



Martin Oras

KIIRSULATUSAHJUDE TOOTMISTEHNOLOOGIA TÄIUSTAMINE JA RAKENDAMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut
Masinaehituse õppekava
Juhendaja: Madis Moor

Tallinn 2023

Mina,

.....,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja (nimi, allkiri)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega nr.....
kuupäev

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina,

(*autori nimi*)

sünnikuupäev:

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

.....

(*lõputöö pealkiri*)

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas

(*kuupäev*) (*autori allkiri*)

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. ETTEVÖTTE TUTVUSTUS.....	6
1.1. Ettevõtte juhtimissüsteem.....	8
2. TOOTE TUTVUSTUS.....	10
2.1. Reaktsioonišahht.....	12
2.2. Vann.....	13
2.3. Seinad.....	15
2.4. Heitgaaside väljalaskeava.....	16
3. TOOTMISPROTSESSIDE PARENDAMINE.....	19
3.1. Materjali osa parendamine.....	19
3.2. Koostamis osa parendamine.....	20
3.3. Keevitamise osa parendamine.....	20
4. RAKISE PROJEKTEERIMINE.....	21
5. KOOSTAMIS- JA KEEVITUSTEHNOLOOGIA.....	23
5.1. Koostamistehnoloogia.....	23
5.2. Keevitustehnoloogia.....	26
6. MAJANDUSLIK ANALÜÜS.....	29
6.1. Haaveldatud lehtmaterjali kasutamine.....	29
6.2. Rakise ja keevitustehnoloogia kasutamisest saadav produktiivsuse kasv.....	30
KOKKUVÕTE.....	32
SUMMARY.....	33
VIIDATUD ALLIKAD.....	34
LISAD.....	35
Lisa 1. Positsioneerimis/toeplaadi joonis.....	36
Lisa 2. Alusplaadi joonis.....	37
Lisa 3. Rakise koostejoonis.....	38

SISSEJUHATUS

Kasvavate energiahindade ja tööjõukulude taustal otsivad ettevõtted lahendusi kuidas toota tooteid võimalikult kuluefektiivselt. Üheks lahenduseks on erinevate tootmistehnoloogiate väljatöötamine ja rakendamine ettevõtetes.

Iga nelja-viie aasta tagant moderniseerivad erinevad metallurgiaettevõtted üle maailma oma tootmisüksusi. AS Maru Metall on Eestis ja võimalik, et ka Baltikumis põhjanaabrite soomlaste pikaaegne koostööpartner, kellel on olemas teadmised ja oskused valmistamiseks metallurgiaettevõtete tehaste moderniseerimiseks vajaminevaid seadmeid. Varasemalt ei ole selliselt AS Maru Metallis rakendatud tootmistehnoloogiaid. Aga kuna turg nõuab ajaga kaasas käimist on juhtkonna poolt vastu võetud otsus, et kulude optimeerimiseks tuleb kirja panna ja arhiveerida eelnevate projektide tulemused, kitsaskohad ja parendused. Et tulevikus eelnenud vig vältida. Ühtedeks selle uue suuna märksõnadeks on tootmistehnoloogiate väljatöötamine ja rakendamine.

Käesoleva lõputöö teema on pärit AS Maru Metallist

Lõputöös projekteeritakse toodetava toote tarvis rakis ning kirjeldatakse koostamis- ja keevitustehnoloogiat.

Peamiseks eesmärgiks on täiustada ja rakendada eelnevatest tootmistehnoloogiatest võimalikult kuluefektiivne ja kliendi tolerantsinõudeid arvestav tootmistehnoloogia järgnevate sarnaste tellimuste korral.

Antud lõputöös kirjeldatakse tootmistehnoloogiaid, mida kasutati Maru Metall AS-is Metso Outoteci (2020. aastal ühines Outotec Metso Mineralsiga ja uue ettevõtte nimeks Metso Outotec) kiirsulatuslatusahjude tootmisel. Kuna sulatusahjude tellimusi on olnud kolm siis saab kirjeldada kahte erinevat tehnoloogiat, mida kasutati sulatusahjude tootmisel. Kahte erinevat tootmistehnoloogiat sellepärast, et kahel korral kasutati täpselt identset tehnoloogiat ja ühel korral kasutati sulatusahju koostamisel ja keevitamisel kardinaalselt erinevat tehnoloogiat, mida antud teose autor selle lõputöö raames täiustama asub. Kõik sulatusahjud eksporditi: esimesena ja kolmandana toodetud sulatusahjud tarniti Venemaale Norilskisse ning teisena toodetud ahi tarniti Lõuna-Ameerikasse Tšiili. Autor on töötanud Maru Metall AS-is 15 aastat koostaja-keevitajana ja viimased poolteist aastat keevitusosakonna meistrina.

Lõputöö on jagatud seitsmeks peamiseks osaks.

Sissejuhatuses kirjeldatakse probleemi ja töö eesmärgi.

Esimene peatükk hõlmab ettevõtte tutvustus, struktuur, töökorraldus.

Teises peatükis tehakse ülevaade toodetava toote tööpõhimõttest ja üleüldine kirjeldus.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse ära tootmisprotsesside täiustamine ja parendamine.

Projekteeritavast rakisest antakse ülevaade neljandas peatükis.

Koostamis- ja keevitustehnoloogia kirjeldatakse ära viiendas peatükis.

Kuuendas peatükis saab ülevaate peaaasjalikult majanduslikest arvutustest.

Lõputöö lõpetavad kokkuvõte ja lisad.

1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

AS Maru Metall on kontserni AS Maru tütarettevõte. Ettevõte on oma tegutsemisaastate jooksul kujunenud Eesti juhtivaks ehituslike teraskonstruksioonide tootjaks. Ettevõtte ärimudel põhineb täiustatuse pakkumisel, hõlmates projekteerimist, tootmist ja tarnet lõppkliendile. Tootmine toimub projektipõhiselt. Põhitoodanguks on suuremõõtmelised terasest ehituskonstruksioonid ning mitmesugused platvormid, galeriid, kandetalad, kivipurustusmasinate alusraamid, sulatusahjude elemendid ja paljud muud teraskonstruksioonid. Tehase tehniline võimekus on piisav tootmaks kuni 8000 tonni metallkonstruksioone aastas. Ettevõte on pidevalt täiustanud oma tootmisbaasi Ardus, kus on kokku 10 000 m² katusealust tootmispinda (Joonis 1). AS Maru Metallis töötab 87 kvalifitseeritud töötajat. Eksporditakse 80% toodangust, suurem osa Skandinaaviasse. Ettevõtte käive aastal 2022 oli 24 mln. EUR, millest 6,1 mln. EUR moodustab Metso Outoteci tellimus.

Alates 2002. aastast on ettevõtte tootmisesse juurutatud standardi EVS-EN ISO 9001 kohane, Bureau Veritas Certification OÜ poolt sertifitseeritud kvaliteedijuhtimissüsteem.

Alates 2009. aastast on ettevõtte keevitusprotsessid sertifitseeritud EN ISO 3834-2 järgi ja tootmisprotsess standardile DIN 18800-7 klass D vastavaks. Sertifitseerijaks oli DVS Zert GmbH.

Alates 2012. aastast järgib AS Maru Metall oma projekteerimis- ja tootmisprotsessis tervikuna EN 1090-1 nõudeid ja omab õigust väljastada CE-märgist teraskonstruksioonidele kuni ehitusklassini EXC2, alates 2013 aastast kuni ehitusklassini EXC3. Sertifitseerijaks on DVS Zert GmbH.

2015. aastal asutati AS Maru Metalli tütarettevõte MDSC Systems OÜ, mille põhifunktsiooniks on eriotstarbeliste konteinerite projekteerimine, tootmine ja müük, millele lisandus paar aastat tagasi rolling unit tüüpi .

2017. aastast alates kasutatakse tootmise juhtimisel mudelprojekteerimise platvormiga „Tekla“ ühilduvat tootmise juhtimise tarkvara „STRUMIS“.[1]



Joonis 1. Maru Metall AS tootmisüksus Ardu

1.1. Ettevõtte juhtimissüsteem

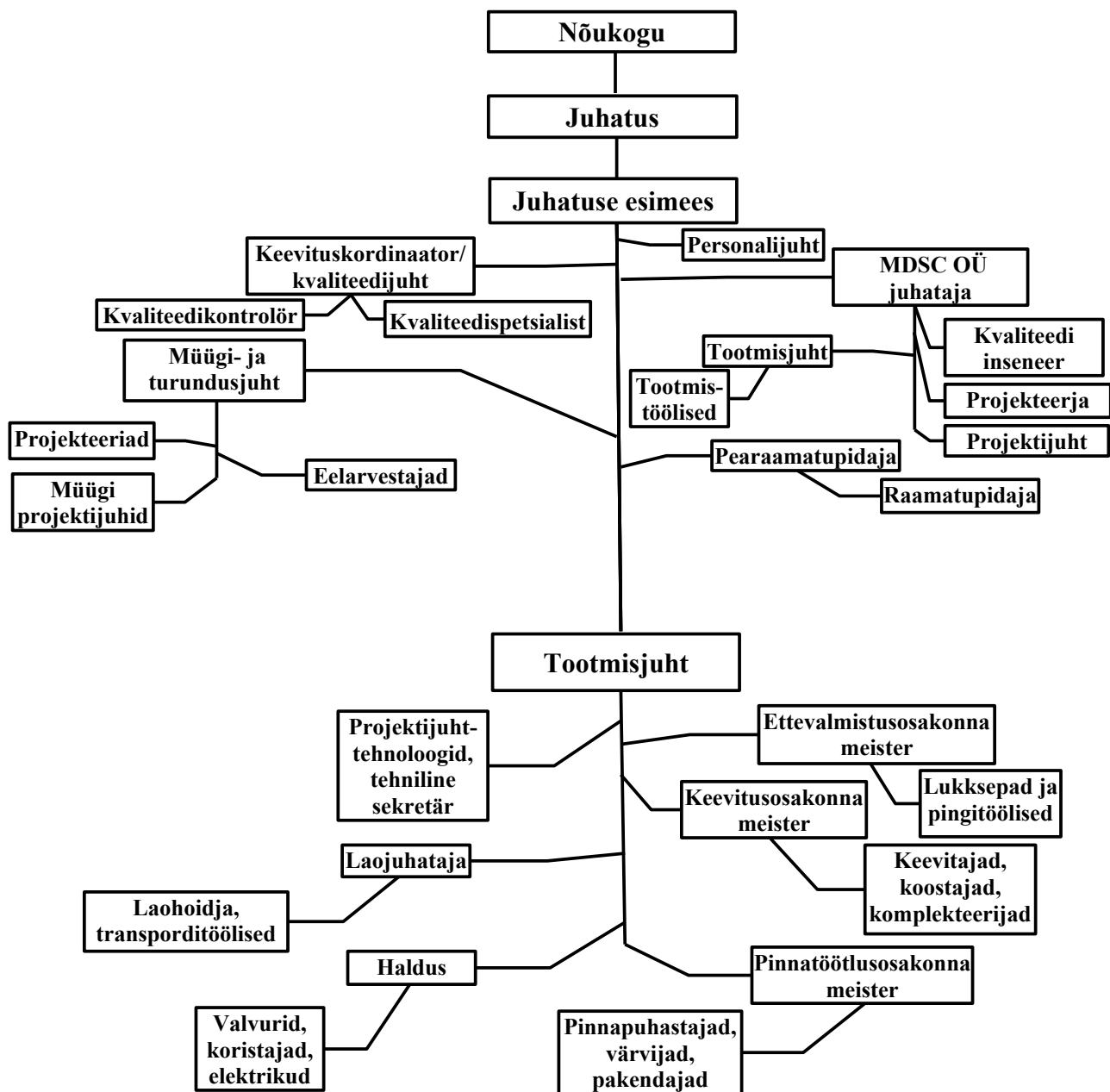
Ettevõttes töötab valdavalt kõrgel tasemel ettevalmistatud personal. Ettevõtte on loonud töötajatele kõik võimalused isiklikuks arenguks ja vajadusel koolitusteks. Ettevõtte üldjuhtimist teostab tegevjuht, kelle alluvuses juhivad ettevõtte töövaldkondi (Joonis 2):

- tootmisjuht – tootmisbaasi;
- müügi- ja turundusjuht – müügi- ja turundusosakonda;
- pearaamatupidaja – raamatupidamist ja personalitööd.

