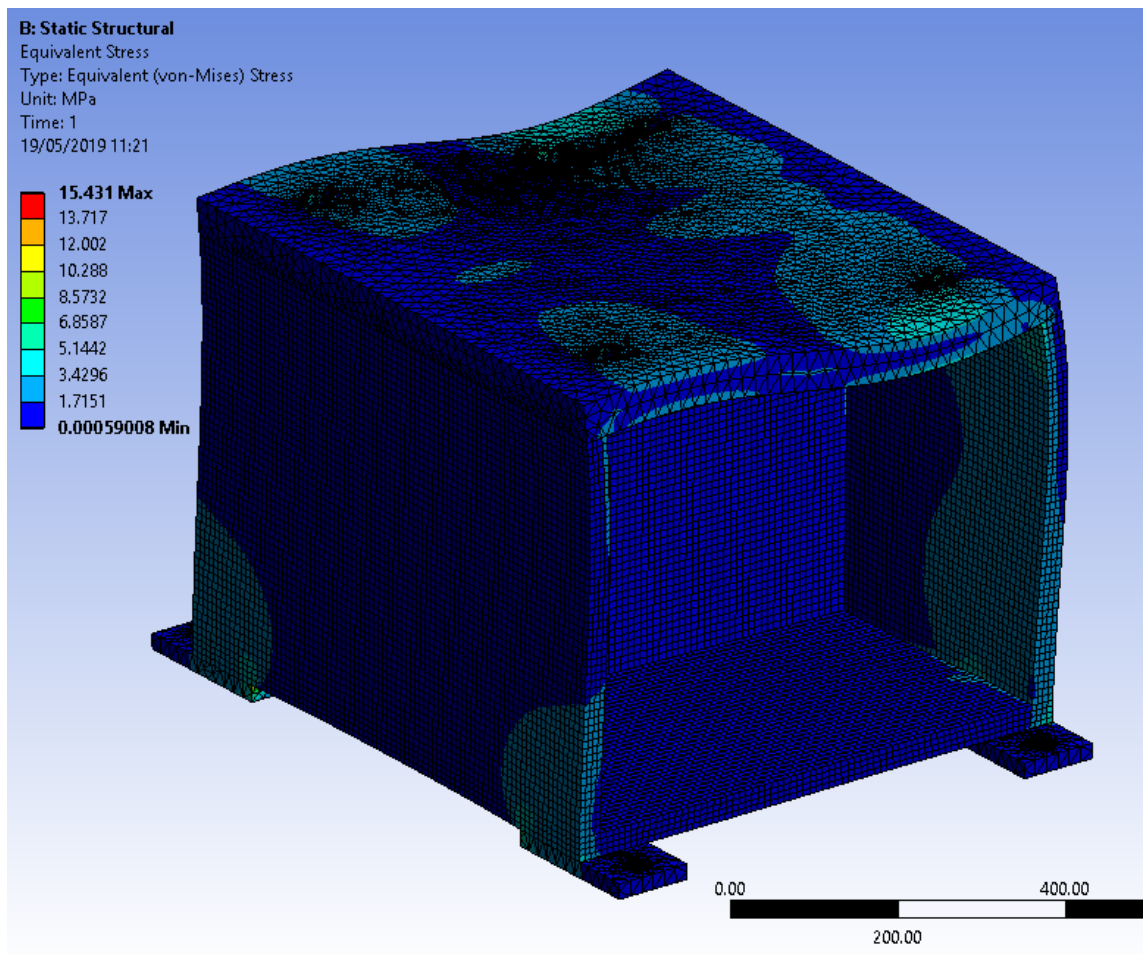
3.3. Mootoripukk

Kuigi mootoripukk ei ole oma olemuselt eriti keeruline ega raskelt koormatav koost on kindluse mõttes otstarbekas kontrollida selle vastupidavust reduktormootorist või rootorist tulenevale momendile. Samuti on võimalik simulatsiooniga välja selgitada tugiplaatides tekkiv reaktsioonjõud ja valida sellest lähtuvalt vajaliku suurusega kiilankur puki maa külge kinnitamiseks. Tänu koostu ja koormusskeemi lihtsusele võis valida võrgule üsna madala täpsuse. Mootoripuki jala plaatidel kasutati fikseeritud kinnitust, kuna need kinnitatakse ankrutega põrandasse. Reduktormootori väljundvõlli tsentrist rakendati moment 18 kNm puki ülemisele plaadile. Lisaks rakendati sinna ka reduktormootori mass 800 kg.



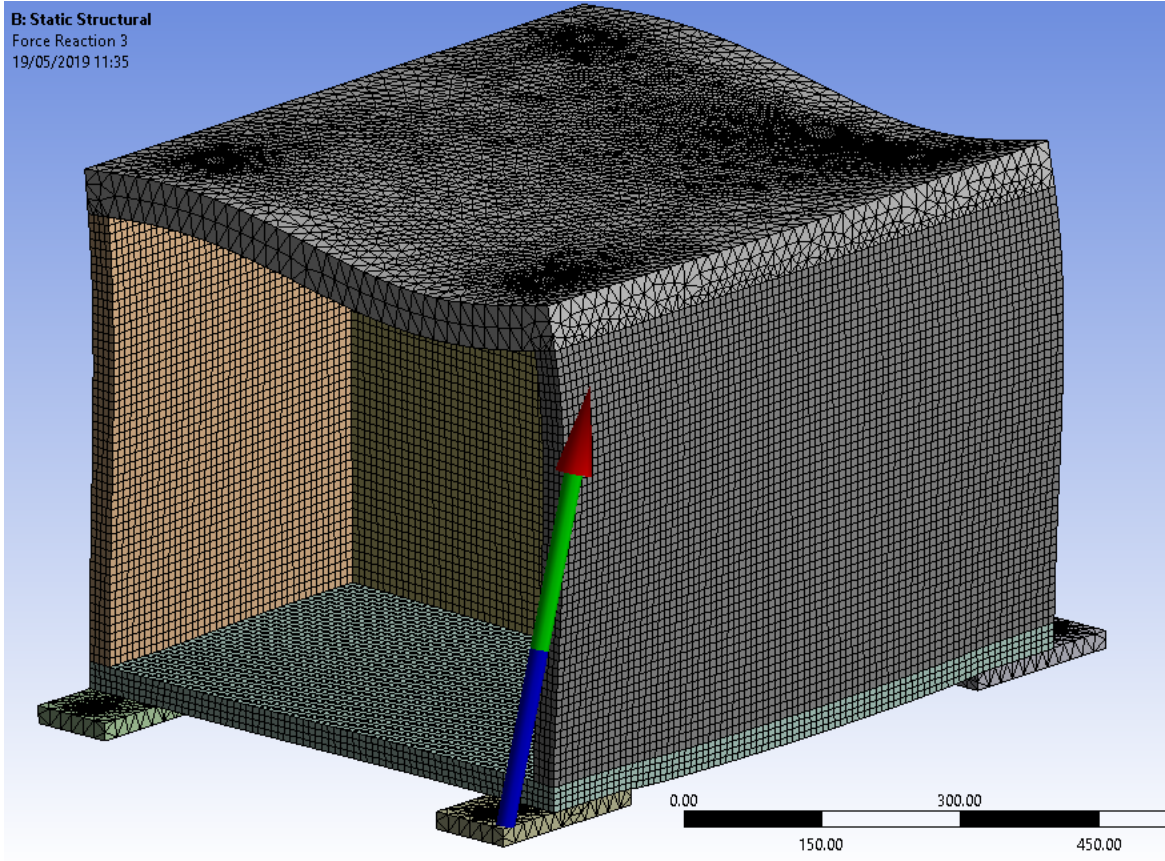
Sele 4.3.1 Kuvatõmmis, mootoripuki koormusskeem

