



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Tootearenduse õppetool

MES70LT

Sergei Baikov

TOOTMISRAKISTE PROJEKTEERIMINE JA TOOTE
ELUTSÜKLI ANALÜÜS

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2015

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis *Martin Eerme* juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

TTÜ MASINAEHITUSE INSTITUUT

Tootearenduse õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2014/2015 aasta sügissemester

Üliõpilane: *Sergei Baikov, 121932*
Õppekava: *MATM*
Eriala: *Tootearendus*
Juhendaja: *prof. Martin Eerme*
Konsultandid: *Vladimir Kovalenko, juhtiv insener-konstruktor, +37255586327*
Valeri Kizikov, juhtiv insener-tehnoloog, +37253043569

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Tootmisrakiste projekteerimine ja toote elutsükli analüüs
Design of production fixtures and product life-cycle analysis

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	<i>Tootmisrakiste projekteerimine</i>	<i>01.10.2014</i>
2.	<i>Tootmistehnoloogia arendamine</i>	<i>01.11.2014</i>
3.	<i>Toote elutsükli analüüs</i>	<i>18.12.2014</i>
4.	<i>Vormistamine</i>	<i>19.01.2015</i>

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Tootmisrakiste projekteerimine, tootmistehnoloogia arendamine, toote elutsükli analüüs.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: *eesti keel*

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt

Töö esitamise tähtaeg.....

Üliõpilane *Sergei Baikov* /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja *Martin Eerme* /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Magistritöö ülesanne	3
Sisukord.....	4
Eessõna.....	7
2 Sissejuhatus	8
3 Raami analüüs	10
4 Rakiste komplekti projekterimine	12
4.1 Rakiste projekteerimise vajadus	12
4.2 Projekteerimise kavandamine.....	12
4.3 Algandmed, piirangud ja nõuded.....	13
4.3.1 Peamised nõuded rakistele	14
4.4 Koosterakise projekteerimine	15
4.4.1 Esimene kontseptsioon.....	15
4.4.2 Teine kontseptsioon	16
4.4.3 Kolmas kontseptsioon	17
4.4.4 Neljas kontseptsioon	18
4.5 Koosterakise kasutamise põhimõtted	19
4.6 Alamkoostu rakise projekteerimine.....	22
4.7 Alamkoostu rakise kasutamise põhimõtted.....	24
4.8 Stopperi rakise projekteerimine.....	24
4.8.1 Stopperi rakise esimene kontseptsioon	25
4.8.2 Stopperi rakise teine kontseptsioon.....	27
4.9 Rakise projekteerimine mehaaniliseks töötlemiseks	27
5 Raami tootmistehnoloogia.....	28
5.1 Raami detailide toorikute valmistamine	28
5.2 Raami detailide töötlemine.....	29
5.2.1 Raami alus	29
5.2.2 Raami sisemised plaadid	30
5.2.3 Raami välimised plaadid	31
5.2.4 Raami töötlemine	32
6 LCA Analüüs.....	33
6.1 Olulisemad näitajad	34
7 Toote elutsükli kaart ja piirid	37
7.1 Funktsionaalne ühik.....	38
8 Protsesside kirjeldus.....	39
8.1 Metallitootmine	39

8.2	Transport rongiga	41
8.3	Gaasilõikamine	41
8.4	Laserlõikamine	42
8.5	Freesimine	44
8.6	Keevitamine.....	46
8.7	Rihtimine	47
8.8	Saagimine	48
8.9	Käiamine.....	49
9	Majanduslikud KPI'd	50
9.1	Toormaterjali majanduslikud KPI'd.....	50
9.2	Transpordi majanduslikud KPI'd	52
9.3	Toote valmistamisprotsessist tekkinud majanduslikud KPI'd	52
9.3.1	Gaasilõikusest tulenevad majanduslikud KPI'd	53
9.3.2	Laserlõikusest tulenevad majanduslikud KPI'd	53
9.3.3	Freesimisest tulenevad majanduslikud KPI'd.....	54
9.3.4	Keevitusest tulenevad majanduslikud KPI'd	54
9.3.5	Rihtimisest tulenevad majanduslikud KPI'd.....	55
9.3.6	Saagimisest tulenevad majanduslikud KPI'd.....	55
9.3.7	Käiamisest tulenevad majanduslikud KPI'd	55
9.4	Tootest tulenevate majanduslike KPI'de kokkuvõte.....	55
10	Keskkonna KPI'd	57
10.1	Transport.....	57
10.2	Toote valmistamisprotsessidest tulenevad keskkondlikud KPI'd	57
10.2.1	Gaasilõikamisest tulenevad keskkondlikud KPI'd	57
10.2.2	Laserlõikamisest tulenevad keskkondlikud KPI'd	58
10.2.3	Freesimisest tulenevad keskkondlikud KPI'd.....	59
10.2.4	Keevitamisest tulenevad keskkondlikud KPI'd.....	60
10.2.5	Rihtimisest tulenevad keskkondlikud KPI'd	61
10.2.6	Saagimisest tulenevad keskkondlikud KPI'd	61
10.2.7	Käiamisest tulenevad keskkondlikud KPI'd.....	61
10.3	Keskkonna KPI-de kokkuvõtte	62
11	Kvaliteedi KPI'd	64
12	Kokkuvõtte	65
13	Summary	66
14	Kirjanduse loetelu	67
15	Lisad	68
	Lisa 1	68

Lisa 2.....	69
Lisa 3.....	70
Lisa 4.....	71
Lisa 5.....	72
Lisa 6.....	73
Lisa 7.....	74
Lisa 8.....	75
Lisa 9.....	76
Lisa 10.....	77
Lisa 11.....	78
Lisa 12.....	79
Lisa 13.....	80
Lisa 14.....	81
Lisa 15.....	82
Lisa 16.....	83
Lisa 17.....	84
Lisa 18.....	85
Lisa 19.....	87
Graafiline osa	878

EESSÕNA

Antud magistritöö teema oli välja pakutud tööandja BLRT Masinaehituse OÜ poolt ning seejärel kinnitatud töö juhendaja Martin Eerme poolt. Kuna tegemist on projektiga, mis nõuab palju projekteerimist, 3D modelleerimist ja on seotud töökohaga, tundus tootmisrakiste projekt autorile põnevaks väljakutseks, kus saab olla kasulik ettevõttele ja saada uut kogemust. Töö kirjutamisel on kasutatud peamiselt õppetöö jooksul omandatud teadmisi ja insenerikogemusi ning silmas peetud töökoha kolleegide nõuanded ja kriitikat.

Magistritöö kirjutamisel abistasid mind vajalike andmete ja kommentaaridega järgmised inimesed:

- Vladimir Kovalenko – juhtiv insener-konstruktor
- Valeri Kizikov – juhtiv insener-tehnoloog
- Sergei Povolotski – meister
- Dmitri Bagutski – tootmisjuht

Avaldan suurt tänu minu diplomitöö juhendajale Martin Eerme abi ja nõustamise eest töö kirjutamise perioodil.

2 SISSEJUHATUS

Antud töö eesmärgiks oli projekteerida rakiste komplekt, välja töötada tootmistehnoloogia raami tootmiseks ja läbi viia toote elutsükli analüüs. Kuna töökohal väljastatud ülesanne sobis hästi diplomitöö nõuetega ja erialaga, sai see valitud lõputöö teemaks. Samas antud projekt võimaldab kasutada ülikoolis saadud teoreetilised teadmised ja töökohal saadud praktilisi kogemusi ühe projekti tegemiseks. Antud raamkonstruktsioon on üks valik toodetest, mis meie firma BLRT Masinaehitus toodab.

BLRT Masinaehitus OÜ oli asutatud 2002. aastal ja kuulub BLRT koosseisu, mis omakorda on suurimaks tööstusgruppi Balti regioonis. Tööstustehhite pindalaks on üle 12000 ruutmeetri, kus töötab 170 töolist ja spetsialiste. BLRT Masinaehitus OÜ peamiseks tegevusharuks on metallitoodete ja –konstruktsioonide seeriatootmine. BLRT Masinaehitus OÜ klientideks on nii sise- kui välisturul olevad suured firmad, mis asuvad juhtpositsioonidel transpordi-, energeetika- ja mäetööstusharudes. [1]

Antud projekti toode on meie klientide, firma Jungheinrich tellimus. Jungheinrich on üks maailma kolmest juhtivast ettevõtetest materjali käitlemise tehnika, lao- ja materjalikulu planeerimise valdkondades, samuti Euroopa liider laotehnoloogias. Asutatud Hamburgis, Saksamaal, 1953. aastal, firma pakub terve spektri tooteid ja teenuseid virnastaja sfääris. Selle asemel, et pakkuda üks toode, mis sobib kõigile, firma keskendub parima lahenduse pakkumisel pikaajaliseks tuluks iga ettevõttele. [2]

Meie firmas insener-konstruktori ülesandeks on tellitud konstruktsioonide hindamine, insenerjooniste läbitöötamine, tootmistehnoloogia väljatöötamine, tootmiseks vajalikku rakiste projekteerimine nii koostamiseks kui ka töötlemispingil töötlemiseks. Rakised võimaldavad kokku hoidma ressursse, teha ettevõtte töö produktiivsemaks ja mugavamaks. Kuna tegemist on seeria tootmisega tugeva konkurentsi olukorras, siis need aspektid omavad erilist tähtsust.

Turul olemas olevaid lahendusi rakiste valdkonnas on väga palju, aga sageli need lahendused ei sobi, kuna nõuavad palju ümberseadistamist enne töö alustamist. Seetõttu tihti kasutatakse spetsiaalseid rakised projekteeritud konkreetseks tööks ja positsiooniks. Võtame näiteks tööriistade valiku, kus professionaalne tööriist kujutab ennast täpselt seda, mis vaja antud tööks ja ei sobi teise või sarnase töö tegemiseks, sest tavalised tööriista komplektid sobivad

erinevateks tööks, kuid nõuavad kas otsikute, bittide, padrunite vahetust või tööriista ümberhäälestamist.

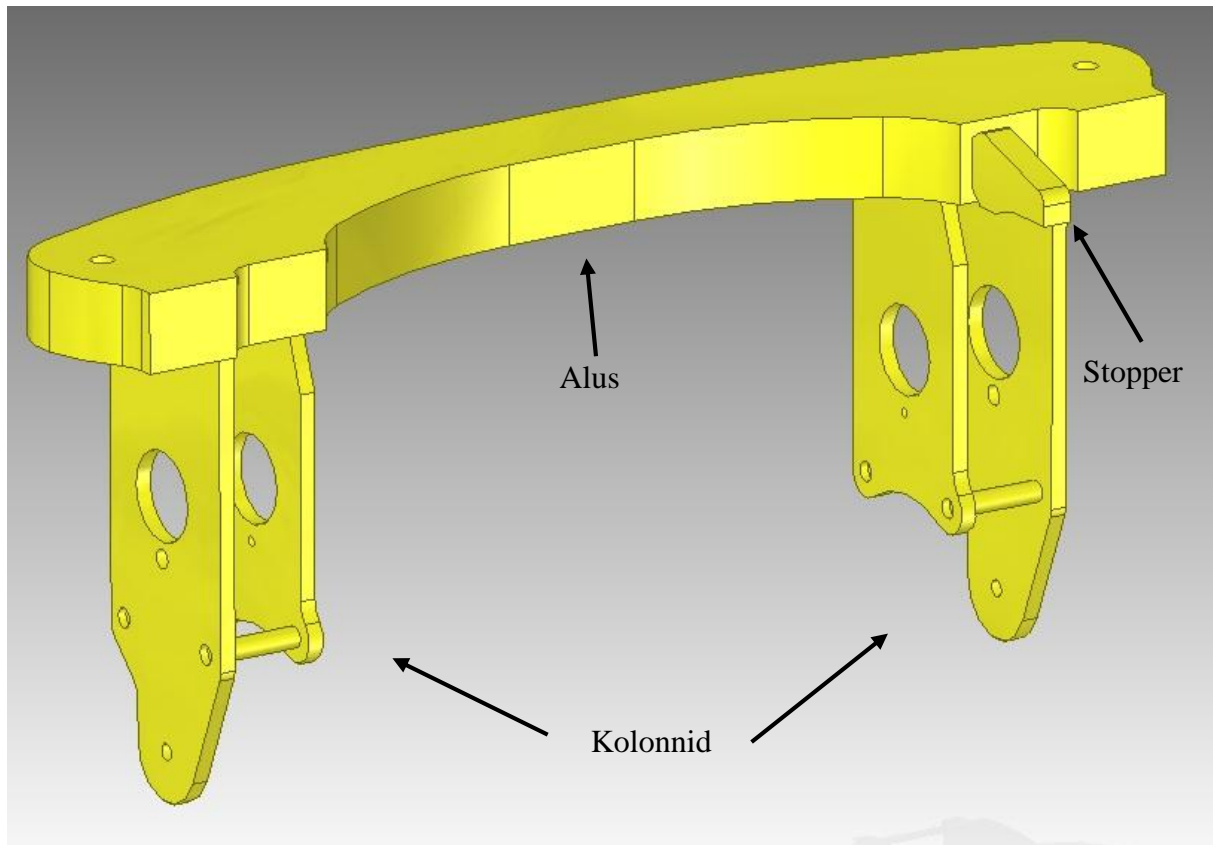
Projektis ei kasutata eri projekteerimis meetodeid, kuna kõik ülesanded on väga erinevad ja nõuavad loomingulist ja mitmekülgset mõtlemisviisi. Rakiste projekteerimiseks kasutatakse enamasti töökogemusi, jälgitakse nõuete vastavust ning ettevõtte ja metallitöötlemis masinate spetsiifikat. Rakiste projekteerimine väga tugevalt seotud 3D modelleerimisega, mis võimaldab leida sobivat lahendust, piltlikult näha ja simuleerida saadut tulemusi ja ette valmistada tootmiseks vajaliku tehnilist dokumentatsiooni. Antud projektis kasutatakse CAD tarkvara Solid Edge ST6.

Rakiste konstrueerimise etapil ei kasutata tugevus arvutusi, kuna antud ülesande puhul selleks ei ole vajadust. Projekteeritud rakised on üksikud tooted, mida kasutatakse ainult enda vajadustel. Lisaks sellele, tugevus arvutused nõuavad eri tarkvara ja lisaega. Rakiseid konstrueeritakse suure varuteguriga, mitte ainult konstruktsiooni tugevuse pärast vaid arvestades ka pikaajalist tööiga ja töötajate lohakat käsitlemist. Samuti keevitusrakistes tuleb projekteerida mõned detailid esimesest pilgust paksemaks kui vaja, selleks et parandada keevitusõmbluste soojusjuhtivust.

Käesolevas töös viidi läbi toote elukaare analüüs, kus vaadeldi Jungheinrich laotõstuki tõsteseadme raami ja selle põhilisi toimenäitajad. Antud raami analüüs pakkus huvi kuna selle abil oli võimalik välja selgitada raami tootmistehnoloogia puudused. Antud toode saadetakse Saksamaale Jungheinrich tehasesse, kus seda kasutatakse laotõstuki koostamisel.

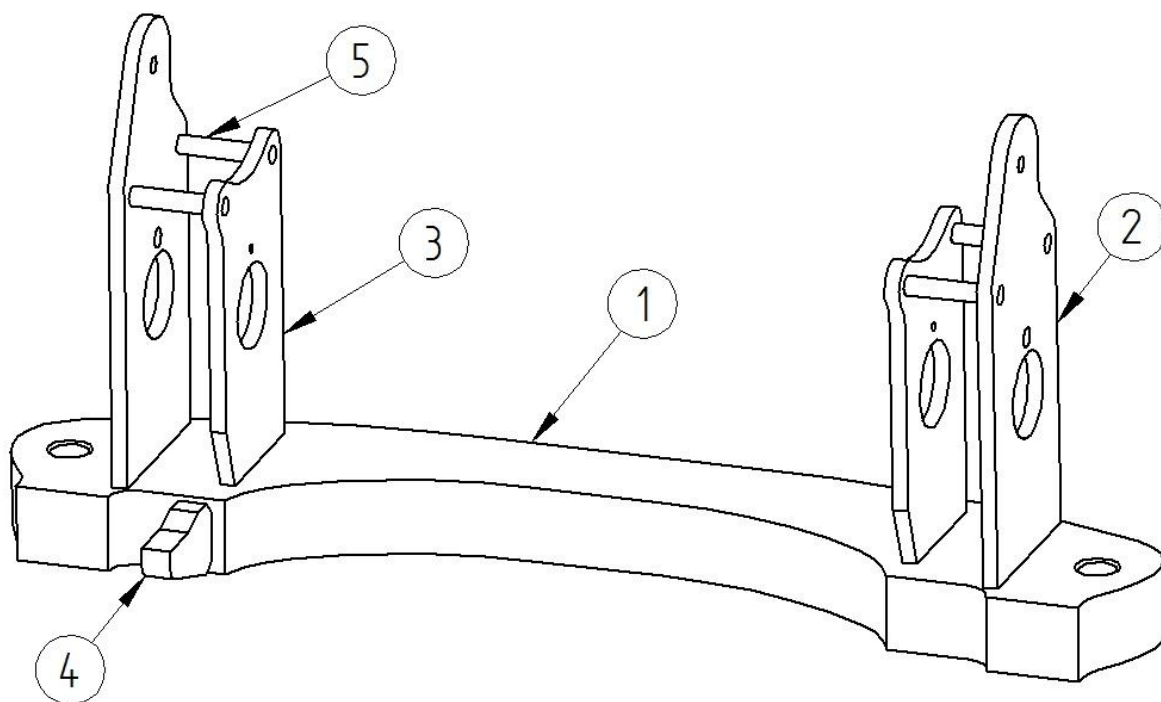
3 RAAMI ANALÜÜS

Antud toode kujutab ennast Jungheinrich laotõstuki tõsteseadme metallist konstruktsiooni ehk raami. Järgneval pildil on toodud analüüsitava toote illustratsioon.



Sele 3.1. Jungheinrich laotõstuki tõsteseade raam

Antud raam kujutab ennast keevitatud konstruktsiooni, mis näidatud pildis ja koosneb piklikust, keerulise kujuga alusest kuhu keevitatakse kaks kolonni mõlemast otsast. Kolonnid kujutavad endast kahe avaga plaati, mille sisemised otsad on kinnitatud aluse külge ja välimised otsad on seotud omavahel varrastega. Lisaks on aluse esimesel poolel on stopper. Järgnev pilt ja tabel annavad paremat ülevaadet raami detailidest.



Sele 3.2. Raami detailid

Tabel 3.1. Detailide andmed

Det. Nr.	Kood	Nimetus	Materjal	Paksus mm	Kaal kg	Gabariidid mm	Det. arv tk
1	51267102	Risttala	S355J2	40	15,373	612 x 136	1
2	51263312	Plaat	S355J2	8	1,150	236,8 x 96	2
3	51263319	Plaat	S355J2	8	0,791	168,1 x 88	2
4	51232236	Stopper	S355J2	15	0,195	63 x 37	1
5	51263327	Ritv	S355J2	-	0,030	Ø10 x 49,5	4
Raami gabariidid mm				612 x 136 x 276,8			

Analüüsisel raami koostejoonist (Lisa 1) selgus, et kolonnide avade puurimist ja freesimist tuleb teha pärast raami kokkupanekut, kuna pärast keevitamist detailid jahtuvad ning nihkuvad üksteise suhtes ja ei saavutata kolonnide avade nõutud konsentrilisust. Lisaks sellele valmistavad raskust ka kolonnide välimised plaadid, kuna need peavad olema kaldu sisemiste plaatide suhtes 0,25°. Samas kolonni plaatide vaheline kaugus ja kolonnide asetus risttalal peab vastama nõuetele.

4 RAKISTE KOMPLEKTI PROJEKTERIMINE

4.1 Rakiste projekteerimise vajadus

Seoses BLRT Masinaehitus uue tellimuse saamisega, tekkis ettevõttel vajadus toote valmistamiseks projekteerida rakiste komplekt. Rakiseid on vaja raami tootmisprotsessi kiirendamiseks, aja ja raha kulude vähendamiseks ning tootmisprotsessi optimeerimiseks. Samas see lihtsustab keevitajate ja CNC masina operaatorite tööd. Kõik need aspektid on väga aktuaalsed seeria tootmisel. Rakiste vajadus ei seisne ainult mugavuses, vaid ka selles et, raami kokkupanek ei ole füüsiliselt võimalik rakiseid mitte kasutades, kuna valmis toode peab vastama kõikidele nõuetele ja tolerantsidele. Rakiste vajadus sõltub ka tootmise mahust. Sageli lihtsate detailide väike seeria tootmisel ei ole mõistlik kasutada keerulist spetsiaalset rakistust, mõnikord on mõistlik kasutada standardsed kinnitus ja positioneerimis võimalusi.

4.2 Projekteerimise kavandamine

Rakiste projekteerimine nõuab insenerlike lahendusi mitmest valdkonnast. Rakiste projekteerimisel tuleb välja selgitada selle vajadus arvestades olemas olevaid abiseadmeid ja rakiseid. Projekteerimise käigus tuleb põhjalikult analüüsida saadud jooniseid, mudeleid ja välja uurida kõik nüansid. Vajadusel suhelda tellija konstruktoriga, kooskõlastada raami planeeritava tootmis tehnoloogia küsimused ja vajadusel lihtsustada konstruktsiooni odavamaks tootmiseks. Samas rakiste projekteerimine on tihedalt seotud raami tootmistehnoloogiaga. Tehnoloogia üldjoonte teadmine aitab rakiste projekteerimisel. Aga isegi teades kõike nüansse, ei ole alati võimalik konstrueerida toimivat rakist esimese lahendina. Konstruktori kogemus ja ettevõtte spetsiifika tundmine mängib selles olulist rolli aga see ei väldi vigaste rakiste teket.

4.3 Algandmed, piirangud ja nõuded

Peale tellijate jooniste ja CAD mudelite analüüside ja kõikide küsimuste selgitamisest otsustati, et optimaalse raami kvaliteedi ja minimaalsete tootmiskulude saavutamiseks tuleb projekteerida rakiste komplekt, mis koosneb neljast rakistest. Nendest kolm on keevitusrakised ja üks rakis on mõeldud mehaaniliseks töötlemiseks. Algusel oli plaanitud ainult kaks keevitusrakist aga projekteerimise käigus selgus, et üks nendest on liiga keerulise konstruktsiooniga ja ei garanteeri valmis raami nõutavat täpsust. On kahte tüüpi keevitusrakiseid:

Punktimisrakis – see rakis võimaldab raami punktimist, sellel juhul raami detailid kinnitatakse omavahel keevituspunktitega rakises, peale seda raam eemaldatakse rakisest ja keevitatakse lõpuni. Seda varianti kasutatakse juhul kui keevitus õmblused on lühikesed, keevitatavate detailide paksuste erinevused on väikesed ja jahtumisel konstruktsioon jääb nõutud tolerantside piiridesse.