Tegevdirektori otsealluvuses on ka keevituskoordinaator-kvaliteedijuht, arendusspetsialist ja personalijuht.

Ettevõtte juhtkond on oma kohuseks võtnud tagada, et töötajatel oleksid teadmised ettevõtte teenustele, protsessidele ja tegevustele rakendatavatest seadusandlikest ja reguleerivatest nõuetest. Selleks on koostatud riiklike normdokumentide ja juhendite register. Antud register sisaldab ettevõtte ja tema tegevusala seisukohalt oluliste riiklike normatiivdokumentide nimistuid, mida tuleb erinevate protsesside teostamisel ettevõttes arvesse võtta. Peale selle on koostatud rahvusvaheliste normatiivdokumentide (standardite) kogu ja nimistu, mida on vaja tootmises jälgida.

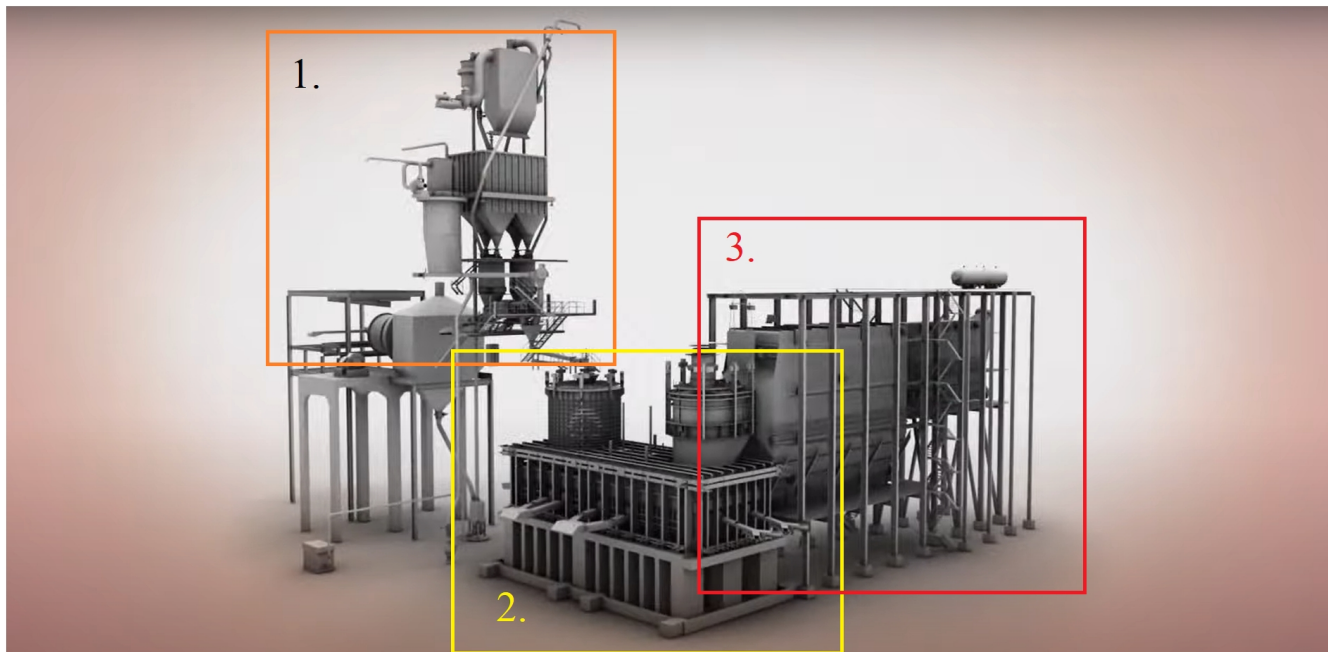
Tootmisprotsessi vastavust tähtsamatele tootmistegevust reguleerivatele rahvusvahelistele standarditele tõendavad ettevõttele välja antud vastavussertifikaadid EN 1090-1-le ja EN ISO 3834-2 –le. [2]



Joonis 2. Ettevõtte struktuur

2. TOOTE TUTVUSTUS

Metso Outotec on maailma juhtivamaid tööstuslike masinate tootja. Ettevõtte keskendub tehnoloogia ja teenuste pakkumisele kaevandus-, täitematerjalide-, ringlusessevõtu- ja metalliderafineerimistööstusele. Viimane on tööstusharu kuhu toodeti allhanke korras Metso Outoteci tellitud kiirsulatusahjud Maru Metall AS-is. Metso Outotec toodab seadmeid igat tüüpi maakide töötlemiseks. Aegade jooksul on tellitud ahjud olnud kas vasemaagi sulatamiseks või nikklimaagi sulatamiseks.



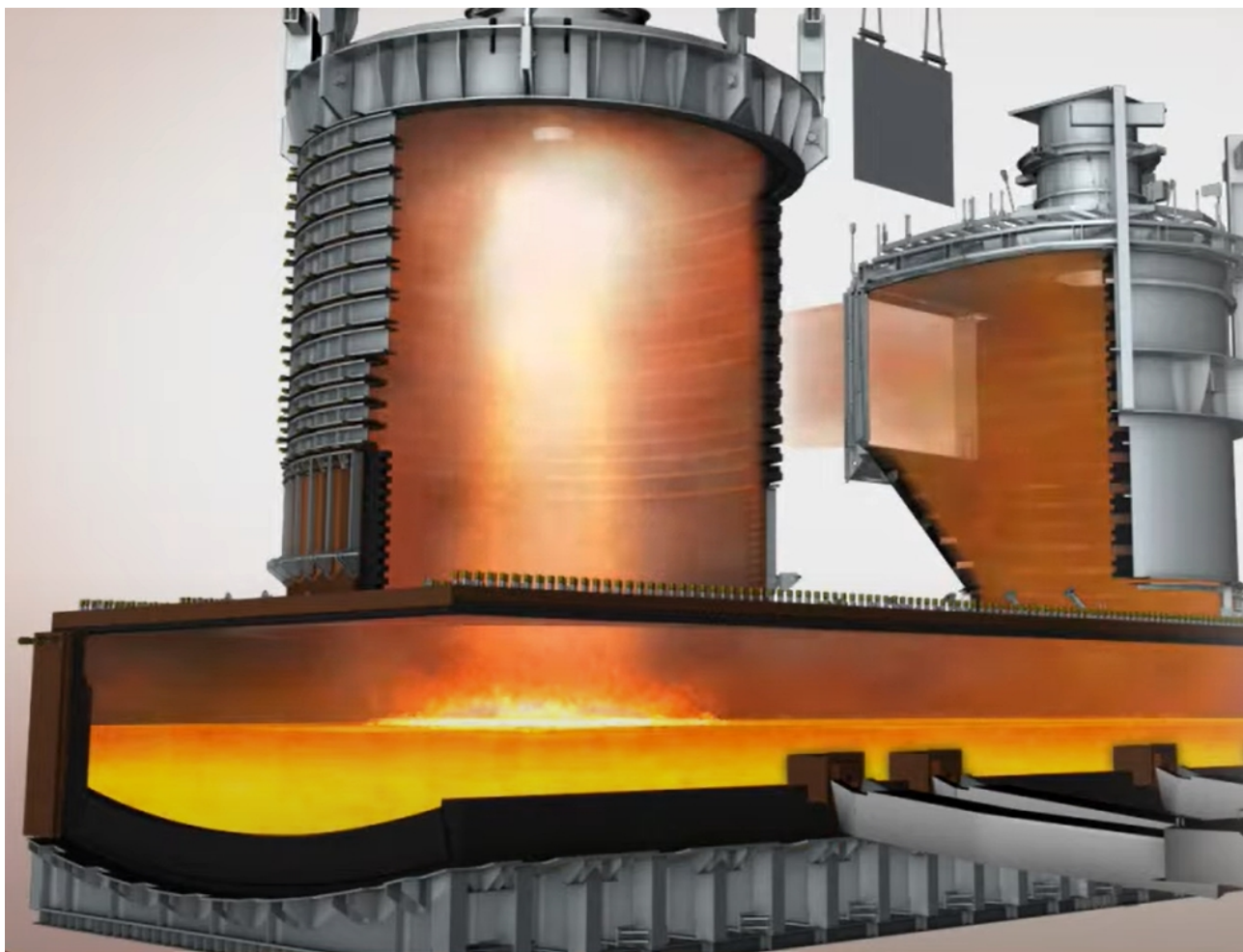
Joonis 3. Kiirsulatusahi

Metso Outoteci tellimus ei ole hõlmanud tervet tehnoloogilist seadet. Tellitud on üks osa ahjust (Joonisel 3 kollasega ruuduga tähistatud). Selles ahju osas toimub väävli sisaldavate maakide kiirsulatusprotsess.

Oranži ruuduga (Joonis 3) osas toimub maagi ettevalmistamine sh. kuivatamine ja söötmine hapnikuga rikastatud kuuma õhuga reaktsioonišahti (Joonisel 3 kollase ruuduga tähistatud) kus toimub põlemisprotsess. Sulamaak kukub vanni, millest erinevate tehnoloogiliste avade kaudu väljutatakse sulamaak ja põlemisprotsessist ning setteprotsessi järel järgi jääv räbu. Reaktsioonišahti kõrval on heitegaaside väljalaskeava, kust põlemisel tekkivad gaasid juhitakse

järeltöötlemisele. Punasega tähistatud(Joonis 3) osas toimub põlemisprotsessist järelejäänud gaaside töötlemine.

