



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**KEEVITUSRAKIS JA PÖÖRDRAKIS ETTEVÕTTELE  
AS SAKU METALL ALLHANKE TEHAS**

**WELDING JIG AND TURNTABLE FOR AS SAKU METALL  
ALLHANKE TEHAS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kristjan Leonov

Üliõpilaskood: 201555MATM

Juhendaja: Martinš Sarkans, vanemteadur

Toivo Tähemaa, kaasprofessor

# 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.

23 mai 2022

Autor: .....

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

23 mai 2022

Juhendaja: .....

Kaitsmisele lubatud

“.....” mai 2022

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Kristjan Leonov

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Keevitusrakis ja pöödrakis ettevõttele AS Saku Metall Allhanke Tehas,

mille juhendajateks on Martinš Sarkans ja Toivo Tähemaa ,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

23.05.2022

---

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

TalTech Instituudi nimetus  
**LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

**Üliõpilane:** Kristjan Leonov, 201555MATM  
Õppekava, peeriala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika  
**Juhendaja(d):** Vanemteadur, Martinš Sarkans, 6203267  
Kaasprofessor, Toivo Tähemaa, 6203252

**Lõputöö teema:**

Keevitusrakise ja pöödrakise projekteerimine AS Saku Metall Allhanke Tehases  
Welding jig and turntable for AS Saku Metall Allhanke Tehas

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Analüüsida toote keevitustehnoloogiat ja anda juhised rakise konstrueerimiseks
2. Keevitusrakiste projekteerimine
3. Anda hinnang rakiste majanduslikule tasuvusele

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Nõuete ja tootmisprotsessi kirjeldus	03.2022
2.	Keevitustehnoloogia valik	03.2022
3.	Rakise ja pöödrakise idee väljatöötamine	04.2022
4.	Rakiste detailsete mudeli valmimine	04.2022
5.	Valitud lahenduste demonstreerimine	05.2022
6.	Majanduslikud arvutused	05.2022

**Töö keel:** Eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 23.05.2022

**Üliõpilane:** Kristjan Leonov ..... 23.05.2022  
/allkiri/

**Juhendaja:** Martinš Sarkans ..... 23.05.2022  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... 23.05.2022  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Eerme ..... 23.05.2022  
/allkiri/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1. Nõuded tootele .....	8
2. Tehnoloogia analüüs .....	10
2.1 Turul olevad lahendused .....	10
2.2 Ajakulu arvutus .....	11
2.3 Toote sobivus keevitusrobotile .....	14
3. Rakiste idee väljatöötamine .....	21
3.1 Lahendus 1 .....	21
3.2 Lahendus 2 .....	22
3.3 Pöödrakise lahendus .....	27
4. Rakistele mõjuvad jõud.....	31
4.1 Keevitusrakise tugevusarvutused.....	31
4.2 Pöödrakise tugevusarvutused.....	34
5. Rakiste lahenduste demonstreerimine.....	41
5.1 Keevitusrakise kasutamine.....	41
5.2 Pöödrakise kasutamine .....	45
6. Majanduslikud arvutused .....	47
7. Edasiarendused .....	49
KOKKUVÕTE .....	50
Summary.....	51
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	52
LISAD .....	53
GRAAFILINE OSA .....	54

## **EESSÕNA**

Antud magistritöö eesmärk oli konstrueerida keevisraami keevitusrakised, millega tõstetakse tootmise efektiivsust. Selleks on vaja analüüsida ettevõtte olemasolevat keevitusvõimekust, mille kaudu saadakse sisend rakiste konstrueerimiseks. Rakis peab tagama, et valmistatud toode vastab kliendi joonisele ning peab vähendama toote valmistamiseks kuluvat abiaega. Vajadus rakiste järgi tekkis Saku Metall Allhanke Tehas AS-is, kui klient soovis tellida uut toodet. Lõputöö autor pakkus välja valmistada koostamis-/keevitusrakise ja pöödrakise.

Soovin tänada vanemteadur Martinš Sarkansi ja professor Toivo Tähemaad asjalike ideede ja nõuannete eest.

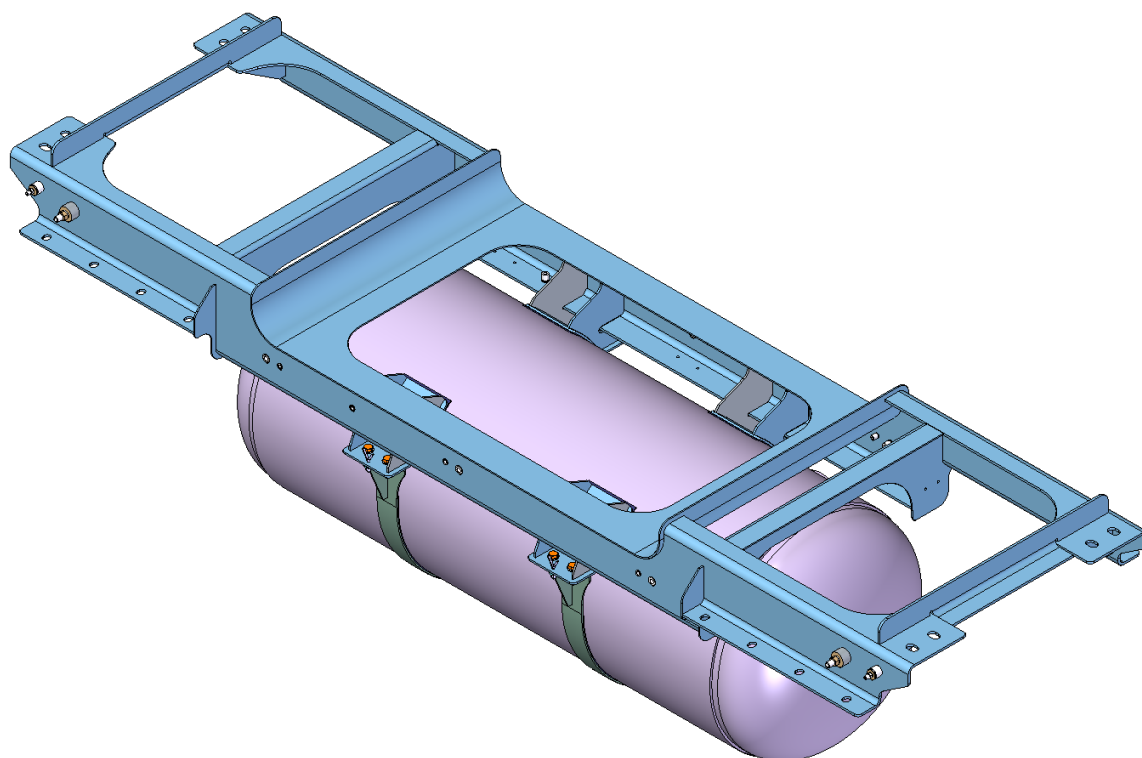
Võtmesõnad: magistritöö, rakis, keevitus, tootmistehnoloogia, tootearendus

## SISSEJUHATUS

Saku Metall Allhanke Tehas AS tegeleb allhanke töödega. Vastavalt kliendi vajadustele on ettevõttes võimalik valmistada lehtmetailist tooteid, alates lehtmetaili lõikusest, kuni keevisraamide või needitud raamide värvimiseni välja. Enamus kliente on ventilatsiooniseadmete tootjad või seotud rongitööstusega. Kui klient soovib tellida uut toodet, siis peab insener otsustama; kas antud tootele on vaja rakistust; kas olemasolevate vahenditega on seda võimalik toota; kas on vaja valmistada uusi rakiseid/abivahendeid? Antud lõputöös käsitletakse keevisraami, mille klient on seotud rongitööstusega. Kuna keevisraamile kehtib rongitööstuse keevitusstandard (ISO 15085-3), mis nõuab keevitaja sertifitseerimist, mis omakorda määrab ära kindlad keevitusasendid, milles tohib toodet keevitada. Selle tõttu on vaja toodet pidevalt ringi pöörata, mis suurendab toote valmistamisaega. Selle jaoks projekteeritakse lõputöö raames keevitusrakis ning pöördrakis, millega viiakse abiajad võimalikult minimaalseks. Lõputöös on kirjeldatud erinevad ideed ning valitud lahendus valideeriti tugevusarvutustega. Lõplikud lahendused on üksikasjalikult kirjeldatud ning teostati majanduslikud arvutused.

## 1. Nõuded tootele

Antud toode koosneb erinevate paksustega lehtmaterjalist, mis on omavahel kokku keevitatud vastavalt kliendi joonisele. Külgtalad on 5 mm ja vahepealsed detailid on 3 või 4 mm paksusest materjalist. Materjaliks on S355. Toote gabariitmõõdud on 2280 x 680 x 260 mm ja mass ligikaudu 60 kg. Olulised mõõdud on ovaalsete avade vahemaad, mis peavad vastavalt  $512 \pm 1$  mm ja  $2200^{+2}_{-4}$  mm. Keevisraam kinnitatakse läbi 8 ovaalse ava rongi põhja külge, mis tähendab, et avade omavaheliste pindade tasapinnalisus on oluline. Kindlasti on olulised survemahuti toestuspinnad. Survemahuti toestuspindade omavaheline tolerants peab jääma vahemikku  $R252 \pm 2$  mm. Nõutud on 100% keevisõmbluste visuaalne kontroll ning teatud mõõtude kontrollimist nt. ovaalsete avade vahekauguseid. Keevisraamile kehtib rongitööstuse keevitusstandard ISO 15085-3, mis nõuab keevitajate sertifitseerimist. Sertifitseerimised on tehtud nurk- ja põkkõmblustele PA ja PB asendites ehk lubatud on ainult põrandasendis keevitamine. Keevisraamide kogused on 10 tükki nädalas ja mõnel üksikul nädalal 20 tükki ehk aastas on kokku umbes 600 raami.

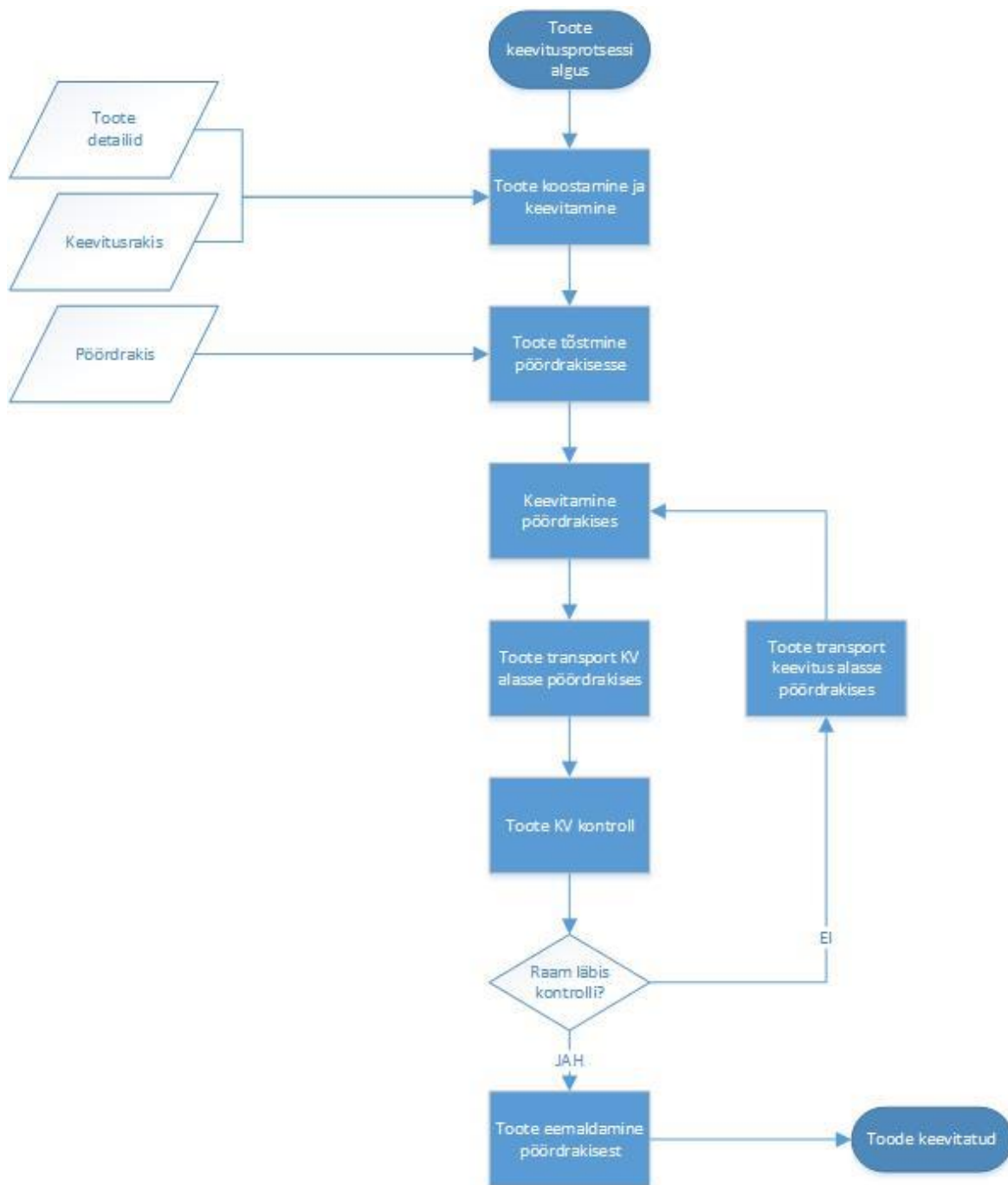


Pilt 1 Keevisraami 3D mudel koos survemahutiga

Ettevõttes näeb tootmisprotsess välja järgmiselt: koostu detailid tuuakse painutuselast keevituse töökohale ning alustatakse raam keevitamisega. Esimeses etapis keevitatakse kokku võimalikult palju rakisest, siis võetakse rakisest välja ning asetatakse pöödrakisesse. Kui raam on keevitatud, lihvitakse ja pritsmetest puhas, transporditakse



see, koos pöödrakise, kvaliteedi alasse. Järgnevalt viib kvaliteedispetsialist läbi toote keeviste ja mõõtmete kontrolli pöödrakises, et kontrolör saaks võimalikult kiiresti ja väikese vaevaga keeviseid kontrollida. See eeldab seda, et pöödrakis peab olema lihtsasti transportitav. Kui raam on heaks kiidetud, tõstetakse keevisraam pöödrakisest välja ning pöödrakis viiakse tagasi keevitaja töökohale. Juhul kui raam ei läbi kvaliteedikontrolli, siis viiakse see keevitaja töökohale tagasi parandusteks.



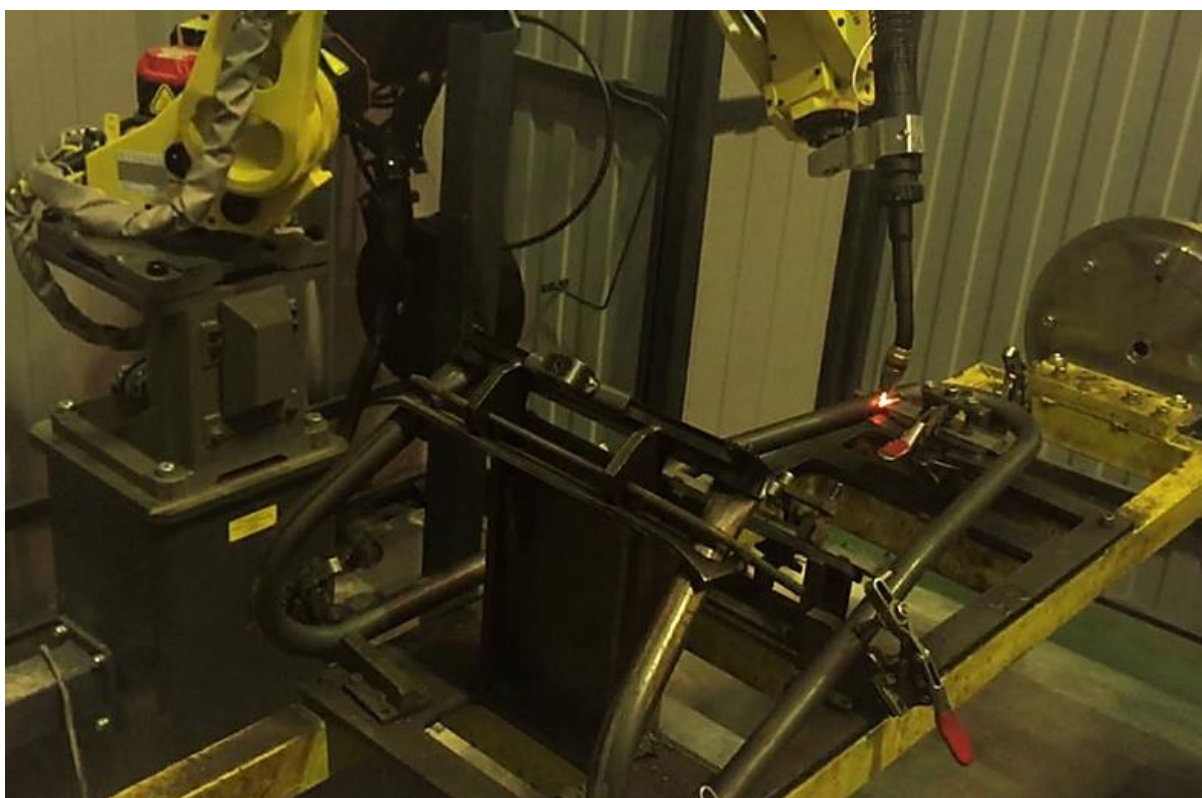
Joonis 1 Üldine keevisraami keevitusprotsess

## 2. Tehnoloogia analüüs

Antud peatükis analüüsitakse turul olevaid lahendusi ning otsustatakse, millise lahendusega edasi minna. Kuna ettevõttes on võimalus kasutada keevitusrobotit, siis võetakse arvesse ka keevitusroboti kasutamise võimalust.

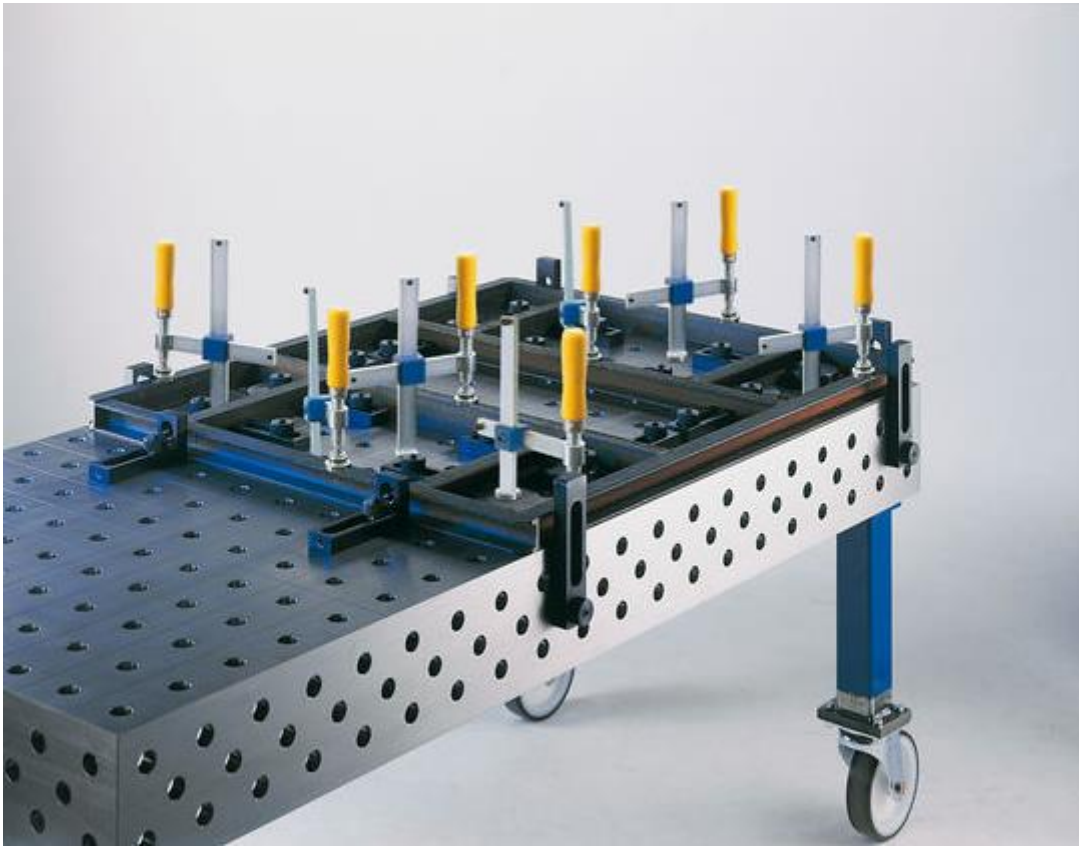
### 2.1 Turul olevad lahendused

Antud alapunktis vaadatakse üle turul müüdavaid lahendusi ning otsustatakse kas on vaja luua eraldi toote spetsiifiline rakis.



Pilt 2 Rakis keevitusrobotis [1]

Antud pildid on rakis paigaldatud raamile, mida on võimalik, roboti positsioneerijaga, ümber oma telje ringi pöörata. Detailide positsioneerimiseks on kasutatud jäiksid tugesid ja kiirkinnitusega klambreid. Robotiga keevitamine on eelistatud variant kuna robotiga keevitamisel saadakse ühtlasemaid tulemusi, kui käsitsi keevitamisel.



Pilt 3 Siegmund modulaarne keevituslaud [2]

Modulaarne keevituslaud on väga paindlik tööriist, kus on võimalik vastavalt vajadusele tekitada erinevaid toetuspindasid. Keevituslaudade tootjate valik on suur ning igal tootjal on lisaks erinevat tüüpi laud. Enamasti jagunevad keevituslaudade raskustaluvuse järgi. Ettevõttes on kasutuses Siegmund „system 16“ keevituslaud. Kinnitusvahendid ja toed on standartsete mõõtudega, mis tähendab seda, et kõik kinnitusvahendid ei pruugi olla antud tootele sobilikud. Standardseid kinnitusvahendeid kasutades on üheks suureks miinuseks sellise laua juures ajaline kulu. Üsna tihti tuleb ettevõttes ette olukordi, kus töökohal peab tegema teist tööd ehk siis tuleb laualt kinnitusvahendid eemaldada ning ümber paigaldada vastavalt teisele tootele. See kõik on ajakulu, mida üritatakse võimalusel vältida. Esialgne investeering on üpris kõrge. Laua hind on alates 3500 eurot ning lisaks on vaja soetada vastavalt lauale kinnitusvahendeid ja klambreid.