Keevitusrakis – rakis võimaldab raami erinevate detailide keevitamist algusest lõpuni. Sellisele rakisele esitatakse rangemad nõuded. Esiteks rakis peab võimaldama keevitajale juurdepääsu keevituskohtadesse. Teiseks peab rakis olema jäigem kui punktimisel, kuna tekkivad sisepinged on suuremad. Kolmandaks tuleb katsetamise teel välja selgitada optimaalne õmbluste järjekord. Õigesti valitud õmbluste keevitamise järjekorraga saab vähendada sisepingetest tekkivaid deformatsioone. Neljandaks, vajadusel raami kinnitamine eelpingestatult, mis kompenseerib raami deformeerumist jahtumisel. Viiendaks rakise konstruktsioon tuleb konstrueerida nii, et rakise elemendid, mis asetsevad keevisõmbluste läheduses, oleksid massiivsemad ja kontaktpindala oleks suurem. Need aspektid aitavad parandada keevitusest põhjustatud soojusvahetust raamilt rakisele, vähendada raami deformeerimist, mis garanteerib raami mõõtmete vastavust nõuetele.

4.3.1 Peamised nõuded rakistele

Võimalikult lihtne konstruktsioon – rakiste konstruktsioon tuleb läbi mõelda valmistamislihtsuse poolest. See võimaldab vähendada rakise detailide arvu, muuta konstruktsioon kergemaks ja vähendada tootmisaega.

Lihtne hooldada – keevitusrakiste puhul, keevituspritsmed peavad olema kergesti eemaldatavad. Samas keevituspritsmeid ei tohiks segada detailide paigaldamist. Baseerimispinnad peavad jääma puhtaks kogu keevitusprotsessi jooksul.

Mehhaanilise töötlemisrakise puhul, raam peab olema lihtsasti eemaldatav ja paigaldatav.

Kerge ja mugav kasutada – kasutamise mugavus seisneb selles, et kasutada võimalikult vähe kinnituselemente ja lisaelemente, mida on võimalik kergesti kaotada. Samas detailide või raami paigaldus ja vahetus peab olema võimalikult lihtne ja kiire.

Arvestada hooletut kasutamist – kogemus näitab, et tavaliselt keevitajad kasutavad keevitusrakiseid väga hooletult ja tekitavad rakisele kahju, mis omakorda vähendab rakise eluiga. Selle tulemusel võib rakis muuta oma kuju ning pärast keevitamist saadud täpsus ei vasta nõuetele. Seega rakis peab olema tugeva ja jäiga konstruktsiooniga ja ilma kergelt murduvate väljaulatuvate elementidega.

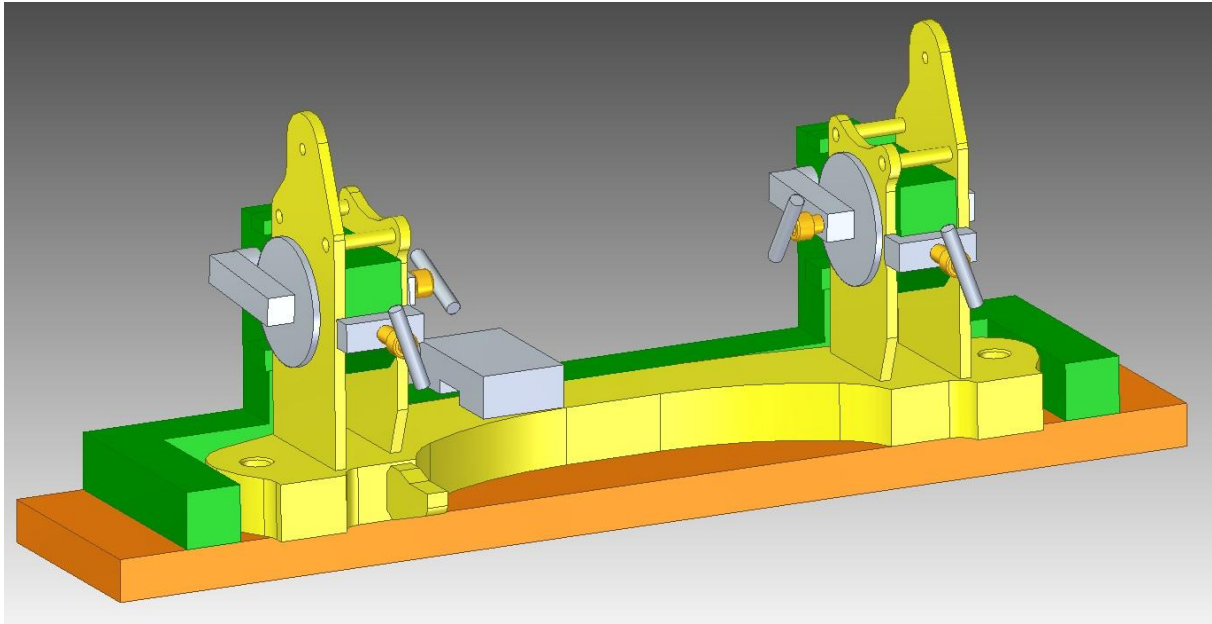
Remondi võimalus - rakist tuleb konstrueerida nii, et kiiresti kuluvad detailid oleksid kergesti välja vahetatavad. Vahetatavate detailide valmistamisel tuleb arvestada sobivate materjalidega.

Ei nõua lisa tööriistu– kinnituselemendid peavad olema võimalikult lihtsad, mis ei nõua lisa tööriistade kasutamist detaili fikseerimisel. Selleks kasutatakse kas standardseid kiirklambreid, hoovaga klambreid, ekstsentrikud või keermega fikseerimiselemente, mis võimaldavad käsitsi fikseerimist.

4.4 Koosterakise projekteerimine

4.4.1 Esimene kontseptsioon

Nagu ennem oli öeldud, esialgne kontseptsioon eeldas, et kõik raami detailid keevitatakse kokku ühes rakises:



Sele 4.1. Esimese koosterakise kontseptsioon

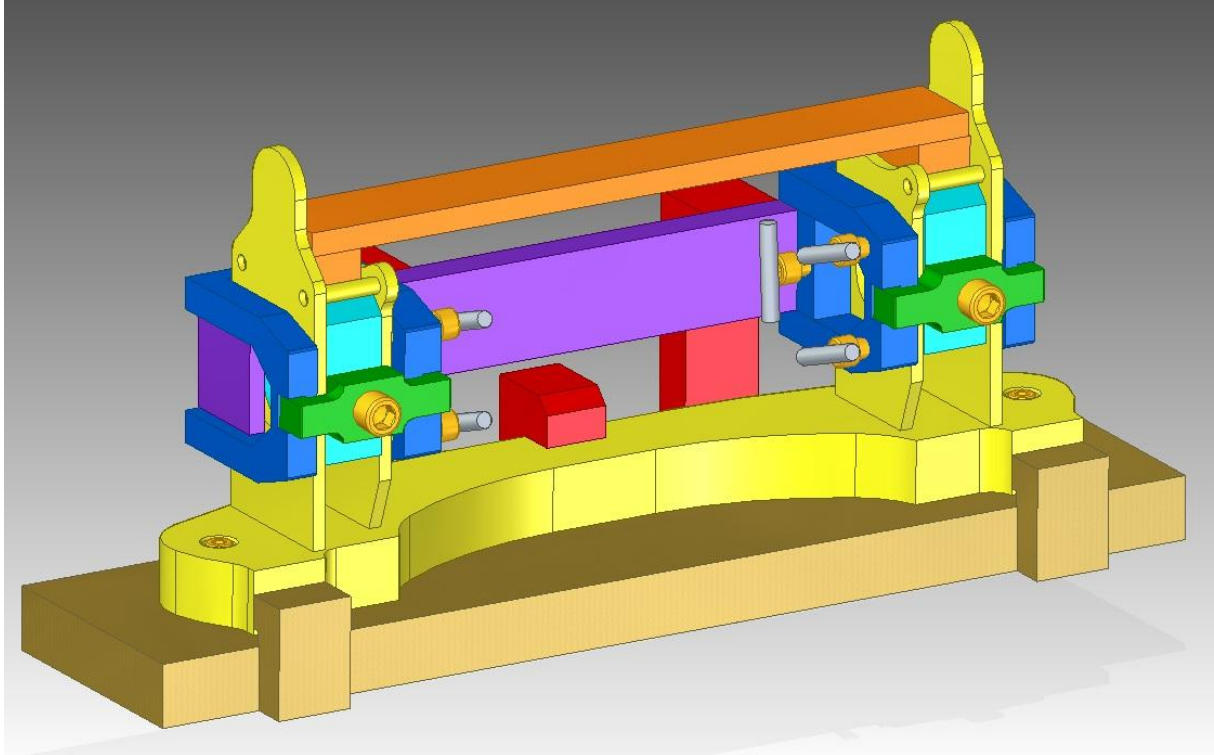
Koosterakise esimeses kontseptsioonis oli palju puudusi:

Raami aluse vale baseerimine – nagu näha raami koostejoonisest (Lisa 1) kolonnide asukoha mõõt $46 \pm 0,5$ on antud aluse avadest, mitte aluse äärtest. Aluse äärt ei töödelda mehaaniliselt, vaid lõigatakse gaaslõikuses, mis ei garanteeri piisavat täpsust. Seega ääre kuju ja gabariitmõõdud võivad kõikuda.

Väike konstruktsiooni jäikus – konstruktsioon ei ole piisavalt jäik. Visuaalselt on näha, et antud lahendus ei pea vastu suurtele jõududele, mis tekivad raami keevitamise käigus.

4.4.2 Teine kontseptsioon

Teine kontseptsioon oli rohkem läbimõeldud ja eeldas, et kõik raami detailid keevitatakse kokku ühes rakises:



Sele 4.2. Teine koosterakise kontseptsioon

Koosterakise teine kontseptsioon oli rohkem läbimõeldud aga ka sellel variandil olid omad puudused:

Liiga keeruline konstruktsioon – konstruktsiooni keerulisus seisneb selles, et detailide arv on liiga suur. Antud puudus viib liiga keeruliseks ja ebamugavaks kasutamiseks. Kuna see on ainult kontseptsioon, siis pildil on puudu erinevate detailide vahelised sidumiselemendid. Antud juhul on neid vaja väga palju, mis muudab konstruktsiooni veel keerulisemaks ja nõrgestab mõningaid detaile.

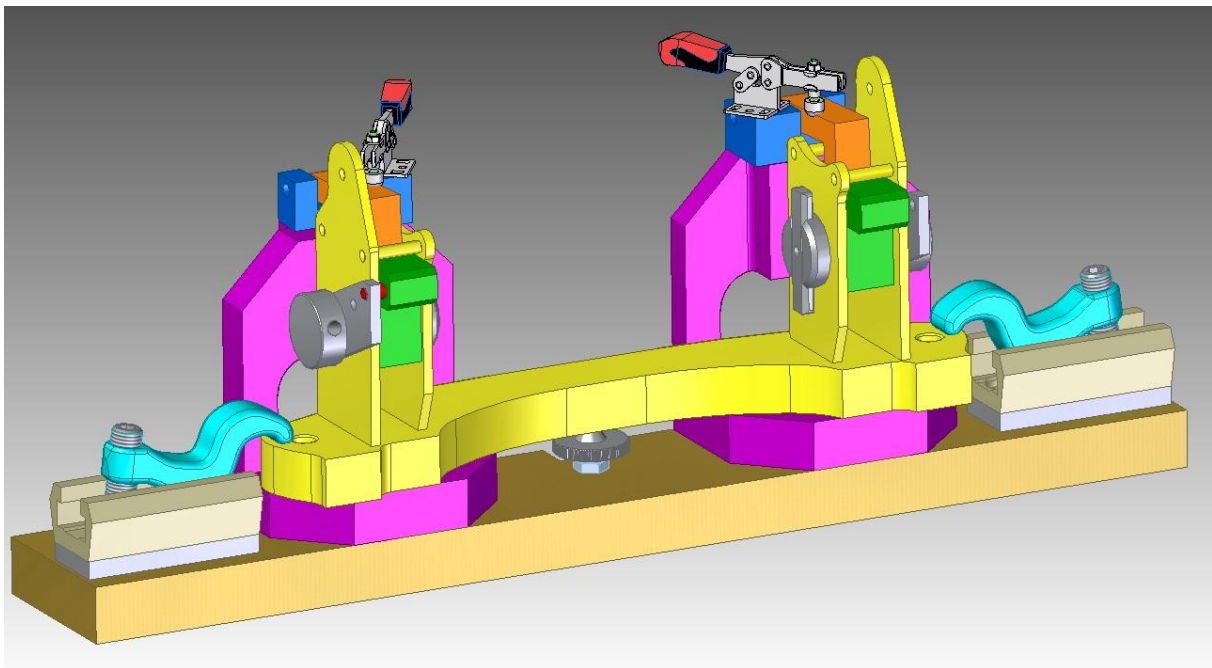
Liiga palju fikseerimiselemente - pildil on näha vähemalt üksteist fikseerimiselementi, mis jäävad üksteisele ette. Antud fikseerimiselementide arv on liiga suur ja nõuab lihtsustamist.

Raami aluse vale baseerimine – vaatamata sellele, et antud juhul aluse baseerimine on valitud õigesti, baseerimiselement on vale. Kuna keermes liited omavad lõtku siis neid ei ole soovitatav baseerimiselementidena kasutada.

Raskendatud raami eemaldamine rakisest – raami eemaldamise keerulisus seisneb selles, et peale keevitamist raam on üks tervik. Selle eemaldamiseks tuleb lõdvestada kõik fikseerimiselemendid ja baseerimistoed, mis omakorda suurendab baseerimisviga.

4.4.3 Kolmas kontseptsioon

Kolmas kontseptsioon erineb eelmisest kahest märgatavalt ja kujutab endast printsiipselt uut lähenemist. Märgatav erinevus seisnes selles, et kolonnid, mida keevitatakse alusele, keevitatakse eraldi rakisest kokku ja kasutatakse raami koosterakisel alamkoostuna.



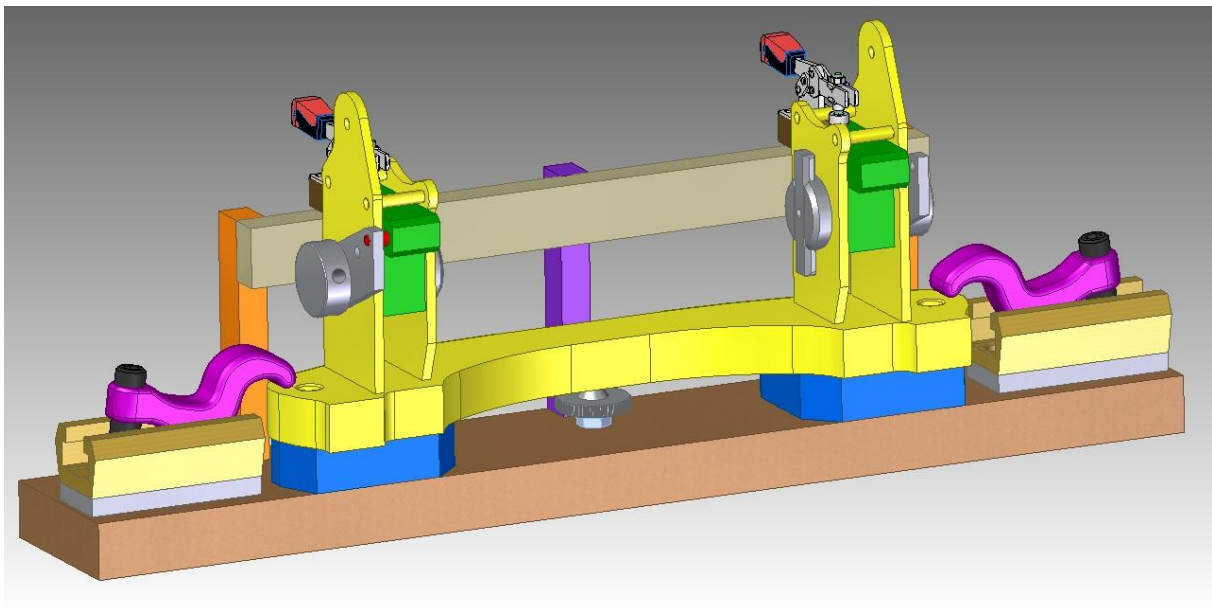
Sele 4.3. Kolmas koosterakise kontseptsioon

Keevitusrakis tehakse üldjuhul kümme korda suurema täpsusega, et võimaldada raami korrektseid mõõtusi. Selle rakise peamiseks puuduseks olid lillad detailid. Need detailid vastavad kõikidele nõuetele, kuid nende keerulise kuju tõttu on nende valmistamine praktiliselt võimatu. Valminud detailid peavad läbima termilist töötlust, mis omakorda põhjustab kuju- ja mõõduhävete teket.

Antud rakise konstruktsioonis olid toodud mõned parandused, mis pidid kõrvaldama kõik puudusi. Otsustati valmistada lillad detailid kahest osast, mis peaks lihtsustama nende valmistamist, kuid see tõi kaasa detailide jäikuse ja tugevuse vähendamise detailide omavahelistes kinnituskohtades. Seetõttu otsustati uuesti konstrueerida antud rakise sõlm.

4.4.4 Neljas kontseptsioon

Viimane kontseptsioon ei erine visuaalselt ja kardinaalselt eelmisest variandist, kuid eelmise konstruktsiooni puudused on antud kontseptsioonis kõrvaldatud.

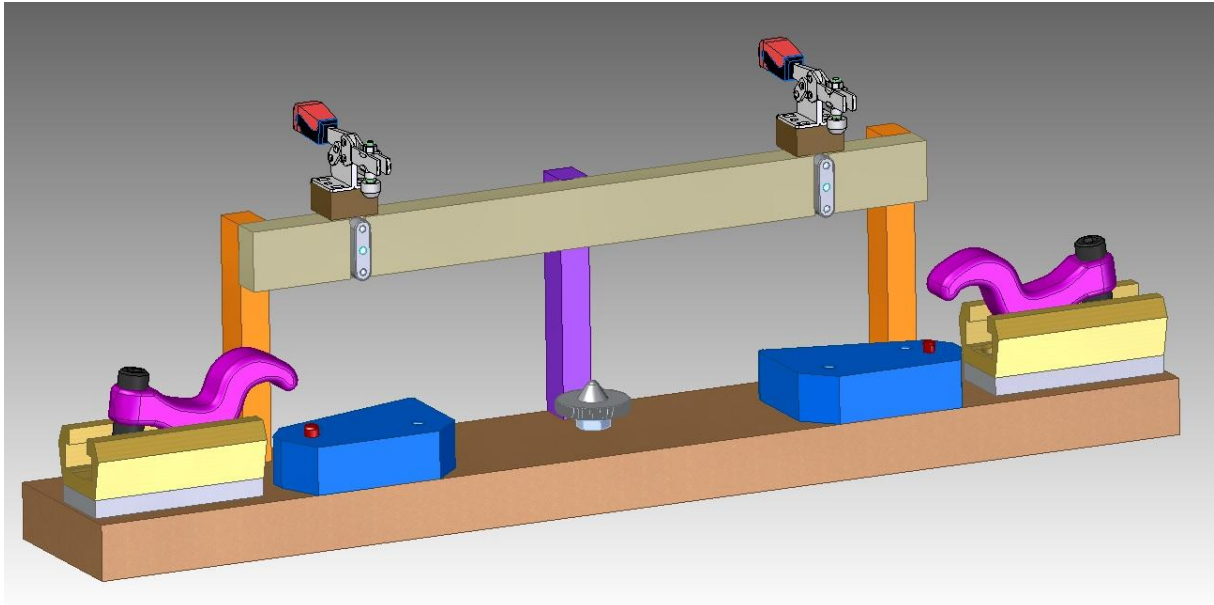


Sele 4.4. Neljas koosterakise kontseptsioon

Antud rakis on hetkeseisuga projekteerimise staadiumis aga lõplik versioon sellest oluliselt ei erine. Võimalik, et rakise optimeerimiseks muudetakse vähesel määral mõnede detailide mõõtmeid, kuju ja kinnituskohti.

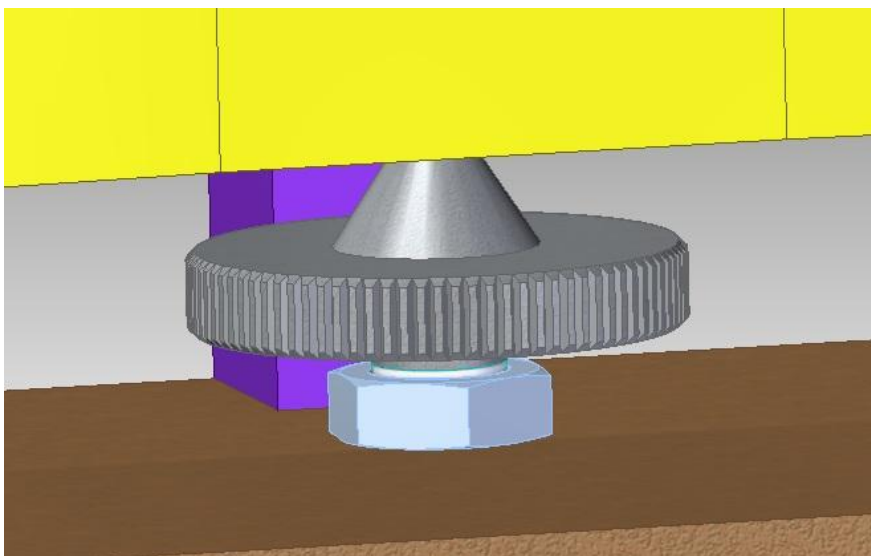
4.5 Koosterakise kasutamise põhimõtted

Koosterakise lõppversioon (Sele 3.4.) kujutab endast alust (pruun värvi), mille äärtele kinnitatakse standardsed “Lenske“ kinnitusklambrid (lillad). Nagu näha, klambrite ja rakise aluse vahel on tihendid, mille abil klambrid tõstetakse kergelt üles.



Sele 4.5. Kevitusrakis

See on vajalik selleks, et kogu raam oleks kõrgem rakise aluse suhtes. See võimaldab paigaldada reguleerimis elemente (Sele 3.6.) rakise aluse keskele.