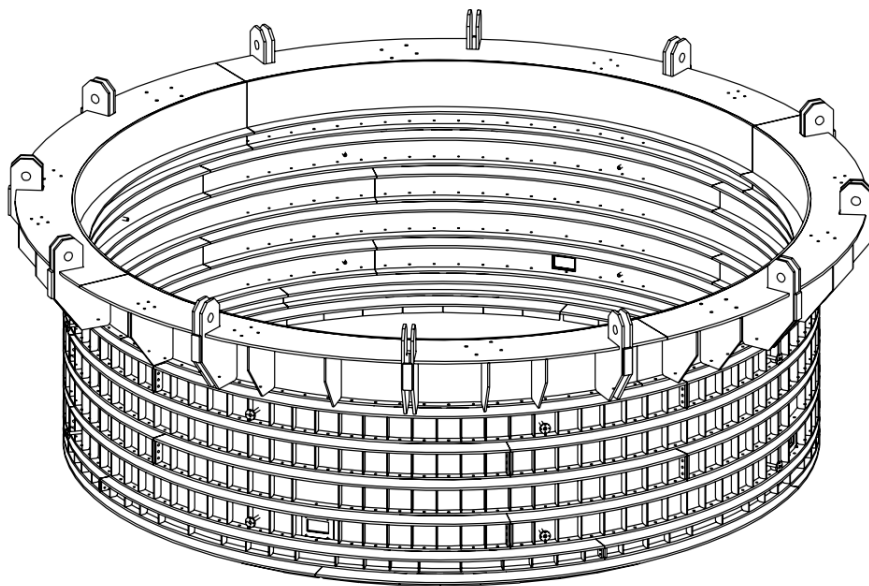
Toodetud kiirsulatusahi koosnes neljast suuremast poltliidetest ja objektikeevistest kokku liidetavatest koostudest. Projekti maht oli 1085 tonni terast. Kogu projekt toodeti konstruktsiooniterasest margiga S355J2+N mis on heade tugevusomadustega, sitked ja hästi keevitatavad(tõmbetugevusega $R_m = 470...560 \text{ N/mm}^2$, voolepiiriga $R_e = 265 \text{ N/mm}^2$, purustustöö 27 J temperatuuril -20° , normaliseeritud +N)[3]. Materjali paksused varieerusid 10 millimeetrist kuni 40 millimeetrini. Esiteks on reaktioonišaht mis ripub vanni kohal, viimase servadele kinnituvad seinad ja lõpuks heitgaasi väljalaskeava mis ripub samuti nagu reaktioonišaht vanni kohal. Metso Outoteci sulatusahju illustreerib hästi Joonis 4. Üldtolerantsid olid antud standardi ISO 13920-B[4] järgi. Järgida tuli ka tootjapoolseid tolerantse mis olid antud koostamisjoonistel.



Joonis 4. Vasakul vannide kohal on reaktioonišaht ja paremal heitgaaside väljalaskeava.

2.1. Reaktsioonišaht

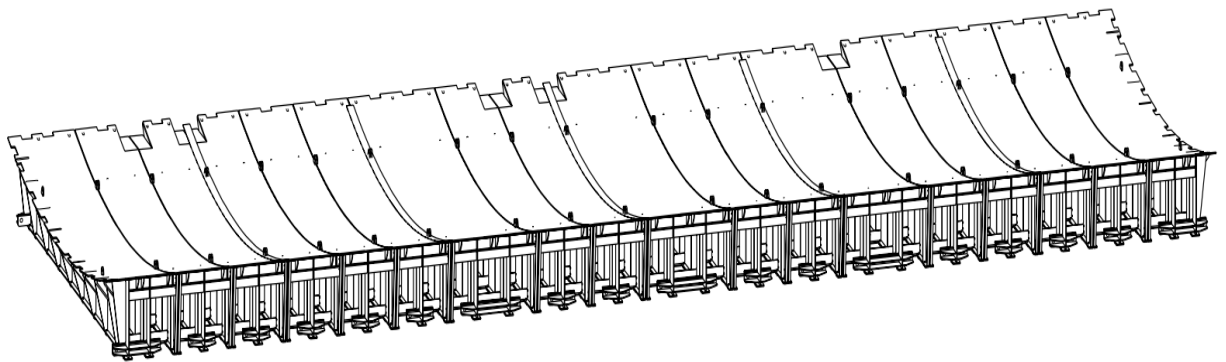
Reaktsioonišaht (Joonis 5) koosneb neljast I-ristlõikega identsete mõõtmetega rõngast mis omakorda koosnevad neljast sektorist. Lisaks on veel suurem rõngas mis koosneb samuti neljast sektorist ja üks väiksem T-ristlõikega neljast sektorist rõngas. Rõngad toodetakse konstruktsiooniterasest S355J2+N. Materjali paksused rõngastel varieerub 20 millimeetrist kuni 30 millimeetrini. Rõngaste kogu mass on 36t Rõngaste ülemise ja alumise vöö omavaheline mõõt peab jääma kindlasti tellija nõutud tolerantside piiresse kuna reaktsioonišaht voodertatakse objektis seest spetsiaalsete ahjukividega mis peavad kindlasti vööde vahele ära mahtuma. Objektis on kõik rõngad omavahel liidetud poltidega ja rõngaste vööde vahel on vasest vesijahutuselemendid. Antud lõputöös täiustatakse siis reaktsioonišahti rõngaste tootmistehnoloogiat. Seda siis koostamisrakise ja koostamis- ja keevitustehnoloogia väljapakkumisega.



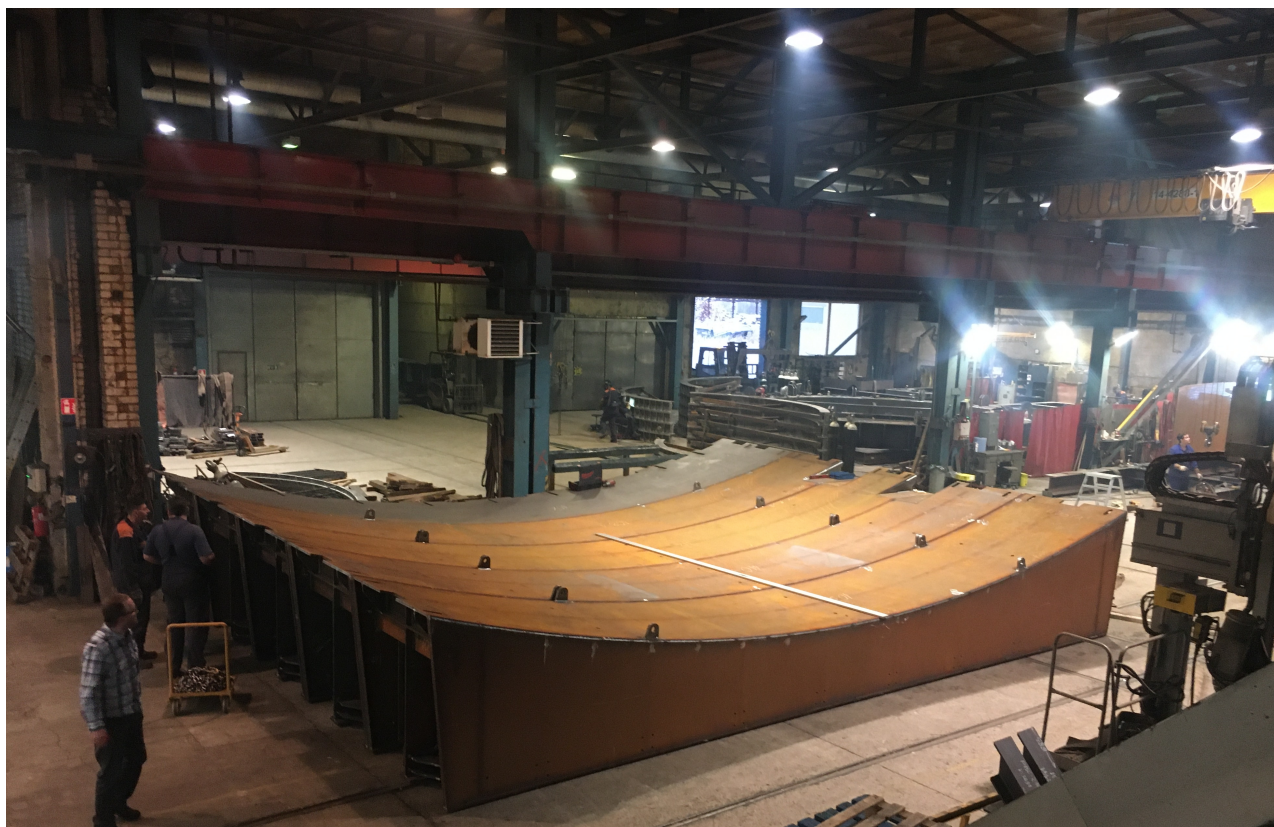
Joonis 5. Reaktsioonišaht

2.2. Vann

Reaktsioonišahti ja heitgaaside väljalaskeava all asub vann millese langeb reaktsioonišahtist sula maak. Vann koosneb omavahel kokkupolditud 18-st koostust. Mõõtmetelt on vann 31 meetrit korda 10 meetrit, vanni serva kõrgus on 1,7 meetrit ja põhi on maapinnalt 0,87 meetrit. Vanni jahutatakse erinevalt reaktsioonišahtist õhuga ja selle servadele kinnituvad omakorda seinad. Vann toodetakse samuti konstruktsiooniterasest S355J2+N. Kõikidele vanni koostudele tehti enne pinnatöölusesse võtmist proovikoostamine, et tagada koostude kokkusobivus. Nagu eelpool mainitud siis vanni jahutatakse erinevalt seintest ja reaktsioonišahtist vee asemel õhuga.



Joonis 6. Kokkupolditud vann

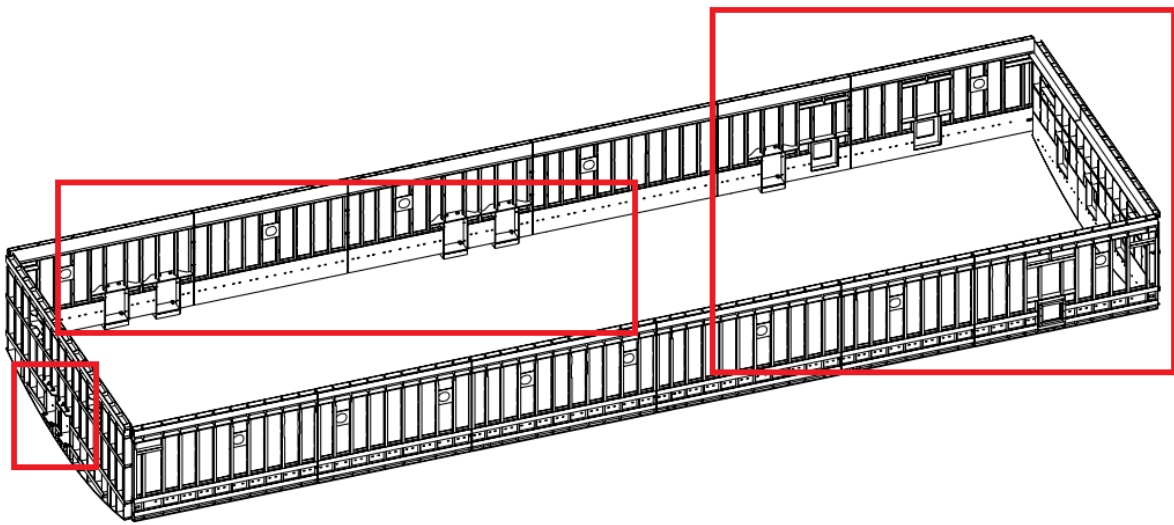


Joonis 7. Vanni proovikoostamine.