## 2.2 Ajakulu arvutus

Antud alampeatükis leitakse arvutuslik raami keevitusaeg. Keevitusele kuluv aeg koosneb seadistus- ja tööle kuluvast ajast, mis omakorda koosneb puhas kaarleegiajast, keevituse lisaajast, käsitlemis- ja abiajast. Keevitusele kuluv aeg leitakse:

$$T = t_{as} + t_{ka} + t_{si} + t_{k\grave{a}} + t_{pa} \quad ( 2.1 )$$

- $T$  – Tööle kuluv aeg

- $t_{as}$  – Seadistusaeg
- $t_{ka}$  – Puhas kaarleegiaeg
- $t_{si}$  – Keevituse lisaeg
- $t_{k\ddot{a}}$  – Käsitlemisaeg
- $t_{pa}$  – Abiaeg

Seadistusaeg( $t_{as}$ ) on aeg, mis kulub uue töö alustamiseks ehk aeg, mis kulub enne keevitamist ennast ja muid tegevusi ennem keevitusfaasi. Nendeks aegadeks võivad olla näiteks roboti programmeerimine, detailide käsitsi paigaldamine seadmesse, erinevate kinnitusvahendite paigaldus jne. Seeriatootmises tehakse seda tavaliselt ainult üks kord konkreetse toote kohta ning üritatakse viia võimalikult minimaalseks. Lühikesed seadistusajad on loomulikult keevitamisel selge majanduslik eelis.

Puhas kaarleegiaeg( $t_{ka}$ ) on aeg, mil kaar põleb. Kaareaeg sõltub suuresti keevitusprotsessist, keevitusparameetritest ja keevitusasendist.

Keevituse lisaeg( $t_{si}$ ) on seotud otseselt keevitamisega ajaga. Sinna kuuluvad sellised tegevused nagu näiteks keevitustraadi/traadipooli vahetus, gaasiballooni vahetus, räbu eemaldamine, gaasidüüsi puhastamine jne.

Käsitlemisaeg( $t_{k\ddot{a}}$ ) hõlmab detailide käsitlemiseks kuluvat aega, nt. detailide rakisesse asetamist, kinnitamist ja mõõtmisi. Aeg sõltub suuresti kinnitusvahendite tüübist, detailide suurusest ja seadmetest.

Abiaeg( $t_{pa}$ ) on aeg, mida keevitutööga otseselt ei seostata. Abiajaks loetakse näiteks keeviste lihvimiseks, keevispritsmete eemaldamiseks ning toote pööramisele kuluvat aega. Abiaeg peab olema võimalikult lühike [3], [4].

Tabel 2.1 Keevisõmbluste koondtabel

Järk	Pikkus, mm	Kogus, tk	Keevituskiirus, mm/min
1.	50	4	190
2.	47	4	
3.	40	4	
4.	120	8	
5.	250	2	
6.	55	4	
7.	50	4	
8.	40	4	
9.	60	8	
10.	50	4	
11.	47	4	
12.	55	4	
13.	134	8	
14.	55	4	
15.	40	4	
16.	55	8	
17.	80	8	
18.	100	4	
19.	74	2	
20.	174	2	
21.	148	2	
22.	74	2	
23.	174	2	
24.	148	2	
25.	99	8	
26.	50	8	
27.	63	2	
28.	94	2	
Puhas kaarleegiaeg kokku, min:			51

Raamil on kokku 9698 mm keevisõmblusteid. Keevituskiirus saadi eelnevalt koostatud ettevõtte WPS-st (UK\_WPS13502), mis on 180-200 mm/min. Selle järgi võeti keskmine 190 mm/min. Leitud puhast kaarleegiaeg on 51 min.

Tabel 2.2 Tööle kuluv aega

Aja komponent	Kulunud aeg, min
Seadistusaeg	30
Puhast kaarleegiaeg	51
Keevituse lisaaeg	15
Käsitlemisaeg	35
Abiaeg	164
Kokku	295

Seadistusajal arvestati sellega, et enne töö algust peab keevitaja oma töökoha ette valmistama, vajalikud tööriistad leidma ja vajadusel rakistus töölauale paigaldada. Seda tehakse tavaliselt üks kord, väljaarvatud siis kui samal töölaual tehti muid tooteid.

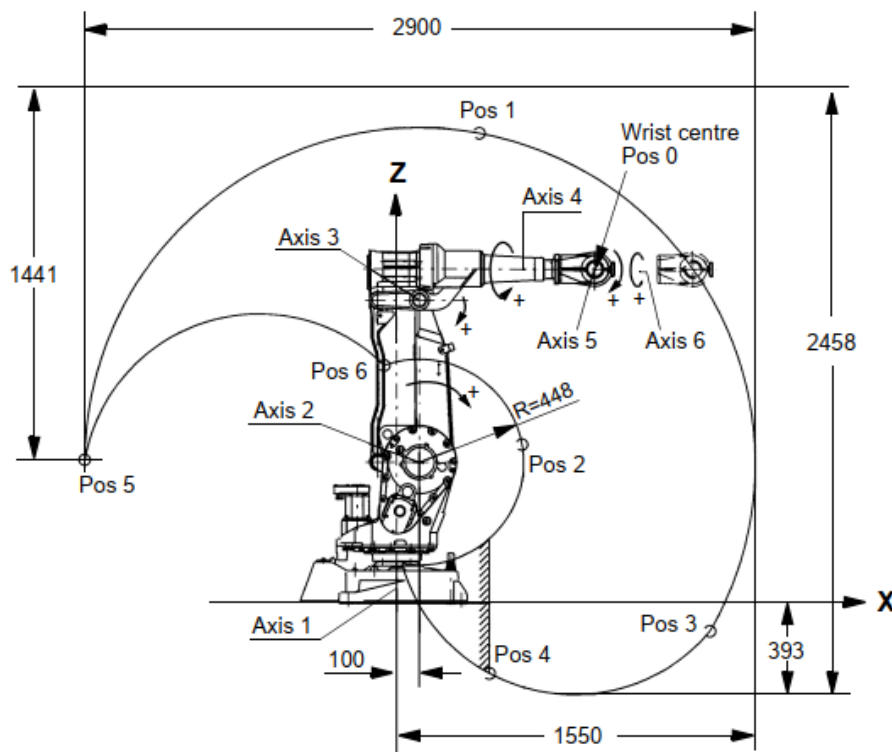
Keevituse lisaeg arvestati ainult 15 minutit kuna iga toote puhul ei pruugi traadi või gaasiballooni vahetust ette tulla.

Käsitlemisaega on ette nähtud 35 minutit. Detaile on koostus 11 tükki ning detailide paigaldamist mõõdulindiga on keevitajal antud tootel vähe.

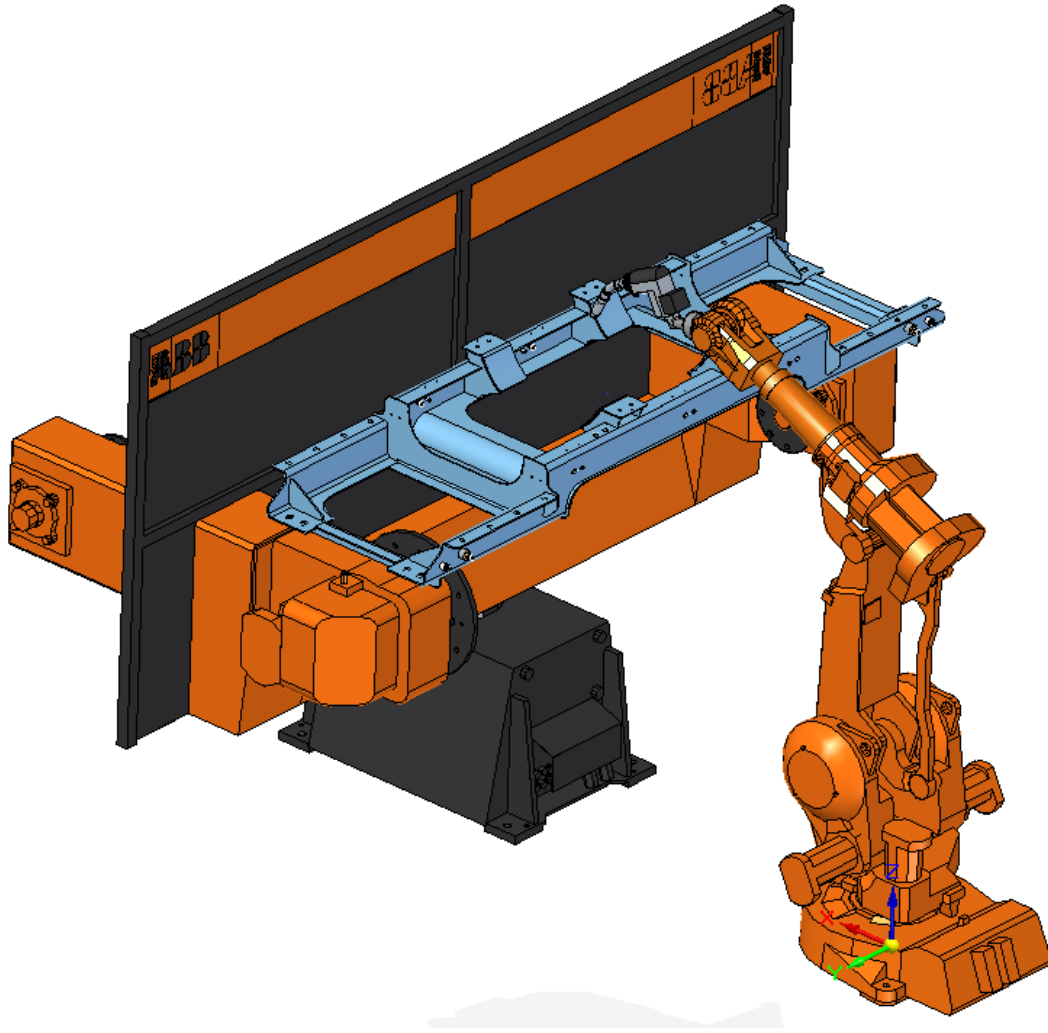
Abiaga on kokku ette nähtud 164 minutit. See sisaldab keevisõembluste lihvimist – 4 keevisõemblust, 0,5 min/tk; keevisõembluse puhastust ja pritsmete eemaldamist – 130 keevisõemblust, 0,8 min/tk; toote ümberpöörämised telfriga – 60 minutit. Kõigi aegade summa annab kokkuvõttes 295 minutit.

## 2.3 Toote sobivus keevitusrobotile

Ettevõttes on kasutusel kuue teljega ABB keevitusrobot IRB 2400-10, millel on lisaks positsioneerija IRBP 250R. Keevitusroboti platvorm on kinnitatud jäigalt põrandale ehk rööbastel liikumine ei ole võimalik. Antud alampeatükis vaadatakse üle, kas toodet on võimalik robotile paigutada ning kas seda saab antud robotsüsteemiga toota.



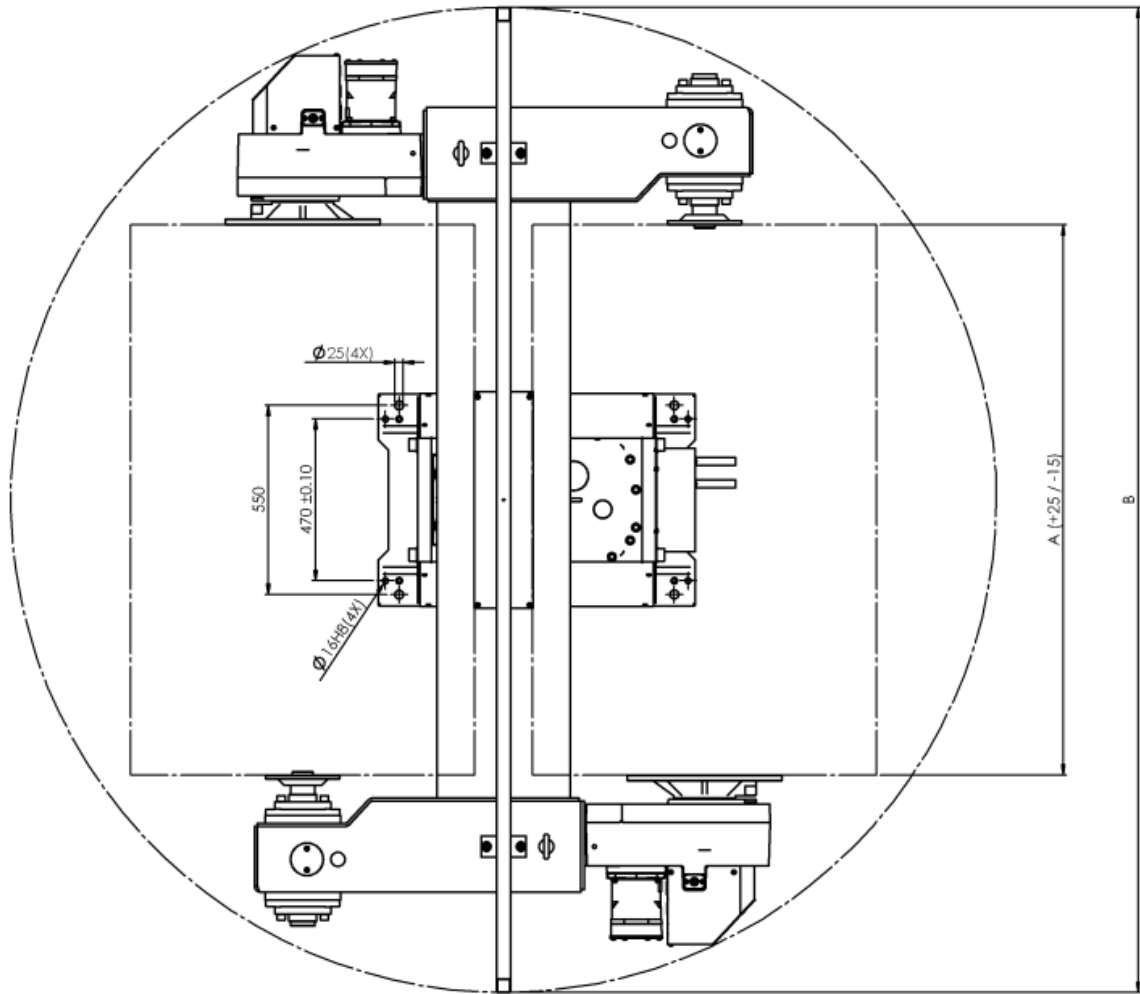
Pilt 4 IRB 2400-10 tööala



Pilt 5 Keevitusrobotisüsteem

Selleks, et täpsemini järgi vaadata, kuidas toode mahub robotsüsteemi, kasutatakse ettevõttes eelnevalt koostatud Solid Edge 3D mudelit. Antud tööriistaga on võimalik kontrollida roboti põleti ligipääsetavust keevisõmblustele ning võimaldab anda hinnangu toote sobilikkusele antud robotsüsteemi. Roboti juhtimine toimub läbi Excel tabeli makro, kus on võimalik igat telge pöörata. Telgesid on võimalik pöörata  $0,1^\circ$ ,  $1^\circ$  ja  $10^\circ$  kraadiste intervallidega, sellega tagatakse piisav positsioneerimise täpsus 3D mudelis [5].

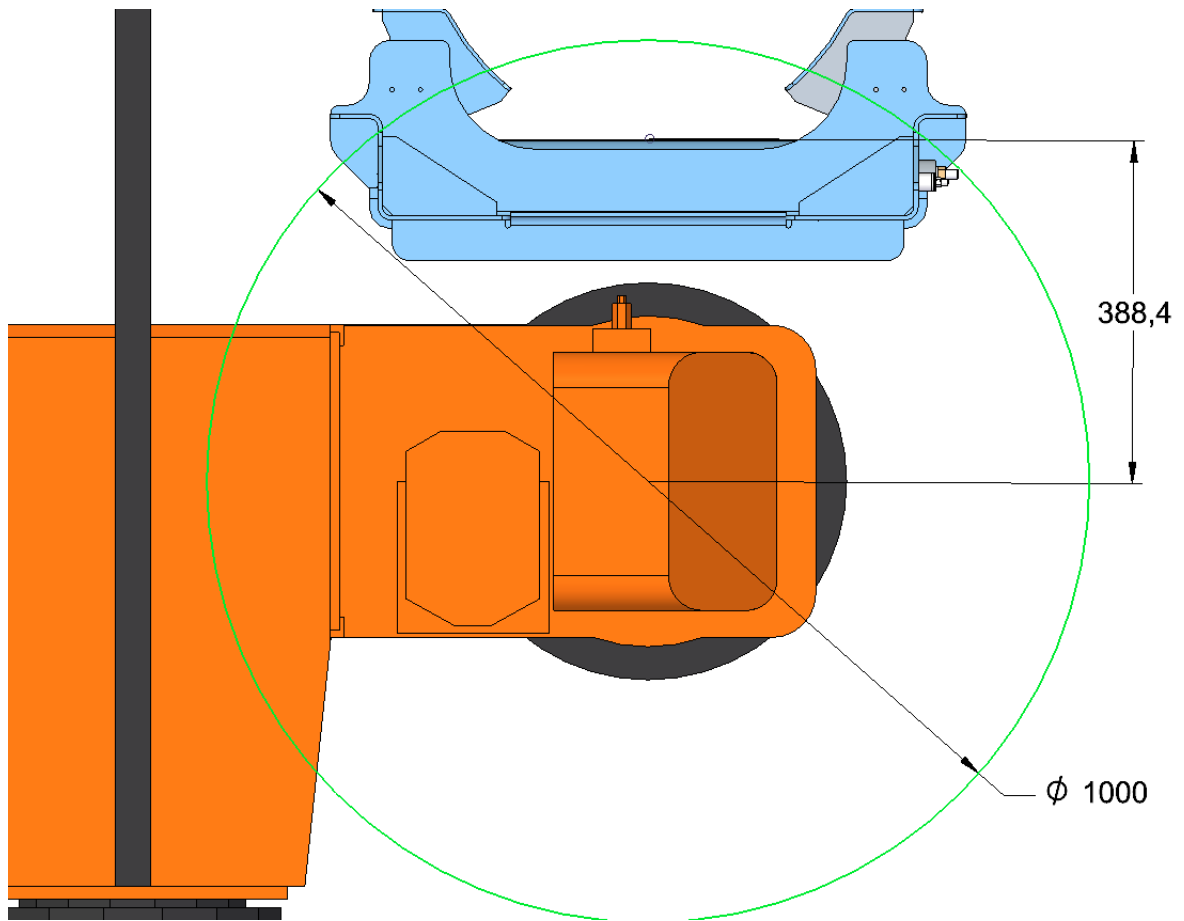
Kõige probleemsemateks kohtadeks võivad osutuda raami otstes olevad keevisõmbused, kus on vaja keevitada mõlemalt poolelt. Lisaks on vaja säilitada põleti otsiku  $90^\circ$ -ne asend keevisõmbuse suhtes.



Pilt 6 Positsioneerija IRBP 250R

Positsioneerija võimaldab toodet 360 kraadi ümber oma telje pöörata. Samal ajal on võimalik teisel poolel keevitatud toodet maha laadida ja uut peale paigutada. Flantside vahekaugus (A) on 1600 mm. Maksimaalne läbimõõduga toode, mis mahub flantside vahele pöörlema on 1000 mm. Kuna keevisraam on pikem, kui flantside vahekaugus, siis on võimalik keevisraami flantside tsentrijoonest eemale tuua. See tähendab seda, et toodet peab vähemalt 388 mm tsentrijoonest eemale viima.

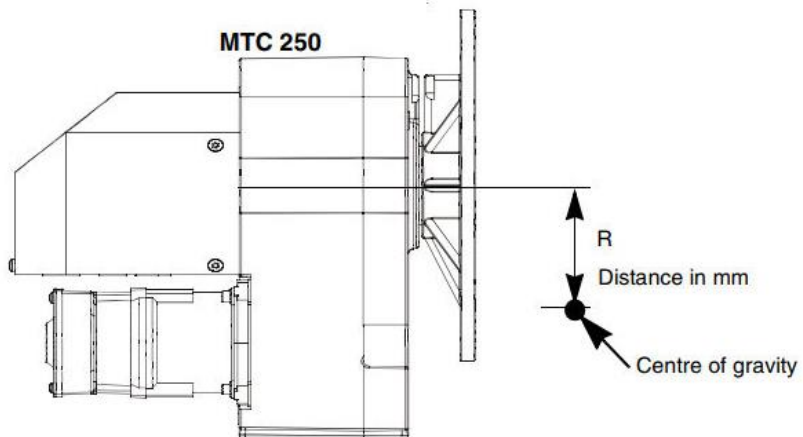
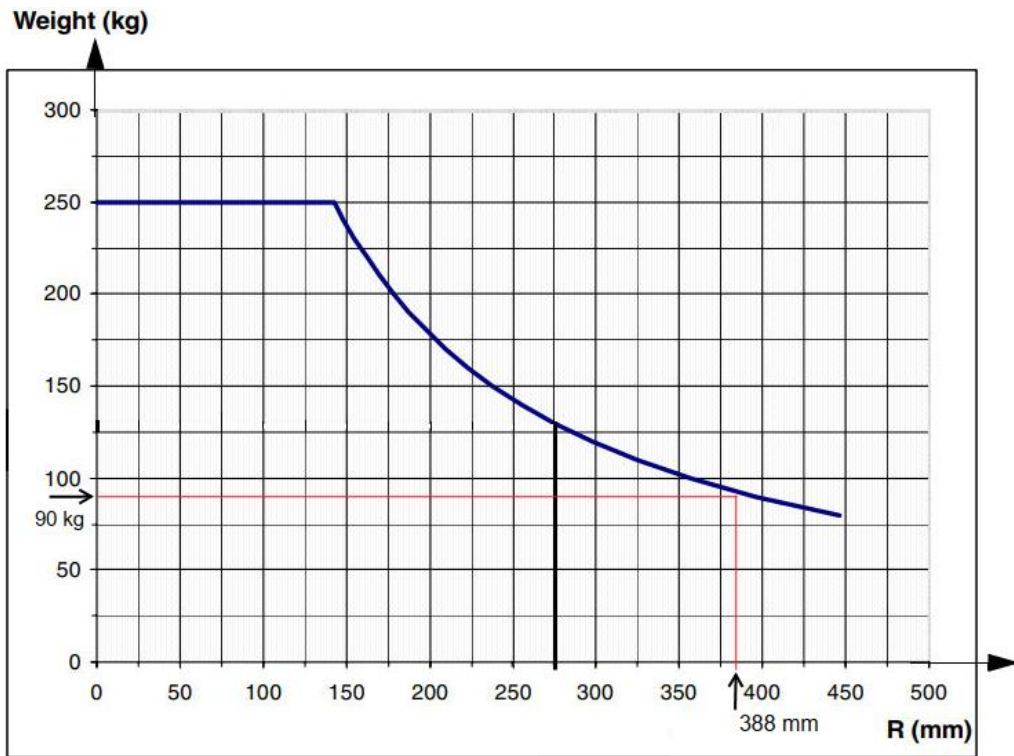




Pilt 7 Raskuskeskme kaugus positsioneerija tsestrist

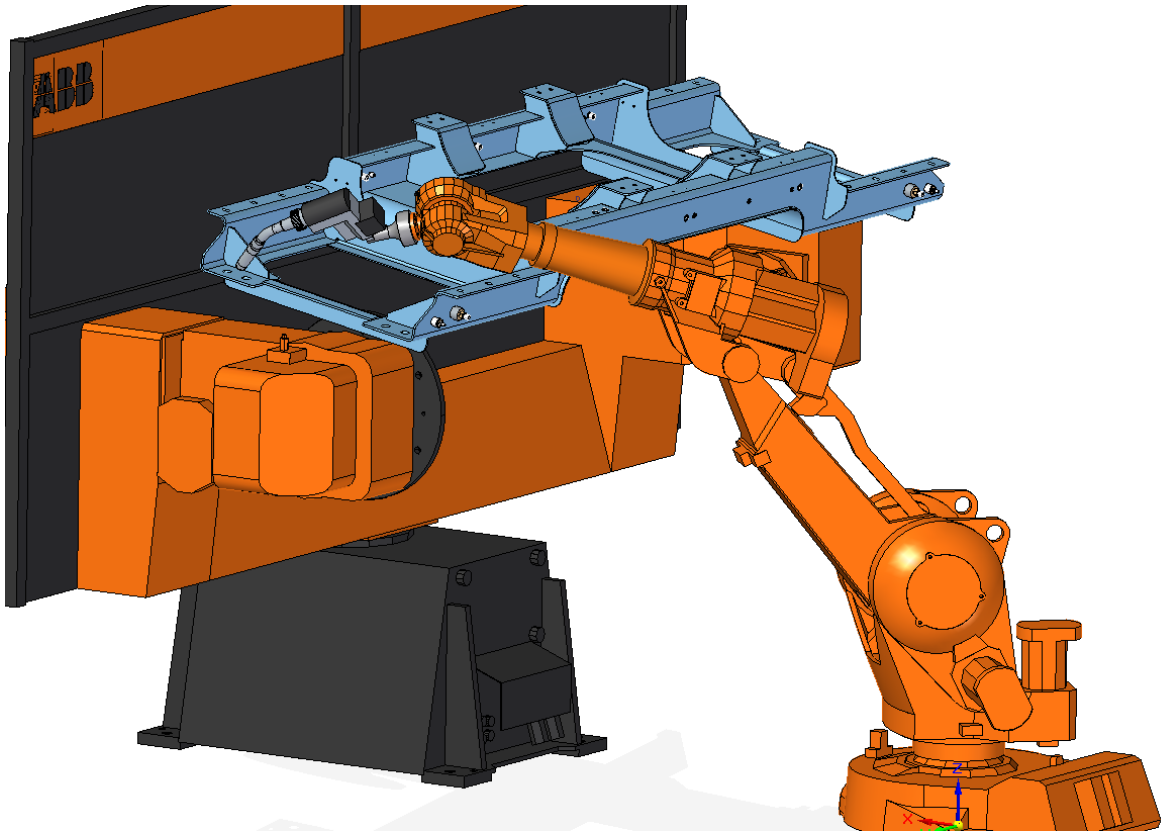
3D mudelist leiti raskuskeskme kaugus positsioneerija tsestrist, tulemus kanti graafikusse (Pilt 8).