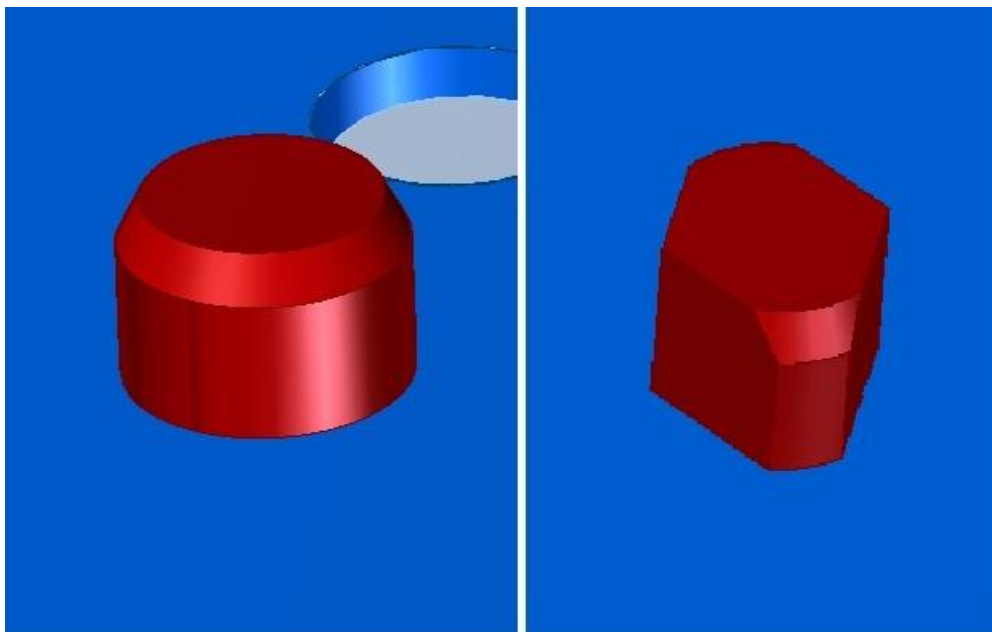


Sele 4.6. Regulaator

Reguleerimiselement võimaldab painutada keevitatavat raami aluse keskelt selliselt, et kompenseerida jääkdeformatsioone raami jahtumisel. Analüüsisides keevitus- ja jahtumisprotsessi selgub, et raami alus deformeerub kolonnide kohtades ülespoole.

Pildil (Sele 3.4.) on näha, et raami alus paigaldatakse tugedele (sinised). Need toed võimaldavad raami kõrgemat asetust rakise aluse suhtes ja reguleerimiselementide kasutamist. Need toed täidavad kaks väga tähtsat funktsiooni. Esiteks nad on massiivsed ja võimaldavad paremat soojusvahetust raami keevitamisel. Tänu nende gabariitidele, ei ulatu nad aluse suhtes väljapoole. Keevitamise käigus tekkinud keevituspritsmed ei satu tugedele, mis lihtsustab nende hooldamist.

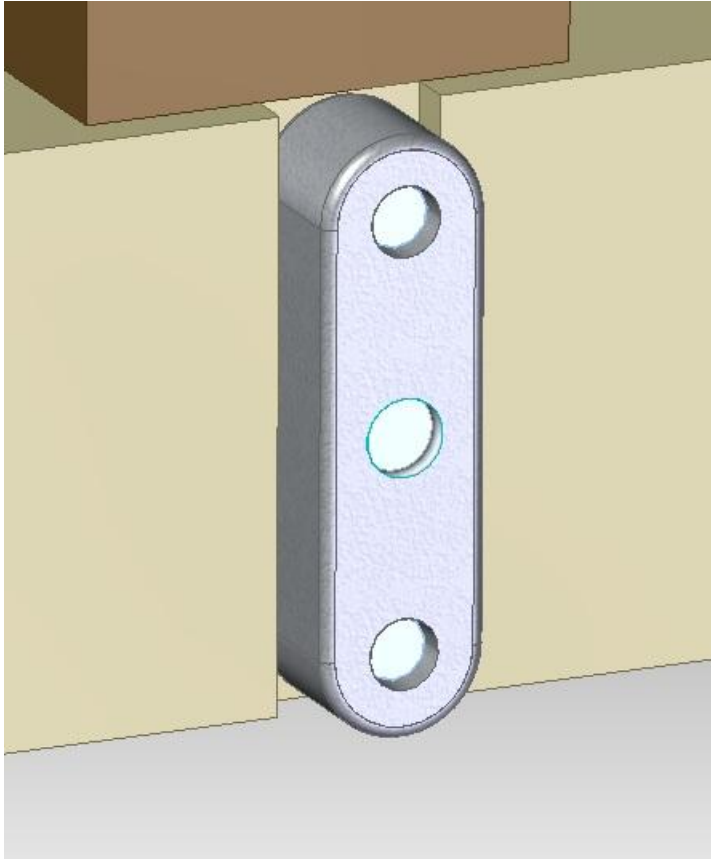
Asetades raami alust rakise tugedele (sinised), alus baseeritakse avade kaudu väljaulatuvate tihvtide abil (Sele 3.7) (punased).



Sele 4.7. Baseerimistihvtid. Vasak ja parem tihvt.

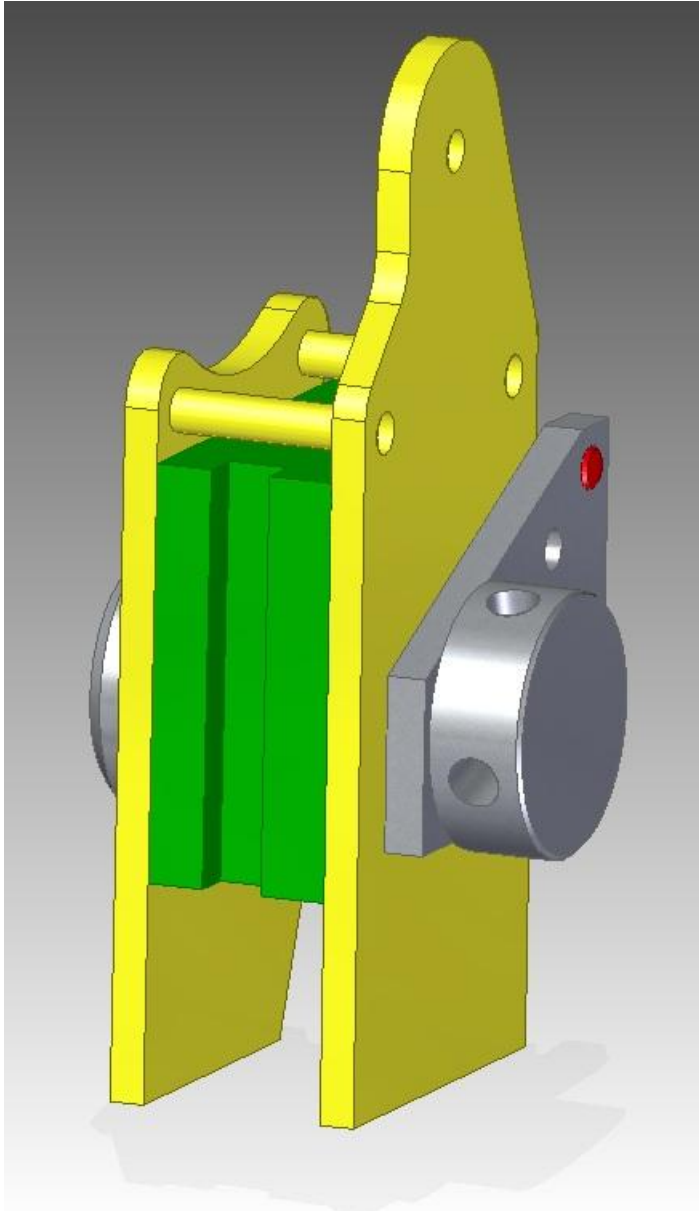
Pööraksime tähelepanu tihvtide kujule. Vasakpoolne tihvt on silindrilise kujuga. Kõrgete tihvtide ja raami aluse avade täpsus võimaldab raami paigaldust praktiliselt lõtkudeta, mis omakorda garanteerib täpse aluse baseerimise. Parempoolne tihvt on rombikujuline. Kuna ta on valmistatud silindrilise kujuga toorikust (vasakpoolne tihvt), siis selle ülemine ja alumine äär on silindriline. Selline kuju võimaldab raami aluse täpset baseerimist, kompenseerides alusel olevate avade vahelist mõõtu $550 \pm 0,2$ (Lisa 1).

Peale raami aluse asetamist rakisele, fikseeritakse see külgedel olevate klambrite abil . Raami alusele paigaldatakse kolonnide (Sele 2.1) alamkoostud. Kolonnide baseerimistäpsuse garanteerivad rakisel olevad liistud (Sele 3.8) ja alamkoostudes olevad sooned (Sele 3.9). Liistude asukohad on hästi märgatavad rakisel isomeetriselises vaates. (Sele 3.5).



Sele 4.8. Kolonnide baseerimisliist

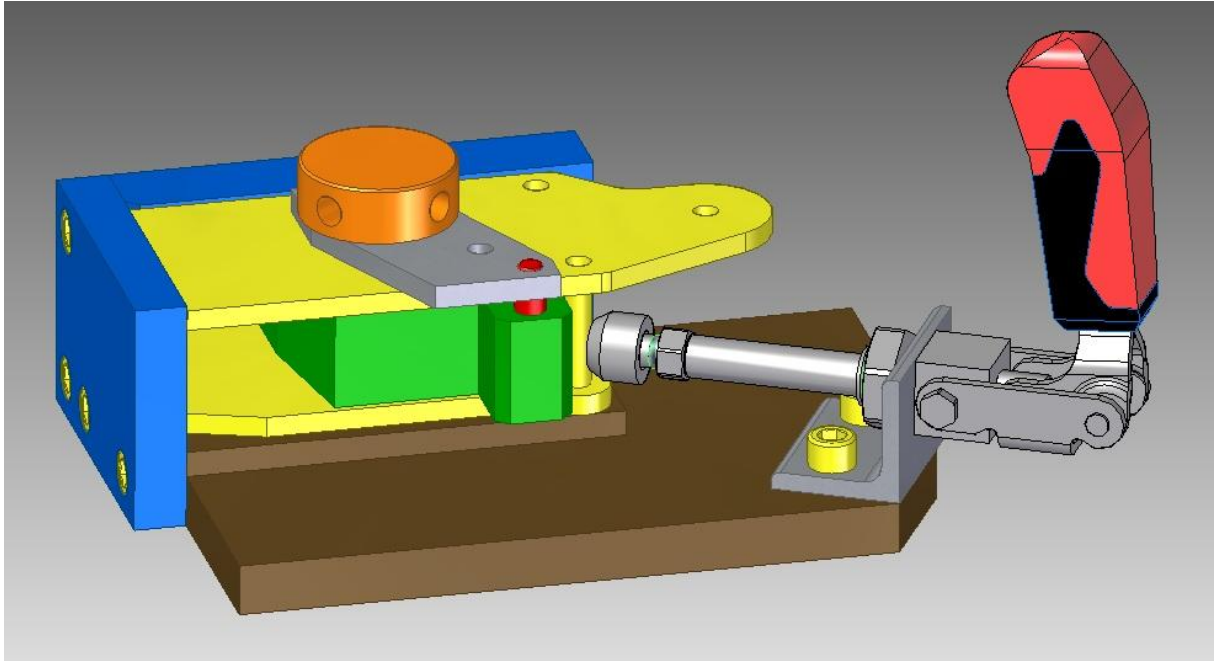
Kolonnide alamkoost pannakse kokku teises rakises. See võimaldab koosterakise lihtsustamist ja nõutud täpsuse saamist. Kolonnide fikseerimist tagavad standardsed „AMF“ (Sele 3.10) klambrid. Üldiselt antud rakise konstruktsioon garanteerib head juurdepääsu keevituskohtadele ja omab piisavat jäikust. Lisaks on ta küllaltki kerge eksploateerimisel ja ei tekita raskusi raami eemaldamisel rakisest. Samas rakises kasutatavad detailid on lihtsa kujuga ja nende hulk on minimaalne.



Sele 4.9. Kolonn, raami alamkoost

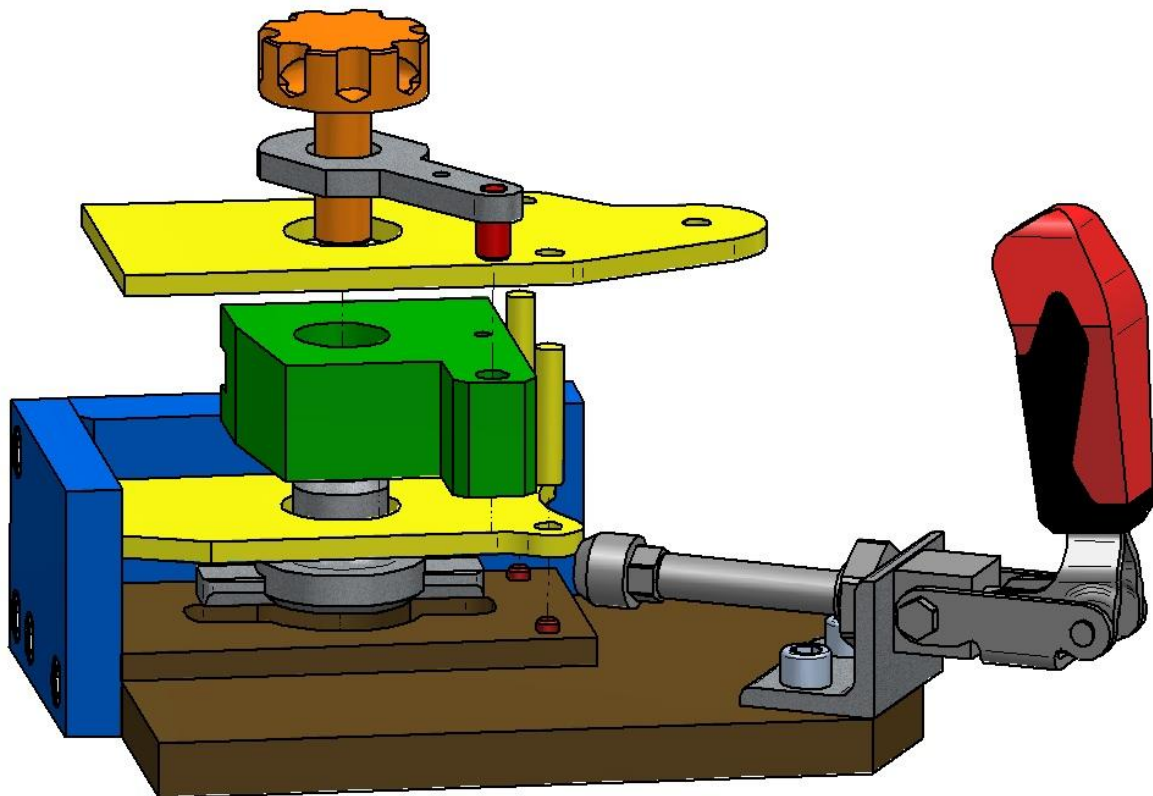
4.6 Alamkoostu rakise projekteerimine

Alamkoostu rakise ülesandeks on kokku keevitada kaks plaati ja kaks väikest varrast. Alamkoost tuleb ette valmistada paigaldamiseks koosterakisesse. Alamkoostu rakis projekteeriti esimesel etapil kuna see kujutab endast lihtsat konstruktsiooni. Rakis (Sele 3.11) kujutab endast alust (pruun) koos tugiseintega (sinised), kuhu paigaldatakse kaks raami alamkoostu plaati.



Sele 4.10. Alamkoostu rakis

Parema rakise konstruktsiooni ülevaateks on vaja saada ülevaade kõikidest detailidest:



Sele 4.11. Alamkoostu rakise detailne vaade

4.7 Alamkoostu rakise kasutamise põhimõtted

Rakise (Sele 3.11) alusele paigaldatakse fikseerimiselement (hall silindriline) alusel olevasse avasse. Elemendi sees on keermestatud ava, kuhu keeratakse keermestatud polt (oranž). Kinnituselemendi teisel küljel on kinnitatud liist, mis takistab elementi pöörlemisest poldi kinni keeramisel. Peale alumise kinnituselemendi paigaldamist, asetatakse sellele esimese kolonni plaat. Seejärel pannakse vahe detail (roheline), mis tagab nõutud plaatide vahelise mõõdu ja nurga. Järgmisena paigaldatakse teine plaat. Peale seda pannakse läbi plaatide avade tihvtid. Tihvtide kõrgust plaatide suhtes tagavad rakise alusel olevad seentoed. Edaspidi ülemisele plaadile pannakse vaheseib (hall, luubi-kujuline).

Vaheseibi ülesandeks on kompenseerida plaatide vahelist nurk ja tagada fikseerimiselementide korrektset fikseerimist ühel teljel. Vaheseibi otsas on tihvt (punane), mis tagab seibide korrektse paigalduse. Vaheseibi peale asetatakse kinnituskrugi, mis keeratakse alumisele fikseerimiselemendile käsitsi sisse. Sellel viisil kõik detailide fikseeritakse omavahel. Viimasena aktiveeritakse „AMF“ klamber, mis liigutab toelementi vastu varrast ja kogu alamkoostu rakise toe seinte (sinised) vastu. See tagab, et mõlemad plaadid on baseeritud ühest baaspinnast ja üksteise suhtes paigaldatud õigesti. Enne keevitamist pingutatakse kinnituskrugi.

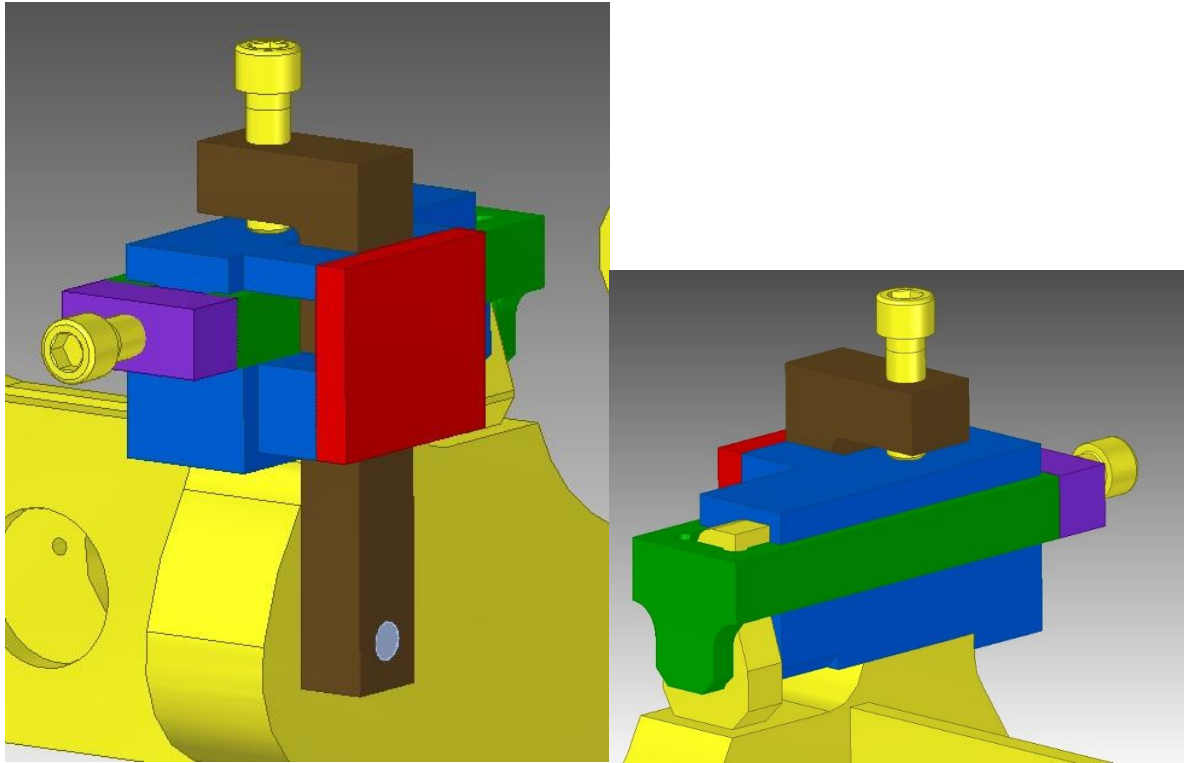
Peale seda tuleb keevitada tihvtid ülemise plaadi külge. Järgmisena lõdvestatakse „AMF“ klambrit ja pööratakse alamkoost teisele küljele, et keevitada tihvtid teise plaadi külge. Antud lahendus nõuab mitut samasugust fikseerimiselementi, mis hoiavad alamkoostu koos, kuna neid ei tohi lahti keerata enne kui alamkoost on keevitatud raami aluse külge koosterakises ja alamkoost on jahtunud. Kuna kolonnid on sümmeetrilised, siis nende kokkupanemiseks läheb vaja kahte sümmeetrilist alamkoostu rakist.

4.8 Stopperi rakise projekteerimine

Antud rakis on vajalik raami viimase detaili – stopperi (Sele 2.1) keevitamiseks. Analüüsidest raami koostejoonist (Lisa 1) on näha, et selle keevitamiseks ei ole rangeid tolerantsi. Aga see ei tähenda, et seda saab keevitada ilma rakiseta vabalt valitud kohta. Stopperi keevitamiseks on nõutud rakis, mis fikseerib selle jäigalt paigale ja annab keevitajale võimaluse keevitada seda mõlemalt poolt. Antud rakis peab kiirendama stopperi kinnitamist raamile.

4.8.1 Stopperi rakise esimene kontseptsioon

Esimese rakise versioon stopperi kinnitamiseks nägi välja järgmisena:

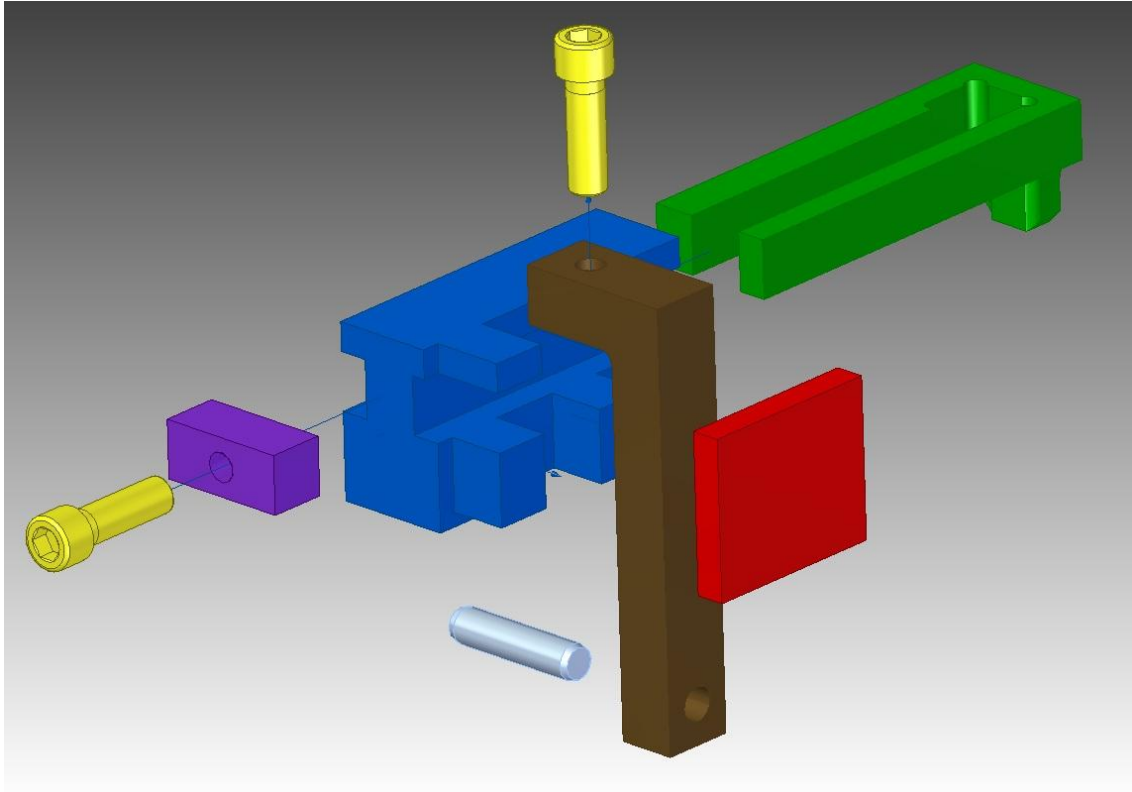


Sele 4.12. Stopper rakise esimene kontseptsioon

Esimesest pilgus paistab, et antud lahendus on liiga keeruline sellise väikse detaili kinnitamiseks nagu stopper. Aga arvestades stopperi positsioneerimis täpsust baaspindadest ja erinevate detailide mõõtmete tolerantse, vastab antud rakis kõikidele nõuetele.