Simulatsiooni tulemustest selgub, et mootoripukile mõjuvad maksimaalsed ekvivalentpinged jäävad alla 16 MPa. Maksimum väärtus tekib jalaplaadi sisemisse nurka, kuhu tekkis pingekontsentraator. Päriselt seda sinna tekkida ei saa, sest seal on keevisõmblus. Suures plaanis on koost üle dimensioneeritud ning enamike detailide paksuseid võiks vähendada.



Sele 4.3.2 Kuvatõmmis, mootoripuki ekvivalentpinged

Olulisem osa sellest analüüsist oli jalaplaatide reaktsioonijõudude välja selgitamine. Reduktormootori väljundvõlli poolisel (esimesel) jalaplaadil, mida moment kinnitusest eemale tõmbab avaldub summaarne reaktsioonijõud 16225 N. Tagumise jalaplaadi summaarne reaktsioonijõud on 16 kN. Selle alusel tuleb pukk maha kinnitada M16 ankruga, mille disainkoormus on 22 kN. [27]



Sele 4.3.2 Kuvatõmmis, mootoripuki jalaplaadi reaktsioonjõud

4. ESIALGNE HINNAKALKULATSIOON

Seadme esialgne hinnakalkulatsioon on aluseks kliendile pakkumise tegemiseks. Suurem osa materjali ja töötlemise hinnast on kogemuspõhine. Antud projekti puhul kasutatakse tabelis materjali ning selle töötamise puhul massi põhise arvutust. Eelnevatest sarnase töömahuga projektidest tuleneb, et materjali koguhind koos keevitamise ning töötlemisega jääb suurusjärku 9 €/kg. Kahe toetuspuke töödeldavate koostude masside ligikaudne summa on 1400 kg. Eraldi on välja toodud rullide ja neid katvate pronksist pukside hinnad, millele olid olemas piisavalt sarnased varasemalt juba toodetud alternatiivid. Tabelis on välja toodud eraldi ka komponentide standardhinnad ning reduktormootori tarnijalt saadud pakkumine.

Veopukile eraldatud osast saab sarnaselt toetuspukkidele välja lugeda materjali hinna, mis on lihtsama konstruktsiooni tõttu odavam hinnakoefitsiendiga. Samuti on välja toodud reduktormootori hind ning erinevad juurde kuuluvad detailid. Kardaani hind põhineb ühe Eesti tarnija hinnangule, kuid see hind ei sisalda insener-tehnilist lahendust. Siiski võib selle hinna võtta aluseks pakkumise koostamisel. Eraldi reana on välja toodud autotöökodades kasutatav agregaadid tungraud, mis toetab kardaani töövälisel ajal ning lihtsustab selle paigaldamist rootorile. [28]

Välja on toodud hinnangulised projekteerimise ning koostamise tunnid, mis lisanduvad rakise hinnale. Tundide arväärtused on samuti hinnangulised, seega on mõlemal üsna suur eksimuse kompenseerimise marginaal. Hinnapakkumises kajastatud tunnid ei sisalda simulatsiooni hinda, mis sooritati magistratöö raames.

Kaudseteks kuludeks lisatakse toote lõpphinnale 15%, mis hõlmab endas ettevõtte püsi- ja üldkuluseid. Viimasena lisandub tootmiskuludele standard müügi marginaal ja moodustub toote minimaalne müügi hind.

Tabel 5.1 Hinnakalkulatsioon

Komponendid				Projekteerimine			Koostamine		
Nimetus	Hind	Arv	Kokku	Hind	Arv	Kokku	Hind	Arv	Kokku
Toetuspukk 2tk				35	60	2100	35	60	2100
raud	9	1400	12600						
rulli pronks	200	4	800						
rullid +võllid	230	4	920						
ALK pakkumine (laagrid ja rattad ja mootor)	6380	1	6380						
energiakett	150	15	2250						
renn	10	8	80						
töötlemised	200	1	200						
sambad	130	2	260						
laagripuksid	35	8	280						
Veopukk ja kardaan				35	40	1400	35	40	1400
raud	5	700	3500						
mootor	7100	1	7100						
kardaan	1000	1	1000						
flantsid	200	2	400						
agregaadi tungraud	250	1	250						
tungraua töötlemine	150	1	150						
Muud kulud									
kilp	2500	1	2500						
pult	300	1	300	35	8	280	35	24	840
kaablid	300	1	300						
pedaalid pukkide tõstmiseks	120	2	240						
SUMMA			39510		108	3780		124	4340
Laokulud	6%		2371						
Eksimuse %	5%		2094	15%		567	15%		651
Kokku			43975			4347			4991
Otsesed kulud									53313
Kaudsed kulud	15%								7997
Müüгимarginaal	18%								11035
Minimaalne müügihind									72345

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli välja töötada ja projekteerida sünkroongeneraatori rootorite väljepooluste installeerimiskonstruktsioonid. Rakised pidid sobima paljudele erinevate mõõtmete ning massidega rootoritele, seal hulgas ka 40 tonniste rootoritega töötamiseks.

Töö esimeses osas selgitati kliendiga koostöös välja kõik vajalikud parameetrid rakiste projekteerimiseks. Analüüsiti nii tellija kui ka tarnija erinevaid olemasolevaid lahendusi, samuti turuanalüüsi käigus leitud alternatiivseid tooteid.

Projekteerimise faasis alustati esmalt kontseptsiooni välja töötamisega, milline peaks seade olema ja kuidas oleks võimalik vajalikud funktsioonid sinna ära paigutada. Lahendusena võeti kasutusele kahe tugipuki ning ühe vedava puki kontseptsioon. Seejärel uuriti erinevaid lahendusi raskuse tõstmisel ja tehti vajalikud arvutused trapetsspindli dimensioneerimiseks. Järgnevalt käsitleti ülekannet spindlile, leiti selle pööramiseks vajalik moment ja võimalikud ülekandemeetodid. Lahenduses jäädi kindlaks hammasülekandele, mis on hooldevaba lahendus ja seega kliendile sobivam lahendus.