Selle tõttu, et toodet liigutati tsestrist välja, jääb toode positsioneerija lubatud pöördealast välja. See tähendab seda, et toodet ei ole võimalik pöörata 360° ümber telje, ning selle tõttu on paljudele keevisõmblustele ligipääs raskendatud või võimatu (Pilt 7).



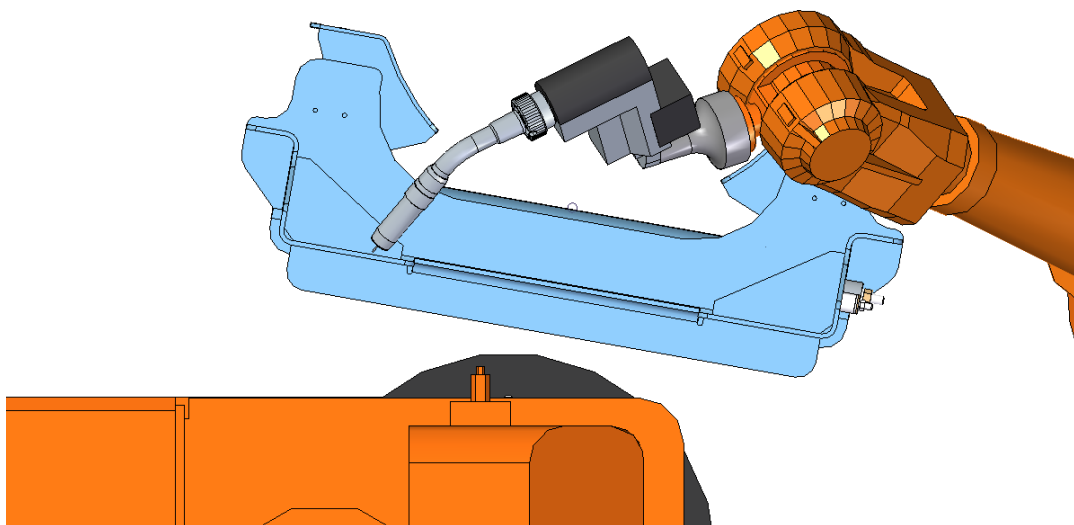
Pilt 8 Raskuskeskme asukoha piirangud erinevatel koormustel

Antud graafikul on näha, kui toodet, massiga 60 kg, viia 388 mm tsentrijoonest välja, siis selle koha pealt ei ole segavaid piiranguid. Lisaks tuleb arvesse võtta toote raskuskeset ja rakistuse massi, mis võib olla kuni 30 kg. Eeldatav mass on kokku 90 kg.



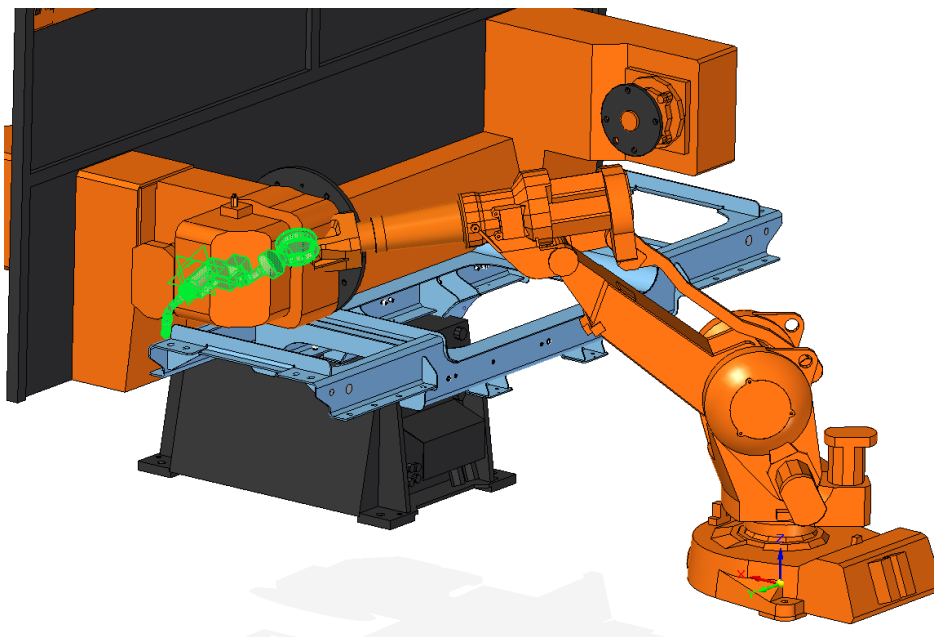
Pilt 9 Problemaatiline asend nr.1

Põleti on positsioneeritud jäikusplaadi keevisõmbluse juurde. Antud asendis on võimalik keevitada ainult horisontaalsed keevisõmblused (Pilt 9). Vasakult poolt (positsioneerija vaheseina poolt) jäävad jäikusplaatide vertikaalsed keevisõmblused tegemata kuna positsioneerija ei võimalda toodet 360° ringi pöörata ja lae asendis keevitamine on antud projektis keelatud. Samamoodi jäävad tegemata vertikaalsed keevisõmblused kahel vasakpoolsel toetusjalal.



Pilt 10 Asendi nr.1 suurendus

Lisaks on näha, et keevitusroboti põleti ei ulatu ribi täielikult keevitama. Raami on pööratud 5° võrra, vastasel juhul läheb keevitusrobot vastu toodet.

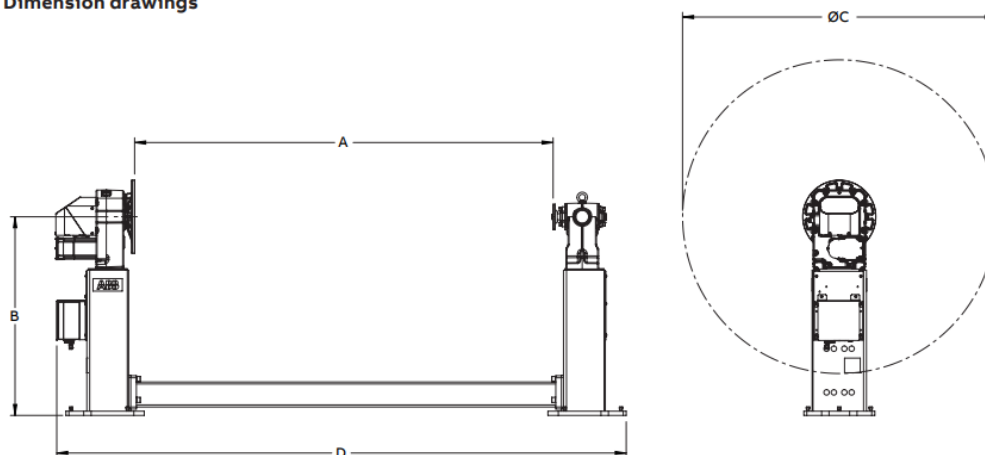


Pilt 11 Probleeme asend nr.2

Toode on keeratud 180°. Teiselt poolt ei ole võimalik horisontaalseid keevisõmbeluseid teha, sest kui pöörata toodet ümber oma telje, jääb see positsioneerija alla. Rohelisega on välja toodud keevitusroboti osa, mis põrkab kokku positsioneerijaga. Lisaks, kui keevitusrobotile projekteeritakse keevitusrakis, võib see tekitada veelgi ligipääsetavusprobleeme.

Väljatoodud punktidest saab eeldada, et antud toode ei ole sobilik tööks ettevõtte keevitusrobotsüsteemiga. Esiteks, antud keevisraam sobib rohkem keevitusrobotsüsteemi, kus keevitusrobot on võimeline liikuma mööda rööpaid kuna toode on nii pikk. Teiseks, kasutuses peab olema teistsugust tüüpi positsioneerija nagu nt. IRBP L [6].

Dimension drawings



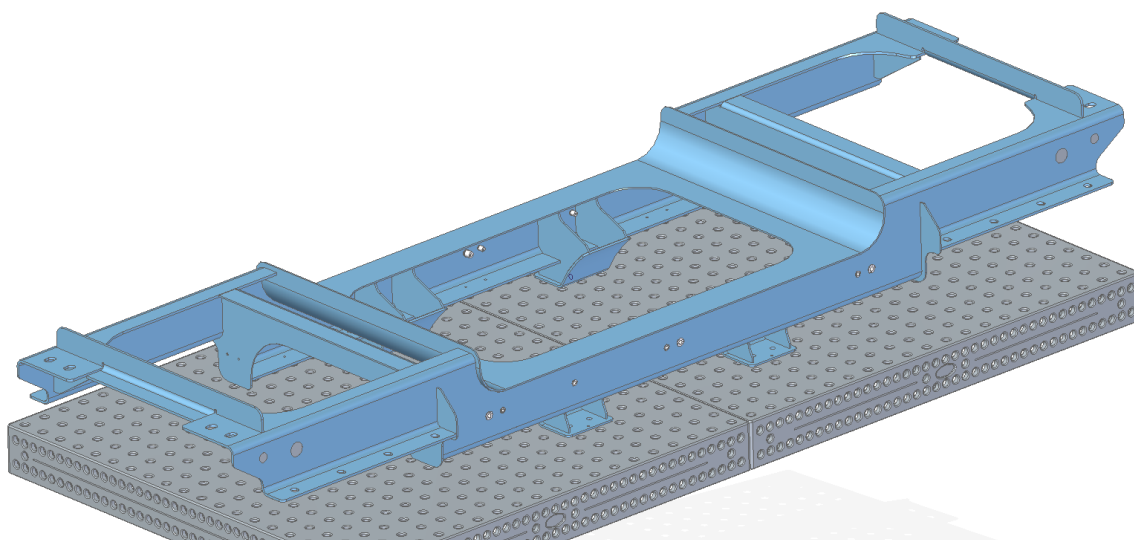
Pilt 12 IRBP L

### 3. Rakiste idee väljatöötamine

Kuna peatükis 2.3 oli selge, et keevitusrobotiga antud toodet toota ei õnnestu vaid seda hakatakse käsitsi keevitama, siis selle jaoks on vaja paika panna koostamisjärjekord ja rakise disain.

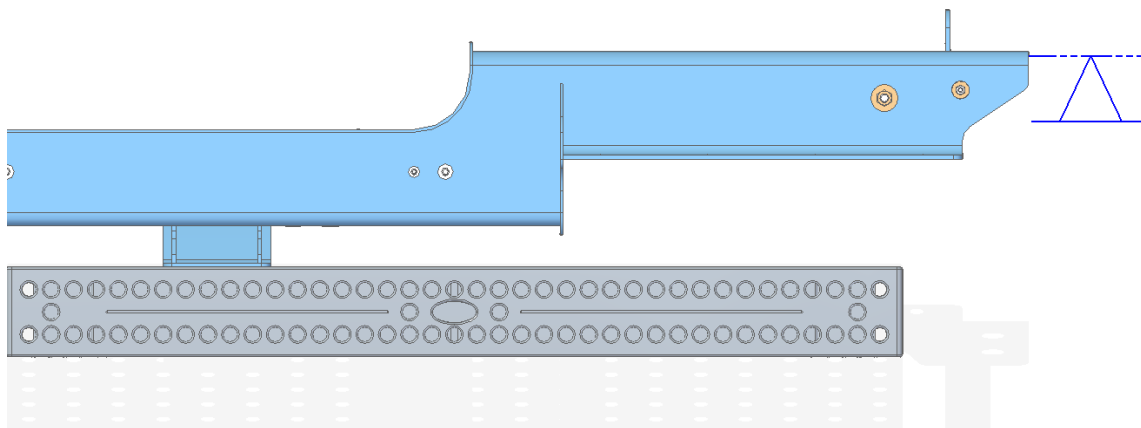
#### 3.1 Lahendus 1

Järgmine idee oli kasutusele võtta modulaarne keevituslaud. Ettevõttes on juba iga keevitaja töökohal olemas üks modulaarne keevituslaud mõõtudega 1x2 meetrit. See tähendab, et ei ole vaja lisainvesteeringut uute laudade näol ning lisaks on olemas modulaarlaudadele standardsed kinnitusvahendid.



Pilt 13 Lahendus 1

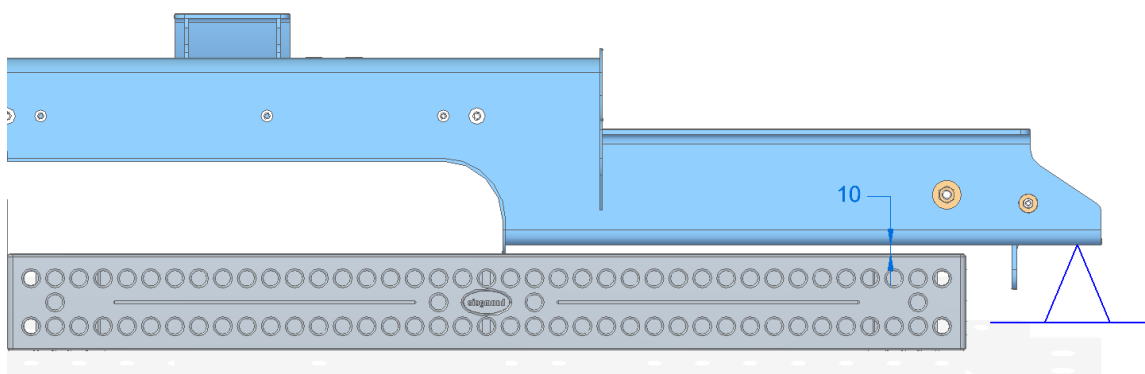
Esimese asjana vaadati, mis asendis on toodet kõige mõistlikum rakises koostada. Antud lahenduses alustatakse raami koostamist jalgade positioneerimisest ning seejärel paigaldatakse küljetalad ja ülejäänud vahedetailid.



Pilt 14 Lahendus 1 külgvaade

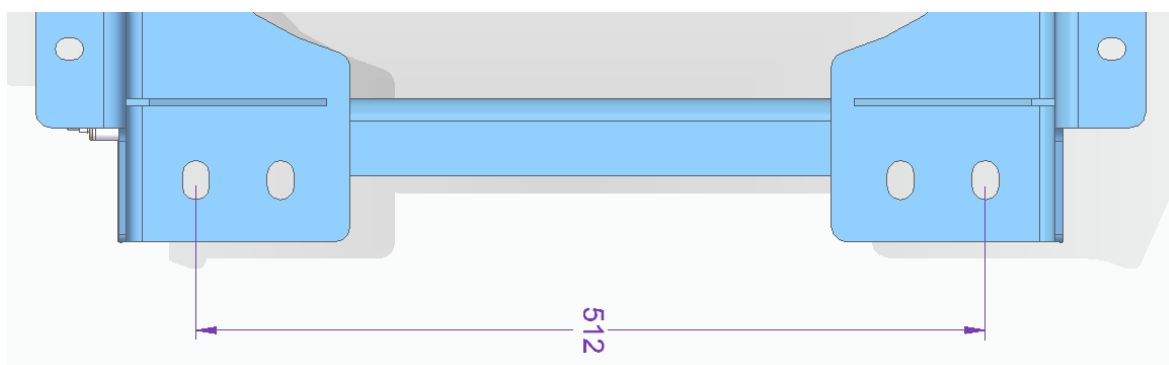
Antud lahenduse puhul peab arvestama ka polditava pinna toestamisega kuna antud pinnal on tasapinnalisuse tolerants 2 mm. Lisaks on näha, et antud pind jääb keevituslaua servast üle ja on laua pinnast 240 mm kaugusel. Antud mõõdus standardseid tugesid keevituslaua tootja ei paku ning antud pinna toestamine sellises asendis on ebamõistlik. Otsustati, et selle lahendusega edasi ei lähe.

## 3.2 Lahendus 2



Pilt 15 Lahendus 2 külgvaade

Teine võimalus on koostada raam teist pidi, et raami olulised polditavad pinnad jääksid laua poole. See lihtsustab rakise konstruktsiooni oluliselt ja võimaldab detaile lihtsamini positsioneerida. Selleks, et antud pindasid paremini toestada on vaja 10 mm distantssplaat rakise alusplaadi ja keevisraami küljetalade vahele, see tagab jäiga toestuspinna keevitamise ajal. Raami toetusjalad jäävad rakise alusplaadist eemale ning keevituse ajal neid toestatakse eraldiseisva lisarakisega.



Pilt 16 Keevisraami pealt vaade

Läbi 2 ovaalse ava on võimalik külgtalad lihtsasti positsioneerida. Selle jaoks treitakse positsioneerimissõrmed. Kuna keevitamise ajal hakkavad toote mõõdud muutuma, siis on oluline arvestada joonpaisumisega. Joonpaisumist leitakse järgmise valemiga:

$$\Delta l = \alpha_1 * l_1 * \Delta t \quad ( 3.1 )$$

kus:

- $\Delta l$  - Pikkuse muutus, mm
- $\alpha_1$  - Joonpaisumistegur
- $l_1$  - Algpikkus, mm
- $\Delta t$  - Temperatuuri muutus, °C

Reaalseid temperatuuri mõõtmiseid ei olnud võimalik tootmisoludes teha, sest keevisraamide tootmine lükkus edasi ning prototüüp raami keevitamisel seda ei teatud. Sellisel juhul leitakse temperatuuri muutus arvutuslikult. Temperatuuri muutus avaldatakse soojushulga arvutusvalemist( 3.2 ).

$$Q = c * m * \Delta t \quad ( 3.2 )$$

kus:

- $Q$  – Soojushulk, kJ
- $c$  – Erisoojus
- $m$  – Mass, kg

$$\Delta t = \frac{Q}{c * m} \quad ( 3.3 )$$

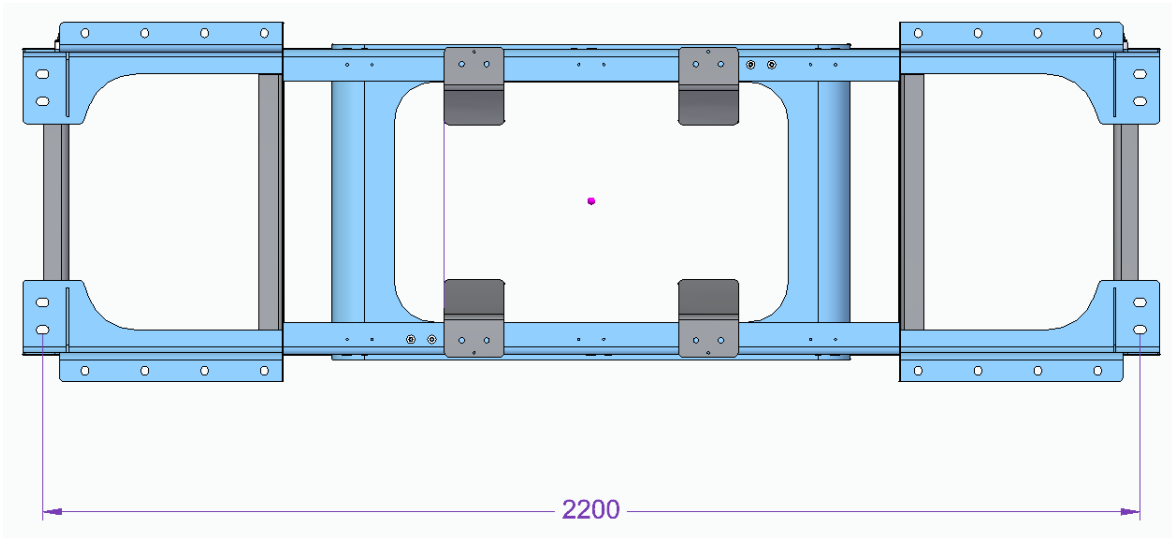
Vajalik soojushulk on ette antud ettevõtte WPS-is, mis on vaja korrutada keevisõmbuste pikkustega. Sisestatav soojushulk ühe millimeetri kohta on 0,9 kJ. Keevisõmbuseid on raami ühel poolel 80 mm. Soojushulk  $Q = 72$  kJ. Mass leiti 3D mudelist, lõigates sealt välja üks osa, mis on 1,8 kg. Terase erisoojus on 0,49 kJ/kg\*°C [7]. Kasutades valemit ( 3.3 ) leitakse temperatuuri muutus.

$$\Delta t = \frac{72}{0,49 * 1,8} = 81,6^\circ\text{C}$$

Nüüd on võimalik leida pikkuse muutus keevitamise ajal kasutades valemit ( 3.2 ). Joonpaisumistegur terase puhul on  $1,19 * 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$  [7]. Algpikkus on 213 mm.

$$\Delta l = 1,19 * 10^{-5} * 213 * 81,6 = 0,21 \text{ mm}$$

Kuna keevitust teostatakse mõlemalt poolt, siis 0,21 korrutada kahega. Kokku muutub ovaalsete avade vahekaugus hinnanguliselt 0,42 mm.