Rakise konstruktsioon kujutab endast alust (sinine), kuhu kinnitatakse ülejäänud fikseerimiselemendid. Detailsel ülevaatel on näha, et vertikaalsel fiksaatoril (pruun) on alumises otsas tihvt, mis kinnitatakse raami aluses olevasse avasse. Tihvt võimaldab fikseerida rakist fiksaatoris oleva poldiga raami külge. Samas, teise pildi (Sele 3.12) detailsel vaatel saab näha, et rakis fikseeritakse ka raami pikisuunas rakise alusel oleva väljaastega, mis toetub vastu raami aluse serva. Kuna ava on baseerimiselement ja seda plaanitakse teha suurema täpsusega kui seda on joonisel nõutud, siis see tagab hea baseerimis. Läbivaadatud elemendid võimaldavad fikseerida kindlalt rakist raamis. Rakises olev plaat (punane) hoiab kinni fiksaatorit (pruun) ja tagab selle üles-alla liikumise võimaluse rakise aluse suhtes, mis omakorda lubab fikseerida rakist raami külge.

Järgmiseks elemendiks on horisontaalne fikseerimise element (roheline), mille eesmärgiks on fikseerida stopper nõutud asendis, raami ja rakise suhtes. Põhjalik ülevaade rakise detailidest on esitatud järgmisel pildil:

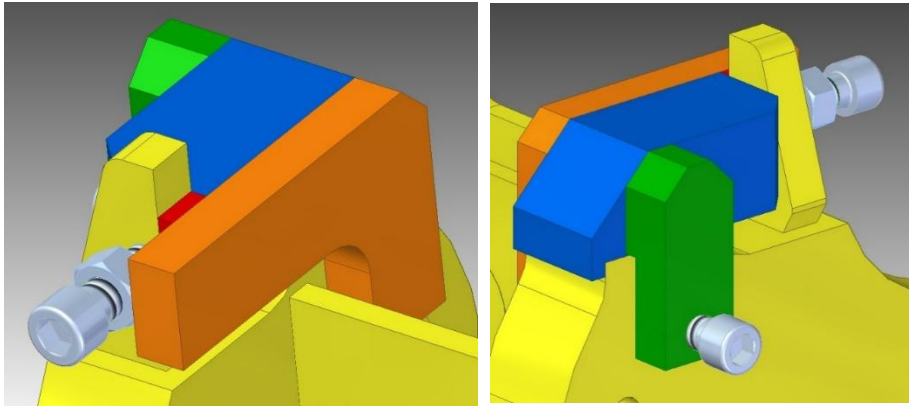


Sele 4.13. Rakise detailine vaade

Nagu näha on rakise alus (sinine) keerulise kujuga ja koosneb kolmest soonest, kus saavad liikuda mõlemad fikseerimise elemendid. Pildid (Sele 3.12) on näha keermestatud avaga elementi (violettne), mis on jäigalt kinnitatud horisontaalse fiksaatori külge. Sellisel juhul horisontaalne fiksaator saab liikuda raami piki suunas väga vähe, kuid seda on piisavalt stopperi paigaldamiseks ja vaba käiguks. Stopperi fikseerimiseks asetatakse ta õiges asendis raami aluse rakisesse, rakise aluse (sinine) ja horisontaalse fiksaatori (roheline) vahele. Pingutades horisontaalse fiksaatori kruvi, toetub polt vastu rakise alust ja polti keerates liigub kruvi suunas ja surudes fikseerib stopperi rakise aluse ja horisontaalse fiksaatori (roheline) vahele kinni. Pildil (Sele 3.12) on näha stopper fikseeritud asendis. Samas on näha, et rakis tagab juurdepääsu keevitamiseks ja katab tähtsad baaspinnad keevituspritsmetest. Analüüsides antud rakist selgus, et ta on liiga keeruline sellise väikese detaili, nagu stopperi fikseerimiseks. Seetõttu oli otsustatud projekteerida uus rakis, mis vastaks kõikidele nõuetele ja oleks lihtsama konstruktsiooniga.

4.8.2 Stopperi rakise teine kontseptsioon

Teine kontseptsioon on lihtsustatud ja näeb välja järgmisena:

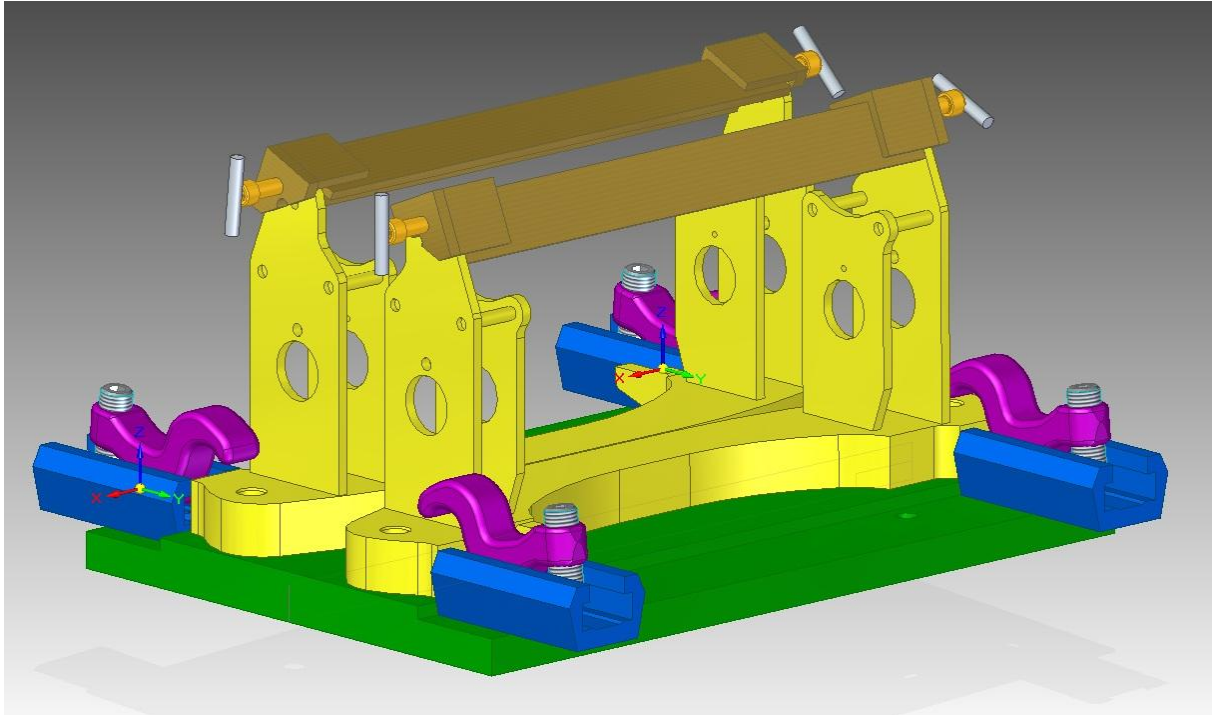


Sele 4.14. Stopperrakise teine kontseptsioon

Antud rakise konstruktsioon on lihtsam, vähendades ka detailide arvu. Rakise aluseks on oranž plaat, mille külge punktatakse sinine ja punane tugi ja fikseerimiselement – mutter. Sinise toe külge punktatakse roheline keermestatud avaga kronstein. Rakis paigaldatakse raamile nii, et rakise alus ja sinine tugi väljaastmega toetatakse vastu raami alust. Rohelise detaili avas olev polt pingutatakse, fikseerides stopperi rakise raami alusele. Järgmisena paigaldatakse stopper, mis fikseeritakse teise poldiga. Peale seda stopper punktatakse raami aluse külge mõlemalt poolt ja rakis eemaldatakse. Järgmisena stopper keevitatakse vastavalt nõuetele.

4.9 Rakise projekteerimine mehaaniliseks töötlemiseks

Raami tootmis tehnoloogia näeb ette rakist mehaaniliseks töötlemiseks. Pildil (Sele 2.1) ja raami koostejoonisel (Lisa 1) on näha, et kolonne moodustavates plaatides on mitu ava, mida pärast raami kokkupanemisest, tuleb töödelda õigesse mõõtu. Selleks, et kiirendada seda protsessi, tuleb projekteerida rakis, kuhu oleks võimalik kinnitada kaks raami korraga ja töödelda neid maksimaalse efektiivsusega. Rakis (Sele 3.15.) kujutab endast rohelist alust, mille küljes on kinnitatud standardsed klambrid. Rakis on sümmeetriline ja sisaldab vaheriste (hele pruun). Need tagavad õige mõõdu kolonnide vahel ja annavad raamile lisa jäikust töötlemise ajal. Vaherist kinnitatakse raami külge poltide abil. Raamid paigaldatakse rakisesse raami aluses olevate avade abil. Selleks on rakise alusel ettenähtud kaks tihvti kummagi raami jaoks.



Sele 4.15. Rakis mehaaniliseks töötlemiseks

Antud rakise kasutamine on väga lihtne. Rakisesse asetatakse kaks raami ettenähtud kohale ja fikseeritakse nelja klambriga. Peale seda kinnitatakse igale raamile vaherist.

5 RAAMI TOOTMISTEHNOLOOGIA

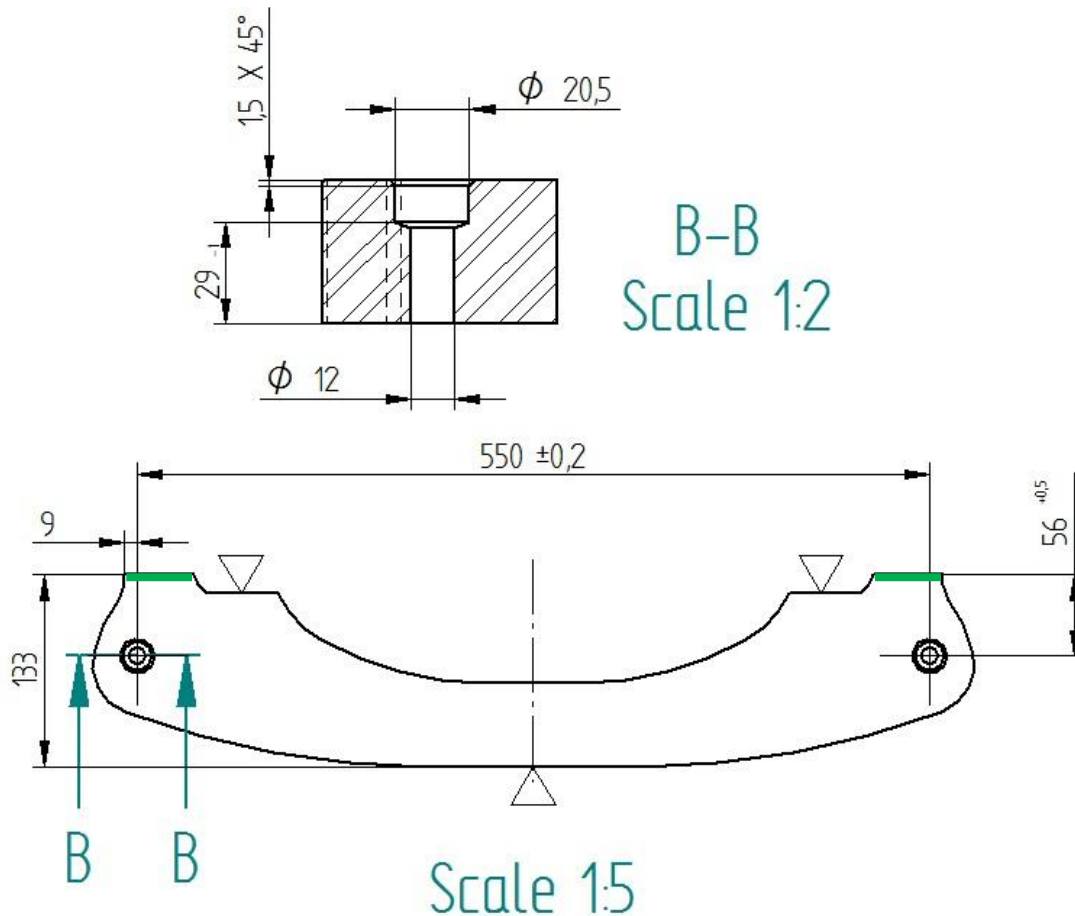
5.1 Raami detailide toorikute valmistamine

Enamus detailide toorikuid lõigatakse välja vastava paksusega lehtmestallist. Neid lõigatakse gaasi- ja laserlõikusega jättes materjali varu baaspindade ja avade töötlemiseks. Detailide toorikud saab näha joonistel (Lisa 2, Lisa 3, Lisa 4, Lisa 5). Pildil näidatud detail (Sele 2.2 detail Nr. 5) valmistatakse vajaliku läbimõõduga vardast saagimise teel.

5.2 Raami detailide töötlemine

5.2.1 Raami alus

Raami alus kinnitatakse vertikaalfreespinki vastavalt skeemile (Sele 4.1.).

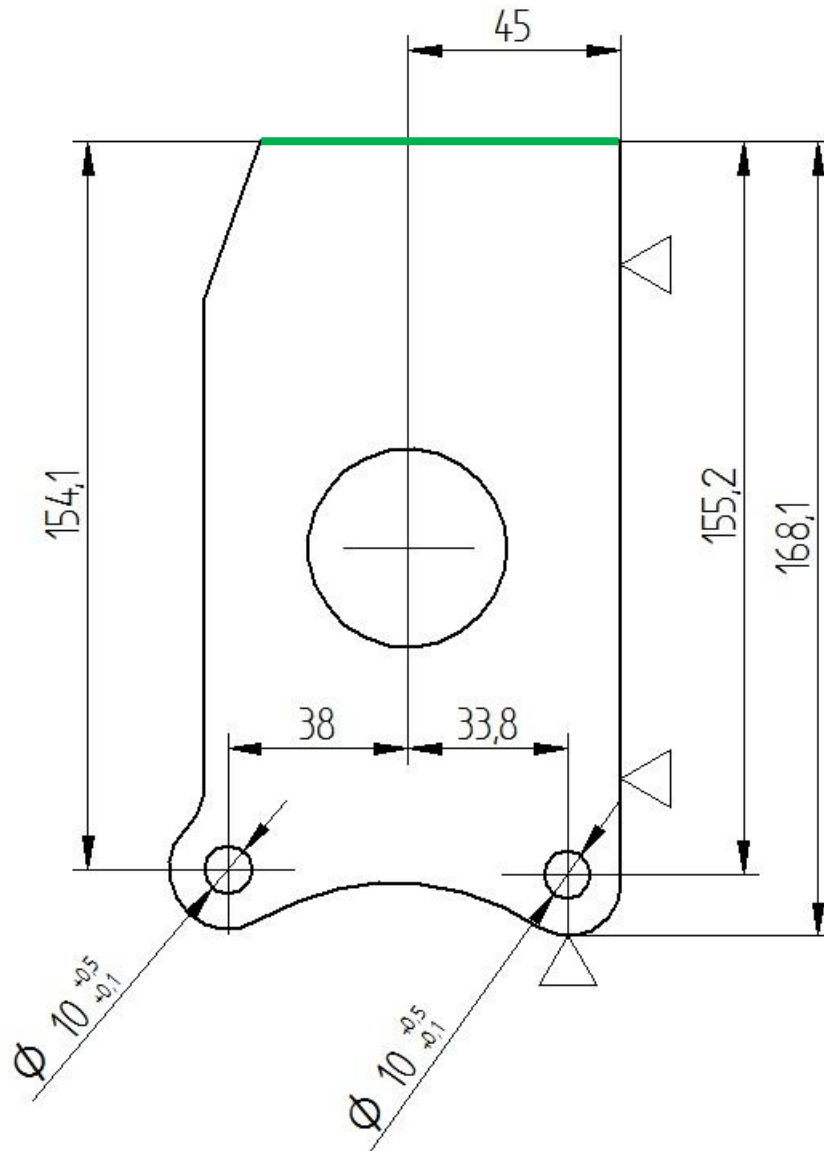


Sele 5.1. Raami aluse töötlemisskeem

Antud paigaldusel töödeldakse raami aluse baaspinnad, laius 133 (Sele 4.1.), märgitud rohelisega. Baaspind töödeldakse kahe läbimiga terve aluse paksuse ulatuses. Must läbim tehakse kukuruus tüüpi sõrmfreesiga $\phi 40$ mm ja puhas läbim tehakse kõva sulamist sõrmfreesiga $\phi 14$ mm, $L=50$ mm. Järgmisena puuritakse kaks ava $\phi 12$ mm ja $\phi 20,5$ mm vastava läbimõõdu puuriga. Viimasena freesitakse faasiga avad $1,5 \times 45^\circ$ faaspuuriga $\phi 25$ mm.

5.2.2 Raami sisemised plaadid

Raami plaadid kinnitatakse vertikaalfreespinki vastavalt skeemile (Sele 4.2.).

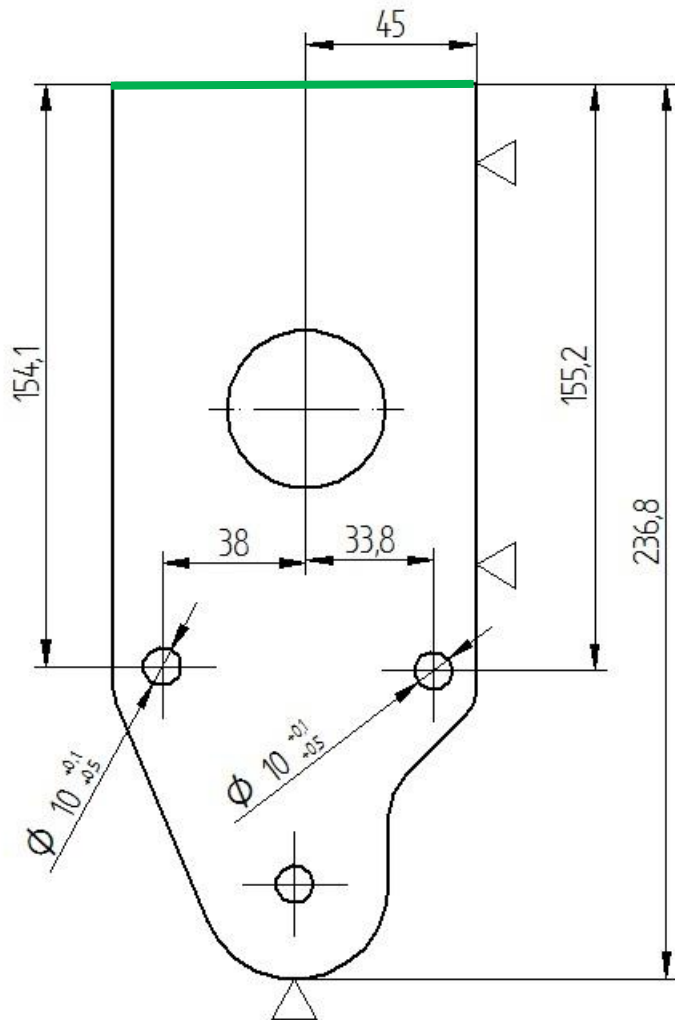


Sele 5.2. Raami sisemiste plaatide töötlemis skeem

Antud paigaldusel töödeldakse raami plaatide baaspind mõõtu 168,1 mm (Sele 4.2.), märgitud rohelisega. Selleks kasutatakse kõva sulamist sõrmfreesi $\varnothing 14$ mm, $L=50$ mm. Viimasena puuritakse kahte ava $\varnothing 10^{+0,5}_{-0,1}$ mm, $\varnothing 10,25$ mm või $\varnothing 10,3$ mm puuriga.

5.2.3 Raami välimised plaadid

Raami plaadid kinnitatakse vertikaalfreespinkki vastavalt skeemile (Sele 4.3.).

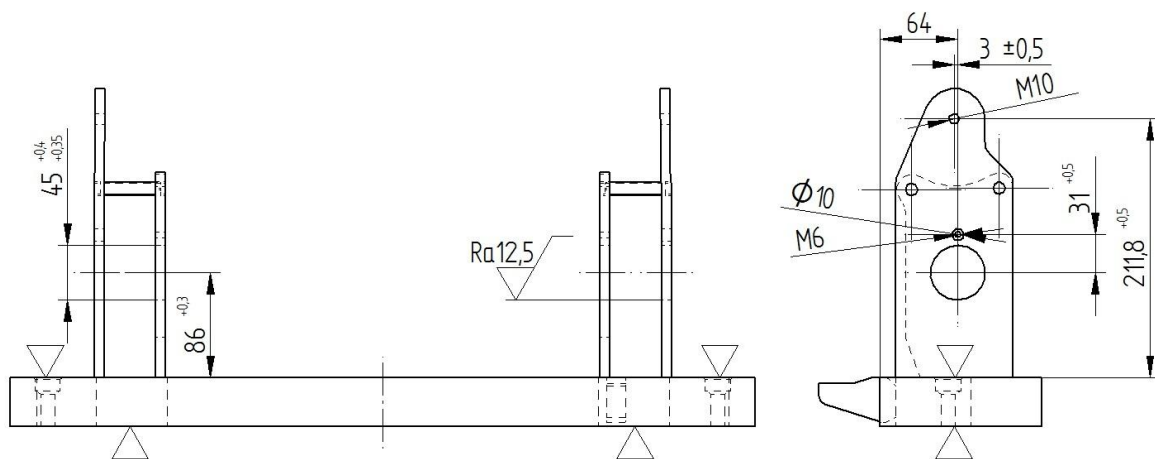


Sele 5.3. Raami välimiste plaatide töötlemis skeem

Antud paigaldusel töödeldakse raami plaatide baaspind mõõtu 236,8 mm (Sele 4.3.) märgitud rohelisega. Selleks kasutatakse kõva sulamist sõrmfreesi $\varnothing 14$ mm, $L=50$ mm. Viimasena puuritakse kaks ava $\varnothing 10^{+0,5}_{+0,1}$ mm, $\varnothing 10,25$ mm või $\varnothing 10,3$ mm puuriga.

5.2.4 Raami töötlemine

Kui nõutud raami detailide partii on valmis, siis hakatakse raami koostama kasutades rakiseid. Peale raamide nõutud koguse valmistamist ja nende jahtumist, puhastatakse nad keevitus pritsmetest ja saadetakse CNC tsehhi töötlemiseks. Selleks kasutakse mehhaaniliseks töötlemiseks vajaminevat rakist (Sele 3.15.). Antud rakis kinnitatakse pingi pöördlauale. Raamid kinnitatakse viieteljelisele pingile kahe kaupa vastavalt skeemile (Sele 4.4.) rakise abil.