Rullide projekteerimise osas arvutati välja kontaktpinged ning leiti, et suurema massiga toodete korral tekivad rullidele jäädavad deformatsioonid. See tulenes kliendi nõudest kasutada kindlat kontaktpinna laiust ning rootori materjalist pehmemat rulli kontaktpinna materjali. Kliendile pakuti välja rullide pikendamise võimalus, mis oleks aga raskendanud väiksemate rootorite paigutamist tugipukkidele. Kuna enamik toodetavatest rootoritest on pigem väiksemamõõdulised ja kergemad jäädi kindlaks originaalparameetritele.

Järgnevalt keskenduti puki raami projekteerimisele, töötati välja selle alumine ning ülemine osa. Selgitati lahenduste eripärasid ning tootmismeetodeid, toodi välja töötlemist vajavad osad. Lisaks kirjeldati reduktormootori koostu projekteerimist, sealhulgas vahehammasratta lisamist ülekandele. Lähemalt selgitati laagripukkide projekteerimist ja nende vajalikkust antud koostus. Tugipukkide projekteerimise viimases etapis keskenduti seadme ohutusele – lisati katteplekid ning lõpulülid.

Viimase projekteerimise etapina käsitleti vedava puki projekteerimist ning kardaaani valikut. Leiti kardaaani tootjad ja vajalikud parameetrid kardaaani valikul. Kirjeldati mõlema kardaaani eeliseid ning puudusi. Lisaks kirjeldati reduktormootori valikuks olulisi parameetreid ning leiti sobiv toode.

Mudeli kontrolli peatükis analüüsis autor projekteeritud lahendust kasutades Ansys simulatsioonitarkvara. Tehti kriitiliste koostude – ülemise raami, alumise raami ja mootripuki pingete ja deformatsioonide analüüsid. Tulemustest selgus, et ülemine raam ei vaja täiendavat

tugevdamist ning lahendus on sobilik. Alumise raami esialgsel analüüsil ilmnis, et raam deformeerub liigselt ja pinged on liiga kõrged. Osati tulenes see laagripuki simulatsioonist kõrvale jätmisest kui ka tehtud lihtsustustest. Mudelisse viidi sisse parandused ning defineeriti mudel täpsemalt. Realistliku pildi saamiseks kasutati eelpingestusega poltidega analüüsi, mille tulemusele tuginedes sobib parandatud lahendus kasutamiseks. Vedava puki analüüsis leiti selle jalaplaadile mõjuvad reaktsioonjõud, mille abil valiti sobiva suurusega kiilankur.

Viimases peatükis kirjeldatakse rakise esialgset hinnakalkulatsioonitabelit. Selgitatakse lahti, mille alusel arvutatakse toote materjali ning tootmise hind ja tuuakse välja põhiliste ostuosade standardhinnad. Samuti on välja toodud kliendile esitatud projekteerimise hind ning muud rakise tootmisega kaasnevad kulud.

SUMMARY

The aim of this master thesis was to develop and design synchronous generator rotor salient pole installation stations. Those stations would have to be compatible with different rotor dimensions and weights, including 40 t rotors. In the first part of the thesis requirements were gathered and formulated. This included official inquiry specification and later communications with the customer. Pros and cons of existing stations from Promeco OÜ and customer were examined and market research was conducted to obtain new ideas.

The design chapter begins with developing the whole concept of the pole installation stations. It describes the first model sent to the customer and the development of the new concept. The installations stations consist of two support stands and a driver stand that supports gearmotor driving the rotor. Support stands can be height adjusted to compensate for different rotor end shaft diameters and overall rotor sizes. Height adjustment is achieved by rotating a trapezoidal spindle to raise the upper frame which houses the support rollers.

In the following sections calculations were made for trapezoidal spindle and nut selections. Power transmission elements from gearmotor to spindle were compared. Geared power transmission with an intermediate sprocket is selected and designed.

Next section describes the design of support rollers which must withstand 20 t of weight. However, client requirements specified that no damage cannot be done to the rotor, which means that contact material for the rollers must be softer than steel. Contact pressure calculations between brass roller sleeves and steel rotor were made. Results revealed that pressures exceed the compressive strength of brass roller sleeves. Lengthening contact area was suggested, however client insisted of keeping the specified length of 160 mm.

Next sections describe the upper- and lower frame assembly design. Necessary manufacturing tolerances were described. Challenges of adding intermediate sprocket to the motor housing assembly and tolerances to it were illustrated. Following section describes the bearing housings and nut housing design. Last step of the support stand modelling stage was design of sprocket covers and limit switches. They are vital for operator safety reducing the risk of entanglement and crush injuries.

Final section of modelling stage outlines the design of driver stand, which supports gearmotor driving the rotor. Requirements for driveshafts are specified and two products are compared.

Following chapter consist of FEM analysis of main assemblies using Ansys software. Beginning with simplification of upper frame assembly geometry in SolidWorks design software and importing it to the Ansys software. Followed by defining forces, supports and then meshing.

Evaluating the results revealed that upper frame is strong enough to support the heaviest rotor. Next simulation involved the lower frame assembly, which is a more complex geometry and needs more simplification and the use of symmetry to decrease the number of elements in the mesh. First stage of this simulation showed that bearing housing must be imported with the frame geometry. As loading the support plate of the frame alone produces unrealistic results. Bearing housing was imported to the simulation and two more separate calculations were made, the last one including pre-tensioned bolts to provide a realistic loading of the structure. Final results concluded that structure is strong and equivalent pressures do not supersede yield strength. Driver stand was simulated to confirm its strength and find out wedge anchor dimensions through force reaction.

The final chapter describes the making of official price quote for the client. It shows how material and manufacturing costs were calculated and includes standard parts from Promeco's suppliers. It also shows an estimate of modelling cost to be charged from customer, which does not include simulations and evaluating its results.