Pilt 17 Keevisraami pealt vaade 2200 mm

Samasugusel viisil leitakse joonpaisumine piki raami. Keevisõmbeluseid on ühel raami poolel 2535 mm. Soojussisestuseks saadakse  $Q = 2281,5$  kJ. Mass leiti 3D mudelist, mis on 27 kg. Kasutades valemit ( 3.3 ) leitakse temperatuuri muutus.

$$\Delta t = \frac{2281,5}{0,49 * 27} = 172,4^{\circ}\text{C}$$

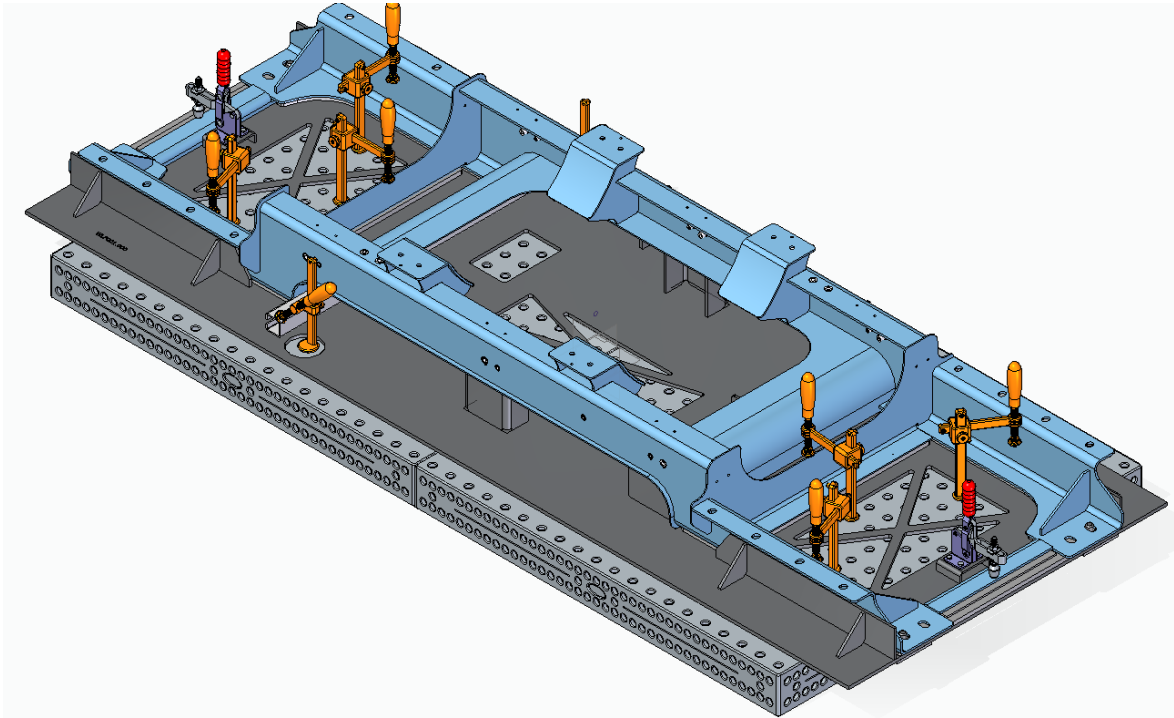
Kasutades valemit ( 3.2 ), et leida joonpaisumine. Algpikkus on 2200 mm.

$$\Delta l = 1,19 * 10^{-5} * 2200 * 172,4 = 4,5 \text{ mm}$$

Siin kohal tuleb arvestada sellega, et tegelikult ühe hetkega ei sisestata tootesse sellisel hulgal soojust ning tegelik soojushulk oleneb suurel määral ka keevitusjärjekorrast. Ehk siis tegelikkuses võib siintoodud tulemus mingil määral reaalsest soojuspaisumisest erineda.

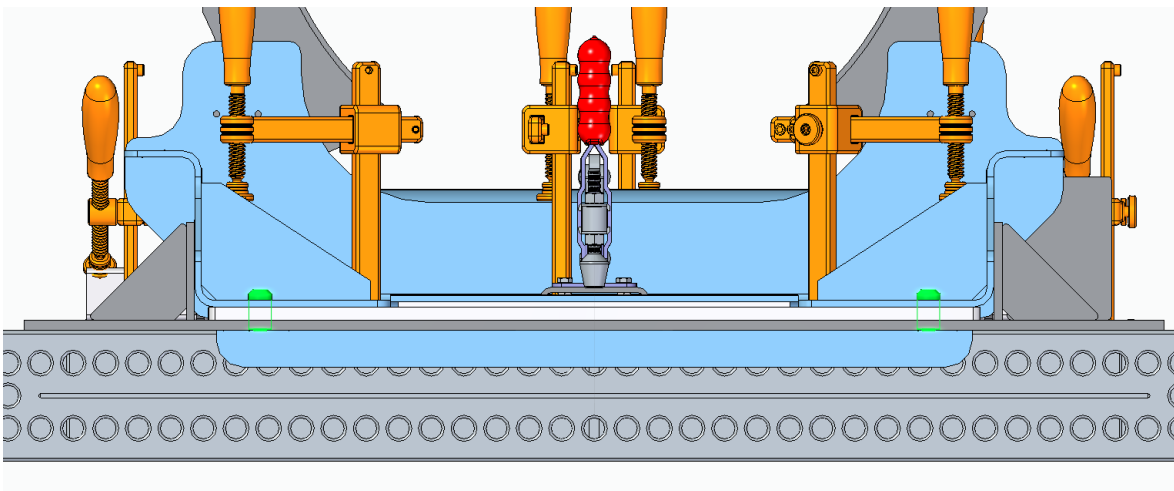
Saadud joonpaisumistega tuleb arvestada ning jätta positsioneerimis tihvtide ja detaili vahele minimaalset 0,42 laiuse suunas ja pikisuunal 4,5 mm. Kuna tegemist on teoreetiliste arvutustega, siis tulemused on hinnangulised.





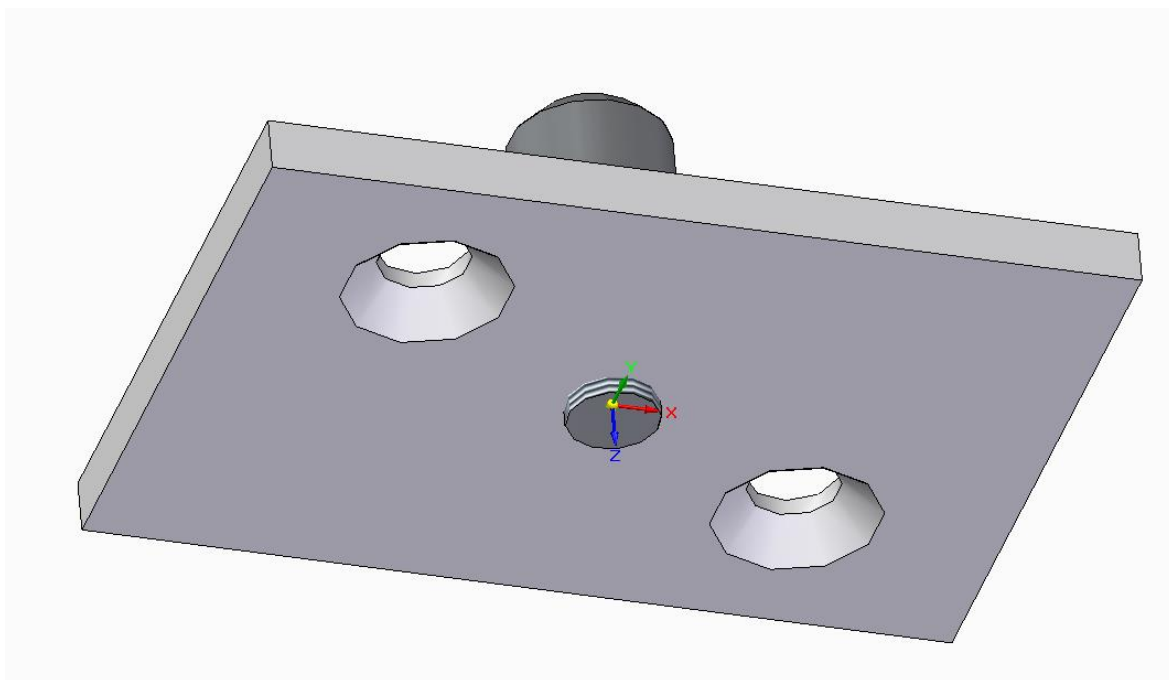
Pilt 18 Keeviturakise lahendus

Keeviturakise alusplaat on valmistatud 8 mm paksusest S355 terasest laserlõikuse teel. Küljetoed, jäikusplaadid ja teised toed on samuti S355 terasest materjalipaksusega 6 mm. Keevitatav toode hakkab toetuma 10 mm distantsplaatidele. Distantsplaatide materjaliks on alumiinium. Rakise detailide positioneerimiseks kasutatakse nn "tasku meetodit". Meetod põhineb sellel, et plasma- või laserlõikusega lehtmaterjalist põhidetaili lõigatakse madalad süvendid (paksema lehtmaterjali puhul) või ristkülikukujuline ava (õhem leht) ja vastasdetailile samas moods täiendavad lisandid. Tasku (süvendi, ava) laius on võrdne paigaldatava detaili lehtmaterjali paksusega. Lõiketäpsus võimaldab detailide koostamise teostada ka kerge pingistuga [8].



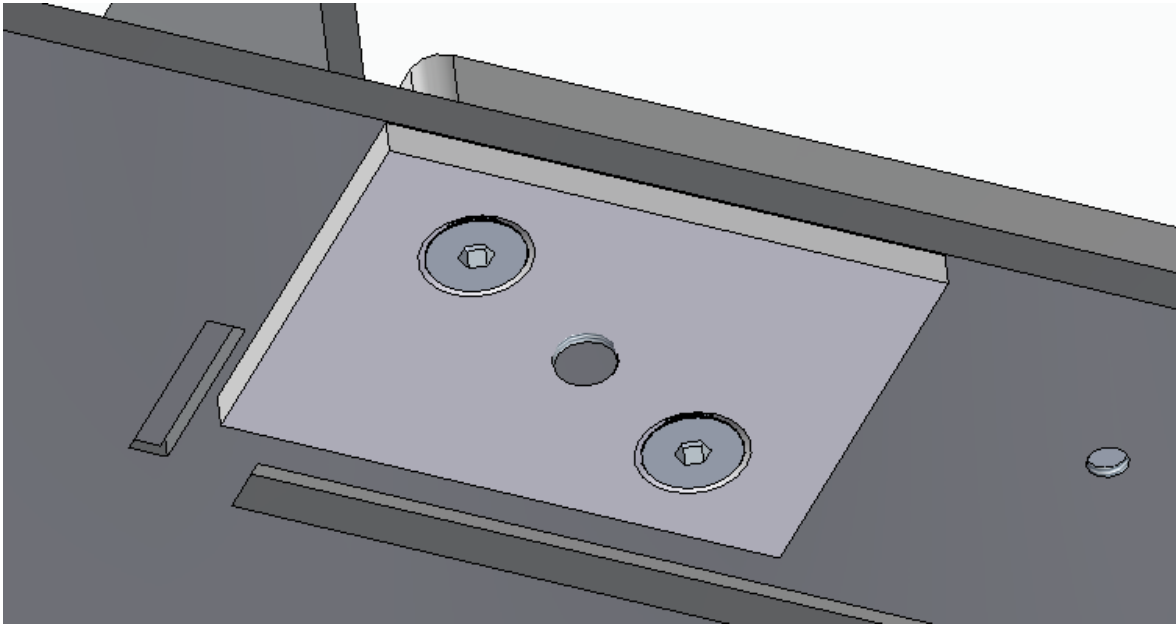
Pilt 19 Positioneerimis tihvtid

Esiolgses lahenduses keevitati positsioneerimistihvtid rakise alusplaadi külge. Keevisõmblus tehti rakise alusplaadi alumise külje poolt, et keevisõmblused ei segaks toote positsioneerimist. Kui arvestada sellega, et keevisraame hakatakse tegema 10 kuni 20 tükki nädalas, siis tuleb arvesse võtta positsioneerimistihvtide kulumist. Selle jaoks peavad tihvtid olema vahetatavad ning sama kehtib ka 10 mm distantssplaatidele. Distantssplaadid on valmistatud alumiiniumist, et keevitamise ajal aidata toote jahtumisele kaasa. Juhul, kui põkkõmbluse tegemisel tekib läbisulamine, siis alumiiniumist distantssplaadid välistavad selle, et toode keevituks alusplaadi külge.



Pilt 20 Positsioneerimistihvti alamkoost

Lõpliku lahendusena tehti positsioneerimistihvti alamkoostuks, mida on kiire ja lihtne asendada uue tihvtiga, kui see peaks liigselt kulunud olema. Tihvt kinnitub plaadile keermega.

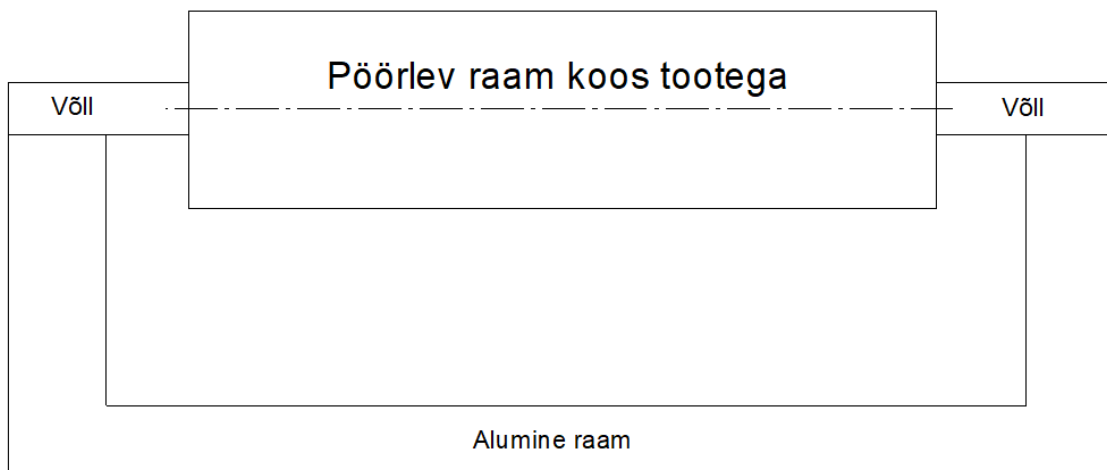


Pilt 21 Positsioneerimistihvti alamkoostu fikseerimine

Et tagad positsioneerimistäpsus, lõigati alusplaati täpsem ava, mis tagab positsioneerimise ning alamkoost fikseeritakse poltidega rakise alusplaadi külge. Positsioneerimistihvtide läbimõõtu hakatakse kontrollima alguses iga 100 raami tagant, et fikseerida, kui kiiresti hakkavad tihvtid kuluma. Hiljem võib kontrollmõõtmisega teha 150 või 200 raami tagant. Kui tihvti läbimõõt jääb alla 16,8 mm, tuleb tihvt välja vahetada.

### 3.3 Pöödrakise lahendus

Pöödrakise ülesanne on tagada kõikidele keevisõmblustele korrektses asendis ligipääsetavus. Lisaks peab arvestama ka sellega, et pöödrakises keevitamise ajal ei tekiks keevitajal ebamugavaid asendeid. Vertikaalasendis ei tohiks pöörlev raam olla kõrgem 1600 mm, vastasel juhul on ülesse jäävaid keevisõmbluseid ebamugav keevitada.



Pilt 22 Pöördrakise algne skits

Valitud lahenduseks sai kahest alamkoostus koosnev pöördrakis. Esimene alamkoost on alumine raam, mis seisab nelja ratta peal ning raami ülemistes otstes on võllid, mis hakkavad toestama pöörlevat rakise osa. Teine alamkoost on pöörlev raam, mille külge polditakse keevitav toode. Pöörlev alamkoost keevitatakse võllide külge Alumisel raamil on vajalik reduktor, mis võimaldab pöörlevat raami mõistliku jõuga ja ajaga ringi pöörata.

Reduktoriks valiti Motive BOX 050-80-b5, mille ülekandeguriks on 7,5. Gabariitmõõdud on 140 x 210 x 200 mm [9]. Antud reduktor valiti välja, kuna ettevõttes olid need enim kasutuses ja antud ülesandeks on valitud reduktor sobilik.



Pilt 23 Reduktor BOX 050-80-b5 [9]

Tabel 3.1.1 Reduktori BOX050 andmed

i	7,5	
BOX 050	Z <sub>1</sub>	4
	Z <sub>2</sub>	30
	β	23° 57' 45"
	m <sub>x</sub>	2,5
	η <sub>d</sub>	89%
	η <sub>s</sub>	70,8%

- Z<sub>1</sub> nr of starts of the worm  
 Z<sub>2</sub> nr of wormwheel teeth = Z<sub>1</sub> · i  
 β helix angle  
 m<sub>x</sub> normal module  
 η<sub>d</sub>(1400) dynamic efficiency with n<sub>1</sub> = 1400rpm  
 η<sub>s</sub> static efficiency

Pilt 24 Tähised

Järgnevalt leitakse jõud, mida peab rakendama reduktoriga ühendatud käepidemele, et toodet pöördrakisega vertikaalsesse asendisse keerata. Toote raskuskese kaugus mõõdeti 3D mudelist, mis on kinnituspindadest 95 mm kaugusel. Toote mass on 60 kg. Jõumoment leitakse valemiga:

$$M = F \cdot l \quad ( 3.1 )$$

kus:

- M = Jõumoment, Nm
- F = Jõud, N
- l = Raskuskeskme kaugus, m

$$M_1 = 600 \cdot 0,095 = 57 \text{ N}$$

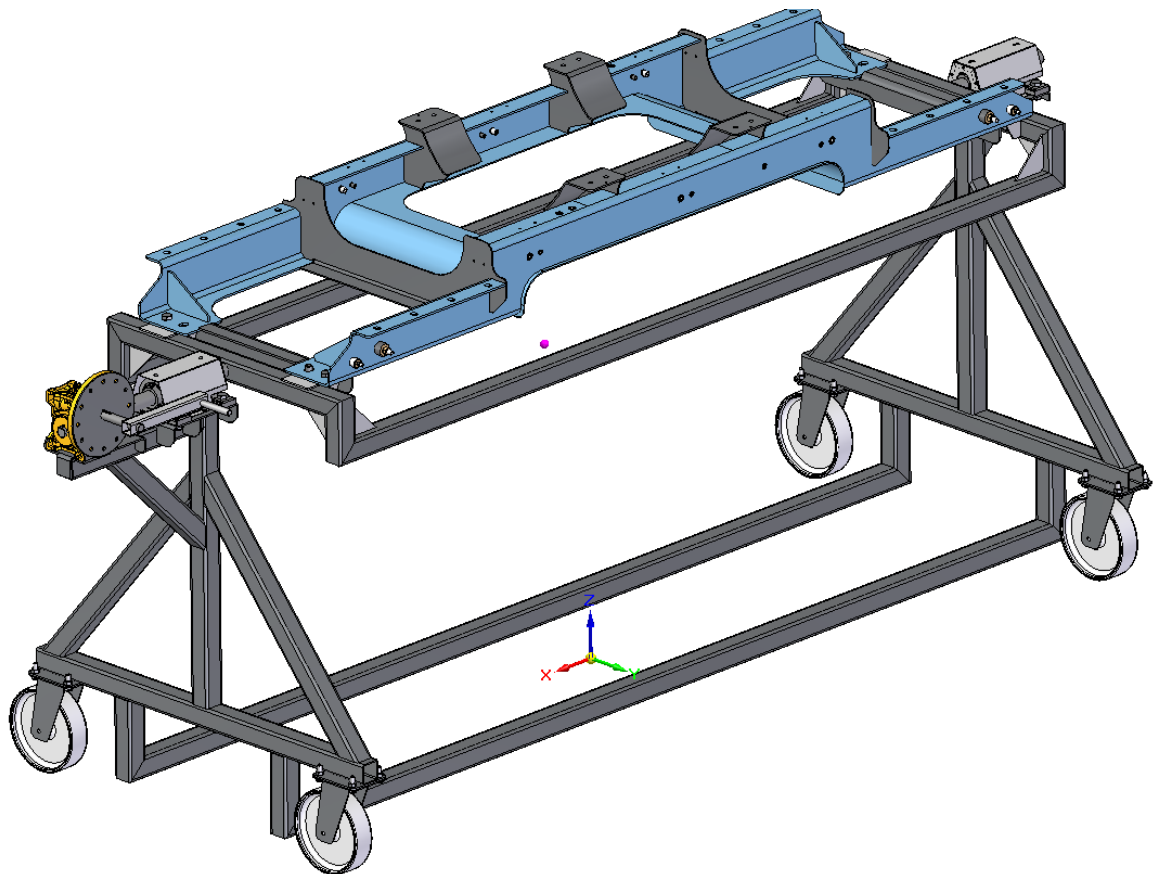
Reduktori ülekande tegur on 7,5. Jagatakse saadud jõumoment reduktori ülekande teguriga, et leida käepidemele mõjuv jõumoment.

$$M_2 = \frac{57}{7,5} = 7,6 \text{ Nm}$$

Käepideme õla pikkus on 250 mm. Avaldades valemist ( 3.1 ) käepidemele mõjuva jõu, saadakse:

$$F = \frac{7,6}{0,25} = 30,4 \text{ N}$$

Antud arvutuskäigust leiti, et käepidemele peab rakendama suuremat jõudu kui 30,4 N, et toodet pöördrakisega vertikaalsesse asendisse keerata.



Pilt 25 Toode pöördrakises

Lõpliku lahenduse raami kõrgus horisontaalsendis ilma tooteta on 1150 mm, pikkus ja laius vastavalt 3111 ja 1050 mm. Vertikaalasendis on raami kõrgus 1372 mm. Kasutuses on nelikanttoru profiil mõõtudega 50 x 50 x 3 mm. Raamidetailid ühendatakse omavahel keevisliitega. Nelikanttoru profiil valiti selleks, et tagada pöörleva raami jäikus nii horisontaalses kui ka vertikaalses asendis. Jäikus-, laagri- ja rattaplaadid on valmistatud 4 mm lehtmaterjalist, painutatud ja keevitatud raami külge. Rattad on polüamiidist, mis on tootmise oludesse sobilik. Plastikrataste läbimõõt on 200 mm ja laius 50 mm, et raami on lihtsam tootmises lükata kuna tehase põrand on betoonplaatidest tehtud, siis üleminekute kohtadel võivad olla astmed. Kõik neli ratast on pöörlevad, et tootmises oleks võimalik lihtsasti manööverdada.