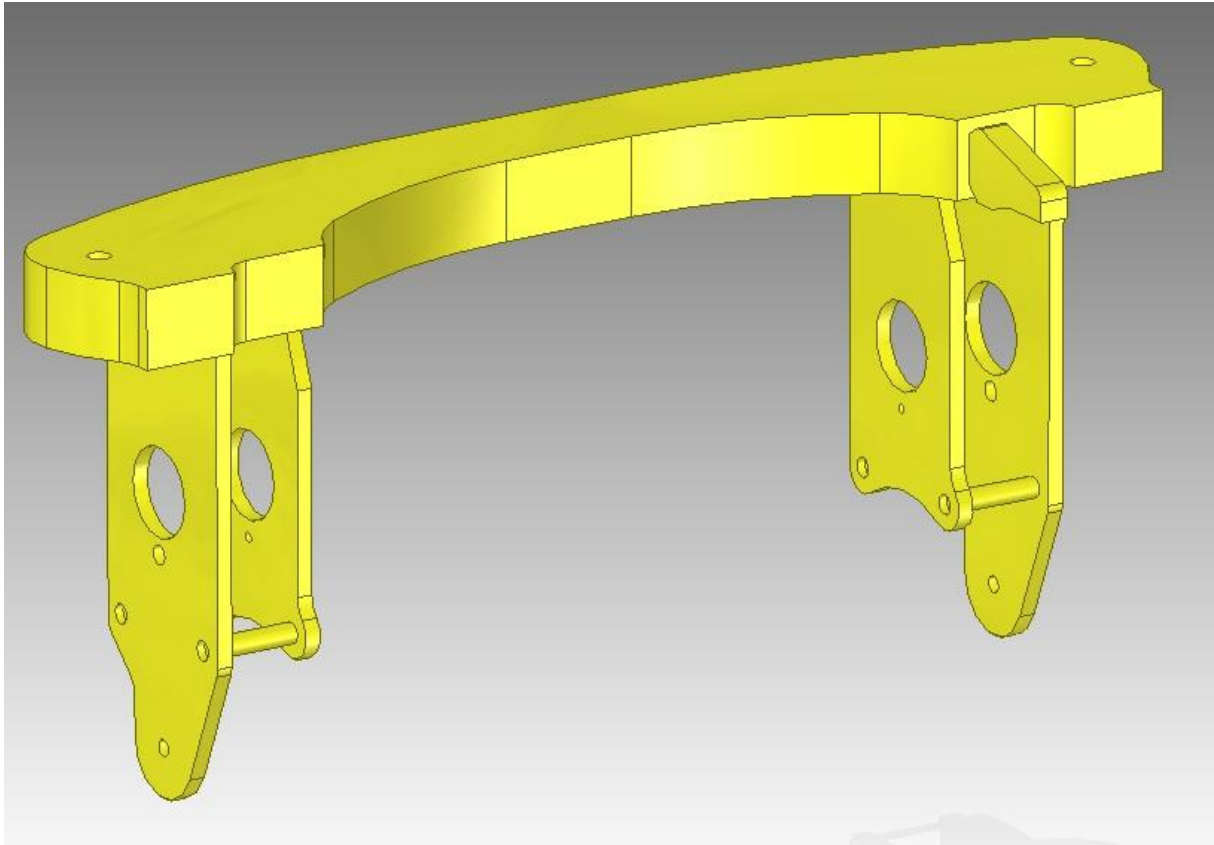


Sele 5.4. Raami töötlemisskeem

Antud paigaldusel töödeldakse kolonne moodustavaid plaatide avasid läbimõõtu $\text{Ø}45^{+0,35}_{-0,4}$ mm. Selleks kasutatakse sõrmfrees $\text{Ø}20$ mm, $L=150$ mm. Järgmisena puuritakse kaks ava $\text{Ø}10$ mm, vastava läbimõõdu puuriga, välistel plaatidel. Selle ava puurimiseks liigub puur sisemise plaadini jättes selle pinnale koonilist süvendust. Järgmisena sisemisel plaadil puuritakse ava $\text{Ø}5$ mm läbi välimises plaadis oleva ava $\text{Ø}10$ mm. Seda tehakse vastava läbimõõdu puuriga pikkusega $L=130$ mm. Selle puuri tsentreerimist aitab eelmises operatsioonis tehtud süvend. Pärast seda avad $\text{Ø}5$ mm keermestatakse vastava keermepuuriga M6, $L=150$ mm. Järgmisena puuritakse välimiste plaatide ülemises osas olevad avad $\text{Ø}8,5$ mm vastava läbimõõdu puuriga. Lõpuks need avad keermestatakse keermepuuriga M10.

6 LCA ANALÜÜS

LCA – Life-Cycle Assessment või Life-Cycle Analysis ehk elukaare hindamine on keskkonnajuhtimise vahend, millega hinnatakse toote või teenuse täielikku keskkonnamõju kogu eluea vältel.



Sele 6.1. Analüüsitav raam

Pildil (Selel 5.1.) kujutatud toode kaalub ligikaudu 19,57 kg ja ka analüüsis uuritakse 19,57 kg toote kohta esinevaid keskkondlikke ning majanduslikke mõjusid. Tootes on kasutatud kuumvaltsitud konstruktsioonteraseid, kusjuures nii lehtmaterjali kui ka armatuuri. Toote keskmiseks kasulikuks elueaks, nagu enamus teistest metallist toodetel, loetakse 20 aastat. Kui toote eluiga on läbi siis töödeldakse see ümber.

Analüüsi põhiliseks eesmärgiks oli välja selgitada, milline on toote mõju keskkonnale kogu selle elutsükli käigus, arvestades nii BLRT Masinaehituses tehtud tööd kui ka väljast tellitud materjale ja transporti. See võimaldab läbi proovida erinevaid stsenaariume, et näha, kuidas mõjutab erinevate keskkonna-, või majandusnäitajate muutumine toote maksumust, kvaliteeti

ja mõju keskkonnale. Analüüs käib kogu toote elutsükli kohta, toormaterjalidest kuni toote saatmiseni tellijale.

Käesolev analüüs valmis järgides ISO 14040:2006 ja ISO 14044:2006 standardeid toote elutsükli kohta. Selle toote elutsükli meetodika võimaldab määrata keskkondlike ja majanduslike ressursside kasutamist toormaterjalidest kuni utiliseerimiseni. Samuti keskendub analüüs laotõstuki raami tootmisel tekkivate toksiliste ühendite kogusele ning nende mõjule.

6.1 Olulisemad näitajad

Olulisemad keskkonna toimenäitajad ja neid mõjutavad keemilised ühendid, mida jälgitakse järgnevas töös [3]:

Globaalne soojenemine - üldine maakera temperatuuri kasvamine:

- Süsinikdioksiid ehk süsihappegaas CO₂;
- Metaan CH₄;
- Lämmastikdioksiid NO₂;
- Lämmastikoksiid NO;
- Klorofluorosüsinikud CFC'd.

Osoonikihi hävinemine - osoonikihi õhenemine inimtekkeliste emissioonide tõttu, mille tulemusena jõuab Maale rohkem UV-B kiirgusest. See ohustab nii inimeste kui loomade tervist ja kogu ökosüsteemi:

- Klorofluorosüsinikud CFC'd.

Hapestumine - gaasid nagu lämmastikoksiidid ja vääveloksiidid muutuvad niiskusega kokkupuutes happeks. Tekivad happevihmad, mis mõjutavad pinnase keemilist koosseisu ja isegi liikide mitmekesisust:

- Vääveloksiidid SO_x;
- Lämmastikoksiidid NO_x;

- Ammoniaak NH_4 ;
- Vesinikkloriidhape HCl .

Eutrofeerumine - muutused liigirohkuses maismaa ja vee ökosüsteemides, samuti hapniku defitsiitsus vee ökosüsteemides:

- Fosfaat PO_4 ;
- Lämmastikdioksiid NO_2 ;
- Lämmastikoksiid NO ;
- Nitraat ammoniaak NH_4 .

Fotokeemilise oksüdeerijate teke - (suurlinnade sudu) troopsfääris ja selliste oksüdeerijate mõju on ohtlik inimeste tervisele ning ökosüsteemidele (näiteks põllukultuur):

- Etüleen C_2H_4 ;
- Lämmastikdioksiid NO_2 .

Inimkeskkonna toksilisus - mõju inimeste tervisele puutudes kokku toksiliste ühenditega looduslikus keskkonnas:

- Diklorobenseen DCB.

Taastumatute ressursside kasutamine:

- Fossiilsed kütused.

Taastuvate ressursside kasutamine:

- Kütused;
- Elektrienergia.

Olulisemad majanduslikud näitajad, mida jälgitakse järgnevas töös

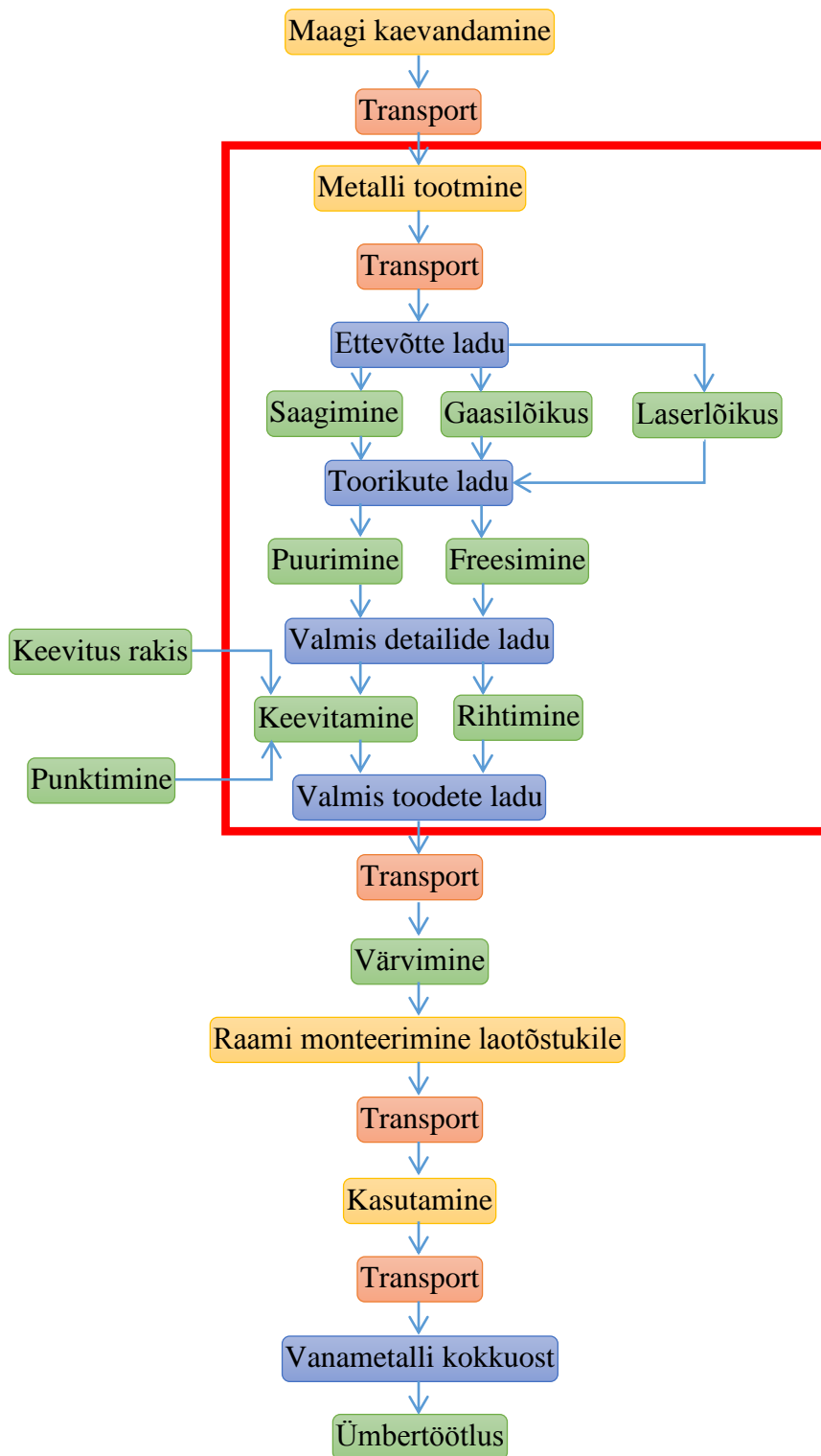
- Tööjõu kulud;

- Toormaterjali maksumus;
- Valmistamisprotsesside kulud;
- Transpordikulud.

Olulisemad kvaliteedi näitajad, mida jälgitakse järgnevas töös

- Kliendi lojaalsus;
- Toote valmistamise aeg.

7 TOOTE ELUTSÜKLI KAART JA PIIRID



Sele 7.1. Laotõstuki tõsteseade raami elutsükkel. Punasega on raamistatud ala, mida uuritakse käesolevas töös

Analüüsitakse laotõstuki tõsteseadme raami tootmisprotsesse, toormaterjali valmistamist ja transpordist tekkivaid keskkondlikke ja majanduslikke mõjureid, sest need avaldavad otseselt mõju toote keskkonnale ning toote majanduslikkusele. Välja jäetakse toote tootmiseks ja toorainete valmistamiseks kasutatavate seadmete valmistamisest tekkinud keskkondlikud ning majanduslikud mõjurid.

Uurimisest jääb välja rauamaagi kaevandamisega seotud tegevused, kuna eraldi maagi kaevandamise kohta ei olnud andmeid saadaval. Andmed terase valmistamise kohta üldiselt olid saadaval ja seega kasutatakse neid ka analüüsis. Samuti ei ole täpselt teada, mis saab tootega pärast selle saabumist Saksamaale ning seega jäetakse välja ka värvimine, monteerimine, transport kasutajani ning sealt edasine. Seega kogu analüüs uurib toote elutsüklit toormaterjalidest kuni transpordini Saksamaa tellijani.

Järgmisena jäeti analüüsist välja rakiste valmistamine ning sellega seotud mõjurid, sest nende abil toodetakse sadasid raame, seega rakiste töömahu ja keskkonna mõjurite osakaal kogu toote seeriast jääb tühiselt väikseks. Samas kui tooteseeria kasvab, siis väheneb ka rakise valmistamisest tulenev mõju. Samuti ei arvestata keevitamise juures esialgset punktimist, kuna punktitud keevisliidete osakaal kogu keevitamise mahust moodustab tühiselt väikese osa.

Masinate tööriistade puhul ei arvestata seadmete ning nende kuluosade valmistamisest tekkivaid keskkondlikke ja majanduslikke mõjureid.

Kui lõpptoode on valmis ning seda on hakatud kasutama, siis laotõstuki tõsteseade kasutamisest ei teki keskkonnale ohtlike jäätmeid ning samuti ei kulu selle raami kasutamiseks majanduslikke vahendeid. Pärast toote tarbimist ning selle amortiseerumist pole teada, kuidas või kui pika maa tagant see vanametalli kokkuostu transporditakse. Seega jäetakse analüüsist välja kogu BLRT Masinaehituses valmistatava konstruktsiooni kasutamise ning vanametalli kokkuostu toimetamise periood.

7.1 Funktsionaalne ühik

Funktsionaalne ühik on üks raam, üldkaaluga 19,6 kg. Toote partii 25 tk.

8 PROTSESSIDE KIRJELDUS

8.1 Metalli tootmine

Teras toodetakse rauamaagist või vanametallist. Suure elektromagneti abil sorteeritud vanametall kogutakse suurtesse konteineritesse (umbes 60 t), seejärel viiakse vanametall suurde ahju. Ahi kuumutatakse kolme elektroodi ja nelja gaasipõleti abil, temperatuurini 1650 °C. Sellises ahjus antud metalli kogus sulatatakse ühe tunni jooksul. Sulatamise käigus sulatatud metalli pinnale tõusevad erinevad lisandid. Antud etapil võetakse terase proov selleks, et kindlaks määrata metalli keemiline koostis. Vastavalt keemilise koostisele lisatakse sulatatud terase sisse hapnik, mis viib alla süsiniku sisalduse, homogeniseerib segu ja kiirendab protsessi. Sulatatud teras valatakse spetsiaalsesse reservuaari, kuhu viiakse lisandid vajaliku terase kvaliteedi saavutamiseks. Peale seda sulatatud teras valatakse vormidesse, kus ta kiiresti jahtub ja hakkab kõvenema. Teras pooltoodet kuumutatakse ahjus ja valtsitakse vajaliku kuju ja paksuse saavutamiseni. Nõutavate omadustega terasleht läbib termilise töötlemise (noolutamine, lõõmutamine, normaliseerimine või karastamine). Järgmisena teraslehed sirgendatakse, kontrollitakse paksust ja mehaanilisi omadusi, parandatakse pinna defekte. Lõpus leht lõigatakse standard mõõtudeks.

Metalli tootmise kohta leitud andmed kehtivad kogu analüüsi vältel. Kõik andmed on toodud 1 kg kuumvaltsitud terase tootmise kohta, kusjuures arvestatud on lehtmaterjali, I-talade, H-talade ja laia paindega talade tootmist. Andmed on kogutud koostöös metalli tootjatega, oma ala ekspertide poolt, olles kooskõlas ISO 14040 standarditega ning on pidevalt kontrollitud Worldsteel LCA-ekspertide poolt. Olulisemad sisendid ja väljundid on välja toodud tabelis (Tabel 8.1). Tegemist on andmetega, mis on viimati uuendatud 2007/2008 aastal ja kehtivad 2015. aastani.

Samuti arvestatakse metalli tootmise kohta kogutud andmetes metalli ümbertöötlemisest tekkivaid keskkondlikke mõjureid. Arvestatud on, et maailmas läheb ümbertöötlemisse 80% terasest.

Tabel 8.1. Metalli tootmise sisendid ja väljundid [4]

Sisendid	Kogus	Ühik
toornafta; 42.3 MJ/kg	0.310723	MJ
kivisüsi; 26.3 MJ/kg	6.44131	MJ
raud	0.181242	kg
maagaas; 44.1 MJ/kg	2.18313	MJ
vesi	3.84909	kg
Väljundid	Kogus	Ühik
kuumvaltsitud teras	1 kg	kg
ammoniaak	6.31386E-6	kg
süsinikdioksiid	0.862328	kg
fosfaat	9.17263E-7	kg
süsinikoksiid	0.00625717	kg
metaan	0.00215692	kg
lämmastikoksiid	2.87223E-6	kg
lämmastikdioksiid	0.00144794	kg
vesinikkloriidhape	2.64046E-9	kg
vääveldioksiid	0.00138542	kg
osakesed (> PM10)	1.10221E-11	kg
osakesed (PM2.5 - PM10)	4.54909E-4	kg

Tabel 8.2. Toormaterjali parameetrid

Det. Nr.	Detaili kood	Materjali mark	Toormaterjal m	Paksus mm	Materjali kaal kg	Materjali hind €/kg
1	51267102	S355J2	Leht 2 x 6	40	3760	0,7
2	51263312	S355J2	Leht 1,5 x 6	8	564	0,8
3	51263319	S355J2	Leht 1,5 x 6	8	564	0,8
4	51232236	S355J2	Leht 2 x 6	15	1410	0,8
5	51263327	S355J2	Varb Ø10 x 3	-	1,846	0,8

8.2 Transport rongiga

Metall transporditakse rongiga Ukrainast, Mariupolist. Transpordi maksumus, energiakulu ning sellest põhjustatud CO₂ emissiooni väärtused on toodud tabelis (Tabel 8.3).

Tabel 8.3. Transpordi koefitsiendid [5]

Materjal	Transport	Energiakulu kWh/kg	CO2 emissioon kg/kg
S355J2	Ukraina - Eesti (rong)	0,722	0,21

Tabel 8.4. Materjali transport [6]

Materjal	Kogus kg	Transport	Distants km	Maksumus €
S355J2	6318	Rong	2200	2000

8.3 Gaasilõikamine

Tootes kasutava aluse (Sele 2.2. Nr. 1.) gaasilõikamiseks kasutatakse Messer Omnicut 4500.



Sele 8.1. Kasutatav gaasilõikepink Messer Omnicut 4500

Arvesse on võetud detailide paigutus lehele ("nesting") (Lisa 11), mille tulemusel sai teada, et terve lehe lõikamiseks on vaja kolm sisselõiget iga rea jaoks, detailide vahega 25 mm. Gaasilõikuse hind sisaldab kõiki ettevõtte ressurside kulusid. Iga uue detaili lehele paigutamiseks ja pingi programmeerimiseks lisandub 15 €.

Tabel 8.5. Gaasilõikuse parameetrid ühe detaili kohta (Lisa 6, Lisa 11)

Det. Nr.	Lehe paksus mm	Lõike pikkus mm	Lõikuse kiirus mm/min	Lõike hind €/m	Sisselõike hind €/tk	Sisselõike arv/leht tk	Detaili lehel tk	Lõike laius mm
1	40	1429	370	2,92	0,49	3	132	4,5

Gaasilõikuse vajalikeks sisenditeks on lehtmaterjal ehk toorik, gaasid, milleks on hapnik ja metaan. Hapniku ja metaani kulu on vastavalt materjali paksusele 6,1 m³/h ja 1 m³/h. Väljunditeks on toode, materjali jäätmed, lõikel välja sulanud materjal ja õhusaaste gaasid.

Tabel 8.6. Gaasilõikusel eraldavaid õhusaaste gaasid [7]

Таблица 3. Выделение загрязнителей при газовой и плазменной резке металлов

Способ резки, вид и толщина металла	Выделение на 1 м реза, г/м за 1 час работы, г/ч, в том числе оксидов													
	Аэрозоля, всего в		Mg		Cr		Ni		Al		CO		NO _x	
	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч
Резка газовая стали углеродистой														
Толщиной														
5 мм	2,25	74	0,07	2,3							1,5	50	1,2	40
10 мм	4,5	130	0,13	3,8							2,2	6,3	2,2	65
20 мм	9	200	0,27	6							2,3	65	2,4	–

8.4 Laserlõikamine

Detailide laserlõikamiseks kasutatakse laserlõikepinkki Bystronic ByLaser 6000, laseri võimsusega 6 kW. Kogu süsteemi maksimaalne võimsus koos õhu puhastus ja jahutus süsteemidega on 74 kW. [8]



Sele 8.2. Kasutatav laserlõikusepink Bystronic ByLaser 6000

Arvesse on võetud detailide paigutus lehele ("nesting") (Lisa 8, Lisa 9, Lisa 10), mille tulemusel sai teada, et detailide vahe on 0,018 mm, 0,009 mm ja 0,01 mm vastavalt. Laserlõikuse hind sisaldab kõiki ettevõtte ressursside kulusid. Iga uue detaili lehele paigutamiseks ja pingi programmeerimiseks lisandub 15 €.