VIITED

1. Direktiiv 2006/42/EC Masinaehitusele
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0042>
(15.05.2019)
2. Rootori pukid, Vijay Machine Tools, Indiamart
<https://www.indiamart.com/vijaymachinetoolshyderabad/rotor-stands.html>
(07.03.2019)
3. Rootorite balansseerimine, Hannon Electric [http://www.hannonelectric.com/hannon-electric-\(canton%2C-oh\).html](http://www.hannonelectric.com/hannon-electric-(canton%2C-oh).html) (07.03.2019)
4. Elektrigeneraatorite taastamine, Smith Services
[http://www.hannonelectric.com/hannon-electric-\(canton%2C-oh\).html](http://www.hannonelectric.com/hannon-electric-(canton%2C-oh).html) (07.03.2019)
5. Ümarteras h9 d=90 mm, METALL24
<https://www.metall24.ee/tooted/umar-90x6000-s355/umarteras> (15.05.2019)
6. Kuulkruvi Hiwin R50, Alas-Kuul
<https://www.alas-kuul.ee/kuulkruvi-r50-10k6-r1030-fsc-ball-screw> (15.05.2019)
7. MHE0061 MASINATEHNIKA, Loengumaterjal, I. Penkov, Tallinn 2007
<http://www.tlu.ee/~saarsulo/masinaopetus/MHE0061-Loengukonspekt.pdf> (15.05.2019)
8. Kaherealine hammasratas, Mädler 12911500
<https://maedler.de/Article/12911500> (15.05.2019)
9. Kaherealine hammasratas, Iwis 022-009-036
https://cdn.tracepartsonline.net/PartsDefs/Production/IWIS/32-22052015-095715/Documents/Kettenraeder_Antriebskomponenten_DE_EN.pdf (15.05.2019)
10. Automaatne ketipinguti, Mädler
<https://maedler.de/product/1643/1615/673/kettenspanner-fuer-zweifach-rollenkett>
(15.05.2019)
11. Karastatud sirghammastega moodul 6 hammasrattad, Mädler
<https://www.maedler.de/product/1643/1618/1034/2314/stirnzahnraeder-aus-stahl-c45-verzahnung-gehaertet-modul-6> (15.05.2019)
12. Reduktormootori konfiguraator, SEW Eurodrive
https://www.sew-eurodrive.de/os/catalog/products/drives/acgearmotor/default.aspx?language=en_US&country=DE (20.05.2019)

13. SKF Bearing Select, SKF
https://www.skfbearingselect.com/#error=login_required&state=54c39c99-44fd-4165-aaa7-ed57ac07a16a (15.05.2019)
14. Laager 316-2Z, SKF
<https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=316-2Z>
(15.05.2019)
15. Kontaktpinged kahe rulli vahel, Engineers Edge
https://www.engineersedge.com/material_science/rollers-contact-stress.htm
(18.05.2019)
16. Pronkspuks PRM 909590, SKF
<https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/table-bushings/index.html?designation=PRM%20909590>
(15.05.2019)
17. Blickle BHF-Alev 125K-1 ratas, Blickle <https://www.blickle.ee/toode/BHF-ALEV-125K-1-605733> (15.05.2019)
18. Laager SKF 6009-2Z, SKF <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6009-2Z> (16.05.2019)
19. Koonusrull laager 32313, SKF <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html?designation=32313> (16.05.2019)
20. SKF lukustusmutrid, SKF <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-accessories/lock-nuts/requiring-keyway/index.html> (16.05.2019)
21. Lõpulüliti Omron D4N-4162, Omron
https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/d4n_ds_e_10_1_csm1248.pdf (16.05.2019)
22. Voith tööstuslike kardaanide kataloog, Voith Turbo GmbH
<https://d2euiryrvxi8z1.cloudfront.net/asset/445934742530/e46499ba28c1733923b4af0b428c1050> (15.05.2019)
23. Wichmann tööstuslike kardaanide kataloog, Wichmann GmbH http://www.wichmann-os.de/fileadmin/redaktion/englisch/Downloads/Industrie/WICHMANN_Industry_Catalogue.pdf (15.05.2019)
24. Nuutvõlli profiilid, Tandwiel.info
<http://www.tandwiel.info/en/gears/internal-and-external-spline-teeth/> (16.05.2019)

25. Hirth ühendused, Voith GmbH & Co. KgaA
<http://voith.com/corp-en/hirth-couplings/hirth-rings.html> (16.05.2019)
26. Mehaanikainseneri käsiraamat : Teine, täiendatud ja parandatud trükk / P.Kulu. Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2013.
27. Kiilankru andmeleht, RAWPLUG
https://assets.rawplug.com/98428627-2b6f-469a-912a-aa19cfaee54b/en-pdf/FIXINGS/Mechanical_Anchors/Throughbolts/Throughbolts_Option_7/EN-R-1108-R-XPT_Throughbolt.pdf (24.05.2019)
28. Agregaadi tung <https://www.stokker.ee/agregaaditungraud-05t-1135-1950mm-big-red-torin-big-red/-2079177572> (16.05.2019)
29. American Welding Society, The practical Reference Guide to Positioning New York: American Welding Society, 2008
30. Trapetskeerme mõõtmed, MARYLAND METRICS
<https://mdmetric.com/tech/thddat16.htm> (27.03.2019)
31. Nõuded üliõpilastöödele inseneriteaduskonnas, Tallinna Tehnikaülikool
<https://www.ttu.ee/instituut/mehaanika-ja-toostustehnika-instituut/tudengile-39/magistritope/toore/> (17.05.2019)
32. Lõputöö vormistamise mall, Tallinna Tehnikaülikool
<https://www.ttu.ee/instituut/mehaanika-ja-toostustehnika-instituut/tudengile-39/magistritope/toore/> (17.05.2019)

LISAD

Lisa 1

Alas-Kuul pakkumine komponentidele.



Pakkumine nr.: 158638
Kuupäev: 12.04.2019
Pakkumine aegub: 26.04.2019
Valuuta: EUR

Klient: Promeco OÜ
Rannamõisa tee 4
13516 Tallinn
Estonia

Kontakt: Andrus Kimask
053 416779
053 416779

Kood	Teenus / Kaup	Hind	Kogus	Ohik	Summa
1. M6-30N 60	Hammasratas M6 z=30, teras, rummuga, hammasvöö laius 60mm	98,0000	4	tk	392,00
2. M6-60N 60	Hammasratas M6 z=60, teras, rummuga, hammasvöö laius 60mm	340,0000	2	tk	680,00
3. 29413 E SKF	Surve rull-laager	340,0000	2	tk	680,00
4. 6316-2Z SKF	Radiaalkuullaager metallkatetega	85,0000	8	tk	680,00
5. TR60x9x1500-1	Trapetskeermega latt TR60x9x1500, parem, teras C15	165,0000	1	tk	165,00
6. KSM TR60x9-1 L=120	Trapetskeermega ümarmutter TR60x9, teras C35Pb, parem, D=100, L=120	75,0000	2	tk	150,00
7. BLIC LHF-ALEV 125K-1	Ratas	118,0000	8	tk	944,00
8. R167 R97 DRN112 M4-BE5 / 4/1.5/M1-90/230V	Mootorreduktor SEW	7 100,0000	1	tk	7 100,00
9. SH77T DRN100 L4 / 3/27/M6A	Mootorreduktor	1 340,0000	2	tk	2 680,00

Netosumma: 13 471,00

Käibemaks (20%): 2 694,20

Märkused:

Kokku €: 16 165,20

Netokaal kokku: 226,086 kg

Brutokaal kokku: 226,536 kg

Pakkumise koostas: Martin Keemik

Allkiri



ERPLY

Alas-Kuul AS
Loomäe tee 1, Lehmja küla
75308 Rae vald Harjumaa
EESTI
www.alas-kuul.ee
purchase@alas-kuul.ee

Telefon: +372 6593 230
Telefax: +372 6593 231
Reg. nr.: 10405353
KMKR: EE100073759

Pank: LHV Pank
A/a: EE927700771000240911
SWIFT: LHVBE22
IBAN kood: EE927700771000240911

Lisa 2

Reduktormootor SEW S77DRN100L4, toetuspuki kõrguse reguleerimine.