## 4. Rakistele mõjuvad jõud

Antud peatükis viiakse läbi kontrollarvutused rakistele ning valideeritakse lahendused. Põhilised jõud, mis rakistele mõjuvad on raskusjõud ja temperatuurist tingitud paisumised ning kahanemised metallis.

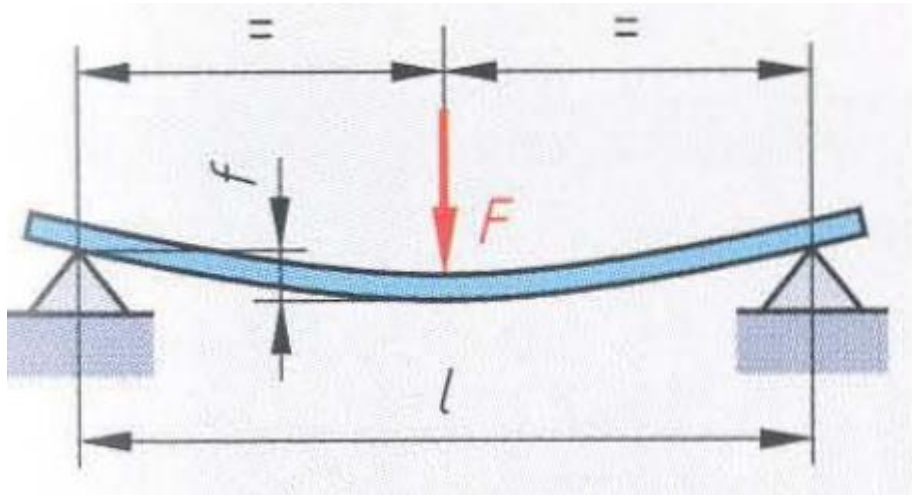
### 4.1 Keevitusrakise tugevusarvutused

Esiteks arvutatakse keevisraami deformatsioonidest tekkinud jõud ja võrreldakse seda laua tootja kinnitusvahendi etteantud maksimaalse kinnitusjõuga. Valitud pitskruidid on Siegmund „system 16“ tootegrupist. Maksimaalne kinnitusjõud on 2,5 kN.



Pilt 26 Siegmund pitskruidi 2-160610 [10].

Selleks, et leida deformatsioonist tekkinud jõud kasutatakse koondatud koormusega talade arvutusvalemit.



Pilt 27 Koormatud tala skeem [7]

Toetuspunktid on tala mõlemas otsas, sest pitskruve kasutatakse raami mõlemal poolel. Toetuspunktide vahekaugus võetakse toote otstest.

$$f = \frac{F * l^3}{48 * E * I} \quad ( 4.1 )$$

kus:

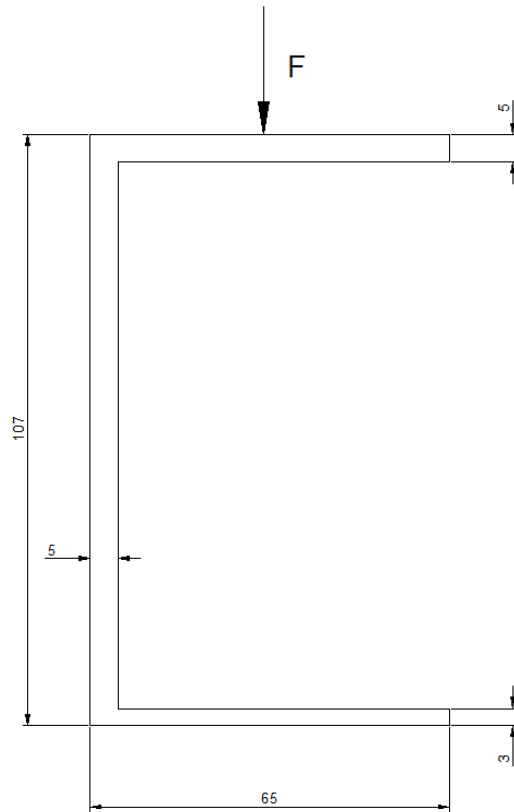
- f = Läbipaine, mm
- F = Mõjuv jõud, N
- l – Toetuspunktide vahekaugus, cm
- I – ristlõike telginertsmoment
- E – Elastusmoodul, kN/mm<sup>2</sup>

Kuna läbipaine f on prototüüp raami pealt välja mõõdetud, siis avaldamine valemist mõjuva jõu F.

$$F = \frac{f * 48 * E * I}{l^3} \quad ( 4.2 )$$

Esimesena arvutame välja telginertsmomendid. Kuna tala ristlõike on muutuv kogu pikkuses, siis tehakse lihtsustus ristlõike kujus. Arvestatakse sellega, et tala ristlõike kuju on kogu pikkuses c-profiili kujuline (Pilt 28).





Pilt 28 c-profiili mõõdud

On teada, et jõu suund on paralleelne x-teljega, siis arvutatakse ainult x-telje intersmoment. Telginertsmoment c-profiilile leitakse järgmise valemiga:

$$I_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (4.3)$$

$$I_x = \frac{65 \cdot 107^3}{12} - \frac{60 \cdot 99^3}{12} = 1,79 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

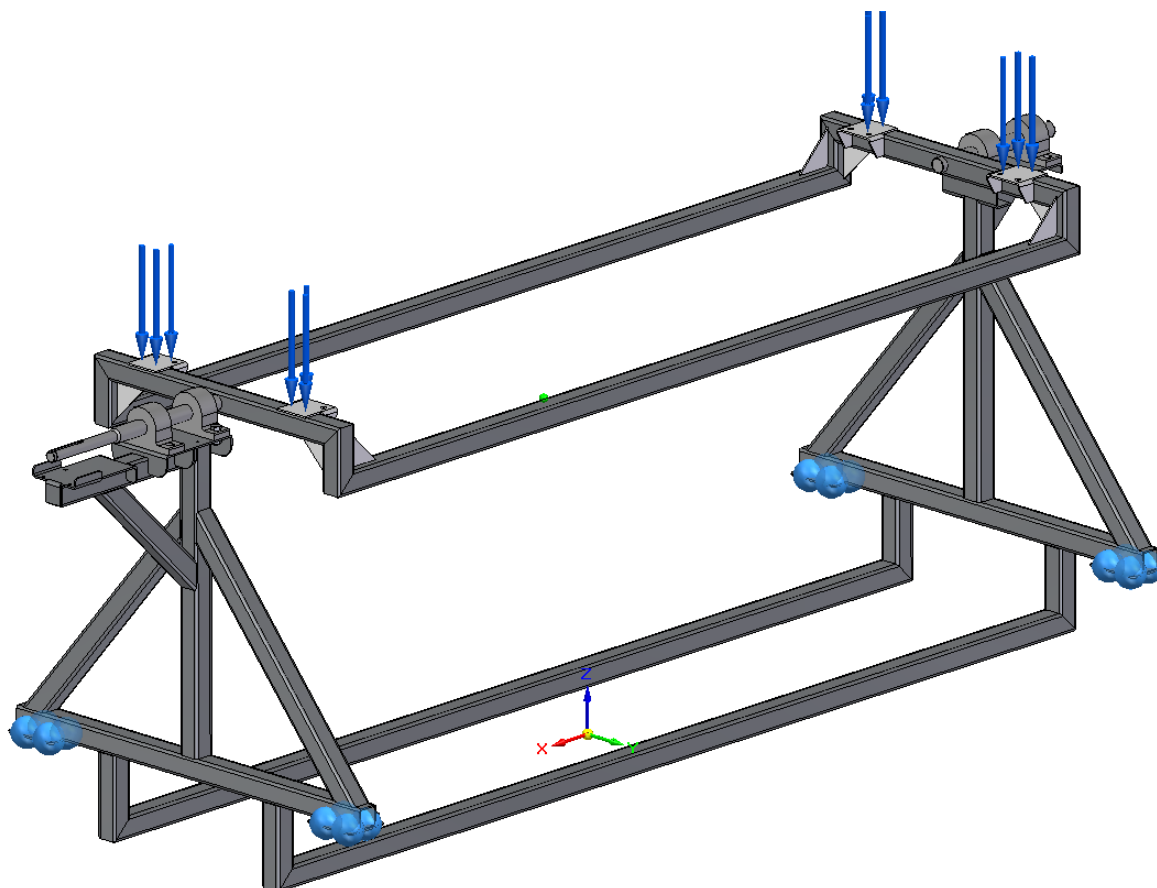
Toetuspunktide vahekaugus l on 2280 mm. Elastsusmoodul terase puhul on 196-216 kN/mm<sup>2</sup>. Arvutusteks kasutatakse keskmist väärtust ehk 206 kN/mm<sup>2</sup>. Prototüüp raami mõõdetud läbipaine on 2,5 mm. Arvutuste jaoks ümardatakse läbipaine 3 mm-i, et oleks varutegur. Kasutades valemit ( 4.2 ) leiame mõjuva jõu F.

$$F = \frac{3 \cdot 48 \cdot 206 \cdot 1,79 \cdot 10^6}{2280^3} = 4,48 \text{ kN}$$

Leiti, et raami deformatsioonidest tekkiv jõud on 4,48 kN. Eelevalt oli välja toodud, et ühe pitskrivi maksimaalne kinnitusjõud on 2,5 kN. Raami kinnitatakse mõlemast otsast vähemalt kahe või enama pitskruviga. Kokku kinnitatakse raami ühte tala vähemalt 5 kN jõuga. Nendest arvutustest saab järeldada, et valitud kinnitusvahendid on toote kinnitamiseks sobilikud.

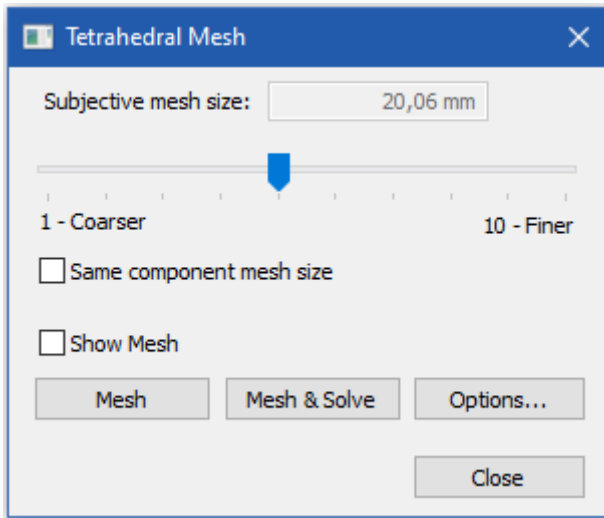
## 4.2 Pöördrakise tugevusarvutused

Pöördrakise tugevusarvutused teostatakse Solid Edge tarkvaras simulatsiooni keskkonnas. Simulatsioonid teostatakse kahes osas, sest pöördrakist hakatakse pidevalt ringi pöörama ja selle tõttu muutuvad mõjuvate jõudude suunad raami suhtes. Esimeses osas on pöördrakis oma nullasendis (Pilt 29). Teises osas on pöörlev raami osa keeratud 90°.



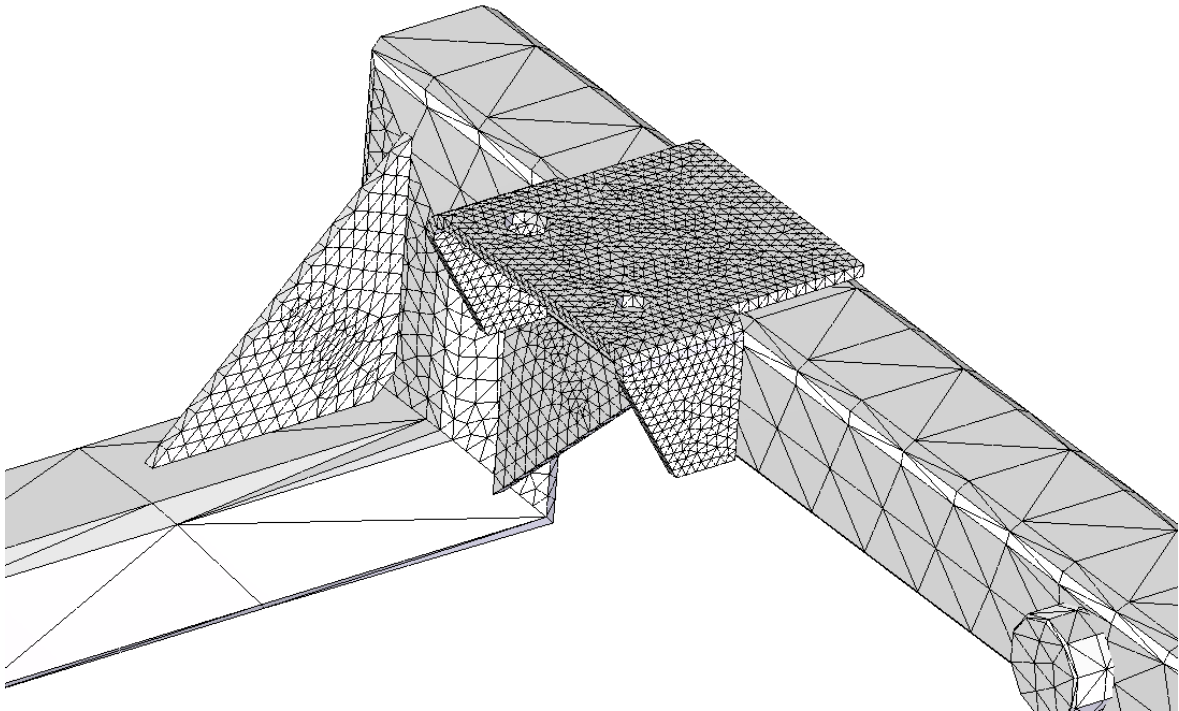
Pilt 29 Pöördrakise rajatingimused 1

Rakis on jäigalt fikseeritud nelja rattaplaadi põhja kaudu, mis piirab kõik 6 vabadusastet. Jõu suuruseks on 900 N, mis sisaldab keevitatava toote raskusjõudu ning lisarakistust, mida kasutatakse keevitatava toote käppade fikseerimiseks.



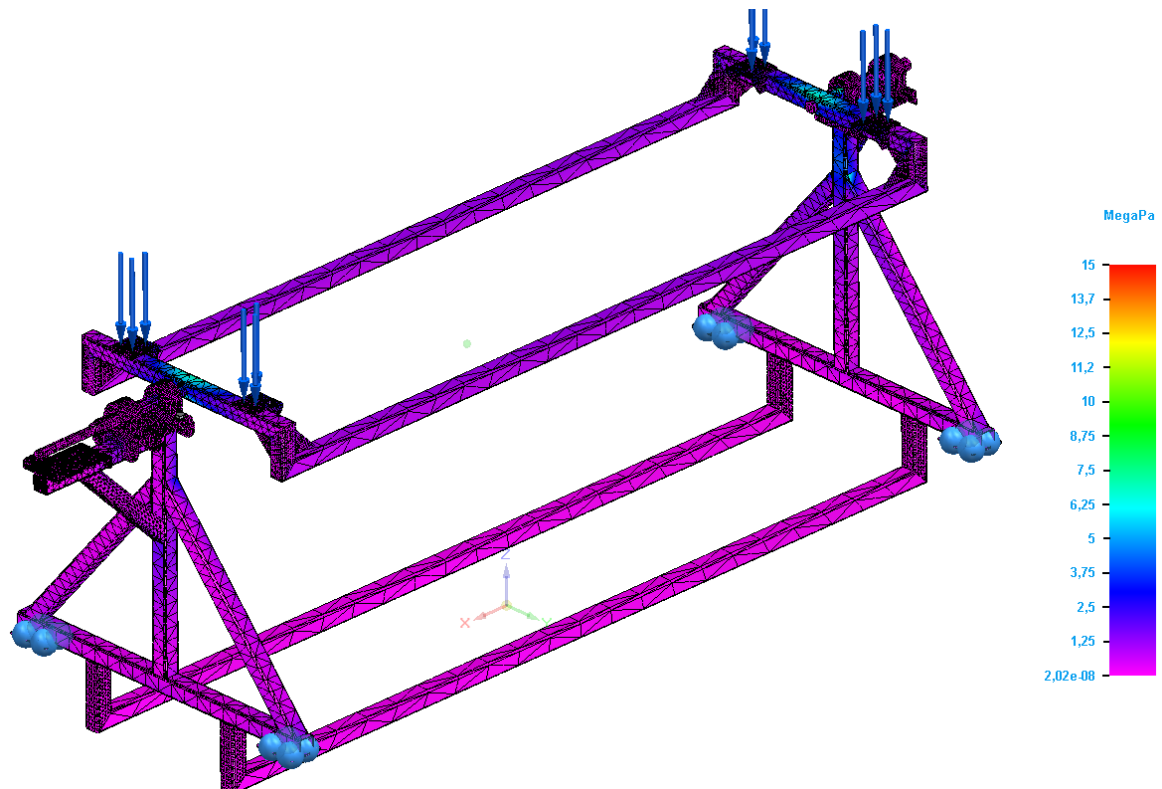
Pilt 30 Elemendi tüüp ja suurus

Kasutatakse tetraeedrilisi elemente, mille suuruseks on 20 mm. Väiksematel detailidel määrab tarkvara elemendi suurused ise.



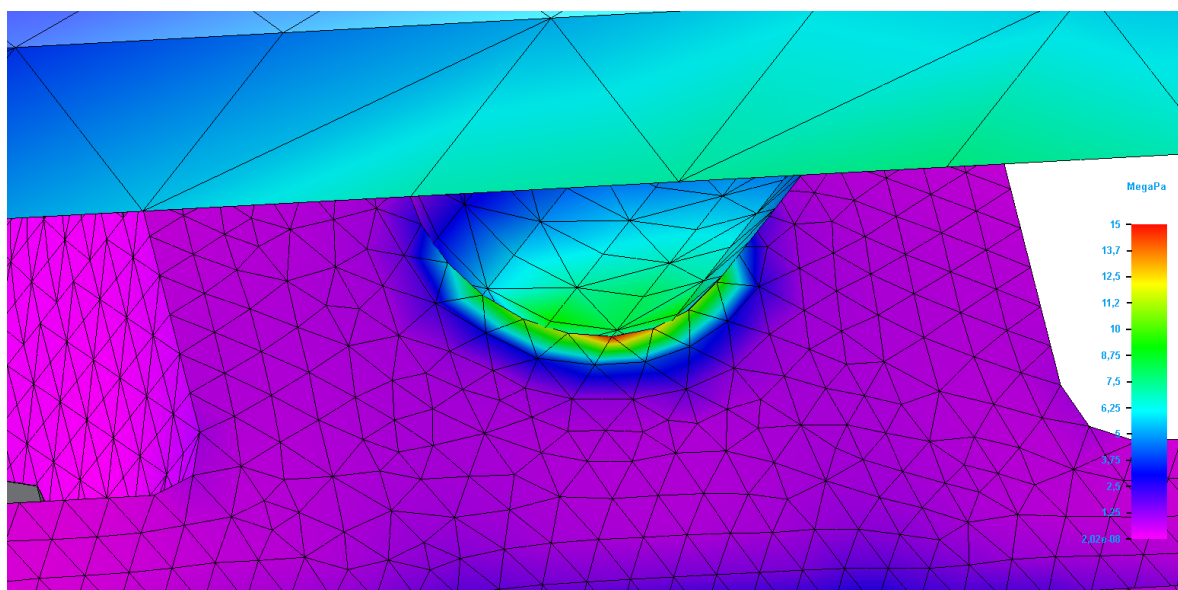
Pilt 31 Peale kantud elemendid

Määratud elemendi suurused ja saadud elementide kujud on sobilikud.



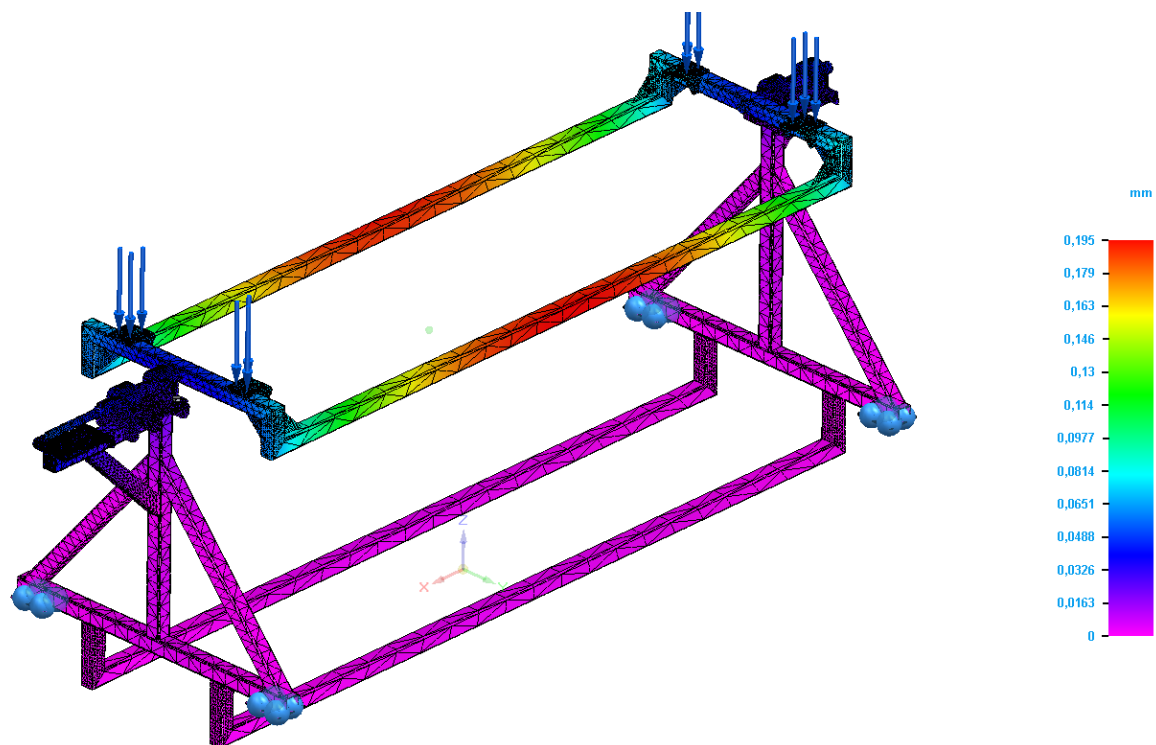
Pilt 32 Pöördrakisele mõjuv jõud 1

Saadud tulemus näitab, et raamis maksimaalne tekkiv jõud on 15 MPa, mis on aktsepteeritav tulemus.