Kuna kogu vann oli oma mõõtmetelt nii suur teostati proovikoostamine(Joonis 7) viie vanni sektsiooni kaupa. Et kõik vannid kokku sobiksid tehti proovikoostamine selliselt, et see vanni sektsioon mis oli viiest sektsioonist viimane sellega alustati järgnevat proovikoostamist. See tähendab, et Joonisel 7 kõige eesmine vanni sektsioon oli see, millest alustati järgneva viie sektsiooni proovikoostamist.

2.3. Seinad

Vanni servadele kinnitatakse poldidega seinad mis omavahel ühendatakse samuti poldliitega. Ainult otsaseinad keevitatakse omavahel keskelt kokku. Küljeseinad koosnevad 12 omavahel poldidega liidetavast koostust. Otsaseinad koosnevad kahest omavahel kokkukeevitatavast koostust. Seinasid jahutatakse samamoodi nagu reaktsioonišahti vasest vesijahutuselementidega. Seinade mõõtmed kokkupolditult on: 31x10x2,7 meetrit. Materjalina on kasutusel konstruktsiooniterasest S355J2+N.



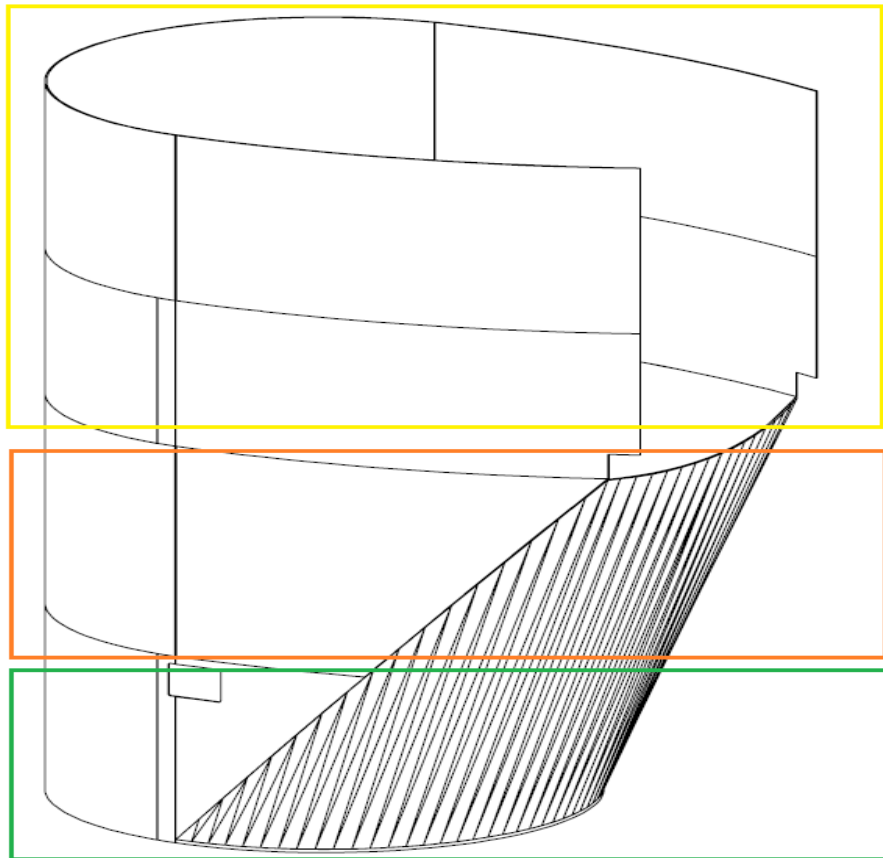
Joonis 8. Kokkupolditud seinad.

Punaste kastidega(Joonis 8) on tähistatud tehnoloogilised avad seintes, millest ühtede kaudu liigub sulatusahjust välja sulamaak ja teiste kaudu põlemisprotsessist tekkiv räbu

2.4. Heitgaaside väljalaskeava

Heitgaaside väljalaskeava koosneb 15 koostust mis kõik keevitatakse omavahel objektil kokku. Tootmise käigus ehitati Maru Metallis väljalaskeava koostamiseks spetsiaalne töölaud, millele hakati tükk haaval väljalaskeava koostama. Kuna kogu konstruktsioon oli mõõtmetelt kõrge, tuli seda koostada kolmes jaos. Esimene osa koostati lõplikult valmis ja keevitati ära väljalaskeava ülemine osa(kollasega tähistatud vaata Joonis 9). Ja seejärel oranžiga tähistatud osa ja viimasena rohelisega tähistatud osa.

Kui kõik osad olid koostatud ja keevitatud tehti tervele väljalaskeavale õues proovikoostamine(Joonis 12), et tagada kolme osa kokkusobivus objektil.



Joonis 9. Jooniel on erinevate värvidega eraldatud osad väljalaskeavast, mis koostati



Joonis 10. Väljalaskeava esimese osa koostamine.



Joonis 11. Teise osa koostamine.

Punase kasti sees(Joonis 10.) on näha spetsiaalne töölaud väljalaskeava koostamiseks. Joonisel 11 on väljalaskeava kõige keerulisem koost. Esialgu plaaniti esiplaanil olev painutatud detail saata objekti ühes tükis. Aga kuna nii suur detail nõuab erivedu siis sellest plaanist loobuti.



Joonis 12. Proovikoostamine.

Õues tehtud proovikoostamine(Joonis 12.) toimus samuti mitmes osas, kuna muidu oleks kogu konstruktsioon oma kõrgus olnud nii kõrge, et järgnevate osade paika tõstmiseks oleks puudu jäänud tõsteressurssi.

3. TOOTMISPROTSESSIDE PARENDAMINE

Antud töö selles staadiumis vaadatakse aste-astmelt üle terve tootmisüksuse protsesside parendamise ja produktiivsuse tõstmise võimalused. Eesmärk – vähendada mitte ainult keevitusosakonna tootmisaega, vaid ka teiste osakondade tootmisajad viia vastavusse keevitusosakonna tootmisaegadega. Kui seda ei tehta siis on tagajärjeks see, et keevitusosakond toodab kiiremini kui ettevalmistusosakond toorikuid ette suudab toota ja teiselt poolt hakkab kuhjuma valmistoodang pinnatööstlusosakonna ladustamisalale. See ei ole kuidagi kooskõlas produktiivse tootmisega kui ühes tootmisüksuse lõigus tehakse muudatusi ja selle tulemusel tekib tootmisüksuse teistes osakondades hoopis vastupidine reaktsioon produktiivsuse tõusu asemel see hoopis langeb.

3.1. Materjali osa parendamine

Üldiselt tarnitakse toormaterjal tarnijatelt puhastamata kujul. Kuumvaltsitud terase pinnal on šlaki kiht mis tekib terase valtsimisel. Rooste hulk terase pinnal sõltub sellest kui kaua ja millistes tingimustes teras on kaitseta seisnud. Roostese ja šlakise pinnaga toormaterjal halvendab lõigatud tooriku kvaliteeti, keevituse kvaliteeti ja suurendab ajakulu, vajab lisaaega puhastamiseks ja värvimiseks ettevalmistamisele.

Tootmisprotsesside efektiivsuse tõstmiseks on vajalik eelpuhastatud lehtmaterjali kasutamine.

Rooste ja šlaki eemaldamise meetodid jagunevad mehhaanilisteks, termilisteks ja keemilisteks. Mehhaaniline meetod on kõige levinum ja kõige kättesaadavam. Mehhaanilised puhastusmeetodid, mida käsitleb standard ISO 8504[5], on terasharjamine ja terashaavlitega puhastamine. Viimast rakendatakse antud lõputöös lehtede eelpuhastamiseks. Arvestatakse, et puhastusastmed SA 2½ ja SA 3 on tehnoloogiliselt kõige efektiivsed tootmise kasutamisel. Sulatusahjude korral võetakse kasutusele puhastusaste SA 2½.

As Maru Metall tootmises on olemas rullkonveiertüüpi haaveldusautomaat toorikutele mõõtmatega 500x520x18000 mm, millega puhastatakse detailid enne keevitusosakonda liikumist. Kuna antud lõputöös on kasutusel suuremalt jaolt lehtmaterjalist toodetav konstruktsioon on mõistlikum variant osta tarnijalt haaveldatud teraslehtesid. Sest olemasoleva seadme tooriku gabariidid ei võimalda tervet lehte puhastata ja toorikute transportimine osakonna kahe löövi vahel on majanduslikult

ebamõistlik. Samuti võib teatud hetkedel jääda puudu haaveldusautomaadi ressursi, kuna samal ajal on ettevalmistuses töös teised tellimused. Haaveldatud teraslehtede kasutamine CNC plasmalõikepingil toob väikese kokkuhoiu lõikeseadme tarvikutelt. Eelpuhastatud lehe lõikamisel ei satu lehe kuumutamisel lendama hakkavad šlakiosakesed lõikedüüsile mis vähendab lõikedüüsi eluiga.

Samuti saadakse kokkuhoid hiljem peale keevitust ja enne värvimist tehtavalt terashaavelduselt, sest suurem osa keeviskoostu pinnast on eelnevalt puhastatud. Haaveldada tuleb ainult keevised ja keeviste kõrvalt ala mis on keevitamise käigus kaetud pritsmetevastase aerosooliga ja sellele jäänud keevitamisel eralduv tahm.