Product information



Catalog designation

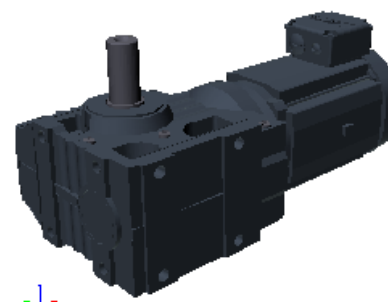
S77DRN100L4

Product data

Rated motor speed	[1/min] : 1456
Output speed	[1/min] : 17
Overall gear ratio	: 85.22
Output torque	[Nm] : 1240
Service factor SEW-FB	: 0.90
Mounting position	: M6A
Base / top coat	: 7031 Blue gray (51370310)
Position of connector/terminal box	[°] : 0
Cable entry/connector position	: 1
Output shaft	[mm] : 45x90
Permitted output overhung load with n=1400	[N] : 12000
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 4.4
Motor power	[kW] : 3
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE3
Efficiency (50/75/100% Pn)	[%] : 87.3 / 88.3 / 87.8
CE mark	: Yes
Motor voltage	[V] : 230/400
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 11.2 / 6.4
Cos Phi	: 0.76
Thermal class	: 130(B)
Motor protection type	: IP54
Design requirement	: IEC
Motor mass moment of inertia	[10 ⁻⁴ kgm ²] : 111.60
Net weight	[Kg] : 82

Additional feature

Output shaft: 45x90 mm



Lisa 3

MILPUR 1495A Andmeleht, Lindiekspert OÜ.



Technical Datasheet

PHYSICAL PROPERTIES OF ELASTOMER

Properties presented in the table are to be used as indicative and may vary depending on processing technique and conditions.

		MILPUR 1495A / MOCA	TEST METHOD
HARDNESS	(Shore A)	95±2	ISO 7619-1
Tensile strength	(MPa)	49	PN-ISO 37
100% Modulus	(MPa)	13,8	PN-ISO 37
300% Modulus	(MPa)	38,5	PN-ISO 37
Angle tear strength, Method B	(kN/m)	160	PN-ISO 34-1
Elongation	(%)	370	PN-ISO 37
Compression set, 22hrs at 70°C	(%)	36	PN-ISO 815
Abrasion resistance	(mm ³)	40	PN-ISO 4649
Specific gravity	(g/cm ³)	1,08	PN-ISO 2781 +AC 1

SUPPLY AND STORAGE

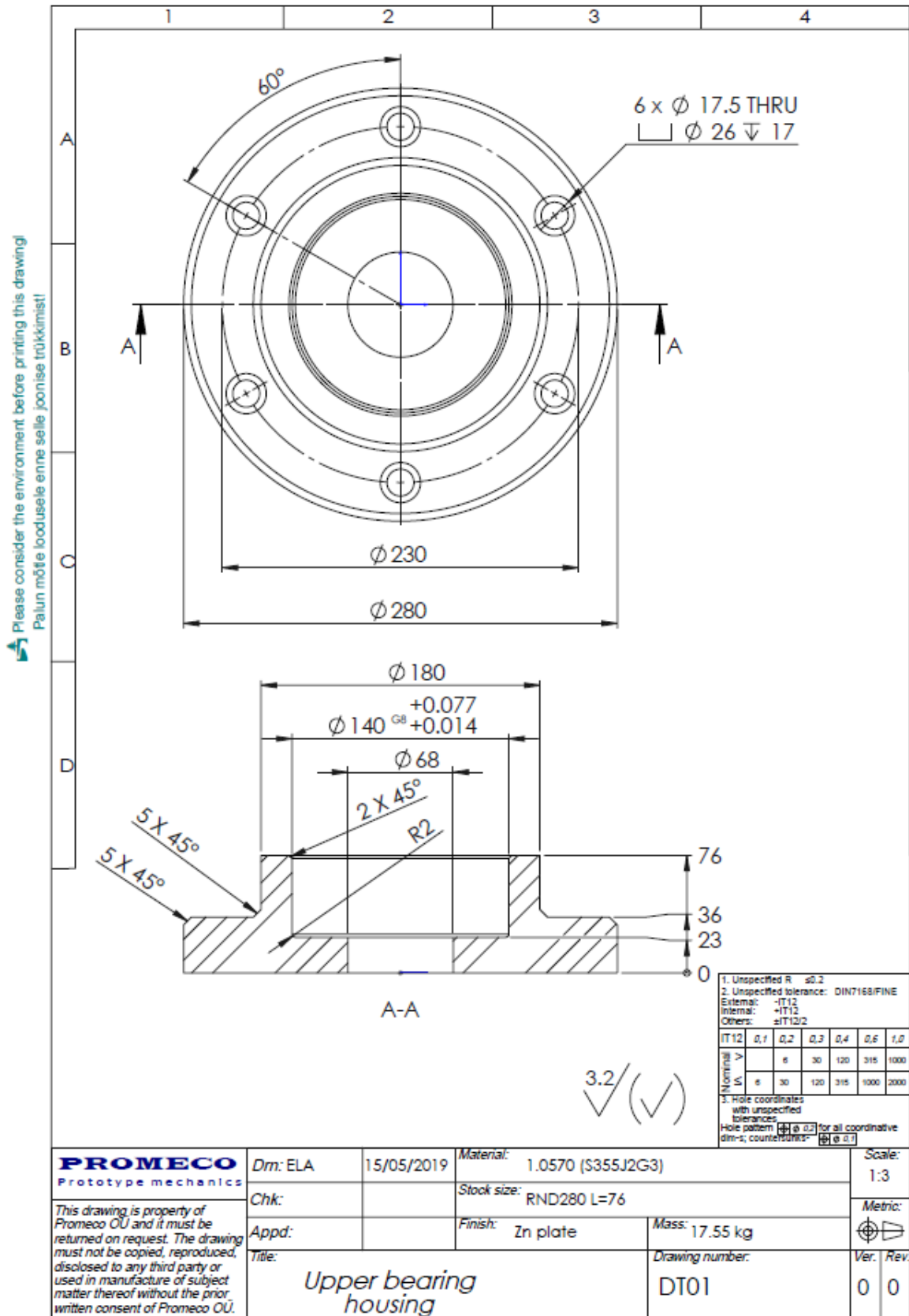
Milpur 1495A is supplied in 210 kg non-returnable drums. The product has excellent storage stability and may be stored under appropriate conditions for at least six months. The storage temperature should be optimally 15-25°C. Moist and wet conditions are to be avoided.