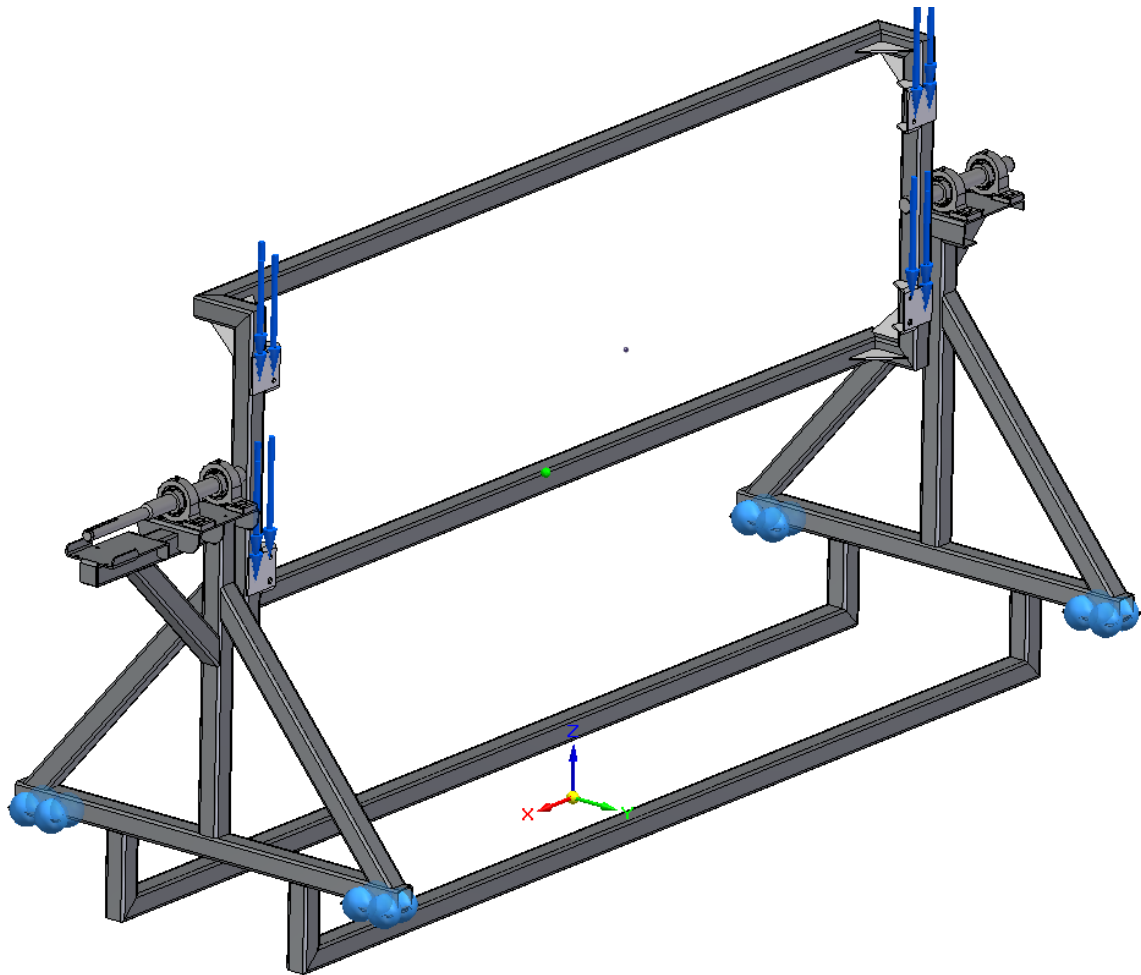
Pilt 33 Maksimaalse jõu asukoht 1

Maksimaalne jõud tekkis võlli ja laagrivõru vahel, sest simulatsiooni tehes lihtsustati laagripukkide kujusid, sealhulgas eemaldati servadelt ka radiused. Antud pingekonsentraator ei osutu tegelikkuses probleemiks.



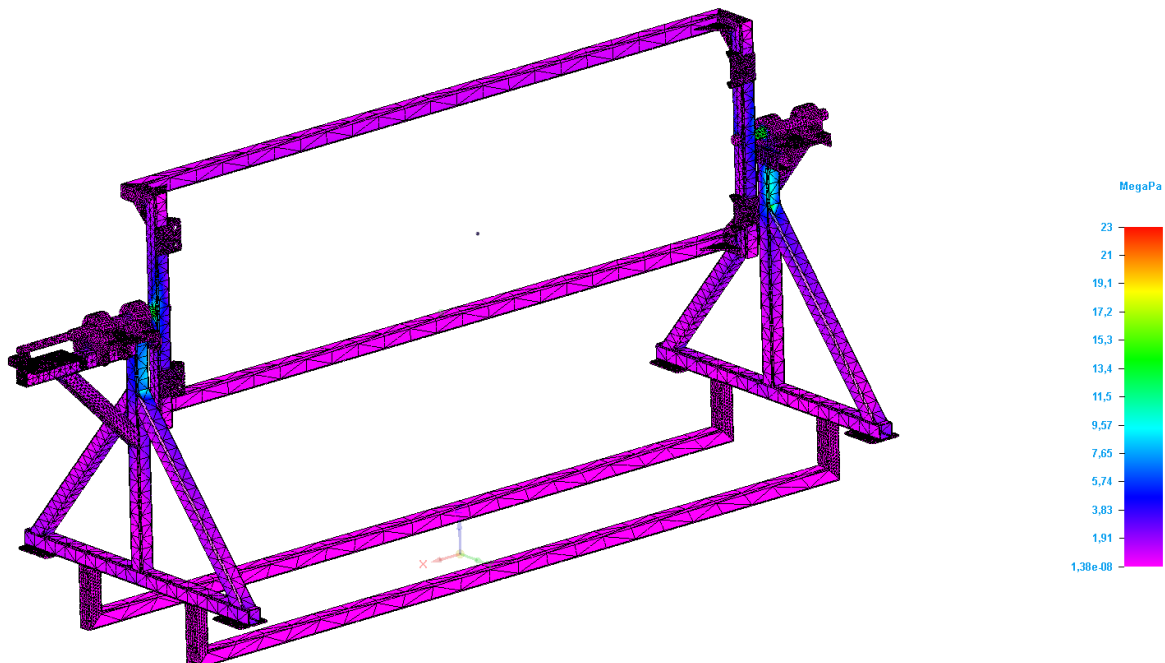
Pilt 34 Pöördrakise deformatsioonid 1

Saadud tulemus näitab, et maksimaalne deformatsioon raamis on 0,2 mm. Maksimaalne deformatsioon esineb pöörleva raami keskel. Saadud tulemus on sobiv.



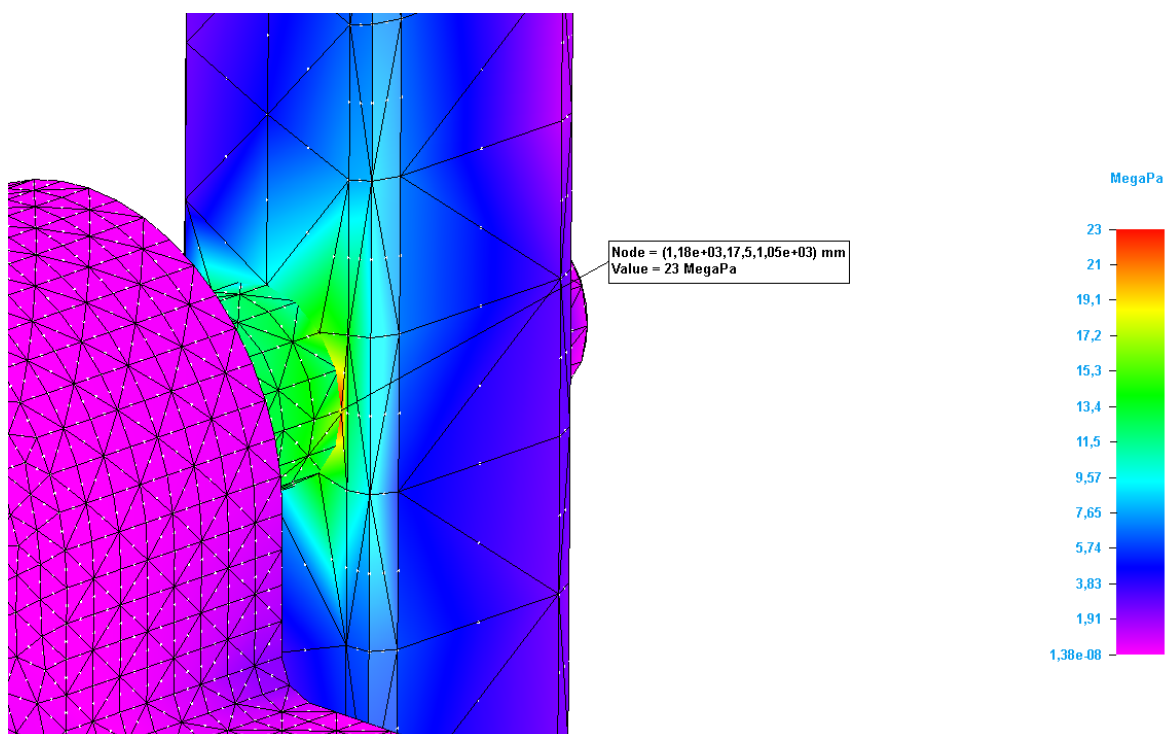
Pilt 35 Pöördrakise rajatingimused 2

Teise osas on rajatingimused sarnased esimesele osale. Pöördrakise fikseerimine, elemendi suurus ja kuju ning jõu suurus jäävad muutmata. Jõu suund on pöörleva raami suhtes muutunud. Jõud suunati z-telje suunas ning lisati üks jõu komponent y-telje suunas. Y-telje suunaline jõu määrati 100 N. See jõud sisaldab ka seda, kui keevitamise ajal peaks keevitaja vastu raami toetuma.



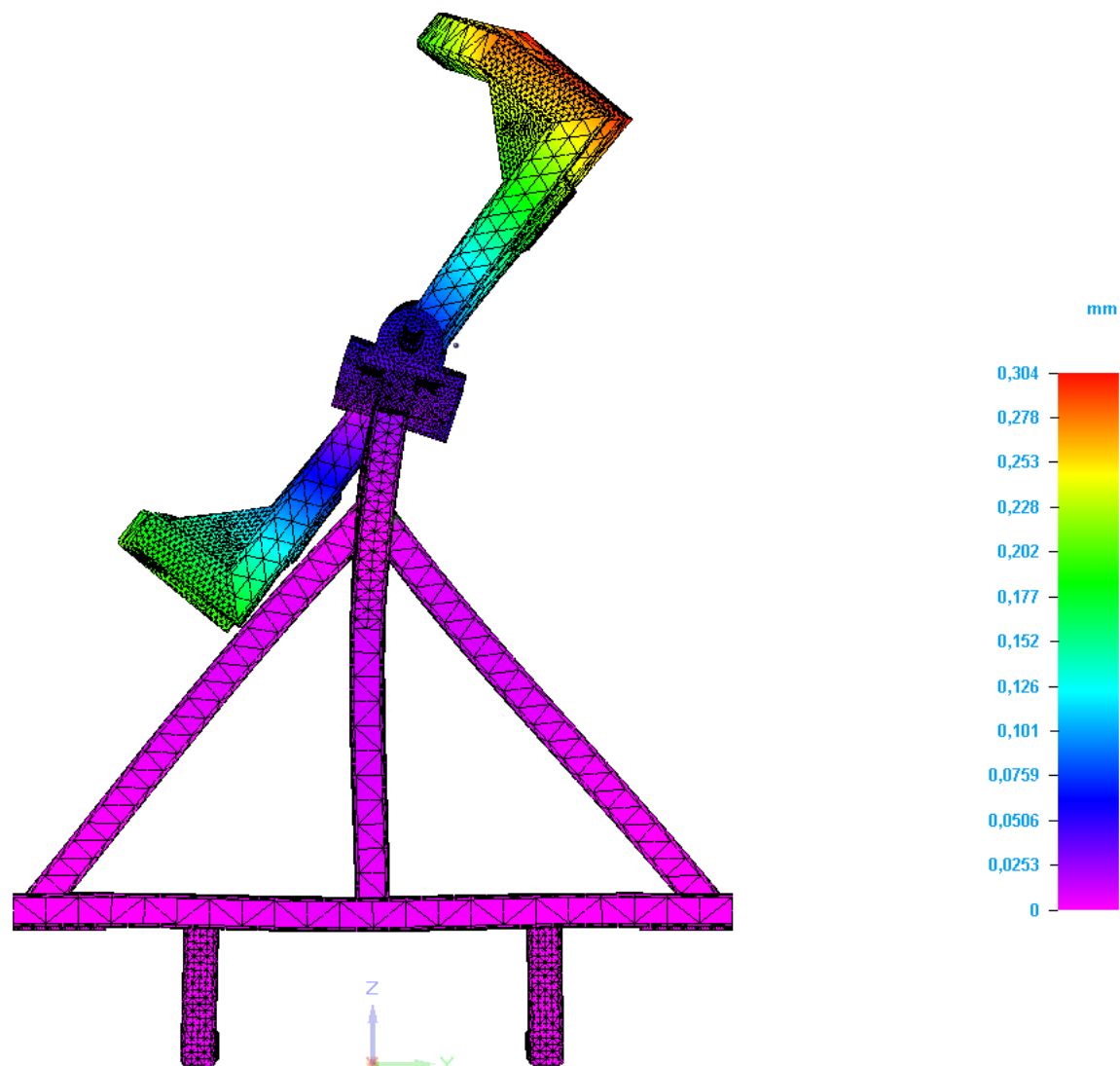
Pilt 36 Pöördrakisele mõjuv jõud 2

Saadud tulemuses on näha, et raamis maksimaalne tekkiv jõud, vertikaalses asendis, on 23 MPa, mis on aktsepteeritav tulemus.



Pilt 37 Maksimaalse jõu asukoht

Maksimaalne jõud tekkis pöörleva raami ja võlli vahele. Antud pingekonsentraator ei ole tegelikkuses probleem.



Pilt 38 Pöördrakise deformatsioonid 2 10 korda suurendatud

Saadud tulemuses on näha, et maksimaalne deformatsioon raamis on 0,3 mm. Antud pildil on deformatsioonid visuaalset 10 korda suurendatud, et paremini visualiseerida deformatsioonide suundasid (Pilt 38).

Kõikide simulatsioonide tulemuste põhjal saab väita, et pöördrakis peab tekkivatele jõududele vastu ning deformatsioonide suurusjärgud on aktsepteeritavad.

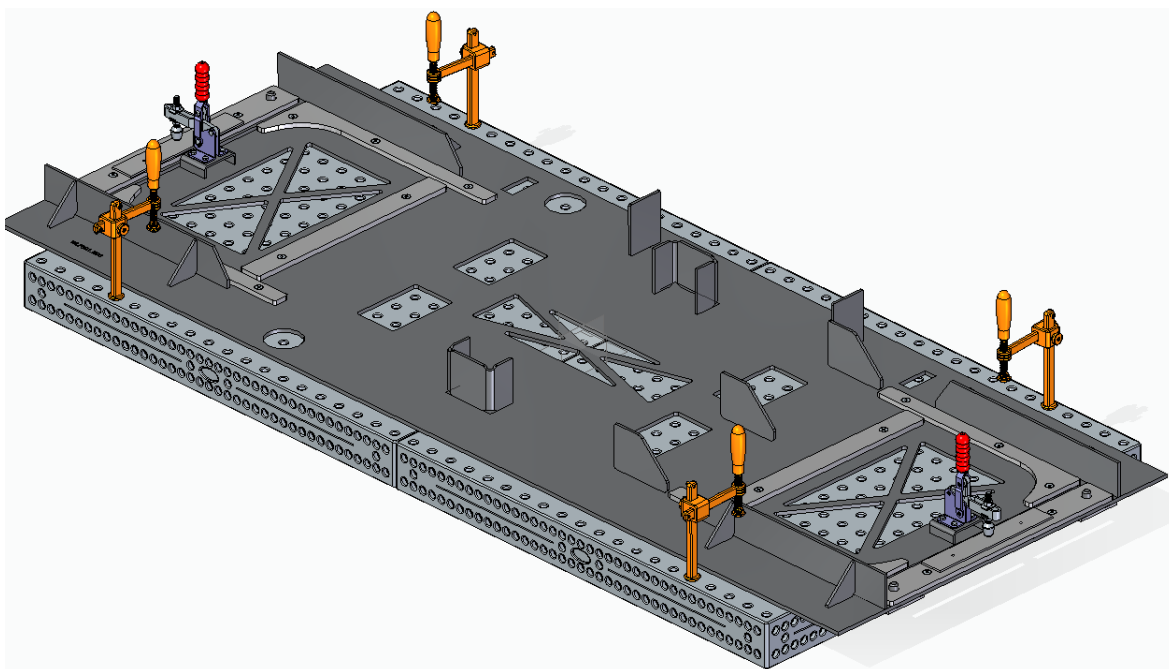


## 5. Rakiste lahenduste demonstreerimine

Järgnevas peatükis on kirjeldatud rakisete kasutamist, koostamisjärjekorda ning keevitusjärjekorda.

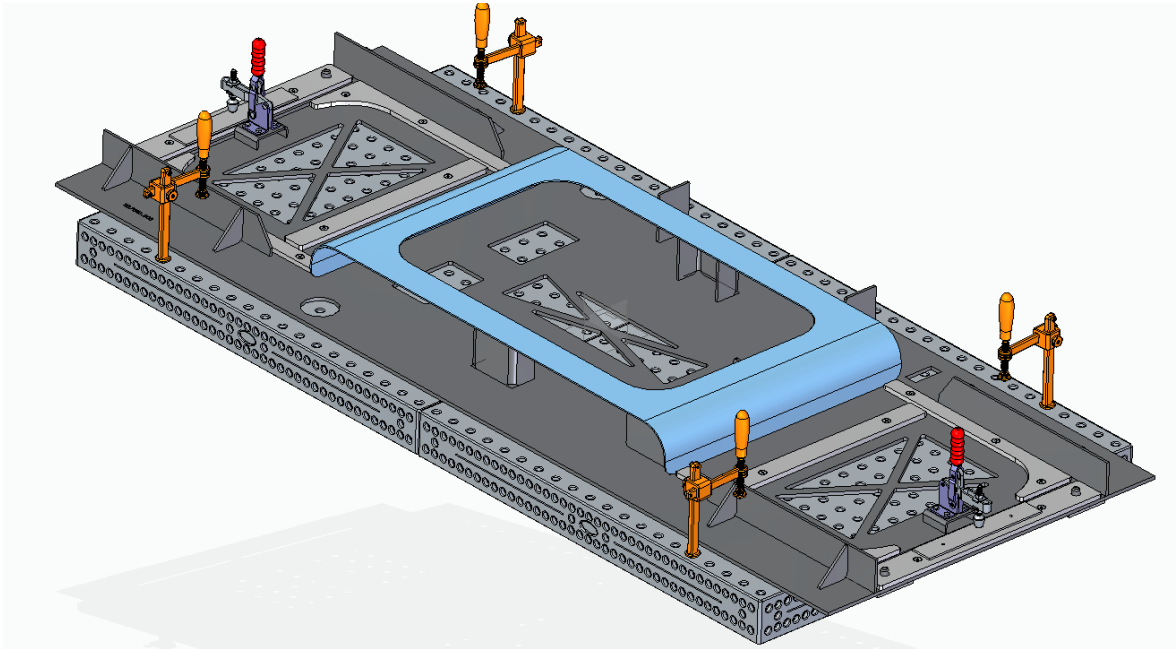
### 5.1 Keevitusrakis kasutamine

Ennem keevitamise operatsiooni algust on vaja keevitusrakis tõsta modullaarse keevituslaua peale ning fikseerida see laua külge nelja pitskruviga. Kui rakis on fikseeritud, võib alustada toote detailide paigaldamisega.



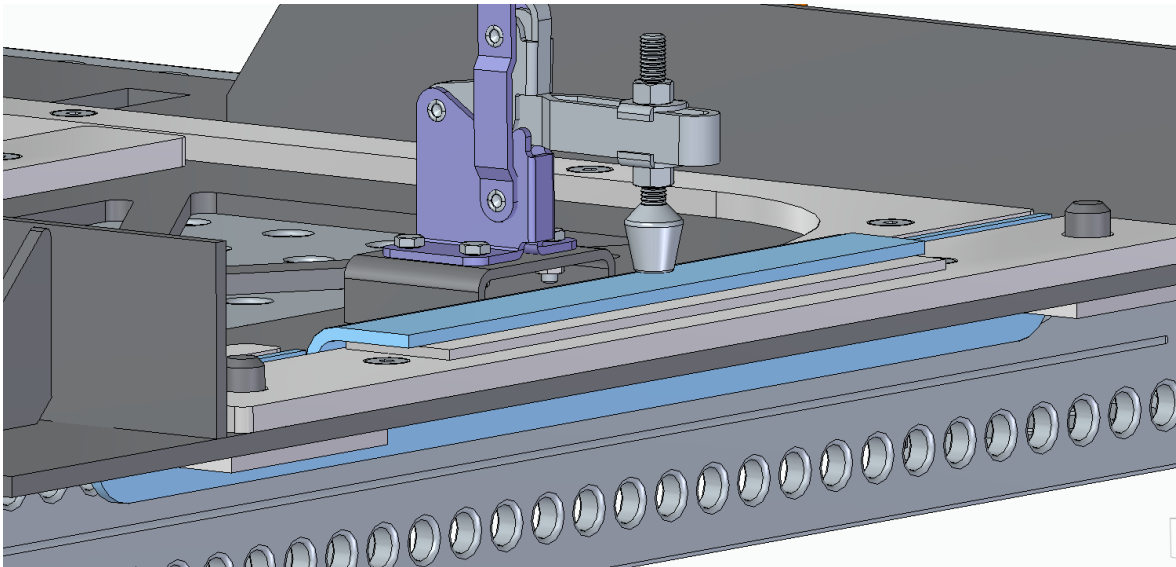
Pilt 39 Keevitusrakis modullaarlaual

Esimesena paigaldatakse 3 mm painutatud leht tugede peale, mis toestavad detaili alt ja otstest. Kuna antud detail jääb teiste detailide alla ja hiljem on seda detaili ebamugav või võimatu paigaldada, siis asetatakse detail rakisesse esimesena. Külje peal on kaks tuge, mis fikseerivad detaili asukoha.



