



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Tööliini optimeerimine toodete arvu suurendamiseks
ettevõttes Fortaco Estonia OÜ**

**Working line optimization to increase the number of products in
Fortaco Estonia OÜ**

Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimise ÕPPEKAVA
LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Aleksei Mištšenko

Üliõpilaskood: 182698EDJR

Juhendaja: Veronika Shirokova,
programmijuht, vanemlektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“09” juuni 2022.

Autor: Aleksei Mištšenko
/ digiallkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele
“09” juuni 2022.

Juhendaja: Veronika Shirokova
/ digiallkiri /

Kaitsmisele lubatud
“20” mai 2022.

Kaitsmiskomisjoni esimees Veronika Shirokova
/ nimi ja digiallkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Aleksei Mištšenko (sünnikuupäev: 13.03.1993)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tööriini optimeerimine toodetud toodete arvu suurendamiseks ettevõttes Fortaco Estonia OÜ mille juhendaja on Veroonika Shirokova,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

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

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

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Aleksei Mištšenko, 182698EDJR

Õppekava, peeriala: EDJR16/17 - Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine, peeriala: masinaehitustehnoloogia

Juhendaja(d): Veroonika Shirokova, TalTech Virumaa kolledž, vanemlektor, programmijuht, veroonika.shirokova@taltech.ee

Kaasjuhendaja: Sergei Varganov, project manager Fortaco Estonia OÜ, sergei.varganov@fortacogroup.com

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tööliini optimeerimine toodetud toodete arvu suurendamiseks ettevõttes Fortaco Estonia OÜ

(inglise keeles) Working line optimization to increase the number of products produced in Fortaco Estonia OÜ

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade tootmise olukorrast Fortaco ettevõttes
2. Tutvustada ja analüüsida läbi viidud tegevusi
3. Tööliini optimeerimine toodangu suurendamiseks
4. Edasiste parendustegevuse ettepanekute tegemine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema valik	10.01.2022
2.	Tutvumine ettevõttega ja tööliini toodanguga, tootmisprotsessi analüüs	13.03.2020
3.	Tehnoloogiliste protsesside ajakadude analüüs. LEAN-meetodite rakendamine	15.05.2020
4.	Parendustegevuste läbiviimine. Uue robotjaama rakendamine ja verifitseerimine	11.08.2020

5.	Parendustegevuste tulemuse analüüs	08.10.2020
6.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	01.06.2022

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "09" juuni 2022a

Üliõpilane: Aleksei Mištšenko "09" juuni 2022a
/digiallkiri/

Juhendaja: Veronika Shirokova "09" juuni 2022a
/digiallkiri/

Kaasjuhendaja: Sergei Varganov "09" juuni 2022a
/digiallkiri/

Programmijuht: Veronika Shirokova "09" juuni 2022a
/digiallkiri/

SISUKORD

EESSÖNA	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	8
SISSEJUHATUS	9
1. ORGANISATSIOONI TUTVUSTUS	10
1.1 Hiab, Zaragoza Base liin	11
2 TIMMITUD TOOTMISE MEETODID	13
3 TIMMITUD TOOTMISE MEETODITE RAKENDAMINE	15
3.1 Kaode analüüs ZGZ Base liinil	15
3.2 Inimpotentsiaali raiskamine ehk Pudeli kaela leidmine	15
3.3 Liikumise ja ootamise raiskamised	16
3.4 Ületöötlemine	18
4 UUE ROBOTJAAMA RAKENDAMINE JA VERIFITSEERIMINE	20
4.1 Keevitusprotseduuri verifitseerimine	21
4.2 Keevisliidete raamatukogu kirjutamine	23
5 PARENDUSTEGEVUSE TULEMUSE ANALÜÜS	26
KOKKUVÕTE	27
SUMMARY	28
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	29
LISAD	30
LISA 1 INIMPOTENTSIAALI MATRIKS ZGZ BASE LIINIL	31
LISA 2 DETAILI JOONIS ENNE MUUDATUSI	32
LISA 3 KEEVITUSPROTSEDUURI SPEFIKATSIOON	33
LISA 4 DETAILI JOONIS. MUUTMISE PÄRAST	34
LISA 5 SPAGHETTI DIAGRAM. ENNE MUUDATUSI	35
LISA 6 SPAGHETTI DIAGRAM. PÄRAST MUUDATUSI	36
LISA 7 KEEVITUSPROTSEDUURI SPEFIKATSIOON	37
LISA 9 MATERJALLI PAKSUSE VALIMINE	39
LISA 10 MAKROLÕIKUDE MÄÄRAMINE VALMIS TOODEL	40
LISA 11 KEEVISLIIDE MAKROLÕIK. PRAAK JUURE KOHAL	41

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema pakkus välja Fortaco Estonia OÜ projektijuht Sergei Varganov. Lõputöö eesmärk on tööliini optimeerimine toodangu suurendamiseks. Andmete kogumiseks ja eesmärkide täitmiseks läbis autor erialapraktika Fortaco ettevõttes.