3.2. Koostamis osa parendamine

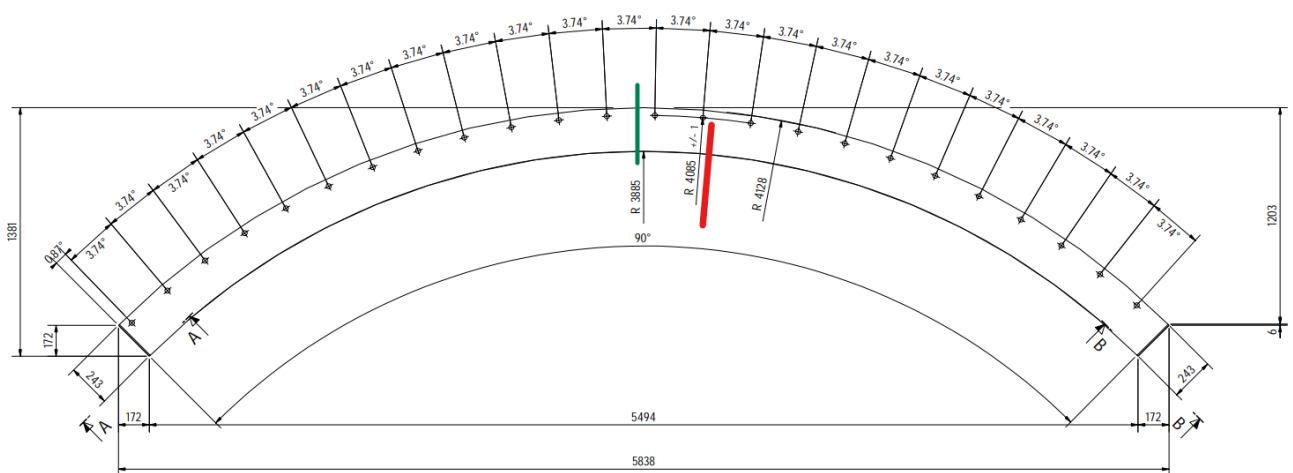
Tänapäevased lõikeseadmed näiteks plasmalõikepingid, profiililõikepingid viimased olgu kas siis plasmalõikus tehnoloogial või laserlõikus tehnoloogial. Võimaldavad lõigatavatele detailidele, koostamise tarbeks markeerida detailide asukohad. Selliselt markeeritud detail, kas siis lehtmaterjalist või profiilmaterjalist, millest hiljem koostataks keeviskoost lihtsustab oluliselt koostajate tööd. Koostajate tööd lihtsustab ka eelpuhastatud materjali kasutamine kuna jääb ära vajadus nurklihvijaga puhastada keevitatavate sõlmede alt. Koostamise osa parendamist hõlmab ka koostamisrakise projekteerimine, millest on juttu järgnevates peatükides.

3.3. Keevitamise osa parendamine

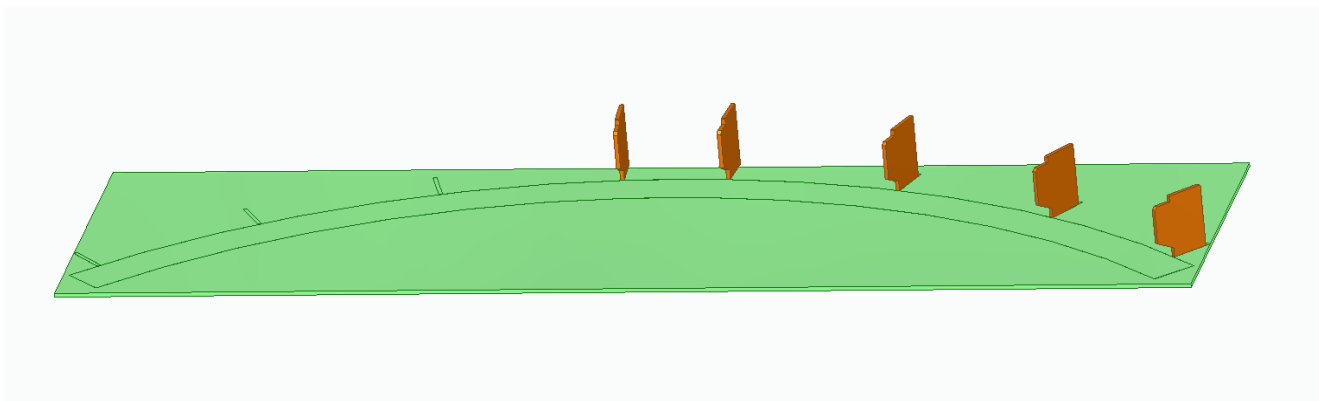
Keevitus osa kõige tähelepanuväärsem parendamine seisneb siis just nagu kahes eelnevas peatükis mainiti - eelpuhastatud materjali kasutamine. Ajaline võit saavutatakse kvaliteetsemate keevistega, see tähendab vähem aega kulub mittevastavustega tegelemisele ja haaveldatud materjali korral toimub kaarleegi põlemisprotsess keevisvannis efektiivsemalt kuna segavaid šlaki- ja roosteosakesi on vähem, kui üldse.

4. RAKISE PROJEKTEERIMINE

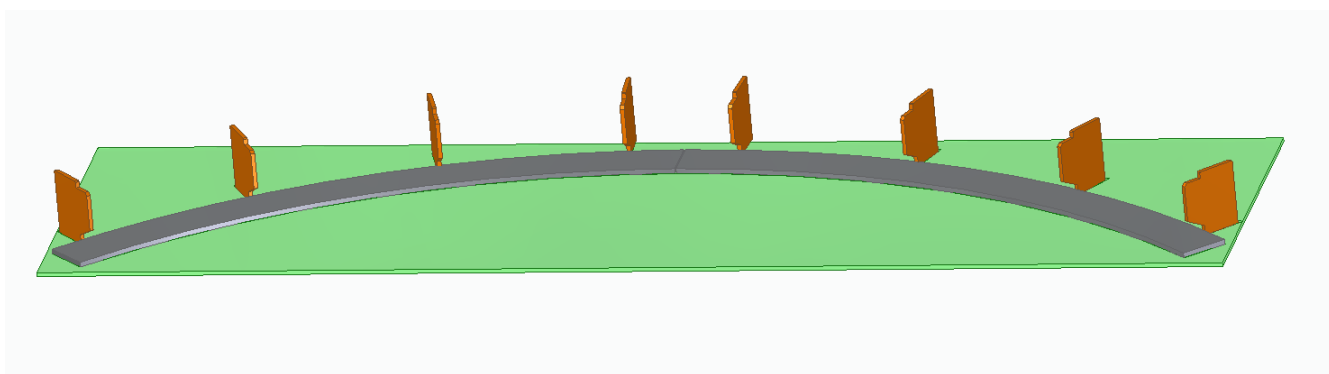
Rakis projekteeritakse rektisioonišahti rõngaste koostamise hõlbustamiseks. Projekteeritav rakis on oma olemuselt hästi lihtne ja väga kasutajasõbralik. Koosneb ühest alusplaadist ja kaheksast positsioneerimis/tugi plaadist. Alusplaadile on CNC plasmalõikepingiga markeeritud rõnga ühe sektori täpne raadius ja positsioneerimis/tugi plaatide asukoht. Kuna koostejoonistel on eraldi nõue avade raadius mõõdule aitab projekteeritav rakis tagada, et antud tolerantsid on tagatud. Rakis on vajalik veel selleks, et rõngaste vööde ettevalmistusosakonnas lõikamise käigus tuli neile teha juurde üks jätk, kuna tervete vööde paigutamine lõikepingi layoutile tekitab ebamõistlikult suure jäägi koguse. Rakise kasutamine aitab tagada detaili õige raadiuse hilisemas jätkude koostamise faasis keevitusosakonnas. Rakise tootmiseks kasutatakse töös oleva tellimuse mida hetkel täidetakse, tarbeks tellitud lehtmaterjali. Rakise detailid lõigatakse välja ja markeeritakse, rakis koostatakse. Sellel toodetakse kõik rõngate sektorid ja hiljem rakis lõigatakse lahti alusplaat puhastatakse ja sellest toodetakse tellimuse järgnevate etappide detailid.



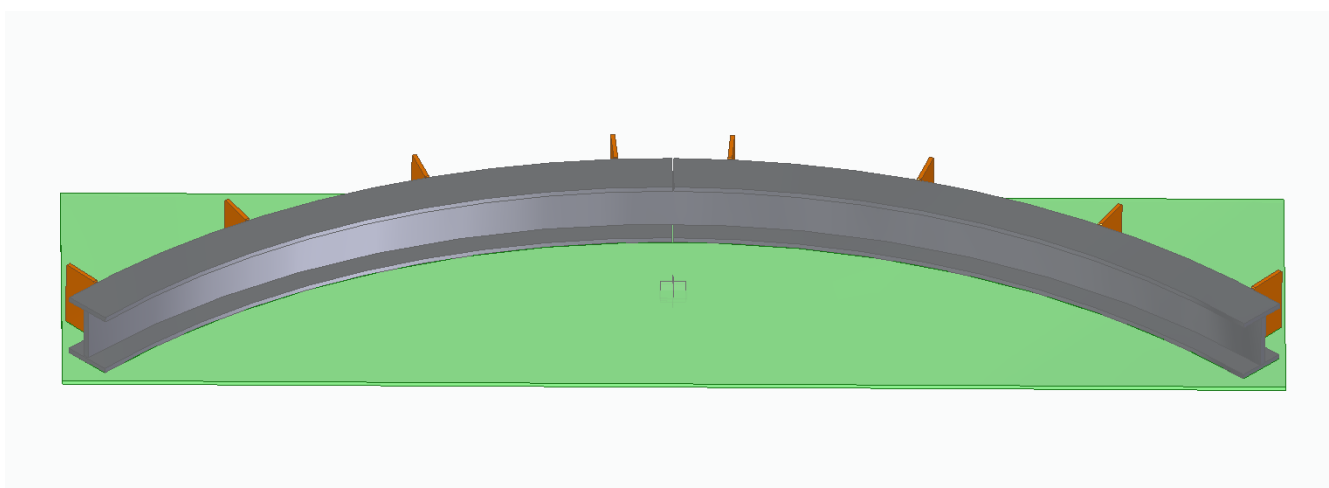
Joonis 13. Avade tolerantsi nõue(punasega), jätku asukoht(rohelisega)