Tabel 8.7. Laserlõikuse parameetrid ühe toote kohta (Lisa 7, Lisa 8, Lisa 9, Lisa 10)

Det. Nr.	Lehe paksus mm	Lõike pikkus mm	Lõike kiirus mm/min	Lõikuse hind €/m	Detaile ühel lehel tk	Hapniku kulu m ³ /h
2	8	1480	2300	1,33	336	1,2
3	8	1265	2300	1,33	448	1,2
4	15	173	1100	2,45	2835	2,4

Laserlõikuse vajalikeks sisenditeks on lehtmaterjal ehk toorik ja lämmastik. Mustmetallide lõikamiseks kasutatakse hapnikku. Väljunditeks on toode, väljalõigatud materjal, materjali jäätmed (lõikel välja sulanud materjal) ja suhteliselt väike kogus õhusaaste gaase.

Tabel 8.8. Laserlöike protsessi sisendid ja väljundid [9]

input	mass (kg)	specific chemical exergy (kJ/kg)	exergy (kJ)	total exergy input (kJ)
Steel sheet	0,247	6750	1667,25	2453,93
Nitrogen	0,073	25,7	1,87	
Electricity			784,8	
output	mass (kg)	specific chemical exergy (kJ/kg)	exergy (kJ)	total exergy output (kJ)
Product	0,185	6750	1248,75	1667,25
Cut steel	0,00624	6750	42,12	
Waste steel	0,05576	6750	376,38	
NO	3,22e-08	2963,33	0,000095	
NO ₂	4,06e-08	1208,7	0,000049	

Table 1: Exergy analysis of the laser cutting process.

Antud tabel on koostatud arvestades, et laserpingi võimsus on 5 kW, materjaliks on konstruktsioonteras S235JR paksusega 1mm ja löikepikkus 1,6 m.

8.5 Freesimine

Detailide toorikud freesitakse ettenähtud kuju ja täpsuse andmiseks. Selleks kasutatakse vertikaaltöötlemiskeskust Mazak VCS 530c spindli võimsusega 20 kW. CNC tsehhi töömaksumus on 27 €/h.



Sele 8.3. Töötlemiskeskus Mazak VCS 530c

Tabel 8.9. Freesimise parameetrid

Det. Nr.	Aeg h	Maksumus €/h	Pingi võimsus kW
1	0,16	27	20
2	0,092	27	20
3	0,132	27	20

Pildil (Sele 2.1.) ja raami koostejoonisel (Lisa 1) on näha, et kolonne moodustavates plaatides on mitu ava, mida tuleb töödelda mõõtu pärast raami kokkupanemisest. Selleks kasutatakse viieteljelist vertikaaltöötlemiskeskust Mazak VTC-800/30SR spindli võimsusega 35 kW.

Protsessi sisenditeks on elektrienergia, töödeldav materjal, suruõhk ja kord kvartalis uuendatav emulsioon. Samas protsessi sisenditeks võib ka arvestada tööriistu (puurid, freesid ja muu), aga antud töös seda ei arvestata. Väljunditeks on töödeldud detailid ja eraldunud metall laastu kujul.



Sele 8.4. Töötlemiskeskus Mazak VTC-800/30SR

Tabel 8.10. Freesimise parameetrid

Aeg h	Maksumus €/h	Pingi võimsus kW
0,156	27	35

8.6 Keevitamine

Keevitamisel tekib keevitussuits, mis sisaldab erinevaid õhu saastajaid, sõltuvalt keevituse tüübist, kaitsegaasist, keevitustraadist ja keevitatavast materjalist. Keevitussuits tekib erinevate ainete aurustumisel ja oksüdeerumisel keeviskaares kõrgel temperatuuril. Antud toote keevitamisel kasutatakse poolautomaatkeevitust (MAG).



Sele 8.5 Keevitus aparaat Kemppi Fastmig KMS 400

Tabel 8.11. Keevitus parameetrid

Kaitsegaas	Ferroline C8 50L (92 % Ar + 8 % CO ₂)
Keevitustraad	Hyundai SM-70 d=1,2 mm / CB-08Г2С
Võimsus	18,5 kW
Võimsus tühikäigul	25 W

Tabel 8.12. Keevissuitsu keemiline koostis sõltuvalt keevitustraadi margist [7]

Таблица 1. Выделение загрязнителей при сварке металлов

Способ сварки и марка сварочного материала	Выделение загрязнителя, г/кг сварочного материала						Прочих загрязнителей	
	сварочного аэрозоля	соединения марганца	оксидов хрома	фтористого водорода	оксидов азота	оксида углерода	наименование	кол-во
Проволока:								
CB-08Г2С	9,7	0,5	0,02	–	–	14	оксиды железа	7,48
CB-X19N9Ф2С3	7	0,42	0,03	–	–	14	оксиды железа	0,04
CB-10X20H7CT	8	0,45	0,03	–	–	–	–	–
CB-16X16H25M6	15	2	1	–	–	–	оксиды никеля	–
ЭП-245	12,4	0,61	–	–	–	3,2	–	–
CB-08XГH2MT	6,5	–	0,03	–	0,8	11	оксиды титана	0,4
							медь	11

Keevitusel eraldub gaase. Keevitamiseks tuleb vajalikud detailid kinnitada rakisesse. Keevitajal tuleb toote juures keevitada kolonnide alamkoost ja kogu raam. Koostamisel kasutatakse kolm tüüpi rakist (Sele 3.3), (Sele 3.10), (Sele 3.14). Tabelis (Tabel 8.13) on esitatud andmed kogu keevitus operatsioonide kohta. Kaitsegaasi kulu on 9-12 l/min. [10], [11]

Tabel 8.13. Keevitus parameetrid

Aeg h	Maksumus €/h	Võimsus kW	Õmbluste pikkus mm	Gaasi kulu l/min	Traadi kulu m/h
0,218	25	18,5	900	12	700

8.7 Rihtimine

Raami kokkupanemise protsessi käigus teostatakse rihtimine. Esiteks tuleb rihtida raami alust ja teiseks raam tervikuna. See operatsioon on vajalik nõutud täpsuse saavutamiseks, kuna peale keevitamist ja jahtumist detailid võivad nihkuda üksteise suhtes või deformeeruda. Operatsioonid teostatakse võimsa pressi abil DG 2428.



Nominaalne jõud, kN	630
Liuguri käik, mm	450
Liuguri ja töölaua vahe, max, mm	710
Töölaua mõõt vasakult - paremale, mm	560
Töölaua mõõt eest - taga, mm	500
Alumise väljalükkaja nominaalne jõud, kN	125
Väljalükkaja käik, mm	160
Liuguri töökäigu kiirus (reguleeritav), mm/s	7
Väljalükkaja kiirus ülesse (reguleeritav), mm/s	35
Hoideaeg rõhu all, s	20...999
Ajami võimsus, kWt	10
Gabariit vasakult - paremale, mm	2000
Gabariit eest - taga, mm	1100
Kõrgus põrandalt, mm	3200
Mass, kg	2800

Sele 8.6. Hüdraulilise pressi FP 40 tehnilised andmed [12]

Tabel 8.14. Rihtimise parameetrid

Aeg h	Maksumus €/h	Elektrienergia kW
0,094	27	10

8.8 Saagimine

Vardad Ø10 mm (Sele 2.2 Det. Nr. 5) on vaja saagida õigeks mõõduks. Seda teostatakse metalli lintsaega PILOUS ARG 220 PLUS.



Sele 8.7. Metalli lintsaag PILOUS ARG 220 PLUS [13]

Tabel 8.15. Saagimise parameetrid

Lõikeaeg sec/lõige	Maksumus €/lõige	Pingi võimsus kW
6	0,38	1,2

8.9 Käimine

Antud operatsioon teostatakse raami kokkupanemise protsessi jooksul erinevatel etappidel mitu korda. Seda on vajalik detailide faaside tegemiseks, keevisõmbluste töötlemiseks ja keevitus pritsmete eemaldamiseks.



Sele 8.8. Käimine

Tabel 8.16. Operatsiooni parameetrid

Aeg h	Maksumus €/h	Võimsus kW
0,125	25	1

9 MAJANDUSLIKUD KPI'D

9.1 Toormaterjali majanduslikud KPI'd

KPI – Key Performance Indicator – ettevõtte allüksuse toimenäitajad, mis aitavad organiseerida strateegiliste ja taktiliste eesmärkide saavutamist.

Edaspidi lähtutakse kõige olulisematest ja suuremahulisematest mõjuritest, et jälgida toote elutsükli mõju keskkonnale. Samas vaadeldakse, kuidas muutuvad kvaliteedi ja majanduslikkuse näitajad. Lähtudes KPI-de identifitseerimisest peavad KPI'd olema:

- Konkreetsed - mõjurid peavad olema tuvastatavad, selgelt defineeritud projekti jaoks, võivad olla nii kvantitatiivsed kui ka kvalitatiivsed;
- Mõõdetavad - peaksid olema kokkulepitud ühikud, millega mõjureid mõõdetakse ning need võivad olla nii rahalised kui ka mitterahalised;
- Saavutatavad - nõudlik, kuid realistlik hindamine võimaldab saavutada eesmärgid;
- Tähtajalised - mõjureid tuleb arvestada teatud perioodi suhtes, et projekt liiga pikale ei veniks;
- Asjakohased - mõjurid peaksid olema kooskõlas üleüldiste projekti eesmärkidega.

Majanduslike KPI-de arvutamisel arvestatakse otseselt toote valmistamisel ettevõtet mõjutavaid mõjureid, milleks on:

- Tsehhide kulud;
- Toormaterjali maksumus;
- Valmistamisprotsesside kulud;
- Transpordikulud.

Siin on vaadeldud kulunud toormaterjali hindu ning sellest tulenevaid majanduslikke mõjureid. Tabelis (Tabel 8.1.) on toodud erinevate materjalide kulu 19,91 kg tootes kasutatavate detailide toorikute kohta ehk ühe valmistatud toote kohta ja terve toodepartii kohta – 25 tk. Metallide kulu koguse juures tuleb arvestada, et kulub rohkem materjali kui seda on tootes. Ülekulu on tingitud gaaslõikusest ja laserlõikusest – võimatu on tervet lehte 100% ulatuses valmistavate detailide näol ära kasutada.

Samas on toormaterjalide maksumuse juures oluline silmas pidada, et nende hind muutub pidevalt. Antud arvutustel kasutatud andmed on toodud tabelis (Tabel 8.2).

Tabel 9.1. Materjalide kulu ja maksumus toote ja toodepartii kohta

Det. Nr.	Toorikut raamis tk	Tooriku kaal kg	Materjali hind €/kg	Tooriku hind €
1	1	15,596	0,7	10,92
2	2	1,182	0,8	1,89
3	2	0,816	0,8	1,31
4	1	0,195	0,8	0,16
5	4	0,03	0,8	0,024
Kokku	Üks toode	19,91		14,37
	Tootepartii	497,75		360

Toorikute hind ühe raami kohta on arvatud korrutades tooriku mass, materjali hind ja nõutud toorikute arv.

Tabel 9.2. Materjali jäätmete kulud (Lisa 8, Lisa 9, Lisa 10, Lisa 11)

Det. Nr.	Materjal m	Paksus mm	Materjali kaal kg	Tooriku kaal kg	Toorikuid ühest lehest tk	Materjali jäätmed ühest lehest kg
1	2 x 6	40	3760	15,596	132	1701,33
2	1,5 x 6	8	564	1,182	336	166,85
3	1,5 x 6	8	564	0,816	448	198,43
4	2 x 6	15	1410	0,195	2835	857,18
5	Ø10 x 3	-	1,846	0,03	59	0,076

Materjali jäätmed arvutatakse korrutades tooriku kaalu toorikute arvuga ning seejärel lahutatakse tulemus materjali kaalust.

Tabel 9.3. Jäätmete kulu toote ja tootepartii kohta (Lisa 12)

Det. Nr.	Materjali hind €	Materjali jäätmete kulud €	Jäätmete kulud ühe tooriku kohta €
1	0,7	1190,93	9,02
2	0,8	133,48	0,79
3	0,8	158,75	0,71
4	0,8	685,74	0,24
5	0,8	0,061	0,004
Kokku	Üks toode		10,77
	Tootepartii		269,29

9.2 Transpordi majanduslikud KPI'd

Transpordi eest maksab ettevõtte, kes ostab toormaterjali, kuna materjali transpordi kulud on juba materjali hinna sees. Tabelis on toodud transporditavate toormetallide mass 19,91 kg toote ja 445,5 kg tootepartii jaoks. Tabel (Tabel 9.4) on koostatud tabelis (Tabel 8.4) kogutud andmete baasil.

Tabel 9.4. Transporditava toormaterjali koguse maksumus

	Materjal kg	Hind €
Üks toode	19,91	6,3
Tootepartii	497,75	157,57

9.3 Toote valmistamisprotsessist tekkinud majanduslikud KPI'd

Toote valmistamisprotsess BLRT Masinaehituses hõlmab kogu protsessi toormaterjali saabumisest kuni valmis toode pakkimiseks.

9.3.1 Gaasilõikusest tulenevad majanduslikud KPI'd

Gaasilõikusega valmistatakse ühe detaili toorikud, mis liiguvad edasi mööda tootmisahelat kuni neist saavad valmis detailid, et neid oleks võimalik tooteks keevitada. Järgnevas tabelis, mis oli koostatud tabeli (Tabel 8.5) baasil, on toodud gaasilõikuse kulu ettevõttele.

Tabel 9.5 Gaasilõikuse maksumus ühe toote ja tootepartii jaoks (Lisa 13)

	Lõike pikkus m	Toorikute vahekaugus m	Lõike hind €/m	Sisselõike hind €/tk	Sisselõike arv tk	Lõikamise hind €
Toode	1,429	0,025	2,92	0,49	1	4,85
Tootepartii	35,725	0,025	2,92	0,49	1	107,72

9.3.2 Laserlõikusest tulenevad majanduslikud KPI'd

Laserlõikusega valmistatakse enamus detailide toorikud, mis liiguvad edasi mööda tootmisahelat kuni neist saavad valmis detailid, et neid oleks võimalik tooteks keevitada. Järgnevates tabelites, mis olid koostatud tabeli (Tabel 8.7) baasil, on toodud laserlõikuse kulu ettevõttele üheks toote ja tootepartii kohta.

Tabel 9.6. Laserlõikuse kulud ühe toote kohta (Lisa 14)

Det. Nr.	Lehe paksus mm	Lõike pikkus m	Toorikute vahekaugus m	Lõikuse hind €/m	Lõikamise hind €
2	8	1,480	0,018	1,33	2,06
3	8	1,265	0,009	1,33	1,74
4	15	0,173	0,01	2,45	0,45
				Kokku	4,25

Tabel 9.7. Laserlõikuse kulud tootepartii kohta

Det. Nr.	Lehe paksus mm	Lõike pikkus mm	Toorikute vahekaugus m	Lõikuse hind €/m	Lõikamise hind €
2	8	1480	0,018	1,33	49,85
3	8	1265	0,009	1,33	42,39
4	15	173	0,01	2,45	11,21
				Kokku	103,46

9.3.3 Freesimisest tulenevad majanduslikud KPI´d

Järgnev tabel on koostatud tabelite (Tabel 8.9 ja 8.10) andmete baasil.

Tabel 9.8. Freesimise kulud

Det. Nr.	Aeg h	Maksumus €/h	Hind €
1	0,16	27	4,32
2	0,092	27	2,48
3	0,132	27	3,56
Toode	0,156	27	4,21
		Kokku	14,58

9.3.4 Keevitusest tulenevad majanduslikud KPI´d

Järgnev tabel on koostatud tabeli (Tabel 8.13) andmete baasil.

Tabel 9.9. Keevituse kulud

	Aeg h	Maksumus €/h	Hind €
Toode	0,218	25	5,45
Tootepartii	5,45	25	136,25

9.3.5 Rihtimisest tulenevad majanduslikud KPI'd

Järgnev tabel on koostatud tabeli (Tabel 8.14) andmete baasil.

Tabel 9.10. Rihtimise kulud

	Aeg h	Maksumus €/h	Hind €
Toode	0,094	27	2,54
Tootepartii	2,35	27	63,45

9.3.6 Saagimisest tulenevad majanduslikud KPI'd

Järgnev tabel on koostatud tabeli (Tabel 8.15) andmete baasil.

Tabel 9.11. Saagimise kulud

	Loike tk	Maksumus €/loike	Hind €
Toode	4	0,38	1,52
Tootepartii	100	0,38	38

9.3.7 Käimisest tulenevad majanduslikud KPI'd

Järgnev tabel on koostatud tabeli (Tabel 8.16) andmete baasil.

Tabel 9.12. Käiamise kulud

	Aeg h	Maksumus €/h	Hind €
Toode	0,125	25	3,13
Tootepartii	3,125	25	78,13

9.4 Tootest tulenevate majanduslike KPI'de kokkuvõte

Järgnevates tabelites on välja toodud erinevatest tootmisprotsessidest tekkivad majanduslikud KPI'd ühe toote ja tootepartii kohta. Analüüsitakse toote elutsüklit toormetallist kuni saatmiseni tellijale.

Tabel 9.13. Ühe toote ja tootepartii majanduslikud KPI'd

	Materjal €/tk	Transport €/tk	Tootmisprotsess €/tk	Kokku €/tk
Toode	14,37	6,3	36,32	56,99
Tootepartii	360	157,57	891,51	1409,01

Tabel 9.14. Tootmisprotsesside kulud

Protsess	Kulud €/tk	Kulud €/partii
Gaasilõikus	4,85	107,72
Laserlõikus	4,25	103,46
Freesimine	14,58	364,5
Keevitamine	5,45	136,25
Rihtimine	2,54	63,45
Saagimine	1,52	38
Käiamine	3,13	78,13
Kokku	36,32	891,51

10 KESKKONNA KPI'D

Antud töös uuritakse keskkonna toimenäitajaid, milleks on erinevates tootmisharudes ja protsessides eralduvad ühendid, jäätmed ja kasutatav energia. Eralduvaid ühendeid ja jäätmeid kirjeldatakse massiühikutes.

10.1 Transport

Raudteetranspordi kogupikkus on 2200 km. Üks raam kaalub 19,6 kg. Partii suurus on 25 tk. Seega tootepartii kogukaal on 490 kg. Järgnev tabel on koostatud tabeli (Tabel 8.3) alusel.

Tabel 10.1. Sisendid ja väljundid transportimisel

	Materjal	Transport	Energia kulu kWh	CO ₂ emissioon kg/kg
Toode	S355J2	Rong	14,1	4,1
Partii	S355J2	Rong	353,8	102,9

10.2 Toote valmistamisprotsessidest tulenevad keskkondlikud KPI'd

10.2.1 Gaasilõikamisest tulenevad keskkondlikud KPI'd

Gaasilõikuseks on vajalikeks sisenditeks lehtmaterjal ehk toorik ja gaasid hapnik ning metaan. Hapniku ja metaani kulu antud materjali paksuse juures on vastavalt 6,1 m³/h ja 1 m³/h. Väljunditeks on toode, materjali jäätmed, lõikel välja sulanud materjal ja õhusaaste gaasid [14]. Lõikelaius on 4,5 mm. Järgnevad tabelid on koostatud tabelite (Tabel 8.5 ja 8.6) alusel.

Tabel 10.2 Sisendid gaasilõikusel (Lisa 15)

Sisendid	Leht materjal kg	Metaan m ³	Hapnik m ³
Toote kohta	28,5	0,4	0,065
Partii kohta	712,5	10	1,625

Tabel 10.3. Väljundid gaaslõikusel (Lisa 16)

Väljundid	Ühik	Toote kohta	Partii kohta
Detaili	kg	15,6	389,9
Väljasulanud materjal	kg	2,05	51,25
Jääk metall	kg	10,84	270,91
Magneesium Mg	g	0,79	19,63
Süsinikoksiid CO	g	6,69	167,21
Lämmastikoksiidid NO _x	g	6,98	174,48

10.2.2 Laserlõikamisest tulenevad keskkondlikud KPI'd

Laserlõikuseks on vajalikeks sisenditeks lehtmaterjal ehk toorik, hapnik ja elektri energia. Väljunditeks on toode, väljalõigatud materjal, materjali jäätmed (lõikel välja sulanud materjal) ja suhteliselt väike kogus õhusaaste gaase. Järgnevad tabelid on koostatud tabelite (Tabel 8.7, 8.8 ja 9.6) alusel.

Tabel 10.4 Sisendid laserlõikusel (Lisa 17)

Det.nr	Toote kohta			Partii kohta		
	Materjal kg	Hapnik m ³	Elekter kWh	Materjal kg	Hapnik m ³	Elekter kWh
2	3,36	0,013	0,81	84	0,330	20,32
3	2,52	0,011	0,69	63	0,279	17,2
4	0,49	0,007	0,21	12,25	0,166	5,13
Kokku	6,37	0,031	1,71	159,25	0,775	42,65

Tabel 10.5. Väljundid laserlõikusel toote kohta (Lisa 18)

Det.nr	Detail kg	Sulanud metall kg	Jääk metall kg	Lämmastikoksiid NO kg	Lämmastikdioksiid NO ₂ kg
2	2,36	0,05	0,95	$2,38 \cdot 10^{-7}$	$3,00 \cdot 10^{-7}$
3	1,22	0,04	1,25	$2,04 \cdot 10^{-7}$	$2,57 \cdot 10^{-7}$
4	0,20	0,01	0,29	$5,21 \cdot 10^{-8}$	$6,57 \cdot 10^{-8}$
Kokku	3,78	0,10	2,49	$4,94 \cdot 10^{-7}$	$6,23 \cdot 10^{-7}$

Tabel 10.6. Väljundid laserlõikusel tootepartii kohta

Det.nr	Detail kg	Sulanud metall kg	Jääk metall kg	Lämmastikoksiid NO kg	Lämmastikdioksiid NO ₂ kg
2	59,10	1,15	23,68	$5,96 \cdot 10^{-6}$	$7,51 \cdot 10^{-6}$
3	30,60	0,99	31,36	$5,09 \cdot 10^{-6}$	$6,42 \cdot 10^{-6}$
4	4,88	0,25	7,31	$1,30 \cdot 10^{-6}$	$1,64 \cdot 10^{-6}$
Kokku	94,58	2,39	62,34	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-5}$

10.2.3 Freesimisest tulenevad keskkondlikud KPI'd

Antud operatsioonil arvestatakse detailide toorikute, detailide, keevitusõmbluste ja kogu raami massi muutused kogu tootmisprotsessi jooksul. Järgnevad tabelid koostatud peatüki 7.5 alusel.

Tabel 10.7. Detailide freesimise sisendid ja väljundid

Det. Nr.	Aeg h	Pingi võimsus kW	Sisendid		Väljundid	
			Elektri energia kulu kWh	Materjal kg	Detailid kg	Laast kg
1	0,16	20	3,2	15,60	15,37	0,22
2	0,092	20	1,84	2,36	2,32	0,05
3	0,132	20	2,64	1,63	1,60	0,03
Kokku			7,68	19,59	19,29	0,31

Tabel 10.8. Raami freesimise sisendid ja väljundid

Toode	Aeg h	Pingi võimsus kW	Sisendid		Väljundid	
			Elektri energia kulu kWh	Raam kg	Raam kg	Laast kg
Raam	0,156	36	5,62	19,79	19,69	0,11

10.2.4 Keevitamisest tulenevad keskkondlikud KPI'd

Keevitus traadi kulu saab välja arvutada teades keevitus õmbluste kogu pikkust (900 mm), õmbluste geomeetriat (a5) ja kasutatava traadi diameetrit (1,2 mm). CAD programmis on väga lihtne leida keevitusõmbluse massi (0,179 kg) ja teades traadi diameetrit välja arvutada vajaliku traadi pikkust (20,2 m).