* = registered trademark of ZPTS Poliuretany

The data contained in this publication is based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, this data does not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither does this data imply any guarantee of certain properties, or the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior notice and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

Lisa 4

Ülemise laagripuki joonis.



SolidWorks 2018

Sheet: 1/1 A4

Lisa 5

Reduktormootor SEW R167R97DRN100LS4BE5, rootori pööramine.

Product information

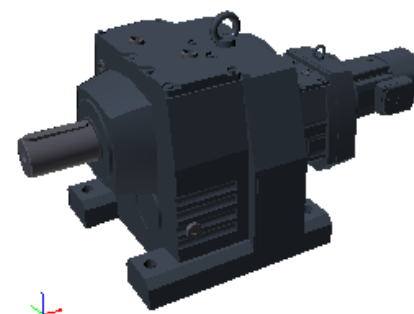


Catalog designation

R167R97DRN100LS4BE5

Product data

Rated motor speed	[1/min] : 1450
Output speed	[1/min] : 1
Overall gear ratio	: 1438,00
Output torque	[Nm] : 19100
Service factor SEW-FB	: 1,05
Mounting position	: M1
Base / top coat	: 7031 Blue gray (51370310)
Position of connector/terminal box	[°] : 0
Cable entry/connector position	: X
Output shaft	[mm] : 120x210
Permitted output overhung load with n=1400	[N] : 120000
Lubricant quantity 2nd gear unit	[Liter] : 5,1
Motor power	[kW] : 2,2
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE3
Efficiency (50/75/100% Pn)	[%] : 86,4 / 87,5 / 86,9
CE mark	: Yes
Motor voltage	[V] : 230/400
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 8,3 / 4,75
Cos Phi	: 0,76
Thermal class	: 130(B)
Motor protection type	: IP54
Design requirement	: IEC
Motor mass moment of inertia	[10 ⁻⁴ kgm ²] : 87,38
Net weight	[Kg] : 781,9
Braking torque	[Nm] : 55
Brake voltage	[V] : 230
Brake control	: BGE1.5



Additional feature

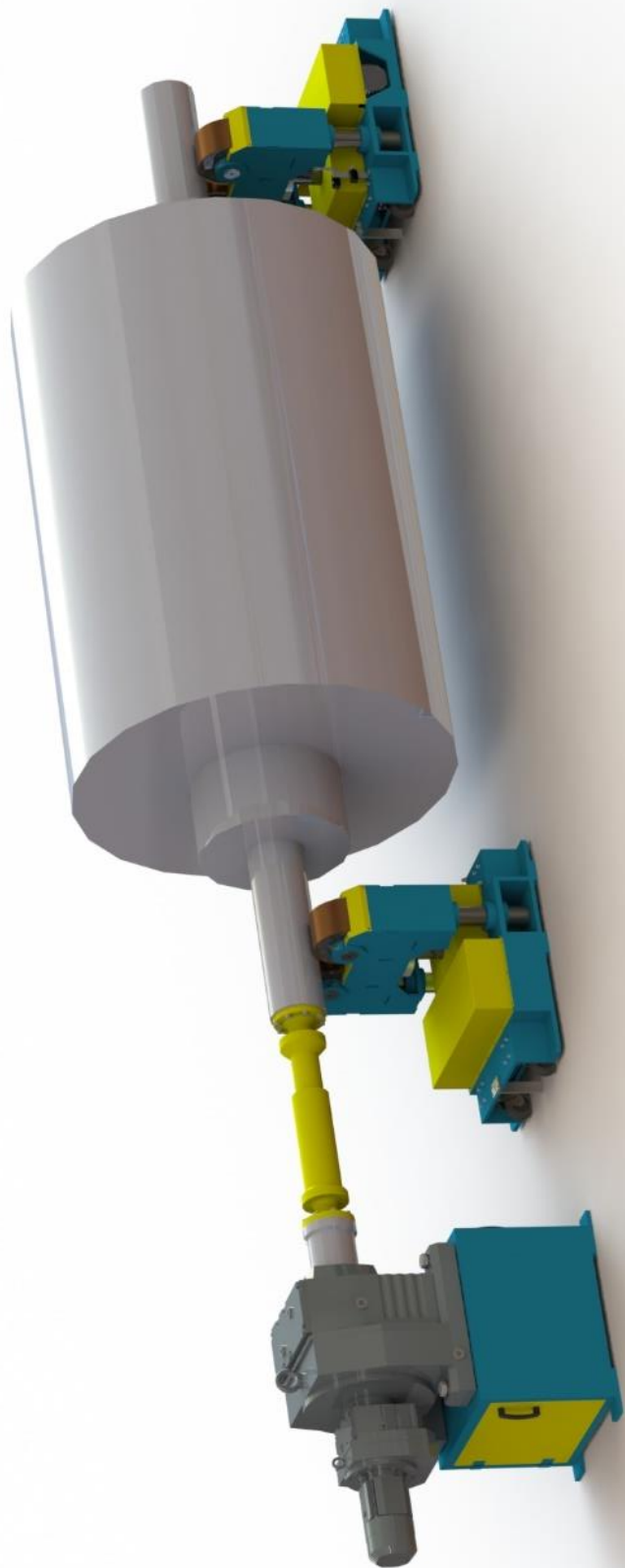
Output shaft: 120x210 mm

Brake BE5 single brake (standard brake) (230 V, 55 Nm)