Autor soovib tänada ettevõttepoolset juhendajat Sergei Varganovit eedastatud informatsiooni eest, kolledzipoolset juhendajat Veronika Shirokovat diplomitöö temade valimise eest.

Võtmesõnad: timmitud tootmine, spaghetti diagrammid, tööliini optimeerimine, robotjaam, diplomitöö

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

RWC – Robot Welding Center ehk robotkeevitusejaam

WPS – Welding Procedure Specification ehk Keevitusprotseduuri spetsifikatsioon

pWPS - Keevitusprotseduuri esialgsed spetsifikatsioonid

PWQR - Welding Procedure Qualification Record ehk Keevitusprotseduuri kvalifitseerimise protokoll

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on väga oluline kasutada toodete tootmiseks ressursse, nii füüsilisi kui ka materiaalseid, mõistlikult. Kaode leidmine ja nende eemaldamine aitab ettevõttel vältida tarbetuid kulusi, mis ei anna tootele lisaväärtust. [5]

Tööstus 4.0 - termin, mis oli Saksamaal esmakordselt kasutusele võetud aastal 2011 aastal tänu tehnilisele progressile. Selline revolutsioon võimaldab digitaliseerida ettevõtete tööprotsesse. Antud tehnilise progressi vahendid on väga kasulikud ettevõtete jaoks erinevate faktorite parandamiseks, nagu efektiivsus ja tootlikkus. Selleks, et olla edukas tööturul on vaja kasutada uusi tehnoloogiaid, parandada ettevõtte sisemised tööprotsessid, vähendada kadusid. Peamised kaod ettevõttes:

- Ületootmine
- Logistika
- Seisakud
- Defektide parandamine
- Ajakaod
- Inimpotentsiaal [3]

Vältides kadusid võib tagada ettevõttes kindlust, vastupidavust, säästlikkust, otstarbekust, vähendada kadusid ning optimeerida toode tootmisprotsessi. Antud töö eesmärgiks on tööliini optimeerimine tootmismahu suurendamiseks ning toodete kvaliteedi tagamiseks.

Diplomitöö sisaldab kolm peatükki, eesti ja inglise keelset kokkuvõtet ning lisadest. Esimene peatükk kirjeldab Fortaco Estonia ettevõtte kirjeldust, peamist tegevust. Teine peatükk on pühendatud Timmitud Tootmise tehnoloogiale, kirjeldatud peamised metodikad ning rakendusala. Kolmandas peatükis on toodud diplomitöö praktiline osa, mis hõlmab kadude analüüsi, parandatud tegevuste sisse viimist ja tööliini optimeerimist.

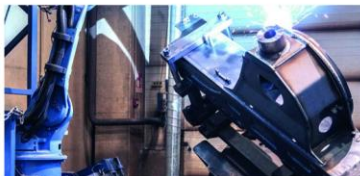
1. ORGANISATSIOONI TUTVUSTUS

Fortaco Estonia OÜ (vt joonis 1.1) on 4 tootmishoonega kaasaegne metallitöötlemisettevõtte, mis asub Narva linnas. Tegemist on ühe suurima masinaehitussektori toodete ja osade tarnijaga Ida-Virumaal.

Painutamine



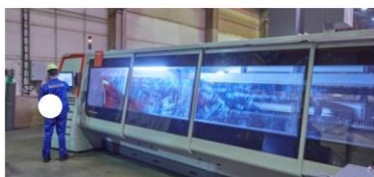
Robotkeevitus



Keevitustöökohad



Plasma,laserid



Mehaanika



Värvimistööd



FORTACO

Joonis 1.1 Fortaco Estonia OÜ tsehhid

Tootmine algab toorikutsehhist, kus on 4 laserit, 1 plasma, 2 saagi, 5 painutamispinged ja 2 pressi. Iga toorikupartiiga on kaasas tootmisdokument. See on kaasas olev kontrollkaart, mis näitab järgnevaid toiminguid, operatsioonid, kas detailid saadetakse kohe keevitusliini või vaheoperatsioonid. Vaheoperatsioonid hõlmavad järgmist:

- Mehaaniline töötlus
- Painutamine
- Sirgendamine
- Lukksepa töötlus
- Pinnade haavelpuhastus