Kasutades valemit (valem 9.1) on võimalik arvutada kaitsegaasi kulu 1 kg keevitustraadi kohta.

$$N = N_t \cdot R_g, \quad (9.1)$$

kus N – Gaasi kuulu, kg

N_t – keevitustraadi kulunorm tootele, kg

$R_g = 1,3$ – tegur, mis arvestab kaitsegaasi kulu 1 kg keevitustraadi kohta, kg/kg

$$N = 0,179 \cdot 1,3 = 0,2327 \text{ kg}$$

Selleks, et gaasi kulu teisendada liitriteks on vaja jagada gaasikulu kilogrammides gaasi tihedusega (1,82 kg/m³) [15].

$$\frac{0,2327}{1,82} = 0,1279 \text{ m}^3 = 127,9 \text{ l}$$

Tabel 10.9. Raami keevitamise sisendid (Tabel 8.13)

Sisendid	Ühik	Toote kohta	Partii kohta
Elektri energia	kWh	4,03	100,83
Kaitsegaas	l	127,9	3197,50
Keevitustraad	m	20,20	505,00

Tabel 10.10. Raami keevitamise väljundid (Tabel 8.12)

Väljundid	Ühik	Toote kohta	Partii kohta
Mangaan Mn	g	0,09	2,24
Kroomoksiid Cr ₂ O ₃	g	0,004	0,09
Süsinikoksiid CO	g	2,51	62,65
Raudoksiid FeO	g	1,34	33,47

10.2.5 Rihtimisest tulenevad keskkondlikud KPI'd

Tabel 10.11. Rihtimise protsessi elektrienergia kulu (Tabel 8.14)

Sisendid	Elektrienergia kulu kWh
Toote kohta	0,94
Partii kohta	23,5

10.2.6 Saagimisest tulenevad keskkondlikud KPI'd

Tabel 10.12. Saagimise elektrienergia kulu (Tabel 8.15)

Sisendid	Lõikamise aeg s	Pingi võimsus kW	Elektrienergia kulu kWh
Toote kohta	24	1,2	0,008
Partii kohta	600	1,2	0,2

10.2.7 Käimisest tulenevad keskkondlikud KPI'd

Tabel 10.13. Elektrienergia kulu käiamisel (Tabel 8.16)

Sisendid	Elektrienergia kulu kWh
Toote kohta	0,125
Partii kohta	3,125

10.3 Keskkonna KPI-de kokkuvõtte

Tabel 10.14. Protsesside energiakulu ja süsinikoksiidide emissioon

	Energiakulu kWh		CO ja CO ₂ g	
	Toode	Partii	Toode	Partii
Transport	14,1	353,8	4100	102900
Käimine	0,125	3,125		
Saagimine	0,008	0,2		
Rihtimine	0,94	23,5		
Freesimine	13,3	332,5		
Laserlõikus	1,77	42,65		
Keevitamine	4,03	100,83	2,51	62,65
Gaasilõikus			3,64	90,88
Kokku	34,273	856,605	4106,15	103053,53

Tabel 10.15. Protsesside väljundid

	Ühik	Gaasilõikus		Laserlõikus		Keevitamine		Kokku	
		Toode	Partii	Toode	Partii	Toode	Partii	Toode	Partii
Väljasulanud materjal	kg	2,05	51,25	0,1	2,39			2,15	53,64
Jääk metall	kg	10,84	270,91	2,49	62,34			13,33	333,3
Magneesium Mg	g	0,79	19,63					0,79	19,63
Lämmastikoksiidid NO _x	g	4,07	101,78	0,001	0,028			4,071	101,8
Mangaan Mn	g					0,09	2,24	0,09	2,24
Kroomoksiid Cr ₂ O ₃	g					0,004	0,09	0,004	0,09
Raudoksiid FeO	g					1,34	33,47	1,34	33,47

Tabel 10.16. Metalli tootmise sisendid ja väljundid

Sisendid	Ühik	Toode	Partii
Toornafta; 42.3 MJ/kg	MJ	6,09	152,25
Kivisüsi; 26.3 MJ/kg	MJ	126,25	3156,24
Raud	kg	3,55	88,81
Maagaas; 44.1 MJ/kg	MJ	42,79	1069,73
Vesi	kg	75,44	1886,05
Väljundid	Ühik	Toode	Partii
Kuumvaltsitud teras	kg	19,6	490
Ammoniaak	kg	0,00012	0,0031
Süsinikdioksiid	kg	16,90	422,54
Fosfaat	kg	$1,8 \cdot 10^{-05}$	0,00045
Süsinikoksiid	kg	0,12	3,07
Metaan	kg	0,04	1,06
Lämmastikoksiid	kg	$5,63 \cdot 10^{-05}$	0,0014
Lämmastikdioksiid	kg	0,03	0,71
Vesinikkloriidhape	kg	$5,18 \cdot 10^{-08}$	$1,29383 \cdot 10^{-06}$
Vääveldioksiid	kg	0,03	0,68
Osakesed (> PM10)	kg	$2,16 \cdot 10^{-10}$	$5,40083 \cdot 10^{-09}$
Osakesed (PM2.5 - PM10)	kg	0,0089	0,22

11 KVALITEEDI KPI'D

Kvaliteedi põhitoimenäitajatest jälgitakse kahte antud toodangu juures olulisemat:

- Kliendi lojaalsus;
- Toote valmistamise aeg

Kliendi lojaalsuse all mõistetakse seda, kas klient on valmis tellima pärast tooteseeria kättesaamist ka uut seeriat või sõlmima uusi lepinguid muude toodete jaoks. Lojaalsus on otseselt seotud kliendi pretensioonidega ning lõpptoote kvaliteediga.

Toote valmistamise aja all uuritakse toote valmistamisprotsessidest tulenevat ajakulu ühe toote ja terve tootepartii valmistamiseks. Samas tuleb pöörata tähelepanu sellele, et mõned protsessid võivad olla paralleelsed, mis vähendab summaarset tootmisaega.

Antud analüüsis vaadeldakse, kuidas erinevad toote elutsüklite osad mõjutavad kliendi lojaalsust ning toote valmistamise aega. Rohkem pööratakse tähelepanu toote valmistamisprotsessidest tulenevatele mõjuritele, sest need on näitajad, mida on tehasel võimalik otseselt kontrollida. Transpordi pool jäetakse kvaliteedi KPI'de analüüsist välja, sest sisuliselt tellib transporti ja maksab selle eest tellija/klient ning nende nõusolekul kasutatakse ka erinevaid transpordifirmasid.

Tabel 11.1. Toote ja tootepartii valmistamiseks kuluv aeg (Lisa 19)

	Ühik	Toode	Partii
Gaasilõikuis	h	0,065	1,625
Laserlõikus	h	0,023	0,563
Freesimine	h	0,54	13,5
Keevitamine	h	0,218	5,45
Rihtimine	h	0,094	2,35
Saagimine	h	0,007	0,175
Käiamine	h	0,125	3,125
Kokku	h	1,071	26,773

12 KOKKUVÖTTE

Antud magistr töö ülesandeks oli tootmisrakiste projekteerimine ja toote elutsükli analüüs. Rakiste eesmärgiks oli lihtsustada ja kiirendada raami tootmisprotsessi. Peamiseks nõudmiseks oli tootmisprotsessi optimeerimine.

Projekteerimisalase töö jooksul oli läbiviidud raami ja selle osade põhjalik analüüs, mis aitas rakiste projekteerimisel. Rakiste projekteerimise käigus vaadati läbi mitmeid erinevaid konstruktsioone, mida hinnati kriitiliselt ja toodi välja ka nende puudused. Läbiviidud töö põhjal leiti optimaalne konstruktsioon.

Laotõstuki tõsteseadme raami elutsükli analüüsi tulemusena saab öelda, et antud toodet valmistatakse vastavalt BLRT Masinaehituse OÜ tehnoloogilistele võimalustele. Läbiviidud analüüsi ja kogutud info baasil on võimalik teha simulatsioone, muutes erinevad parameetrid ja näha, kuidas muutuvad lõpptulemused. Projektis kasutatud KPI'sid ei tohiks võtta kui ainsaid võimalikke näitajaid sellise toote jaoks.

Tööd raskendavatest asjaoludest võib välja tuua, et konkreetse metalli töötlemise protsessi kohta oli raske infot leida. Kõige keerulisemaks osutus keskkonna mõjutegurite leidmine. Enamus majanduslikest andmetest oli võimalik teada saada ettevõtte BLRT Masinaehituses OÜ vastavatest dokumentidest.

Antud analüüsi tulemuste põhjal on võimalik hinnata ka teiste BLRT Masinaehituses valmistavate toodete kohta majanduslikke, keskkondlikke ja kvalitatiivseid näitajaid. Edasise tööna võib mõõta konkreetsete protsesside käigus tekkivaid keskkondlikke mõjutegureid ning kaardistada need, et muuta järgnevaid analüüse täpsemaks. Majanduslike ja kvalitatiivsete näitajate mõjusid jälgitakse ning on võimalik näha, millise jõudlusega ning kulutustega kogu tehas töötab.

13 SUMMARY

The aim of this thesis was the design of production fixtures and life-cycle analysis of the finished product. The purpose of the fixtures was simplification and acceleration of the production of forklift frames. The main goal was the optimization of the production process.

Thorough analysis of the forklifts frame and its parts was carried out during the design phase of the production fixtures. Several possible solutions were found and each ones strengths and weaknesses critically examined. As a result, an optimal solution has been found.

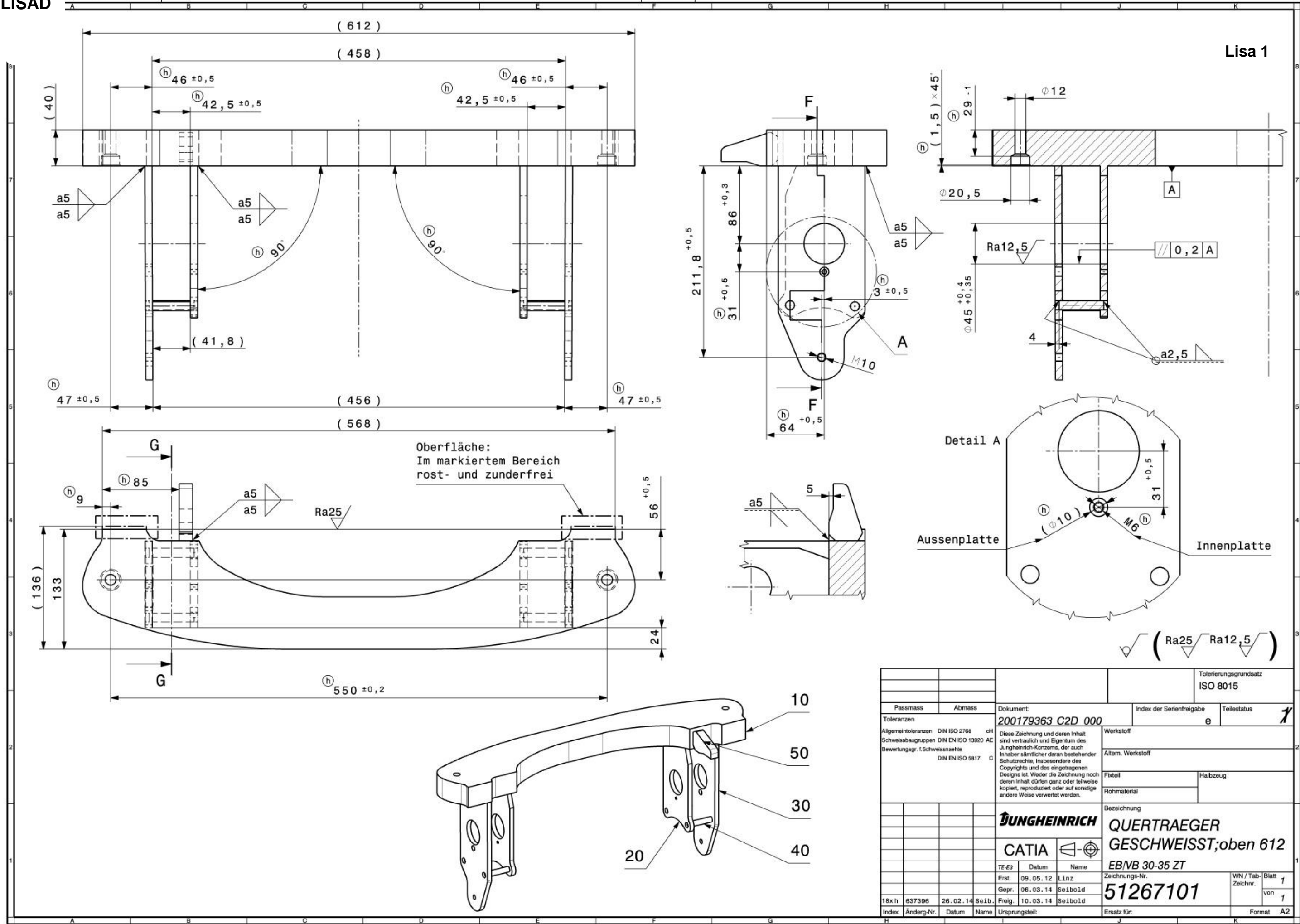
Life-cycle analysis of the forklifts frame has shown, that its production complies with the technological abilities of BLRT Masinaehituse OÜ. By using this analysis, it is possible to simulate the production process, adjust different variables and parameters, and see how such changes affect results. The Key Performance Indicators used in this project should not be taken as the only available options for this product however.

During work on this thesis, information about certain metalwork processes proved to be difficult to find. The most difficult part, however, was the analysis of the effects on the environment. Most data used for the calculation of costs was taken from the documentation used in the company.

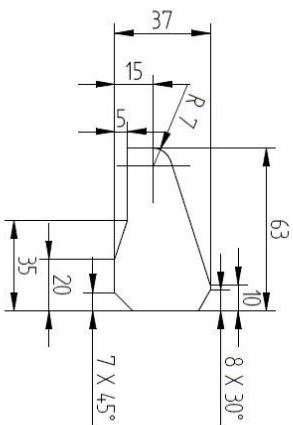
Results of this analysis can be used to assess factors of costs, quality and impact on the environment of other products made by BLRT Masinaehituse OÜ. In order to improve the accuracy of future analysis projects, factors that have an impact on the environment should be charted as a next step. Factors of quality and operating costs can be used to assess the current efficiency of the company.

14 KIRJANDUSE LOETELU


1. Firma BLRT Masinaehitus kodulehekülg [WWW] <http://www.masinaehitus.ee/> (09.10.2014).
2. Firma Jungheinrich kodulehekülg [WWW] <http://www.jungheinrich.com/> (09.10.2014).
3. SolidWorks kodulehekülg [WWW] www.solidworks.com/sustainability/sustainable-design-guide/lca-detailed-overview.htm (12.10.2014).
4. Protsesside elutsükli hindamise Euroopa andmebaasi kodulehekülg [WWW] <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/resource/processes/b0b413a1-2a7d-4cb5-a108-bfd7b37502e4?format=html&version=03.00.000> (13.10.2014).
5. Programmipaket "CES EduPack 2007" (16.10.2014).
6. Raudtee firma kodulehekülg [WWW] <http://www.t-press.su/> (16.10.2014).
7. Hoonete mikrokliima süsteemide firma kodulehekülg [WWW] http://www.arktika.ru/snip15/rule15_7.pdf (19.10.2014).
8. Laserlõikuse pingi parameetrid [WWW] http://www.tablazat.hu/images/upload/products/byspeed_with_bylaser_datasheet.pdf (20.10.2014).
9. Hesselbach, J., Herrmann, C., Glocalised Solutions for Sustainability in Manufacturing: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering. Germany: Springer Science & Business Media, 2011.
10. Keevitus info-portaal [WWW] <http://weldingsite.com.ua/pip.html> (21.10.2014).
11. Keevitus info-portaal [WWW] <http://weldingsite.com.ua/st33.html> (21.10.2014).
12. Privolzhskoe tööstuspinkide ehituse liidu kodulehekülg [WWW] <http://www.rosstanko.ru/catalog/kuznechnopressovoe-oborudovanie/pressy-gidravlicheskie-plastmass/model-de2428.html> (23.10.2014).
13. Firma Pilous kodulehekülg [WWW] <http://pilous.cz/en/saws-for-metal/metal-band-saws/gravity/arg-220-plus/technicke-udaje/> (24.10.2014).
14. Firma „ИИТОПМ“ kodulehekülg [WWW] <http://www.shtorm-its.ru/tehnologiya-kislородnoy-rezki> (25.10.2014).
15. Firma Messer kodulehekülg [WWW] http://www.messergroup.com/de/Produkte_und_Loesungen/gase/datenblaetter/_data_lang1_oben/Ferroline_C8_C18_en_2014.pdf (28.10.2014).

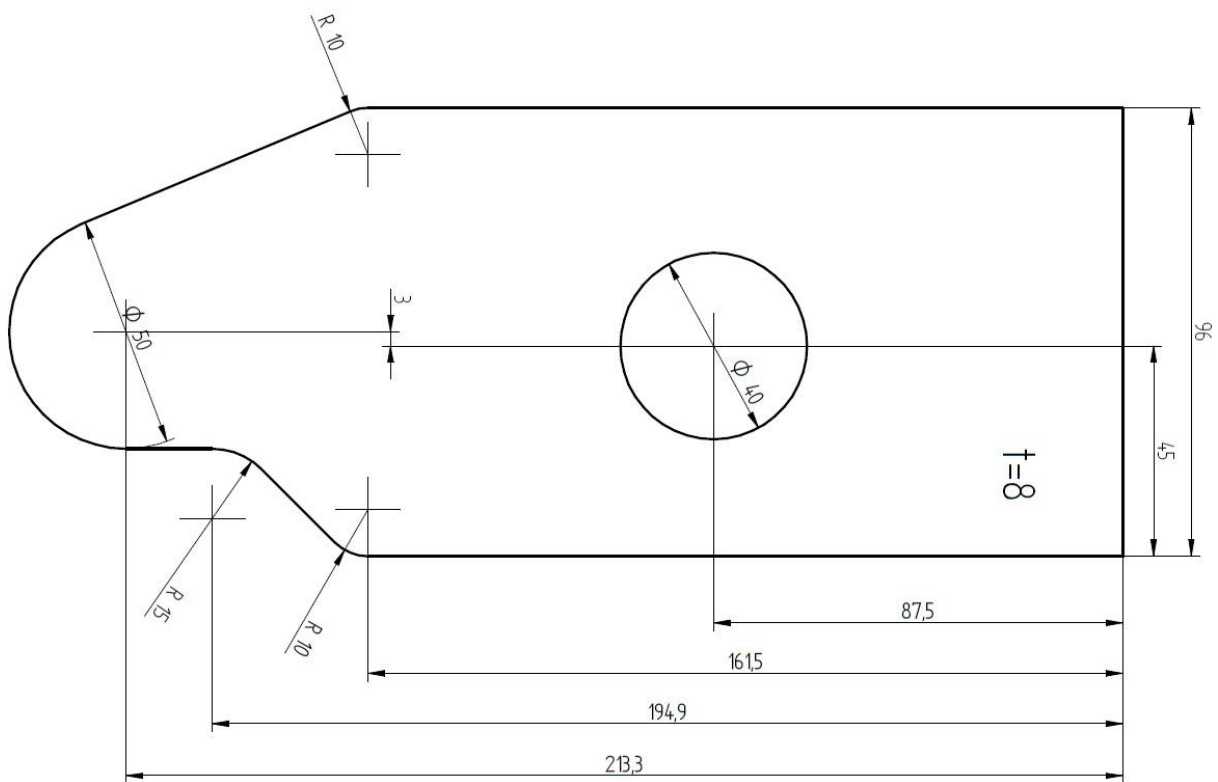


Passmass		Abmass		Dokument:		Index der Serientreue		Teilestatus		Tolerierungsgrundsatz ISO 8015	
Toleranzen		200179363 C2D 000				e		1			
Allgemeintoleranzen		DIN ISO 2768 mH		Diese Zeichnung und deren Inhalt sind vertraulich und Eigentum des Jungheinrich-Konzerns, der auch Inhaber sämtlicher daran bestehender Schutzrechte, insbesondere des Copyrights und des eingetragenen Designs ist. Weder die Zeichnung noch deren Inhalt dürfen ganz oder teilweise kopiert, reproduziert oder auf sonstige andere Weise verwertet werden.		Werkstoff		Altern. Werkstoff			
Schweisbaugruppen		DIN EN ISO 13920 AE				Fixteil		Halbzeug			
Bewertungsg.		Schweisnahte				Rohmaterial					
		DIN EN ISO 9817 C				Bezeichnung		JUNGHEINRICH		QUERTRAEGER	
						CATIA				GESCHWEISST;oben 612	
						TE-E3		Datum		Name	
						Erst.		09.05.12		Linz	
						Gepr.		06.03.14		Seibold	
						Freig.		10.03.14		Seibold	
18xh		637396		26.02.14		Seib.		Freig.		10.03.14	
Index		Aendg-Nr.		Datum		Name		Ursprungsteil:		Ersatz Kür:	
										51267101	
										WN / Tab-Blatt Zeichnr. 1 von 1	
										Format A2	



- 1) Технические требования, виды резов и допуски указаны в штампе.
- 2) Детали в состоянии поставки попусы EN 10058
- 3) Технические требования по плоскости и качеству DIN-EN10029 Класс N Группа L

		Рабочий эскиз	№ _____	годен с _____	2014	ИН ЭКСПЛОН	74441	478
			Материал S355J2	Имя S.Brakov	Дата 08.08.2014	Обозначение EN ISO 1101 Попуск попусы EN 10163 Class B	Издание 51232236	Масштаб 0,2
		Исполнитель				Техническое ДИН/ЕН/ГО 9013 431	Примечания 51287101	Масштаб 1:1
Дата	08.08.2014	ВЛТ Мастерлис		Начальник Оформление				
Время								



- 1) Технічне трактування відхилень і допусків узгоджені в Україні.
- 2) Деталі в основній поставці по стандарту EN 10058
- 3) Технічне трактування по плоскості і якості DIN EN 10029 класу N 1 група L

Робочий зразок		№ _____	ГОДЕН С _____	2014	НІВ ВОЛКОВИ	ТНАДІ	476
Матеріал		Мат	Дата	Складання	Назва	Маса	Масштаб
S 355K10		S 355K10	08.08.2014	EN 10083/DIN 98	5128312	1,2	1:1
Висота		Знак		Складання	Примітка		
08.08.2014		08.08.2014		DIN EN 10013-1	51287101		
№ з	Дата	Відтиснення		51287101			
Всього	08.08.2014	E.D.T. Kuznetsov		08.08.2014			

Прайс-лист на машинную термическую (плазма, газ) резку на 2012 год

Толщина разрезаемого материала, мм	Стоимость резки за 1 метр, €/1м	Стоимость врезки, €/1врезка
3	0,55	0,12
4	0,65	0,18
5	0,65	0,22
6	0,68	0,22
7	0,76	0,25
8	0,80	0,25
9	0,86	0,27
10	0,88	0,27
11	0,97	0,31
12	1,08	0,31
13	1,13	0,33
14	1,18	0,33
15	1,24	0,37
16	1,28	0,37
18	1,39	0,41
20	1,48	0,41
25	1,95	0,41
30	2,19	0,41
35	2,60	0,45
40	2,92	0,49
45	3,25	0,53
50	3,66	0,58
60	4,47	0,61
70	4,87	0,65
80	5,28	0,73
90	5,69	0,81
100	6,50	0,89
110	7,31	0,97
120	8,12	1,06
130	8,93	1,14
150	11,18	1,49

- Цены приведены для резки малоуглеродистых сталей.
- Стоимость разработки программы:
 - Разработка раскроя с программой - от 7 € до 20 € в зависимости от сложности.
- Нормативы даны на партию деталей более 10 шт., с суммарной длиной резки более 15 метров. Для других условий заказа применять поправочные коэффициенты:
 - K=2,15 - при суммарной длине резки менее 5-ти метров;
 - K=1,54 - при суммарной длине резки от 5-ти до 10-ти метров;
 - K=1,15 - при суммарной длине резки от 10-ти до 15-ти метров;
 - K=1,1 - при размере партии деталей менее 10-ти шт.
- В стоимость резки входит только сбитие грата. Притупление или скругление кромок деталей оплачивается отдельно.
- Стоимость погрузочно-разгрузочных работ, комплектация, упаковка и транспортировка изготовленных деталей Заказчику оплачивается отдельно.