Brake control BGE- Electronic brake actuation 230 V or 400 V

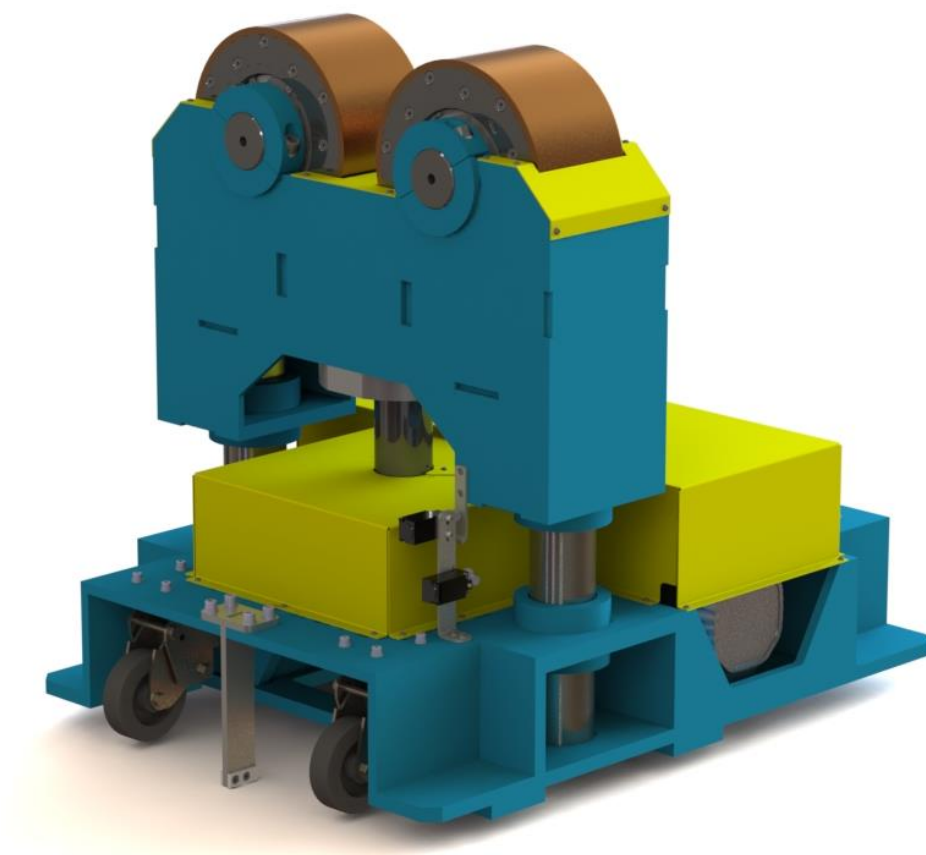
Lisa 6

Kuvatõmmis rakise mudelist.



Lisa 7

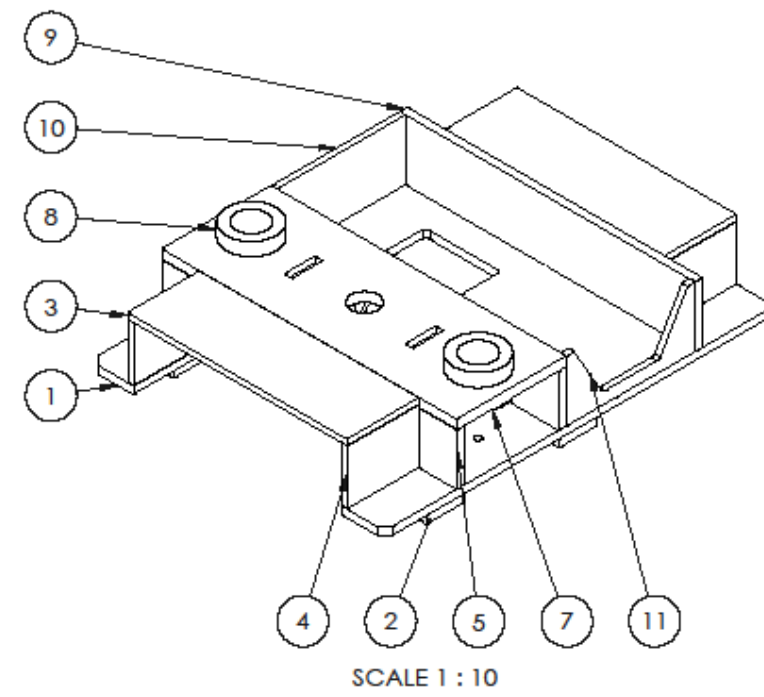
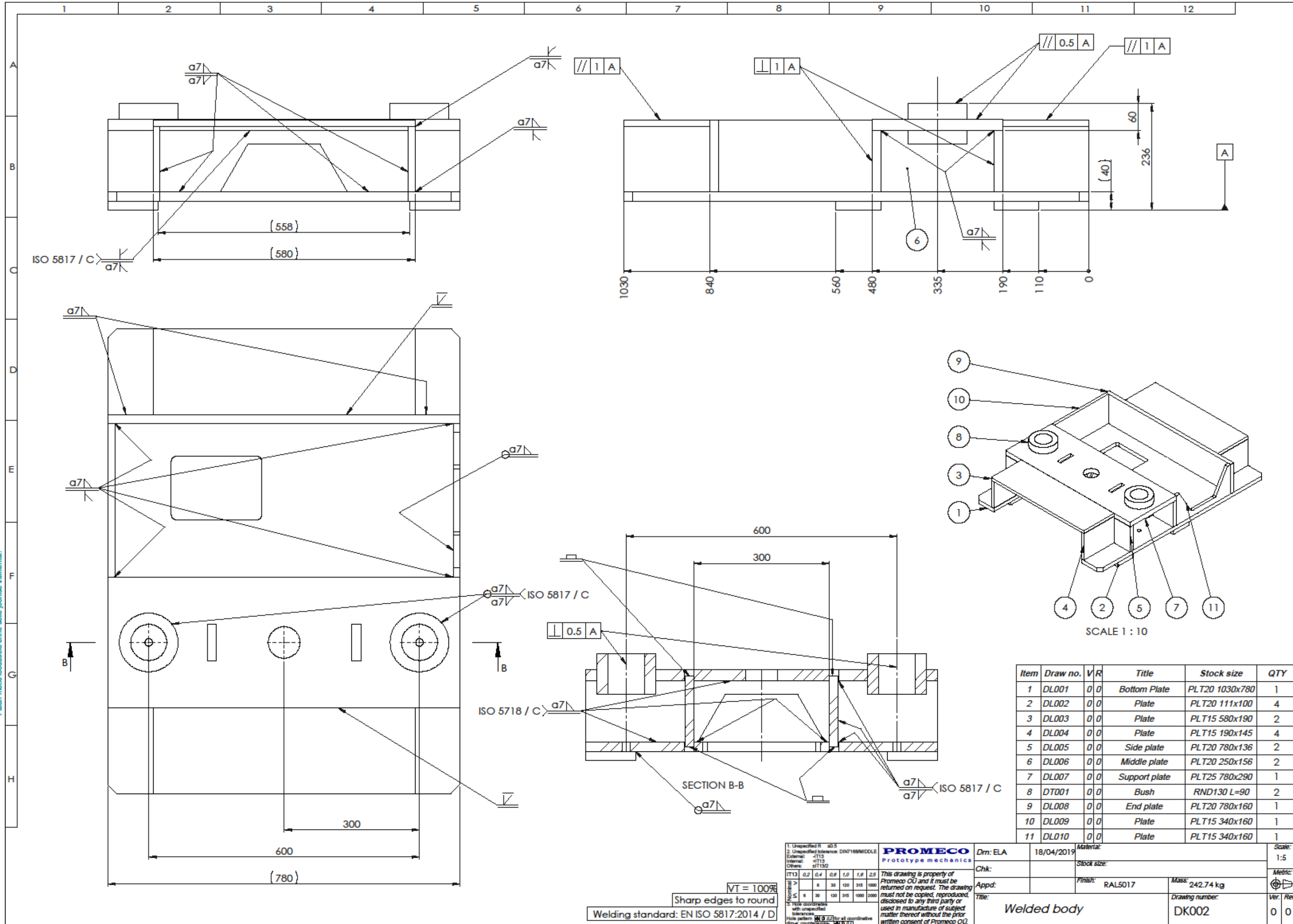
Kuvatõmmis tugipuki mudelist.