Joonis 14. Rakise alusplaat ja positsioneerimis/tugi plaadid



Joonis 15. Rõnga ühe sektori vöö paigutatud rakisesse



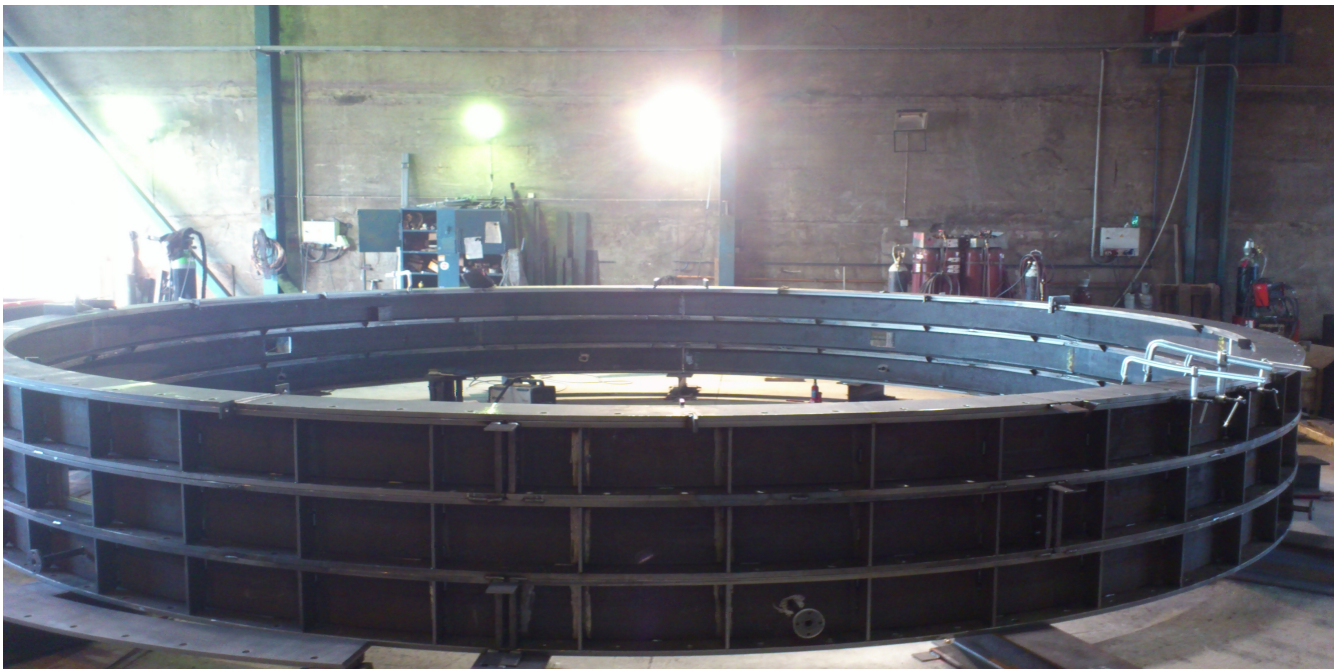
Joonis 16. Rõnga üks sektor rakises

5. KOOSTAMIS- JA KEEVITUSTEHNOLOOGIA

Antud lõputöö peatükis kirjeldatakse koostamis- ja keevitustehnoloogiat, mis aitab luua sellist laadi suure mõõtmeliste konstruktsioonide tootmisel parema tööjõuressursi ja tehase põrandapinna(töökohtade) efektiivse planeerimise ja kasutamise. On ebamõistlik hoida suuremat hulka koostamise ressursi ja keevitamise ressursi hõivatud ühe projekti peal.

5.1. Koostamistehnoloogia

Varasemate tellimuste tootmisel ei ole kasutatud ühtegi tootmist lihtsustavat ja produktiivsust tõstvat tehnoloogilist lahendust. Väljaarvatud ehk Tšiili tellimuse korral kui reaktsioonišahti rõngaste sektorid koostati mitte tervete rõngastena üksteise otsa(illustreerivad Joonis 17 ja 18). Vaid sektorite kaupa koostaja töölauale maha märgitud täpse raadiuse järgi. Keevitamine toimus täpselt samuti nagu koostamine, sektorite haaval. Et sektorid keevitamise käigus ei kaotaks oma raadius mõõtu seoti sektori otsad omavahel ära 100x100x8 mm nelikanttoruga. Kontrollimaks, et koostatud ja keevitatud rõngad on identsete raadiustega tehti keevitamise vahel kolmele rõngale proovikoostamine selliselt, et kahe koostatud rõnga vahele pandi keevitatud rõngas ja kontrolliti avade sobivust(Joonis 19 ja 20).



Joonis 17. Rõngaste koostamine üksteise otsas



Joonis 18. Rõngaste koostamine üksteise otsas

Joonistelt 17 on näha, et õige raadiuse tagamiseks tuleb rõngaste vöösid kuumutada ja teiste abivahendite nagu näiteks pitskruvid ja kiilud abil paika ajada.



Joonis 19. Proovikoostamine selliselt, et kaks rõngast(ülemine ja alumine) on keevitamata ja üks keevitatud(keskmine)



Joonis 20. Proovikoostamine selliselt, et kaks rõngast(ülemine ja alumine) on keevitamata ja üks keevitatud(keskmine)

Koostamistehnoloogia täiustusena esitatakse antud lõputöös järgmine lahendus. Järgnevate tellimuste korral markeeritakse CNC plasmalõikepingiga väljalaskeava kõikidele suurtele valtsitud detailidele temaga ühte koostu kuuluvate detailide asukohad, mis lihtsustab tunduvalt koostajate tööd ja kiirendab koostamisprotsessi. Reaktsioonišahti rõngaste tootmise tarbeks valmistatakse antud töös projekteeritud rakis ja kõik rõngaste sektorid koostatakse selles rakises.

5.2. Keevitustehnoloogia

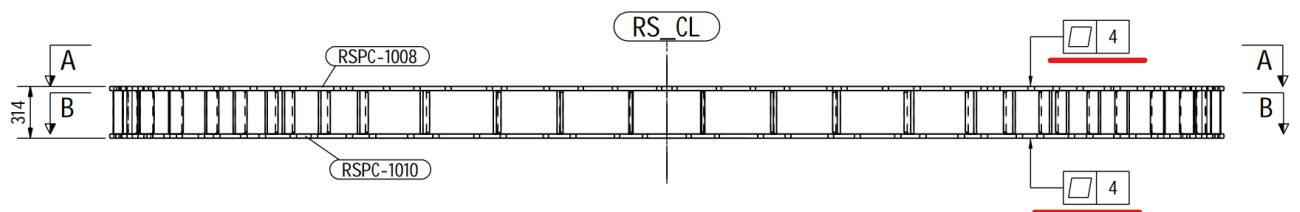
Kuna siis täiustatud keevitustehnoloogia näeb ette, et rõngaid keevitatakse mitte tervete rõngastena üksteise otsa kokku koostatuna (Joonis 21) vaid sektorite (Joonisel 22 punase kasti sees olev keeviskoost) haaval on väga tähtis, et tagatakse tasapinnalisuse [3] nõue (Joonis 23) ja iga sektori täpne raadius, et tagada hilisema proovikoostamise käigus rõngaste kokkusobivus ja hiljem ka objektil. Sektorite haaval keevitamine on keevitajate seisukohalt oluliselt parem lahendus kui tervete rõngaste keevitamine, kuna keevitajad saavad töötada ergonoomilises asendis nad ei pea põlvitama või olema täiesti pikali betoonil (Joonis 24). Teine äärmus on see, et üksteise otsa koostatud rõngaid peavad keevitajad keevitama kolmeastmeliselt harkredelilt või madalamalt tellingult. Tähtis osa tasapinnalisuse tagamisel on korrektne keevisläbimite keevitamise järjekord (Joonis 25). keevitamise järjekorrast kinnipidamine tagab ka selle, et rõngaste ülemine ja alumine vöö jäävad standardis EVS-EN 1090-2:2018 [6] nõutud hälbe piiresse ja kliendi tolereeritud hälbe piiresse. Raadiuse tagamiseks paigaldatakse sektori otste vahele 100x100x8 mm nelikanttoru, mis objektis peale sektorite rõngaks koostamist ja keevitamist eemaldatakse.



Joonis 21. Tervete rõngastena kokkukoostatud rektsooni šaht



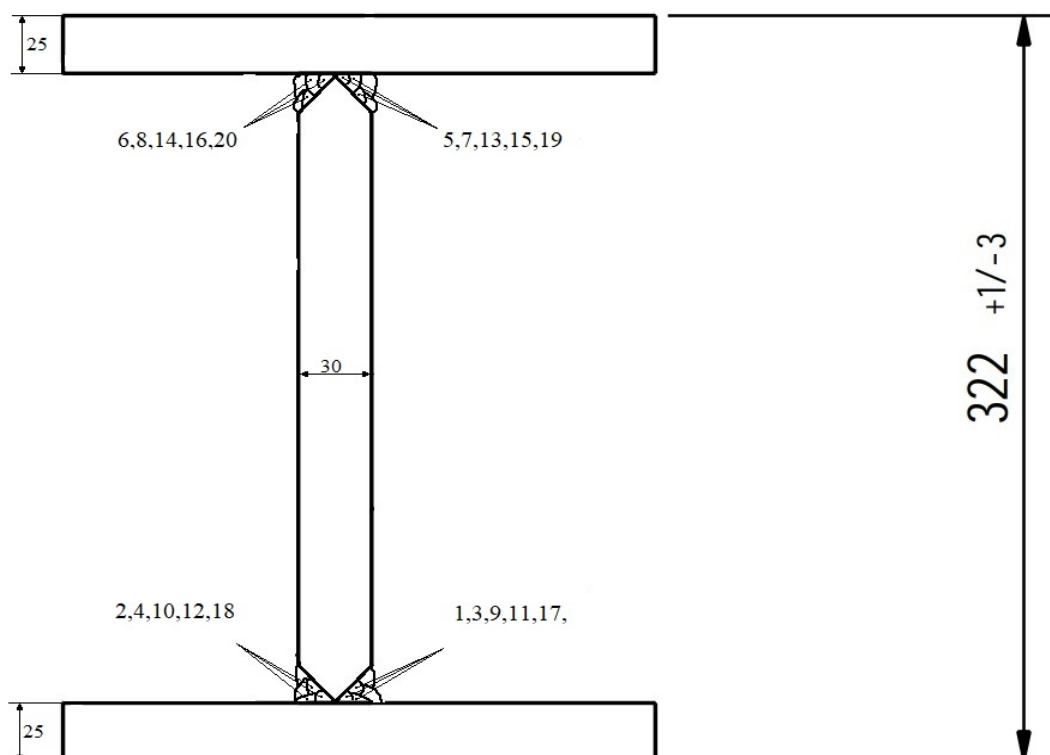
Joonis 22. Rõnga sektorid ladustatuna üksteise otsa



Joonis 23. Tasapinnalisuse nõue[3]



Joonis 24. Ebaloomulik keevitaja tööasend



Joonis 25. Kevitusjärjekord

6. MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Selles peatükis vaadatakse üle kõik tootmise etapid majanduslikust aspektist lähtudes, et hinnata kuidas teoreetiliselt olemasolevas töös pakutud muudatused mõjutavad tootmise produktiivsust ja kas selliste muutuste juurutamine on majanduslikult põhjendatud. Kuna baasettevõtte finantsandmed ei ole kolmandatele isikutele avaldamiseks võetakse aluseks arvutuste tegemisel ligikaudsed informatiivsed väärtused. Ettevõtte töötunni hinnaks võetakse keskmiselt 36 eur/tunnis, milles sisaldub töölise tunnitasu, tööjõumaksud ja üldkulud.