Согласовано

Г. Григорян

А. Колесников

А. Маклакова

Член правления ELME METALL

Член правления BLRT Toorik

Экономист BLRT Toorik

Прайс лист по порезки заготовок на лазере на 2012 год

Материал	Толщина, мм	Стоимость погонного метра реза, EUR
Низкоуглеродистая сталь	1,0	0,49
	1,5	0,58
	2,0	0,69
	2,5	0,76
	3,0	0,86
	4,0	0,88
	5,0	1,01
	6,0	1,08
	8,0	1,33
	10,0	1,63
	12,0	1,96
	15,0	2,45
	20,0	3,71
25,0	5,00	
Нержавеющая сталь	1,0	0,44
	1,5	0,56
	2,0	0,67
	2,5	0,81
	3,0	1,01
	4,0	1,12
	5,0	1,44
	6,0	1,77
	8,0	2,45
	10,0	3,28
	12,0	4,69
	15,0	6,56
	20,0	10,94
25,0	16,91	
Алюминий	1,0	0,38
	1,5	0,45
	2,0	0,57
	2,5	0,70
	3,0	0,85
	4,0	1,04
	5,0	1,37
	6,0	1,90
	8,0	3,42
	10,0	4,50
	12,0	5,27
15,0	6,32	

- Стоимость разработки программы:
 - 1.1 Разработка раскроя с программой - от 7 € до 20 € в зависимости от сложности.
- Нормативы даны на партию деталей более 10 шт., с суммарной длиной резки более 15 метров. Для других условий заказа применять поправочные коэффициенты:
 - K=2,15 - при суммарной длине резки менее 5-ти метров;
 - K=1,54 - при суммарной длине резки от 5-ти до 10-ти метров;
 - K=1,15 - при суммарной длине резки от 10-ти до 15-ти метров;
 - K=1,1 - при размере партии деталей менее 10-ти шт.
- В стоимость резки входит только сбитие грата. Притупление или скругление кромок деталей оплачивается отдельно.
- Стоимость погрузочно-разгрузочных работ, комплектация, упаковка и транспортировка изготовленных деталей Заказчику оплачивается отдельно.

Согласовано

Г. Григорян

А. Колесников

А. Маклакова

Член правления ELME METALL

Член правления BLRT Toorik

Экономист BLRT Toorik



Plan name	: KB714475	Order	: 140821006	Remnant(s)	: ME2692
Material	: S355J2+N	Plan length, mm	: 6000.00	Note	:
Thickness, mm	: 8.000	Plan width, mm	: 1500.00	HeatNumber	:
Plate surface	: SA2.5-SANDBLASTED	No of Parts	: 448	Producer	:
Designer	: KARINA-ALTDORF	Amp	: 0	Operator	:
Edited	:	Keft	: 0.0		
Machine	: BYST_O2	Mark-Transpose, m	: 0.0		
Note	:				

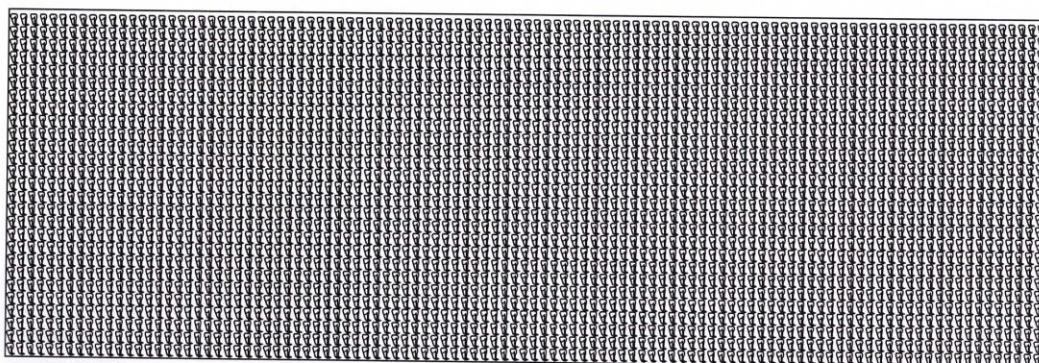
(Platenname) [?] [?] [?]
 BSR [1] [1] [1]

BYWORK

Job list

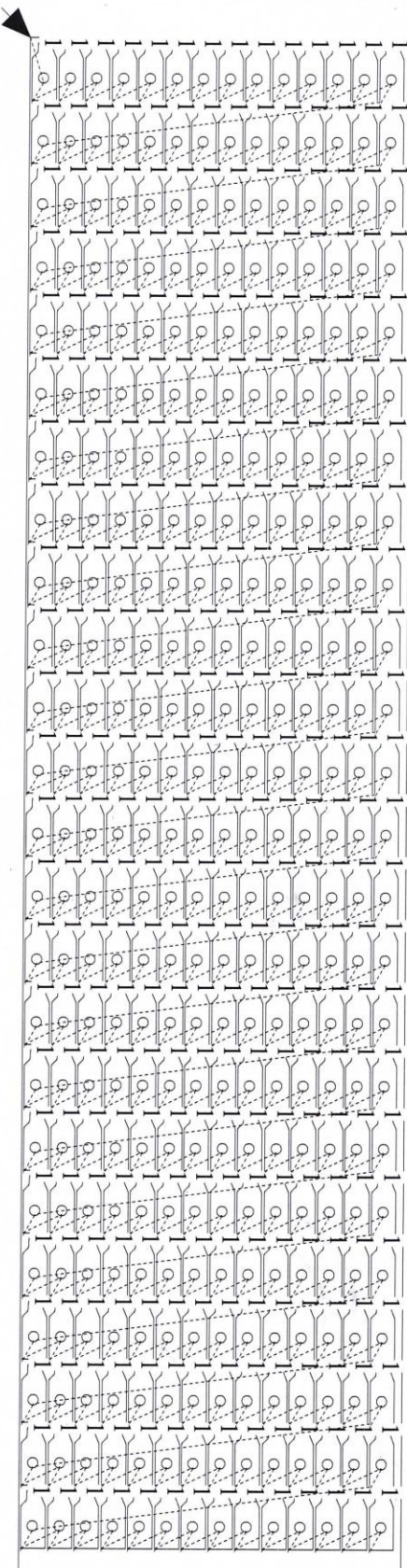
Plan data

File name	: KL714478	Cycles	: 1
Designation	: 140821006	Cutting time	: 6.33min
Plan dimension	: 5985 x 1971 mm	Waste	: 60.82 %
Sheet dimension	: 6000 x 2000 mm	Number of parts	: 2835
Plate surface	: SA2.5-SANDBLASTED	Remnant name	:
Plate name	:		
Cert. No/Cast No	:		



Flat part data

Part No.	: 1	Dimension	: 63.00 x 47.00 mm
Code	: 714441478	Number	: 2835
Designation	: 140821006	Cutting time	: 0.21min
Article No	:	Weight	: 0.199 kg

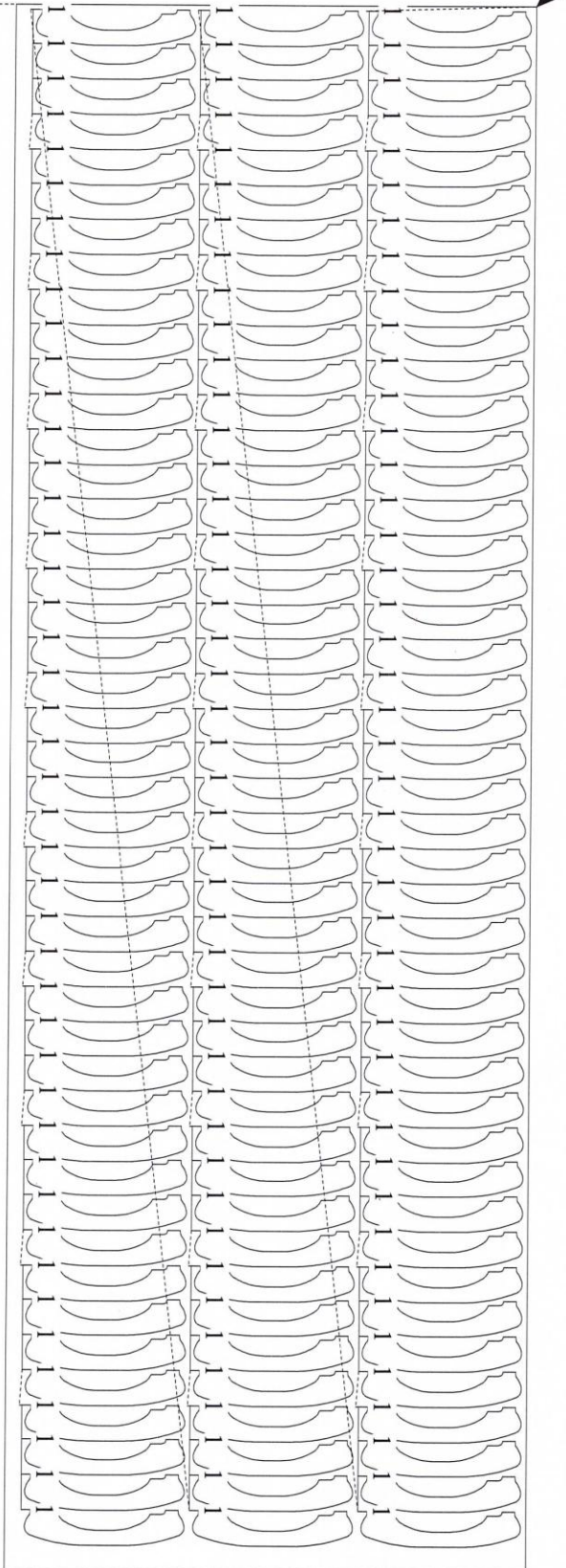


Plan name : KB714476
 Material : S355J2+N
 Thickness, mm : 8.000
 Plate surface : SA2.5-SANDBLASTED
 Designer : KARINA-ALTDORF
 Edited :
 Machine : BYST_O2
 Note :

Order : 140821006
 Plan length, mm : 6000.00
 Plan width, mm : 1500.00
 No of Parts : 336
 Amp : 0
 Kerf : 0.0
 Mark-Transverse, m : 0.0

Remnant(s) : ME2491
 Note :
 HeatNumber :
 Producer :
 Operator :

(Platenname) [?] [?] [?]
 BSR [1] [1] [1]



Plan name : KG714474
 Material : S355J2+N
 Thickness, mm : 40.000
 Plate surface : SA2.5-SANDBLASTED
 Designer : KARINA-ALTDORF
 Edited :
 Machine : OMNICUT
 Note :

Order : 140821006
 Plan length, mm : 6000.00
 Plan width, mm : 2000.00
 No of Parts : 132
 Amp : 0
 Kerf : 0.0
 Mark-Traverse, m : 0.0

Remnant(s) : ME2462
 Note :
 HeatNumber :
 Producer :
 Operator :

(Platenname) [?] [?] [?]
 BSR [1] [1] [1]

Lisa 12

Materjali jäätmete kulud arvutatakse korrutades materjali hinda (Tabel 8.2) jäätmete kaaluga (Tabel 9.2):

$$0,7 \cdot 1701,33 = 1190,93 \text{ €}$$

Selleks, et arvutada jäätmete kulud tooriku kohta, tuleb jagada materjali jäätmete kulud toorikute arvuga ühe lehe kohta:

$$\frac{1190,93}{132} = 9,02 \text{ €}$$

Ja saadud vastus korrutada detaili arvuga tootes (Tabel 3.1):

$$9,02 \cdot 1 = 9,02 \text{ €}$$

Ülejäänud detailide kulud arvutatakse analoogselt.

Lisa 13

Gaasilõikuse hind arvutatakse korrutades lõikehinda (Tabel 8.5) lõikekontuuri pikkuse ja detailide vahelise kauguse summaga:

$$2,92 \cdot (1,429 + 0,025) = 4,25 \text{ €}$$

Saadud tulemusele tuleb lisada sisselõike hind ja programmeerimis tasu, mis on jagatud toorikute arvuga ühes lehes:

$$4,25 + 0,49 + \frac{15}{132} = 4,85 \text{ €}$$

Lisa 14

Laserlõikamise hind arvutatakse korrutades omavahel toorikute vahekaugus lehes ja detailide arv tootes:

$$0,018 \cdot 2 = 0,036 \text{ mm}$$

Saadud tulemusele lisatakse toorikute kontuuri pikkus, mis korrutatakse laserlõikuse hinnaga:

$$(0,036 + 1,480) \cdot 1,33 = 2,016 \text{ €}$$

Saadud tulemusele tuleb lisada programmeerimis tasu, mis on jagatud toorikute arvuga ühes lehes:

$$2,016 + \frac{15}{336} = 2,06 \text{ €}$$

Lisa 15

Gaasilõikuse sisendiks on 3760 kg lehtmaterjali. Selleks, et arvutada metalli kulu üheks toorikus, tuleb jagada lehtmaterjali kaal väljalõigatud toorikute arvuga 132 tk:

$$\frac{3760}{132} = 28,5 \text{ kg}$$

Metaani kulu on 6,1 m³/h. Algusel tuleb arvutada aeg, mis kulub terve lehe lõikamiseks. On teada, et ühe detaili lõikekontuuri pikkus on 1429 mm ja detailide vahekaugus on 25 mm. Seega ühe detaili lõikekontuuri pikkus on:

$$1429 + 25 = 1454 \text{ mm}$$

Kuna ühest lehest lõigatakse välja 132 detaili siis kogu lõikepikkus on:

$$1454 \cdot 132 = 191928 \text{ mm}$$

On teada, et gaasilõikuse kiirus on 370 mm/min. Arvestades seda saab arvutada kui palju aega kulub kogu lehe lõikamiseks:

$$\frac{191928}{370} = 519 \text{ min}$$

Minutid teisendatakse tundidesse:

$$\frac{519}{60} = 8,65 \text{ h}$$

Metaani kulu on 6,1 m³/h. Järelikult metaani kulu kogu lehe lõikamiseks on:

$$8,65 \cdot 6,1 = 52,7 \text{ m}^3$$

Metaani kulu ühe detaili lõikamiseks on:

$$\frac{52,7}{132} = 0,4 \text{ m}^3$$

Hapniku kulu arvutatakse analoogselt metaani kuluga.

Lisa 16

Materjali jäätmete arvutamiseks tuleb lahutada lehtmaterjali kaalust toorikute arv, mis on korrutatud ühe tooriku kaaluga:

$$3760 - (132 \cdot 15,6) = 1701 \text{ kg}$$

Kuna on teada, et lõikelaius on 4,5 mm, metalli paksus on 40 mm ja kogu lõikepikkus on 191928 mm, siis on võimalik leida väljasulanud materjali mahtu:

$$191928 \cdot 4,5 \cdot 40 = 34547040 \text{ mm}^3 = 0,03454704 \text{ m}^3$$

Kasutades CAD tarkvara või teades materjali tihedust 7833 kg/m^3 saab arvutada väljasulanud materjali kaalu:

$$0,03454704 \cdot 7833 = 270,61 \text{ kg}$$

Lahutades kogu jäätmetest väljasulanud metalli hulga saab arvutada jääkmaterjali hulka:

$$1701 - 270,61 = 1430,39 \text{ kg}$$

Jagades väljasulanud metalli toorikute arvuga ühest lehest saab arvutada väljasulanud metalli ühe tooriku kohta:

$$\frac{270,61}{132} = 2,05 \text{ kg}$$

Jagades jääkmetalli toorikute arvuga ühest lehest saab arvutada jääkmetalli ühe tooriku kohta:

$$\frac{1430,39}{132} = 10,84 \text{ kg}$$

Kasutades tabelit (Tabel 8.6) saab leida andmed vajaliku materjali paksuse kohta: Magneesiumi kulu on 0,54 g/m

Korrutades magneesiumi kulu detaili lõikekontuuri pikkusega (meetrites) saab arvutada magneesiumi kulu tooriku kohta:

$$0,54 \cdot 1,454 = 0,79 \text{ g}$$

Ülejäänud väljundid arvutatakse analoogselt.

Lisa 17

Selleks, et arvutada metalli kulu ühe tooriku kohta, tuleb jagada lehtmaterjali kaal väljalõigatud toorikute arvuga ja saadud tulemus korrutada detaili arvuga tootes:

$$\frac{564}{336} = 1,679 \text{ kg}$$

$$1,678 \cdot 2 = 3,36 \text{ kg}$$

Hapniku kulu arvutamine.

Esimesena tuleb arvutada detaili väljalõikamiseks kulutatud aega. Selleks detailide lõikepikkus tuleb jagada detailide lõikekiirusega:

$$\frac{(1480 + 0,018 \cdot 2)}{2300} = 0,64 \text{ min}$$

Minutid teisendatakse tundidesse:

$$\frac{0,64}{60} = 0,011 \text{ h}$$

Hapniku kulu arvutamiseks korrutatakse hapniku kulu detailide väljalõikamis ajaga:

$$1,2 \cdot 0,011 = 0,013 \text{ m}^3$$

Elektrienergia kulu arvutatakse korrutades detaili väljalõikamis aeg pingi võimsusega:

$$0,011 \cdot 74 = 0,81 \text{ kWh}$$

Ressursside kulu ja laserlõikamise sisendid teistel detailidel arvutatakse analoogselt.

Väljasulanud materjali arvutamine.

Tuleb välja arvutada väljalõigatud detailide kontuuri pikkust terves lehes. Selleks tuleb korrutada detailide arv ühest lehest detaili lõikekontuuri pikkuse ja detailide vahelise kauguse summaga:

$$336 \cdot (739,95 + 0,018) = 248629,248 \text{ mm} = 248,629 \text{ m}$$

Kasutades tabelit (Tabel 8.8) saab teada, et 1,6 m materjali lõikamiseks paksusega 1 mm, sulatakse välja 0,00624 kg metalli. Teades väljalõigatud detailide kontuuri pikkust tervest lehest ja kasutatud materjali paksust saab arvutada sulatud metalli kaalu terve lehe lõikamisel:

$$248,629 \cdot \frac{0,00624}{1,6} \cdot 8 = 7,75 \text{ kg}$$

Jagades saadud tulemus väljalõigatud detailide arvuga ühest lehest saab arvutada väljasulatatud metalli ühe detaili väljalõikamiseks:

$$\frac{7,75}{336} = 0,023 \text{ kg}$$

Ja kuna ühes tootes kasutatakse kaks sellist detaili siis saadud tulemus tuleb korrutada kahega:

$$0,023 \cdot 2 = 0,046 \text{ kg} \approx 0,05 \text{ kg}$$

Jääkmetalli arvutamine.

Kuna lehe kaal on 564 kg ja väljalõigatud detailide kaal on 397,152 kg, siis saab arvutada kogu jääkmaterjali:

$$564 - 397,152 = 166,848 \text{ kg}$$

Lahutades kogu jääkmetallist väljasulanud materjali kaalu, saab leida jääkmaterjali kaalu:

$$166,848 - 7,75 = 159,09 \text{ kg}$$

Jagades jääkmaterjali kaalu väljalõigatud detaili arvuga ühest lehest saab leida jääkmetalli kaalu ühe detaili väljalõikamiseks:

$$\frac{159,09}{336} = 0,483 \text{ kg}$$

Ja kuna ühes tootes kasutatakse kaks sellist detaili siis saadud tulemus tuleb korrutada kahega:

$$0,483 \cdot 2 = 0,95 \text{ kg}$$

Lämmastikoksiidi arvutamine.

Kasutades tabelit (Tabel 8.8) saab teada, et 1,6 m materjali lõikamiseks paksusega 1 mm, eraldatakse $3,22 \cdot 10^{-8}$ kg lämmastikoksiidi. Teades väljalõigatud detailide kontuuri pikkust terve lehest ja kasutatud materjali paksust saab arvutada eraldunud lämmastikoksiidi hulka terve lehe lõikamisel:

$$248,623 \cdot \frac{322 \cdot 10^{-8}}{1,6} \cdot 8 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

Jagades saadud tulemus väljalõigatud detailide arvuga ühest lehest saab arvutada eraldunud lämmastikoksiidi hulka ühe detaili väljalõikamiseks:

$$\frac{4 \cdot 10^{-5}}{336} = 1,19 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$$

Ja kuna ühes tootes kasutatakse kaks sellist detaili siis saadud tulemus tuleb korrutada kahega:

$$1,19 \cdot 10^{-7} \cdot 2 = 2,38 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$$

Teiste detailide laserlõikamise sisendid arvutatakse analoogselt.

Lisa 19

Selleks, et arvutada gaasilõikuse ajakulu tuleb jagada detaili lõikekontuuri pikkus lõikekiirusega ja teisendada vastust tundidesse:

$$\frac{1454}{370} = 3,93 \text{ min}$$

$$\frac{3,93}{60} = 0,65 \text{ h}$$

Selleks, et arvutada laserlõikuse ajakulu tuleb jagada iga detaili lõikekontuuri pikkus vastava lõikekiirusega ja teisendada vastust tundidesse:

Esimene detail:

$$\frac{1480,018}{2300} = 0,64 \text{ min}$$

$$\frac{0,64}{60} = 0,011 \text{ h}$$

Teine detail:

$$\frac{1265}{2300} = 0,55 \text{ min}$$

$$\frac{3,93}{60} = 0,009 \text{ h}$$

Kolmas detail:

$$\frac{173,01}{1100} = 0,16 \text{ min}$$

$$\frac{3,930,16}{60} = 0,0026 \text{ h}$$

Saadud tulemused tuleb summeerida:

$$0,011 + 0,009 + 0,0026 = 0,023 \text{ h}$$