Lisa 8

Alusraami keevis- ja töötlusjoonis.

Please consider the environment before printing this drawing!
 Palun mõelge keskkonda enne selle joonise trükkimist!



Item	Draw no.	V	R	Title	Stock size	QTY
1	DL001	0	0	Bottom Plate	PLT20 1030x780	1
2	DL002	0	0	Plate	PLT20 111x100	4
3	DL003	0	0	Plate	PLT15 580x190	2
4	DL004	0	0	Plate	PLT15 190x145	4
5	DL005	0	0	Side plate	PLT20 780x136	2
6	DL006	0	0	Middle plate	PLT20 250x156	2
7	DL007	0	0	Support plate	PLT25 780x290	1
8	DT001	0	0	Bush	RND130 L=90	2
9	DL008	0	0	End plate	PLT20 780x160	1
10	DL009	0	0	Plate	PLT15 340x160	1
11	DL010	0	0	Plate	PLT15 340x160	1

1. Unspecified R: $R_{a0.5}$
 2. Unspecified tolerance: DIN7168MIDDLE
 External: -f113
 Internal: +f113
 Others: +f113/2

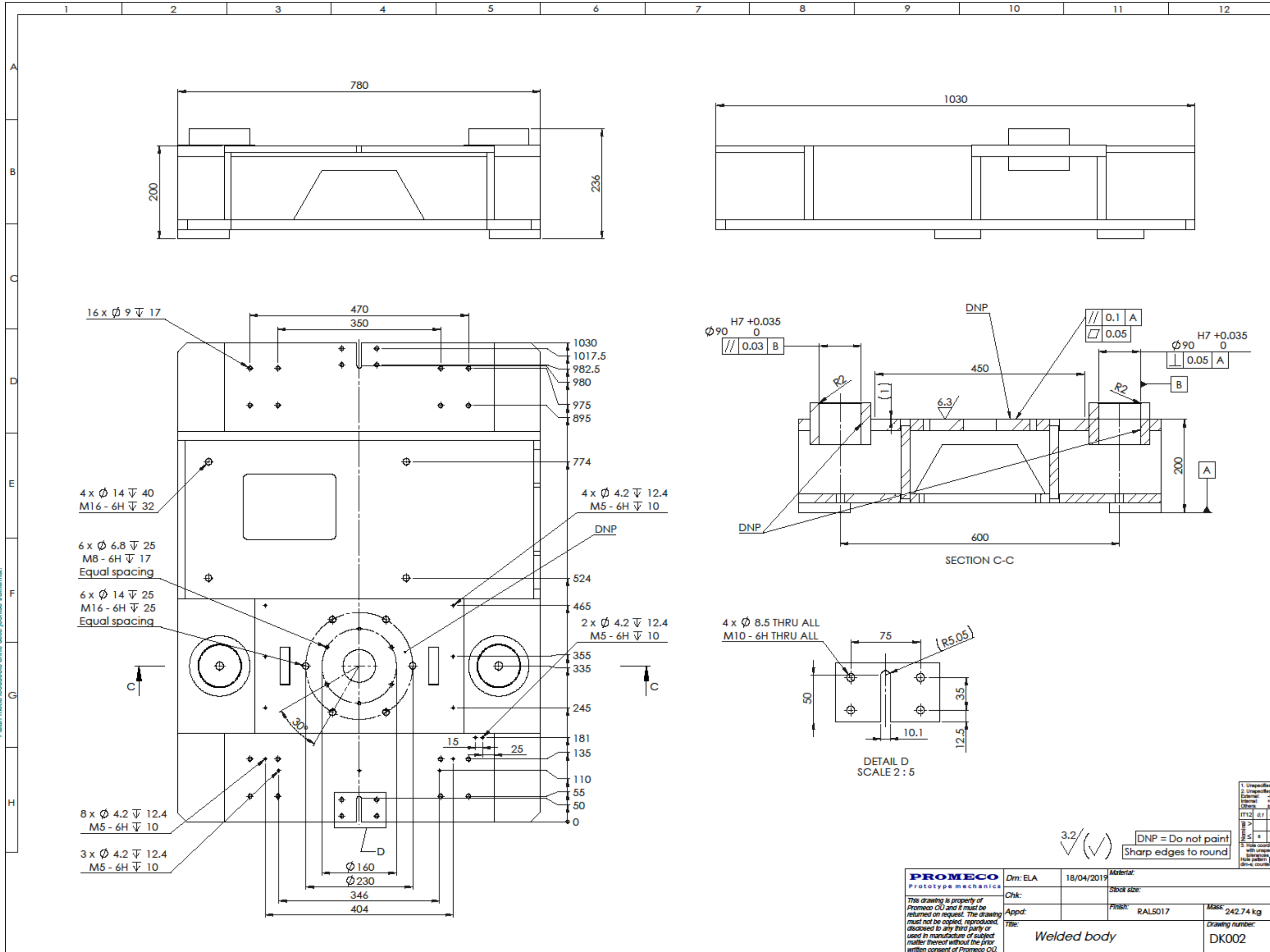
PROMEKO
 Prototype mechanics

This drawing is property of Promeco OÜ and it must be returned on request. The drawing must not be copied, reproduced, disclosed to any third party or used in manufacture of subject matter thereof without the prior written consent of Promeco OÜ.

Dr: ELA 18/04/2019 Material:
 Chk: Stock size:
 Appd: Finish: RAL5017 Mass: 242.74 kg
 Title: **Welded body** Drawing number: DK002
 Scale: 1:5
 Metric:
 Ver: 0 Rev: 0

VT = 100%
 Sharp edges to round
 Welding standard: EN ISO 5817:2014 / D

Please consider the environment before printing this drawing!
Palun mõtle koostööle enne selle joonise trükkimist!



PROMEKO Prototype mechanics <small>This drawing is property of Promeco OÜ and it must be returned on request. The drawing must not be copied, reproduced, disclosed to any third party or used in manufacture of subject matter thereof without the prior written consent of Promeco OÜ.</small>	Dm: ELA Chk: Appd:	18/04/2019 	Material: Steel size: Finish: RAL5017 Mass: 242.74 kg	Scale: 1:5 Metric:
	Title: Welded body		Drawing number: DK002	Ver: 0 Rev: 0
	3.2/ (✓) (✓) DNP = Do not paint Sharp edges to round			
	SolidWorks 2018			