Koostamise aeg sõltub detailide arvust ja nende mõõtmetest. Suurematele kui 1300 mm detailidele, võetakse ajanormiks 65 minutit detaili kohta, väiksematele detailidele 40-45 minutit detaili kohta, haaveldatud materjali korral väheneb ajanormi väärtus 5% võrra.

Keevituse aeg arvutatakse keeviste läbimite pikkuste põhjal, kus 135 protsessi puhul on võetud normiks 15 minutit keevisõmbluse meetri kohta. Haaveldatud materjalide korral keevise aeg väheneb umbes 5% võrra, ehk siis 135 protsessi kiirus on 14,25 min/m.

6.1. Haaveldatud lehtmaterjali kasutamine

Haaveldatud lehtmaterjali kasutamisel lisandub projekti eelarvesse hinnaguliselt $5345 \times 2 = 10690$ eurot. Tellides materjalitarnijatelt haaveldatud lehtmaterjali lisandub materjalile puhastuse hind 2 eur/m². Kiirsulatusahju tootmiseks kulub ligikaudselt 6419 ruutmeetrit materjali. Haaveldatud materjali kasutamisest tekkinud lisakulu teenitakse enamvähem tagasi koostamise ja keevitamise produktiivsuse tõusuga, mis on kokku 10%. Tootmisplaanist(Joonis 26) lähtuvalt näeme, et reaktsioonišahti tootmine läks üle eelarvestatud tundidest 22%. Mis teeb projekti kogu töötundide kuluks 2935 tundi. Ülekulu on 535 tundi. Kui võtame aluseks haaveldatud materjali kasutamisest saadud produktiivsuse tõusu 10% näeme, et planeeritust üle läinud tunde vähendame 293 tunni võrra(Joonis 27). Arvutades vähendatud tunnid läbi ettevõtte töötunni hinnaga saame $293 \times 36 = 10548$ eurot.

OUTOTEC OYJ		N46				Elmest plaadid N40					3.4	4.63	0.9	14	8	27.1	2
20	- kr	ok	41	17	62	8			3	1			1				56%
	500	eelarve 600	41	17	62	8			3	1			1				220
	32.6	ok	9.4	8.7	4.1						(30mm)	0.1					-3
näiteks EP80/1		ok	48	216	179	444	347	300	321	240	118	120	120	229	225	28	122%
0.013	2,400	eelarve 2400	48	216	179	444	347	300	321	240	118	120	120	229	225	28	-535
2		ok									52	59	23	197	100	289	100%
2	766							test	test		52	59	23	197	100	289	

Joonis 26. Tootmisplaan. Keevitusosakond on kulutanud 22% üle eelarvestatud tundide.

OUTOTEC OYJ	N46	ribad valtsimisse (plasma + faas Elmest plaadid N40										3.4	4.63	0.9	14	8	27.1	2	
20	ok	57	46	45	41	17	62	8		3	1			1				56%	
	eelarve 600	57	46	45	41	17	62	8		3	1			1				220	
	ok	1.8	4.5	7	9.4	8.7	4.1					(30mm)	0.1					-3	
näiteks EP80/1	ok				48	216	179	444	347	300	321*	240	118	120	120	229	225	28	109%
0.013	eelarve 2400				48	216	179	444	347	300	321*	240	118	120	120	229	225	28	-214
2	ok											52	59	23	197	100	289		100%
2										test	test		52	59	23	197	100	289	

Joonis 27. Tootmisplaan. Rakendatud on 10% kokkuhoid, mis saavutatakse haavldatud materjali kasutamisest.

6.2. Rakise ja keevitustehnoloogia kasutamisest saadav produktiivsuse kasv

Projekteeritud rakise kasutusele võtuga saavutakse produktiivsuse kasv 13%, kuna koostamine on rakisest tulenevalt oluliselt lihtsustatud. Koostajal ei ole vaja koguaeg kontrollida kas rõngaste läbimõõt on tolerantside piires. Rakisega tootes kehtib nõue, et kontrollida tuleb iga kolmas rakis toodetud koost. Sektorit on lihtsam üle mõõta kui tervet rõngast. Rakise tarbeks ei ole vaja eraldi materjali tellida. Rakis lõigatakse sama projekti hiljem toodetavate detailide tarbeks tellitud materjalist. Oleks majanduslikult ebamõistlik teha kulutusi rakisele mida kasutatakse iga nelja-viie aasta tagant. Erinevatel tellimustel võib juhtuda, et rõngaste raadius on ka erinev siis ei saa eelneva projekti rakist järgneval kasutada.

Keevitustehnoloogia kasutuselevõtmine võimaldab tootlikust tõsta 5% kuna sektorite kaupa keevitamine võimaldab keevitada kõik keevised allasendis ehk põrandasend. Tootlikust vähendab sektorite kaupa keevitamisel keevitusjärjekorra tagamine. Sellest tulenevalt on vaja sektorit töölaual kantida, et ei tekiks ühes keevitustsoonis liigset soojussisestust mille tulemusel võid keeviskoost deformeeruda. Keevitustehnoloogia rakendamine annab võimaluse ka keevitada ainult täistraadiga. Kui varasemalt tuli keevitajatel keevitada pooled keevised laeasendis, mis nõudis parema tootlikuse ja kvaliteetsemate keeviste saavutamiseks täidistraadiga keevitamist mille hind kilo kohta on 58% kallim(Tabel 1) kui täistraadil siis nüüd saavutatakse kokkuhoid ka lisamaterjalilt.

Tabel 1. Keevituse lisamaterjali hinnaerinevus reaktsioonišahti ühele rõngale

Lisamaterjali mark	Täidistraat OK Tubrod 14.11	Täistraat OK AristoRod 12.50	Vahe
Hind eur/kg	7,40	4,70	
Lisamaterjali kulu, kg	480	465	
KOKKU, EUR	3548	2183	1365

OUTOTEC OYJ	NN - Reaction Shaft		N46				Elmest plaadid N40						3.4	4.63	0.9	14	8	27.1	2
20	Materjal/Toor.tegelik	- kr	ok	41	17	62	8		3	1				1				56%	
	Toorikud	500	eelarve 600	41	17	62	8		3	1				1				220	
	Toorikud PL TONNID	32.6	ok	9.4	8.7	4.1						(30mm)	0.1					-3	
näiteks EP80/1	Keev. tegelik		ok	48*	216*	179*	444	347	300	321	240	118	120	229	120*	225*	28*	88%	
0.013	Keevitus	2,400	eelarve 2400	48*	216*	179*	444	347	300	321	240	118	120	229	120*	225*	28*	281	
2	Viim. tegelik		ok									52	59	23	197	100	289	100%	
2	Viimistlus	766						test	test			52	59	23	197	100	289		
	Kokku																		

Joonis 38.

Viies sisse tootmisplaanis(Joonis 28) rakise ja keevitustehnoloogia kasutamisest tingitud produktiivsuse kasvu näeme, et eelarvestatud tundidest võimalik kokkuhoida veel 286 lisatundi. Kogu kokkuhoid reaktsioonišahti tootmiskuludelt on 28%. Mis võrdub ajaliselt 821 töötundi. Kui arvutame selle töötundide arvu läbi ettevõtte keskmise töötunni hinnaga tuleb reaktsioonišahti kokkuhoiuks 29 556 eurot.

Tabel 2. Tundide kulu võrdlus enne ja pärast muudatuste rakendamist.

Võrdluskoht	Enne muudatust	Pärast muudatust	Vahe
Koostamine(rakis ja haaveldatud materjali kasutamine)	978h	704h	-274h
Keevitamine(haaveldatud materjali kasutamine ja keevitustehnoloogia kasutamine)	1956h	1408h	-548h
KOKKU:	2935h	2112h	-822h

KOKKUVÕTE

Antud lõputöös tõestati, et tootmistehnoloogiate täiustamisel ja rakiste kasutamisel on võimalik saavutada kokkuhoidu tootmiskuludelt. Teema on väga aktuaalne just kasvavate energiahindade ja tööjõukulu taustal. Väljapakutud lahendustega suudaks tootmisettevõtte keevitusosakonnas kokkuhoida 28% ajalist ressurssi. Esiteks siis haaveldatud materjali kasutamisega, mille tulemusel väheneb tööaeg nii koostajatel kui keevitajatel. Koostamise lihtsustamiseks projekteeriti rakis, mis tõstab oluliselt koostamise produktiivsust. Kuna rakis on oma olemuselt hästi lihtne ja rakise materjalina kasutatakse töös oleva projekti tarbeks tellitud materjali, mis hiljem lõigatakse detailideks kulub rakisele ainult ettevalmistuse tarbeks vajalik lõikusaeg CNC plasmalõikepingil. Eraldi materjali pole vaja rakise tarbeks realiseerida. Koostamis- ja keevitustehnoloogia rakendamisel kasvab keevitajate tootlikus ja keevitajatel on võimalus töötada ergonoomilistes tööasendites. Samuti võimaldab keevitustehnoloogia kasutuselevõtt keevitada rõngaste kõik keevisõmblused täistraadiga, mille hind on tunduvalt soodsam kui varasemate tellimuste korral kasutatud täidistraadil. Väljatöötatud lahendused aitavad tulevikus eelarvestajatel koostada täpsemaid eelarveid ja tootmisplaneerijatel on tunduvalt lihtsam planeerida osakondade tööd.

SUMMARY

This Bachelors thesis proved that it is possible to achieve savings on production costs by improving production technologies and using jigs. The topic is very topical especially against the background of rising energy prices and labor costs. The proposed solutions could save 28% of time resources in the welding department of the manufacturing company. First of all, with the use of shot-blasted material, as a result of which the working time of assemblers and welders is reduced. To simplify assembly, a jig was designed, which significantly increases the productivity of assembly. Since the jig is very simple in its nature and the material ordered for the ongoing project is used as the jig material, which is later cut into details, the jig only needs the cutting time necessary for preparation on a CNC plasma cutting machine. It is not necessary to realize a separate material for the use of the jig. When applying assembly and welding technology, the productivity of welders increases and welders have the opportunity to work in ergonomic working positions. Also, the introduction of welding technology makes it possible to weld all the welds of the rings with solid wire, the price of which is much cheaper than the filler wire used in previous orders. The developed solutions will help budgeters prepare more accurate budgets in the future, and it will be much easier for production planners to plan the work of departments.