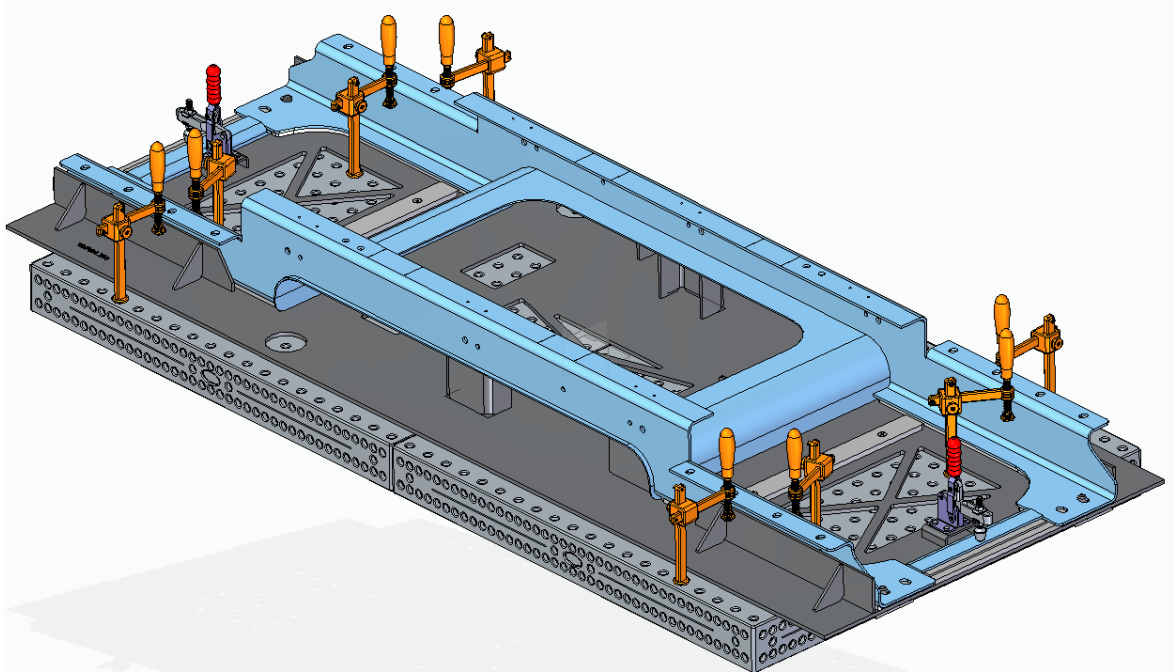
Pilt 40 Stiffener plate paigaldus

Teisena asetatakse kaks 5 mm vahedetaili. Nende positioneerimiseks on tehtud rakise alusplaati väljalõiked, millest painutatud serv läbi läheb ning jääb servast õigele kaugusele. Mõlemad detailid fikseeritakse kiirpitskruvidega.



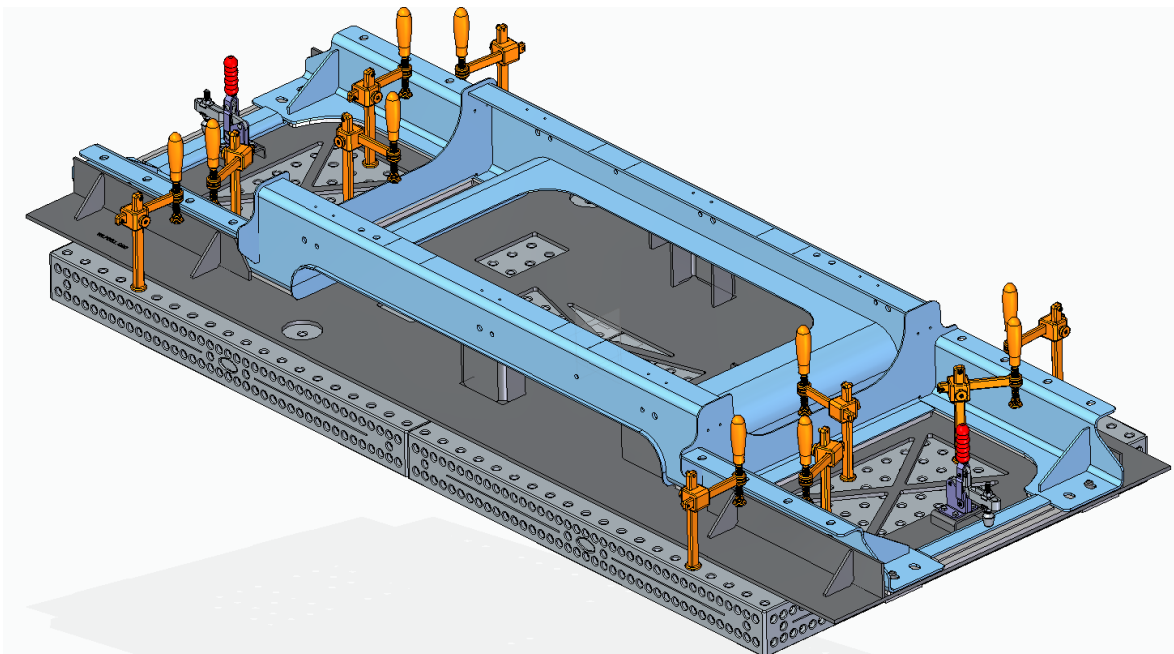
Pilt 41 Otsadetaili positioneerimine

Kolmandaks paigaldatakse 5 mm pikad küljedetailid. Neid positioneeritakse nelja positioneerimistihvtiga. Detailid fikseeritakse kokku nelja pitskruviga. Vastavalt vajadusele saab paigaldada rohkem pitskruve ning rakisel on selle jaoks väljalõiked tehtud.



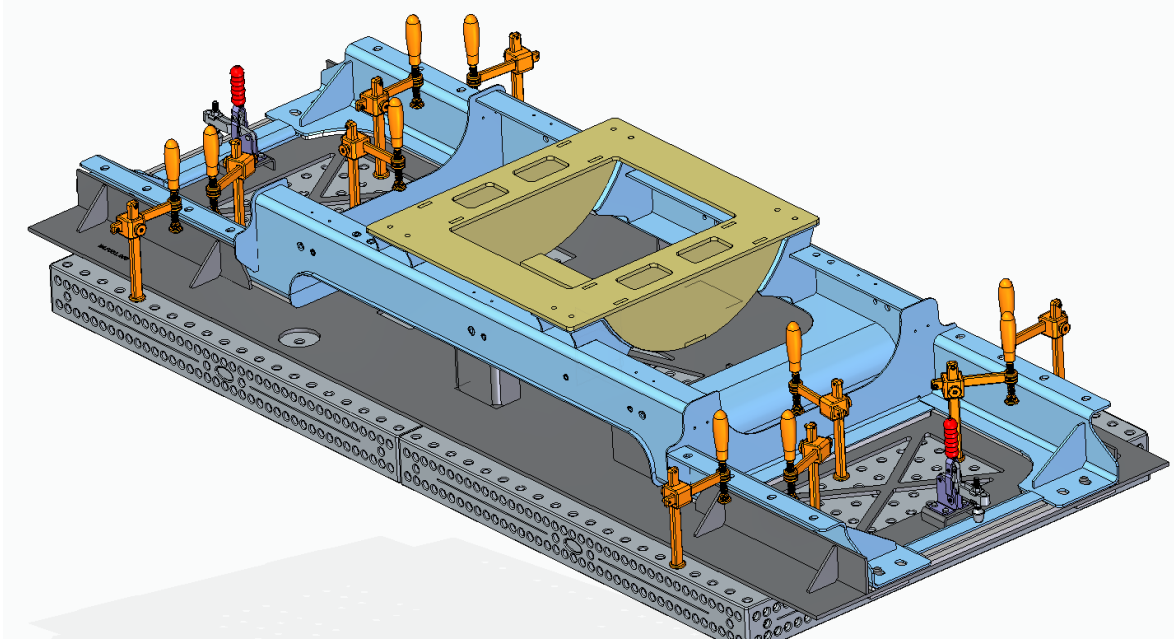
Pilt 42 Külje detailide positsioneerimine

Neljanda sammuna paigaldatakse 3 mm vahe- ja 5 mm jäikusplaat. Vaheplaatidel on tehtud sisselõiked, mille abil positsioneerivad õigesse kohta. Pitskruviga surutakse vaheplaati alla, et see jääks õigele kõrgusele. Jäikusplaatide positsioneerimine on piisavalt lihtne, et seda tehakse ilma rakiseta.



Pilt 43 Vahe- ja jäikusplaatide positsioneerimine

Viienda sammuna paigaldatakse raami käpad, mis hakkavad toetama survemahutit. Käppade omavahelise vahemaa fikseeritakse lisarakisega, mis kinnitatakse käppade külge kaheksa M10 poldiga. Lisaks on käppade positsioneerimiseks tehtud pikkadele küljedetailide lasergraveeringud, mis oluliselt kiirendavad positsioneerimist.



Pilt 44 Käpad ja lisarakis

Pärast detailide positsioneerimist punktitakse raam kokku ning veendutakse, et kõik kinnitusvahendid on kinnitatud. Pärast seda alustatakse keevisõmbuste tegemisega. Antud rakises keevitatakse ära võimalikult suur osa keevisõmbuseid. Keevisõmbuste järjekord on toodud Tabel 5.1. Kui keevitamine on lõpetatud, peab kõik pitskruvid avama, lisarakis eemaldada ja toode telfriga rakisest välja tõsta.

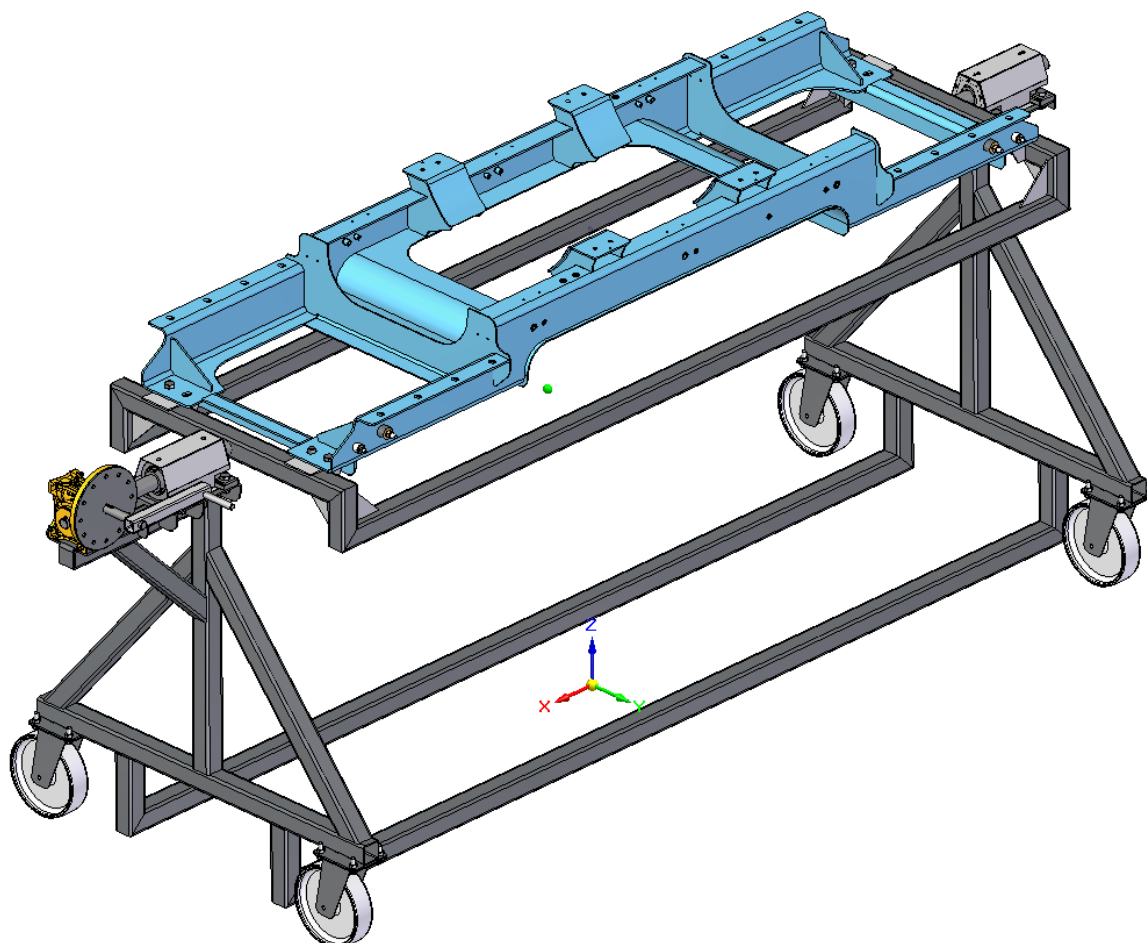
Tabel 5.1 Keevitusjärjekord 1

Järk	Pikkus,mm	Kogus, tk	Keevituskiirus, mm/min	Keevise tähis
<b>Keevitusrakises keevitamine</b>				
1.	50	4	190	W40, W42, W60, W62
2.	47	4		W56, W26, W46, W36
3.	40	4		W6, W68, W14, W74
4.	120	8		W4,W66,W12,W76,W11,W3,W75,W65
5.	250	2		W9, W71
6.	55	4		W82, W20, W84, W22
7.	50	4		W33, W29, W53, W49
8.	40	4		W13, W5, W73, W67
9.	60	8		W90, W98, W106, W114, W95, W103, W111, W119
Puhas kaarleegiaeg rakises, min:			16,1	

Keevitusjärjekorra määramisel jälgiti seda, et keevisõmbuseid ei sooritata järjest üksteise läheduses, vaid üksteisest võimalikult eemal. Seda selleks, et soojussisetus ja keevitusest tekkivad deformatsioonid oleksid tootes võimalikult ühtlased.

## 5.2 Pöödrakise kasutamine

Toode tõstetakse pöödrakisesse pärast seda, kui keevitusrakises on keevitamine lõppenud. Toote tõstmisel pöödrakisesse peavad olema pöörlevatel ratastel pidurid ja reduktoril stopper peal olema, et pöörlev raam kogemata ringi ei keeraks. Kui toode on telfriga peal tõstetud, kinnitatakse raam poltidega rakise külge.



Pilt 45 Toode pöödrakises

Kokku tehakse pöödrakises 80 keevisõmblust, mis teeb kokku 6,6 meetrit. Keevisrakist peab ringi pöörama 8 korda, et kõiki keevisõmbluseid sooritada. Rakise pööramine on abiaeg. Ühele pööramisele on arvestatud maksimaalselt 1 minut, kokku annab see pööramisele 8 minutit. Peatükis 2.2 toodi välja, et toote ümberpööramisele telfriga kulub umbes 60 minutit. Võrreldes keevitusaega ilma pöödrakiseta, annab pöödrakise kasutus ajalise võidu 52 minutit.

Tabel 5.2 Keevitusjärjekord 2

Pöödrakises keevitamine					
Järk	Pikkus, mm	Kogus, tk	Keevituskiirus, mm/min	Keevise tähis	
10.	50	4	190	W39, W41, W59, W61	
11.	47	4		W25, W35, W55, W45	
12.	55	4		W48, W52, W28, W32	
13.	134	8		W64, W57, W37, W43, W63, W58, W38, W44	
14.	55	4		W81, W83, W21, W19	
15.	40	4		W10, W7, W69, W72	
16.	55	8		W92, W100, W109, W117, W93, W101, W108, W116,	
17.	80	8		W87, W1, W77, W15, W2, W88, W78, W16	
18.	100	4		W24, W17, W86, W79	
19.	74	2		W27, W34	
20.	174	2		W85, W80	
21.	148	2		W31, W30	
22.	74	2		W47, W54	
23.	174	2		W23, W18	
24.	148	2		W50, W51	
25.	99	8		W94, W102, W107, W115, W91, W99, W118, W110	
26.	50	8		W96, W104, W113, W105, W89, W97, W120, W112	
27.	63	2		W121, W124	
28.	94	2		W122, W123	
Puhas kaarleegiaeg pöödrakises, min:				34,9	

## 6. Majanduslikud arvutused

Majanduslikus arvutuses leitakse rakiste tasuvusaeg. Selleks leiti kõikide komponentide hinnad ning jagati need eraldi kulukategooriateks. Lehtmaterjalide ja torude hinnad on võetud 2022 aasta veebruar/märtsi seisuga. Kinnitusvahendite ühiku hinnad on leitud 100 tk järgi, sest edasimüüjad müüvad väiksemaid kinnitusvahendeid ainult 100 tk kaupa.

Tabel 6.1 Majanduslikud kulud rakiste tootmiseks

1) Materjal	Nimetus	Kogus	Ühik	Ühiku hind	Hind kokku
	Nelikant toru 50x50x3 S235	24 meetrit		8,50 €	204,00 €
	Nelikant toru 20x20x2 S235	0,25 meetrit		2,00 €	0,50 €
	Lehtmaterjal 1 mm S235	0,1 ruutmeetrit		11,00 €	1,10 €
	Lehtmaterjal 4 mm S355	0,32 ruutmeetrit		33,00 €	10,56 €
	Lehtmaterjal 6 mm S355	1,93 ruutmeetrit		84,50 €	163,09 €
				<b>Kokku</b>	<b>379,25 €</b>
<b>2) Kinnitusvahendid</b>					
	Polt DIN 7991 M8x16	28 tükk		0,5	14,00 €
	Polt DIN 933 M6x16	12 tükk		0,4	4,80 €
	Mutter DIN 934 M6	12 tükk		0,3	3,60 €
	Polt DIN 933 M14x30	12 tükk		1,8	21,60 €
	Mutter DIN 934 M14	8 tükk		0,5	4,00 €
	Keevismutter M14	4 tükk		0,8	3,20 €
	Keevismutter M8	2 tükk		0,1	0,20 €
	Polt DIN933 M10x30	16 tükk		0,5	8,00 €
	Mutter DIN 934 M10	16 tükk		0,2	3,20 €
	Neet 3,2x6	6 tükk		0,01	0,06 €
				<b>Kokku</b>	<b>62,66 €</b>
<b>3) Eridetailid</b>					
	Reduktor Motive BOX 050	1 tükk		120 €	120,00 €
	Kiirpitskrugi Würth	2 tükk		20 €	40,00 €
	Siegmund pitskrugi	10 tükk		30 €	300,00 €
	Laagriuk UCP 207	4 tükk		9,90 €	39,60 €
	Ratas NNK200AGR	4 tükk		29,90 €	119,60 €
	Võllid kokku	1 tükk		120 €	120,00 €
	Positsioneerimis tihvtid	6 tükk		16 €	96,00 €
	Lehtmaterjal 8 mm lõikus	1 tükk		260 €	260,00 €
	Lehtmaterjal 10 mm lõikus	1 tükk		280 €	280,00 €
				<b>Kokku</b>	<b>1 375,20 €</b>
<b>4) Töötunnid</b>					
	Projekteerimine	80 tundi		25 €	2 000,00 €
	Kvaliteedikontroll	6 tundi		25 €	150,00 €
	Tööjõu kulu (stants, painutus, keevitus/koostamine)	45 tundi		20 €	900,00 €
				<b>Kokku</b>	<b>3 050,00 €</b>
				<b>Kõik kulukategooriad kokku</b>	<b>4 867,11 €</b>

Antud tulemuse järgi leitakse rakise tasuvusaeg. Aastas 600 raami kohta on ajaline kokkuhoid 31200 minutit ehk 520 tundi. Keevitaja tunnitöö omahind on 17€. Kulu kokkuhoid on 8840€ aastas. See teeb tasuvusajaks 0,6 aastat.



## 7. Edasiarendused

Tulevikus on tuleb kindlasti välja uusi nüansse rakise kasutamisega, mille põhjal on võimalik teha parendusi ja täiendusi. Üks võimalustest on pöördrakisele juurde lisada elektrimootor, mis lihtsustaks operaatorite tööd veelgi, kuid ajaliselt see rohkem aega kokku ei hoia. Redukti tootja pakub lisaks elektrimootoreid, millel on kohe integreeritud inverter. See on tähendab lisainvesteeringut suurusjärgus umbes 800€ kuni 1000€.

Keevitusprotsessi täiendustest oleks võimalik toote käpad alamkoostuna keevitusrobotil keevitada. Käppasid on ühel raamil kokku 4 tk ning kokku teeks see 2400 alamkoostu. Ligipääsetavusega antud alamkoostul probleeme ei ole. Lisaks tuleks sinna teha sobilik keevitusrakis.

Tootmistehnika koha pealt saab tootele viia sisse mõningad muudatused, mis parandaksid koostamisaega. Üks muudatustest oleks seotud käppade positsioneerimisega. Hetkel fikseeritakse jalad eraldi rakisega ja edasi positsioneeritakse lasergraveeringute järgi. Muudatuse ettepanek oleks külje detailile lõigata pilud, mille kaudu positsioneeritakse käpad. Selleks, et antud muudatust sisse viia, tuleb ettepanek edastada kliendile. Teine muudatus oleks seotud paindevabastuse lisamine painderaadiuse serva. Kuna painutamisel siseraadiusel materjali surutakse kokku, hakkab see detaili külje pealt väljapoole deformeeruma. See takistab 3 mm vaheplaadi positsioneerimist

Tootmiskoguseid, mis korraga töösse antakse, peab optimeerima. Eelnevates arvutustes ilmneb, et keevitusrakises on tsükliäeg palju lühem, kui pöördrakise oma. Kui suuremate koguste puhul hakatakse korraga rakendama mitut keevitajat, on mõistlik juurde soetada teine pöördrakis, et ei tekiks olukorda, kus tooted ootavad järjekorras pöördrakises keevitamist.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärk oli konstrueerida keevisraamile keevitusrakised, millega tõstetakse tootmise efektiivsust. Selleks analüüsi ettevõtte olemasolevat keevitusvõimekust, mille kaudu saadakse sisend rakiste konstrueerimiseks. Rakiste tootmine peab olema majanduslikult otstarbekas.

Ennem rakise projekteerimist uuriti turul olevaid lahendusi. Leiti, et on mõistlik kasutada ettevõttes olevaid modulaarseid laudasid ning võimalusel rakendada keevitusrobotit. Tehnoloogia analüüsi käigus selgus, et antud toode ei olnud ettevõtte keevitusrobotsüsteemile sobilik. Lisaks oli selge, et toodet on vaja pidevalt ringi keerata, kuna lubatud keevitusasendid on kindlalt määratud (PA, PB).

Edasi mindi modulaarse laua lahendusega, kus kombineeriti keevituslaud ise toodetud rakistega ja tugegeda, et kulusid sellega kokku hoida. Lisaks pandi paika pöördrakise kontseptsioon ning konstrueeriti lõplikud lahendused.

Järgnevalt viidi läbi tugevusarvutused tähtsamates kohtades. Keevitusrakise puhul kontrolliti arvutuslikul teel kinnitusvahendite vastupidavust deformatsioonist tekkivatele jõududele. Pöördrakise puhul toestati tugevusarvutused simulatsiooni tarkvaras, mille käigus leiti, et projekteeritud lahendused on sobilikud.

Rakiste lahenduste demonstreerimisel kirjeldati keevitusrakise ja pöördrakise kasutamine. Lisaks pandi paika keevitusjärjekord vastavat rakisele. Pöördrakise kirjeldamisel anti hinnanguline aeg, mida on võimalik kokku hoida. Hinnanguliselt hoitakse aega kokku 52 minutit toote kohta. Antud aeg võeti aluseks tasuvusaja arvutusel. Tasuvusajaks saadi 0,6 aastat, mis on antud rakiste puhul mõistlik aeg. Magistritöö eesmärk on täidetud.