VIIDATUD ALLIKAD

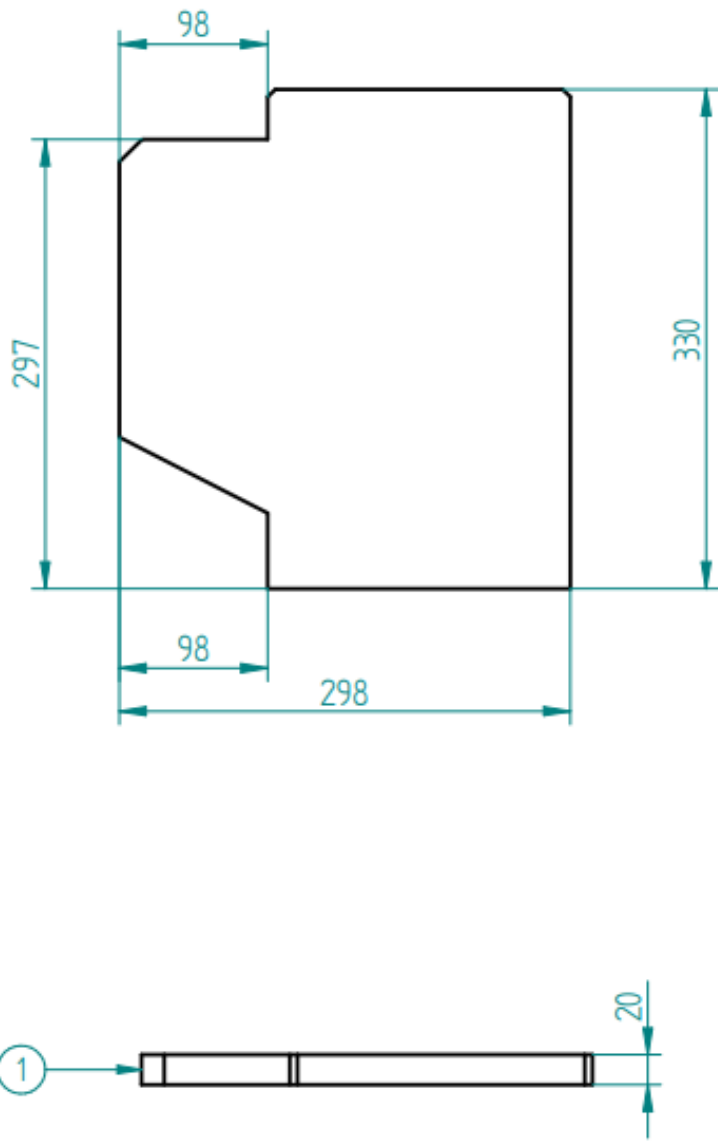
- [1] „<http://maru.ee/struktuur/maru-metall-as/>,” Maru Metall AS, 2018. [Võrgumaterjal].
- [2] U. Tärnpu, AS Maru Metall Töökorralduse käsiraamat, Protseduur TKM 0101/V6, Ardu, 2018.
- [3] Mehaanikainseneri käsiraamat. Priit Kulu . TTÜ kirjastus . Tallinn 2022
- [4] Standard EVS-EN ISO 13920:1999, „Keevitus. Keeviskonstruktsioonide üldtolerantsid. Pikkuste ja nurkade väärtused. Kuju ja asendid.”
- [5] Standard EVS-EN ISO 8504-2:2019, „Terassubstraatide ettevalmistamine enne värvide ja seotud toodete pealekandmist. Pinna ettevalmistamise meetodid. Osa 2: Abrasiivne jugapuhastus.”
- [6] Standard EVS-EN ISO 1090-2:2018, „Teras- ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamine. Osa 2: Tehnilised nõuded teraskonstruktsioonidele”

LISAD

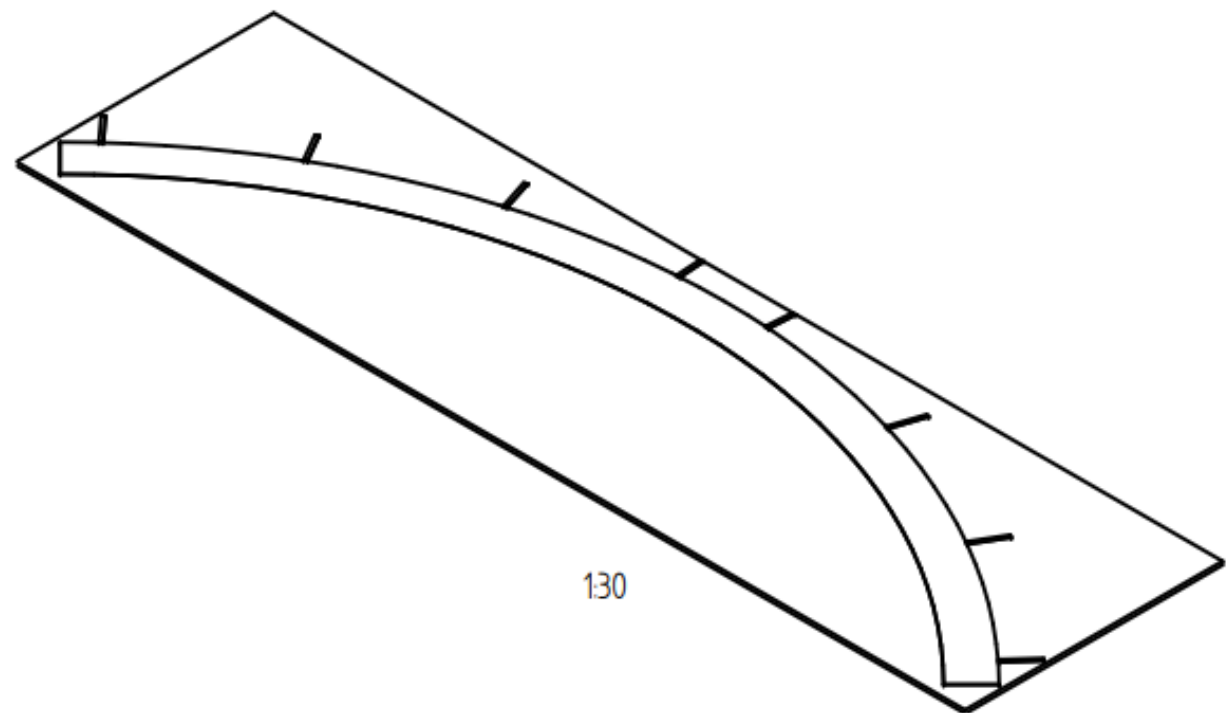
Lisa 1. Positsioneerimis/toeplaadi joonis

Lisa 2. Alusplaadi joonis

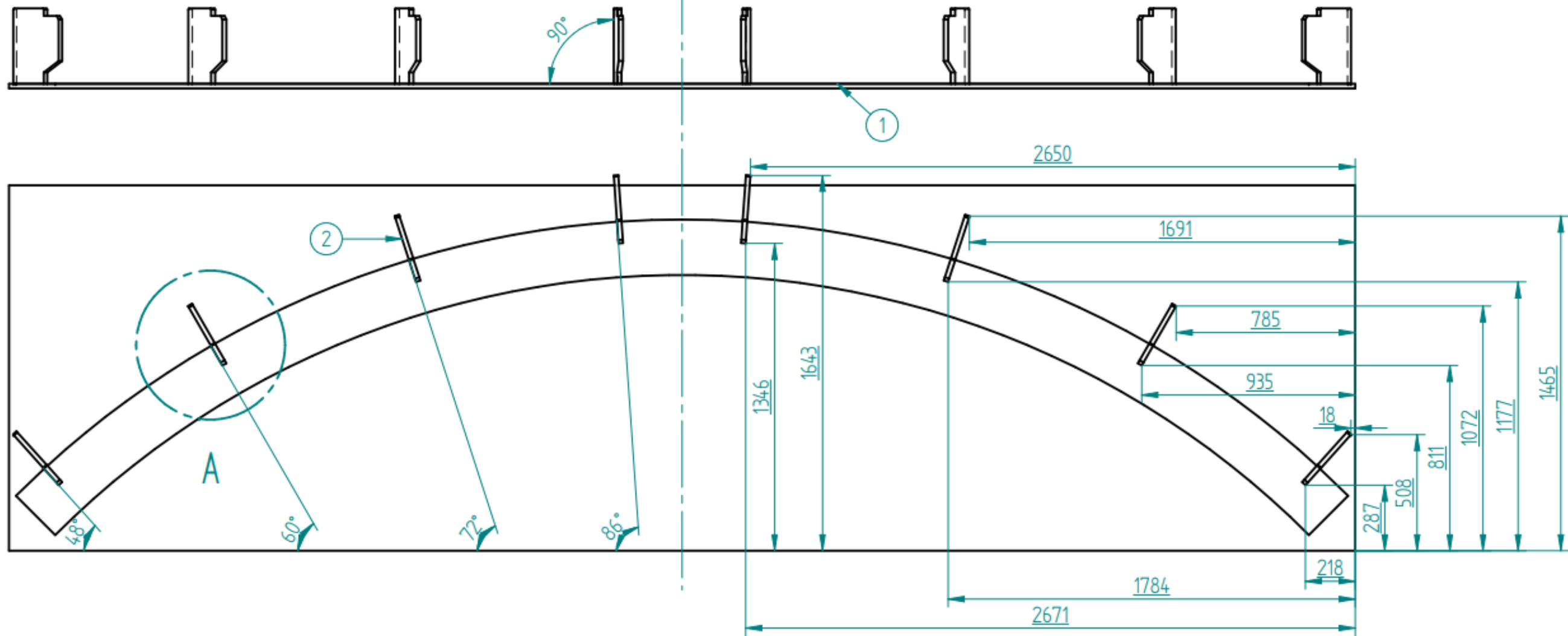
Lisa 3. Rakise koostejoonis



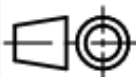
	Material: <i>Steel - Structural: I.0553, S355J0</i>		Unmarked tolerances: <i>ISO 2768 - mK</i>		Mass: <i>13.668</i>	Scale: <i>1:5</i>
	Prepared: <i>Martin Oras</i>		<i>Positsioneerimis/tugiplaat</i>			File: <i>002.18.04.23_0</i>
	Checked: <i>Peter Šverns</i>					
	Approved: <i>Madis Moor</i>					
 TALLINNA TEHNIKA KÕRGGKOL TEHNIKA KÕRGGKOL			Sheet: <i>1/1</i>	Document nr: <i>002.18.04.23D</i>	Rev.: <i>0</i>	<i>A4</i>



1:30



NB! Positsioneerimis/toeplaadid(002.18.04.23) paigaldada ettemarkeeritud asukohtadele! Plaadid keevitatakse alusplaadile nelja 40mm keevisõmblusega!

Item	Title	Part Number	Qty	Comments
1	Alusplaat	001.18.04.23	1	
2	Positsioneerimis/tugiplaat	002.18.04.23	8	
		Material: <i>S355J0</i>	Unmarked tolerances: <i>ISO 13920 - BF</i>	Mass: <i>1585</i> Scale: <i>1:20</i>
Prepared:	<i>Martin Oras</i>	<i>Rakise koostejoonis</i>		File: <i>007.18.04.23_0</i>
Checked:	<i>Peter Šverns</i>			
Approved:	<i>Madis Moor</i>			
 TALLINNA TEHNIKAKÕRGLKOO TÜK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Sheet: <i>2/1</i>	Document nr: <i>007.18.04.23D</i>	Rev.: <i>0</i> A3