Magistritöö andis kindlasti uusi kogemusi ja teadmisi, kuidas läheneda ettevõtte jaoks uue toote tehnoloogia analüüsimisele ja juurutamisele.

## Summary

The aim of the master's thesis was to design welding fixtures for a welded frame, which increases the efficiency of production. Firstly, the welding capabilities were analysed, which will provide input for design of jigs. The production of jigs must be economically viable.

Before designing the jigs, the solutions on the market were studied. It was considered reasonable to use modular tables in already used in the company and to use welding robot if possible. The analysis of the technology showed that the given product was not suitable for the company's welding robot cell. In addition, it was clear that the product needed to be rotated repeatedly as the permitted welding positions were PA and PB.

The modular table solution was used, where the welding table was combined with self-made jigs and supports to save cost. In addition, the concept of the turntable was established and the final solutions were constructed.

Next, strength calculations were performed at key locations. In the case of a welding fixture, the resistance of the fasteners to deformation forces was checked by hand calculations. In the case of the turntable, the strength calculations were done using the simulation software, which confirmed that the designed solutions were suitable.

In the demonstration of jig solutions, the use of a welding jig and a rotary jig was described. In addition, a welding sequence was set for the respective fixture. An estimated time that can be saved was given when describing the solution of turntable. It is estimated to save a total of 52 minutes per product. This time was used to calculate the payback period. The payback period was 0,6 years, which is a reasonable time for these jigs. The aim of the master's thesis has been fulfilled.

The master's thesis certainly provided new experience and knowledge on how to approach the analysis and implementation of technology for a new product in a company.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Nordica Sterling, [Võrgumaterjal]. Available: <http://nordicasterling.com/implemented-projects/arc-welding/welding-for-bogie-frame.html>. [Kasutatud 25 Veebruar 2022].
- [2] Bernd Siegmund GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.siegmundtables.com/library.php#example>. [Kasutatud 25 Veebruar 2022].
- [3] N. Stenbacka, „Hitsaustalous ja tuottavuus,“ %1 *Kustannuksia määrääviä tekijöitä hitsauksessa*, Helsinki, Soome Keevitustehnoloogia Liit, ISBN: 9978-91-633-5639-1, 2011, pp. 65-67.
- [4] A.Laansoo, Keevitustehnoloogia, Tallinn: TTÜ Kirjastus, ISBN 978-9949-23-205-5, 2011.
- [5] S. Reinart, „Keevitusroboti juurutamine AS Saku Metall Allhanke Tehases,“ 9 Juuni 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/c3dd5030-df74-4d54-8d9a-83f52c1288b7>. [Kasutatud 04 Mai 2022].
- [6] ABB, [Võrgumaterjal]. Available: [https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10112EN\\_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10112EN_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch). [Kasutatud 10 Mai 2022].
- [7] R. G. M. H. Ulrich Fischer, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2015.
- [8] H. Buschmann, Rakise projekteerimine, õppematerjal, 2008: Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn.
- [9] „Motive s.r.l,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.motive.it/upload/documenti/cataloghi/BOX\\_catalogo\\_ing.pdf](https://www.motive.it/upload/documenti/cataloghi/BOX_catalogo_ing.pdf). [Kasutatud 10 Mai 2022].
- [10] Bernd Siegmund GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.siegmund.com/en/3-Clamps/Overview,102.php>. [Kasutatud 22 Mai 2022].
- [11] AB SKF, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.skf.com/group/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-UCP%20207>. [Kasutatud 30 Märts 2022].

# LISAD

## Lisa 1 Keeviste koondtabel

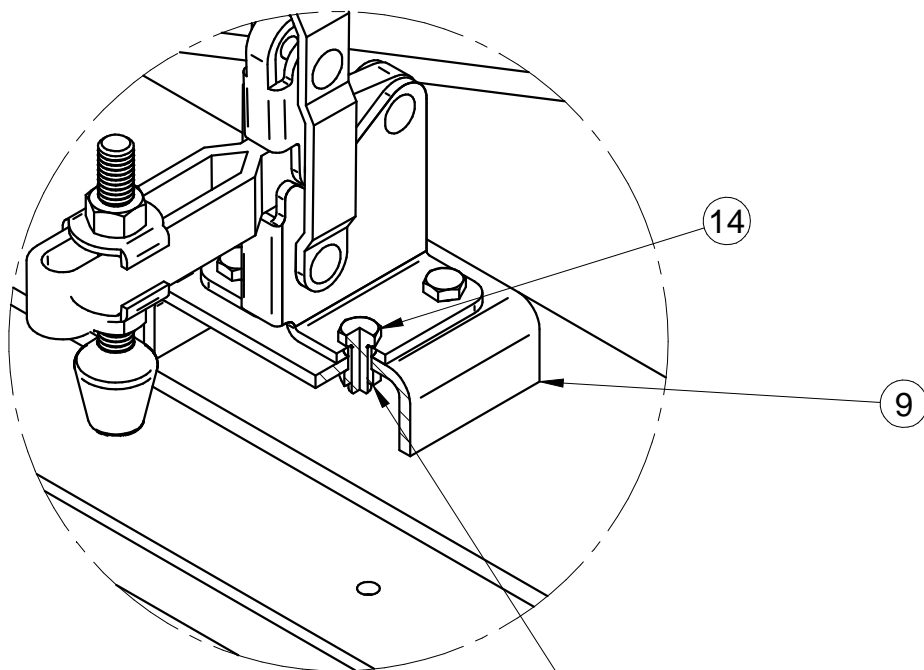
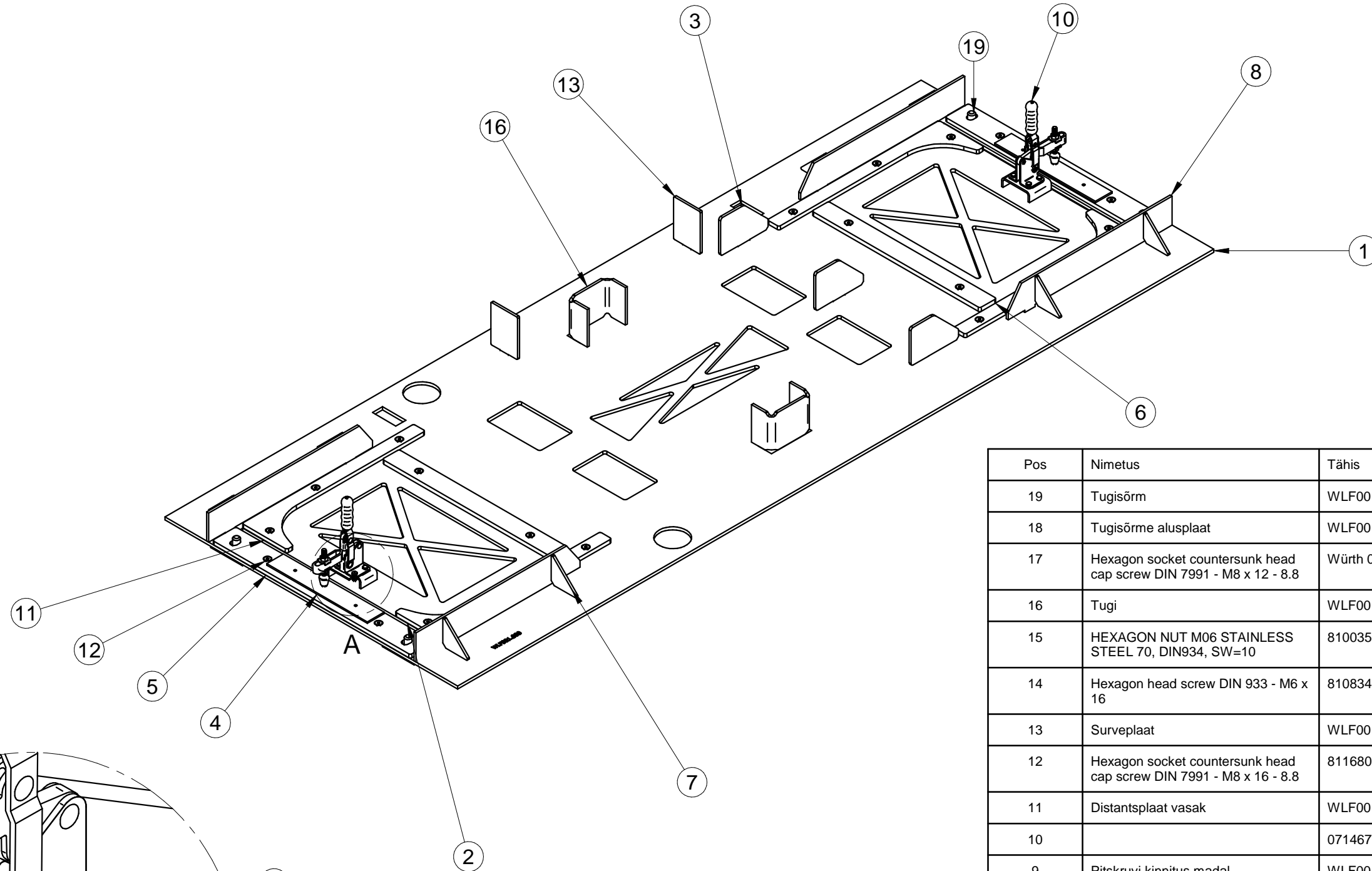
Keeviste koondtabel				
Järk	Pikkus,mm	Kogus, tk	Keevituskiirus, mm/min	Keevise tähis
<b>Keevitusrakises keevitamine</b>				
1.	50	4	190	W40, W42, W60, W62
2.	47	4		W56, W26, W46, W36
3.	40	4		W6, W68, W14, W74
4.	120	8		W4, W66, W12, W76, W11, W3, W75, W65
5.	250	2		W9, W71
6.	55	4		W82, W20, W84, W22
7.	50	4		W33, W29, W53, W49
8.	40	4		W13, W5, W73, W67
9.	60	8		W90, W98, W106, W114, W95, W103, W111, W119
Puhas kaarleegiaeg rakises, min:			16,1	
<b>Pöödrakises keevitamine</b>				
10.	50	4	190	W39, W41, W59, W61
11.	47	4		W25, W35, W55, W45
12.	55	4		W48, W52, W28, W32
13.	134	8		W64, W57, W37, W43, W63, W58, W38, W44
14.	55	4		W81, W83, W21, W19
15.	40	4		W10, W7, W69, W72
16.	55	8		W92, W100, W109, W117, W93, W101, W108, W116,
17.	80	8		W87, W1, W77, W15, W2, W88, W78, W16
18.	100	4		W24, W17, W86, W79
19.	74	2		W27, W34
20.	174	2		W85, W80
21.	148	2		W31, W30
22.	74	2		W47, W54
23.	174	2		W23, W18
24.	148	2		W50, W51
25.	99	8		W94, W102, W107, W115, W91, W99, W118, W110
26.	50	8		W96, W104, W113, W105, W89, W97, W120, W112
27.	63	2		W121, W124
28.	94	2		W122, W123
Puhas kaarleegiaeg pöödrakises, min:			34,9	
Keevitust raamil kokku:	9698			

## **GRAAFILINE OSA**

Joonised:

1. Keevitusrakise koost
2. Pöödrakise koost

Liitub:		Kuupäev	Muutja	Kontr.
Rev.nr:	Muudatus:			



DETAIL A  
1:2

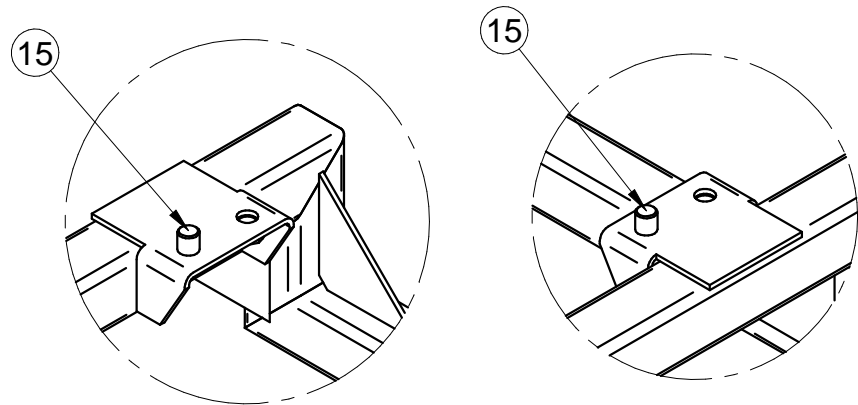
Märkimata piirhálbed ISO 2768-m järgi  
Keevitus ISO 13920-BF järgi  
Keevitusdefektid ISO 5817-C järgi

Pos	Nimetus	Tähis	Kogus
19	Tugisõrm	WLF001.010	4
18	Tugisõrme alusplaat	WLF001.022	4
17	Hexagon socket countersunk head cap screw DIN 7991 - M8 x 12 - 8.8	Würth 0299 8 12	8
16	Tugi	WLF001.012	2
15	HEXAGON NUT M06 STAINLESS STEEL 70, DIN934, SW=10	810035	8
14	Hexagon head screw DIN 933 - M6 x 16	810834	8
13	Surveplaat	WLF001.019	2
12	Hexagon socket countersunk head cap screw DIN 7991 - M8 x 16 - 8.8	811680	20
11	Distsantsplaat vasak	WLF001.020	2
10		071467701	2
9	Pitskrivi kinnitus madal	WLF001.014	2
8	Ribi	WLF001.009	4
7	Tugevdusribi	WLF001.007	8
6	Distsantsplaat 11 mm	WLF001.006	2
5	Distsantsplaat 10 mm	WLF001.005	2
4	Distsantsplaat 4 mm	WLF001.004	2
3	Raadiuse detaili tugi	WLF001.003	3
2	Distsantsplaat parem	WLF001.002	2
1	Alusplaat	WLF001.001	1

Konstruktor:	K.Leonov	Fail:	WLF001.000 - WLFK4000188165A koostamisrakis.asm	Kuupäev:	01.04.2022
Kontrollis:		Kood:	WLF001.000 - WLFK4000188165A koostamisrakis.dft		
		Nimetus:	WLFK4000188165A koostamisrakis	Mööd:	1:10
		Tähis:	WLF001.000 /1	Suurus:	A3
				Rev.nr:	

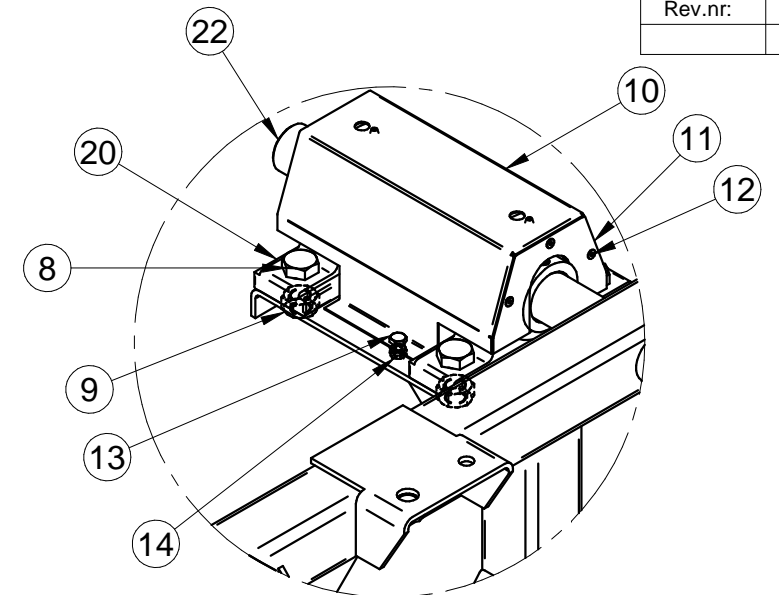


Liitub:		Kuupäev	Muutja	Kontr.
Rev.nr:	Muudatus:			

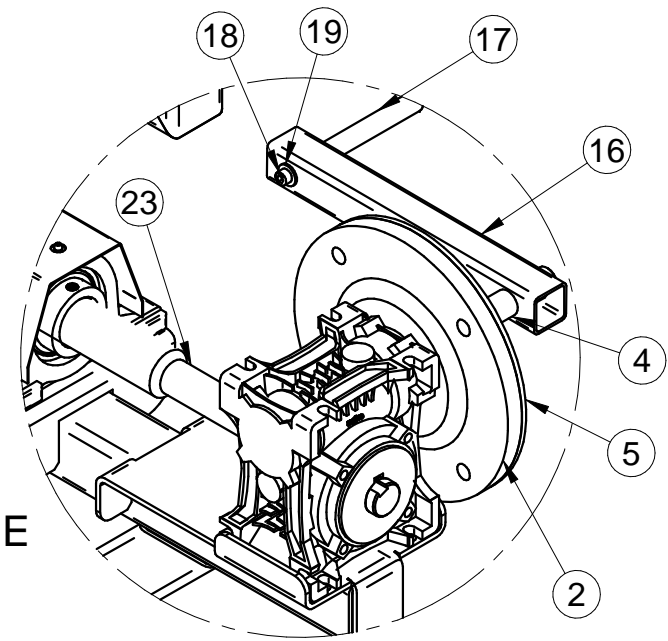
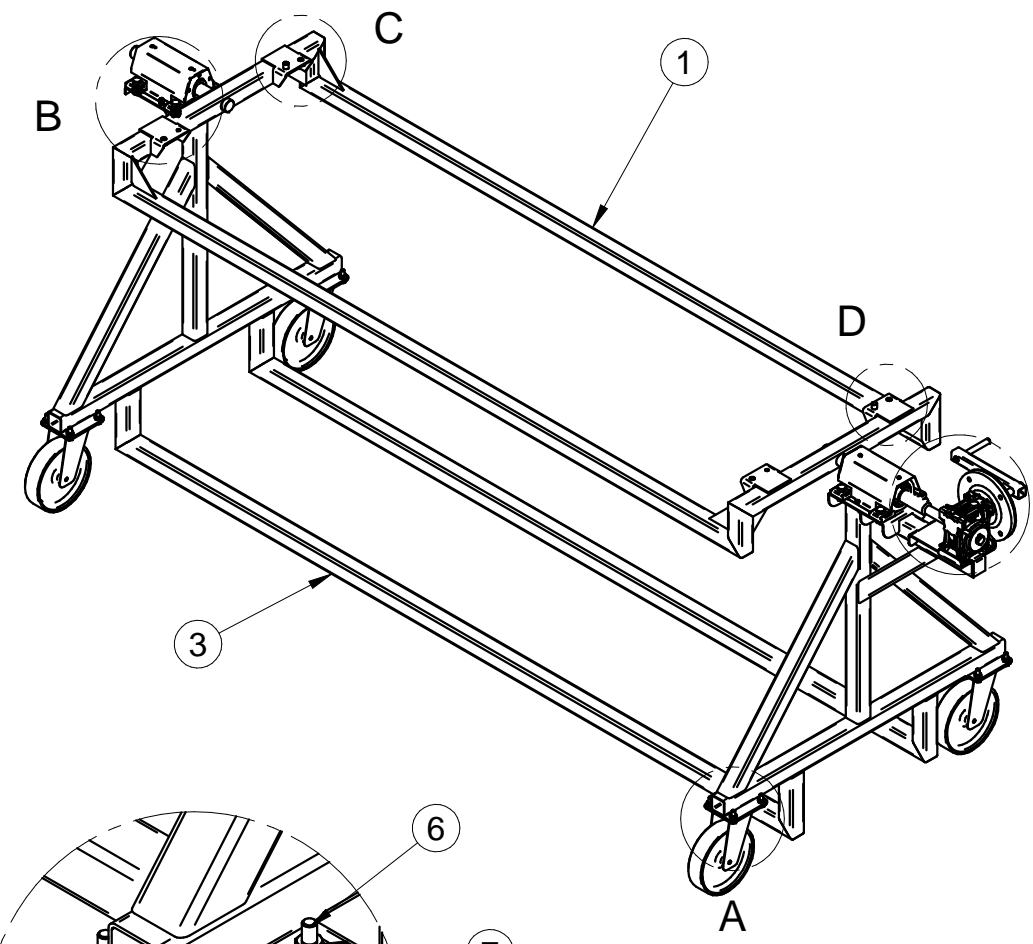


DETAIL C  
1:5

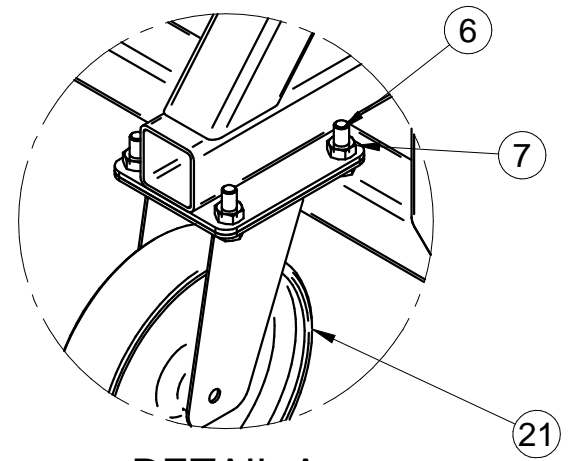
DETAIL D



DETAIL B  
1:5



DETAIL E



DETAIL A  
1:5

Pos	Nimetus	Tähis	Kogus
23	Võll 1	PTHN0360.003	1
22	Võll 2	PTHN0360.004	1
21	Pöörav ratas D200	LAG 17117	4
20	Laagri pukk D35	UCP207	4
19	Washer DIN 125 form A 8,4 Stainless steel A4 quality bright	-	1
18	Hexagon socket head screw DIN 912 - M6 x 1 - 45 - 10.9	-	1
17	Käepide	PTHN0360.110	1
16	Käepide toru	PTHN0360.109	1
15	Sõrm madal	PTHN0360.107	2
14	HEXAGON NUT M06 STEEL 8, DIN934, SW=10	810035	4
13	Hexagon head screw DIN 933 - M6 x 16 - 10.9	810917	4
12	Neet D3,2x6 ZN	811157	6
11	Otsaplaat	PTHN0360.006	2
10	Laagri kateplaat	PTHN0360.005	2
9	Weld nut DIN 929 - M14	-	8
8	Polt DIN 933 - M14 x 30 - ZN8.8	-	12
7	Mutter M10 Steel 8.8, DIN934	-	16
6	Polt M10X30 STEEL 8.8, DIN931	-	16
5	Stopperplaat	PTHN0360.002	1
4	Võll D19	PTHN0360.001	1
3	Alumine raam	PTHN0360.200	1
2	Reduktor Motive	BOX050-80-B5	1
1	Ülemine raam	PTHN0360.100	1

Märkimata piirhalded ISO 2768-m järgi  
Keevitus ISO 13920-BF järgi  
Keevitusdefektid ISO 5817-C järgi

Konstruktor:	K.Leonov	Fail:	PTHN0360.000 - KBUK Grill.asm	Kuupäev:	29.04.2022	
Kontrollis:		Kood:	PTHN0360.000 - KBUK Grill.dft			
		Nimetus:	KBUK Pöödrakis		Mööd:	1:20
		Tähis:	PTHN0360.000 /1		Suurus:	A3
					Rev.nr:	