Ettevõtete tootmishoonetes asetsevad tootmisliinid:

- Hiab Cranes
- Brokk
- Komatsu
- Sandvik
- Epiroc

Tootmisliinidel tehakse koostamistöid koostamiseadmes. Pärast koostamist toodet keevitatakse robotkeevitusjaamal ja finaliseeritakse rootormanipulaatoritel, kus paigaldatakse lisakomponendid. Lõppuni keevitatakse käsitsi need kohad, kus robotile võimatu keevitada. Valmis konstruktsioon saadetakse mehaanikatsehhi töötlemiseks pingedel. Eelviimane etapp, jõuab toode värvimitsehhi ja peale värvimistööde lõppu toode pakendatakse ja saadetakse kliendidele.

Inseneriosakond otsib alati kõige efektiivsemat kulu-kvaliteedi-tarnelahendust, et viia projekte lõpule ilma ohutust ja kvaliteeti ohverdamata. Uute projektide juurutamine võimaldab laiendada tootevalikut, arendada ja täiustada olemasolevaid tootmisprotsesse.

Jälgimine kõike kliendi nõudeid ja tarnides tooteid õigeaegselt, vaatavad kliendid kindlamalt pikaajalistele suhetele ja äriprojektide arendamisele Fortaco Estonia'l.

1.1 Hiab, Zaragoza Base liin

Hiab Cranes on Fortaco Estonia üks suuremaid kliente, kuna ettevõttel on 5 kooste- ja keevitusliini. Liinid toodavad kraana üksikuid komponente. Teleskoopkraana (vt joonis 1.2) on kokku pandud Hispaanias, Zaragoza linnas. Lõputöös käsitletav tööliin tegeleb Crane Base toodete tootmisega. Toode on tulevase kraana alus.



Joonis 1.2 Teleskoopiline kraanasüsteem

Tootmisliini võimsused:

- 3 koostamiseaded
- 2 keevitus robotijaama
- 10 töölist, koostajad ja keevitajad
- 1 mehaanika pinge

Iga kraana muudel koosneb koostamis vahe etappidest. Iga etapp keevitatakse robotijaamal. Koostamisseadmes koostajad valmistavad kraana kered, täiendavad lisa detailidega. Lõpuks kui kõik koostamis töid on valmis, finaliseerijaid järeltöötlevad lõppuni ja paigaldavad lisa detailid.

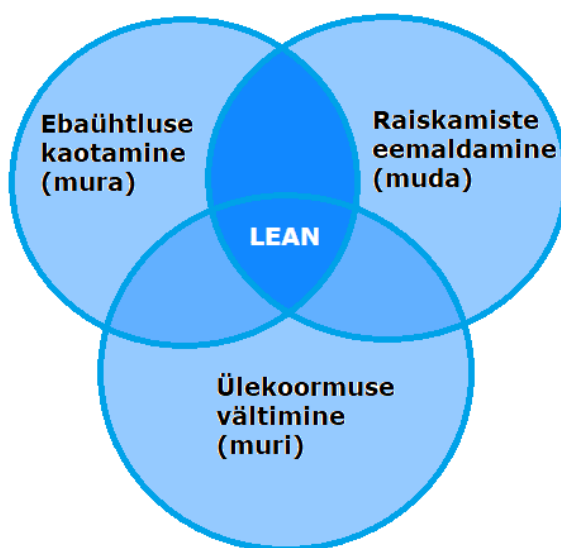
Valmis toodet saadetakse mehaanika tsehhi, kus tööpingedel toimud pinnade lihvimine.

Kuna toodetud tooded on tulevik kraana alus, pööratakse väga suurt tähelepanu kvaliteedile. Pärast töötlemist saadetakse tooted kvaliteediosakonda, kus inspektorid kontrollivad toote defektid. Leitud defektid fikseeritakse protokollis ja tooded tagastatakse tööliinile parandamiseks. Viimases etapis pakitakse toode euroalusele ja saadetakse partiidena kliendile.

2 TIMMITUD TOOTMISE MEETODID

Lean tootmise põhiülesanne on luua kliendile tootele või teenusele väärtust. Tööriistad ja tegevused on suunatud selliste hälve või kulude tuvastamisele ja kõrvaldamisele, mis nõuavad tootjalt rohkem ressursse kui vaja. Toyota ühing on välja töötanud ja tuvastanud kolm peamist valdkonda (vt joonis 2.1), millega tuleb tegeleda:

1. Mura
2. Muri
3. Muda [[1](#)]



Joonis 2.1 Säätlikkutööstuse valdkonnad

Mura – jaapani keelest tõlgituna tähendab ebaühtlast või ebajärjekindlat protsessi.

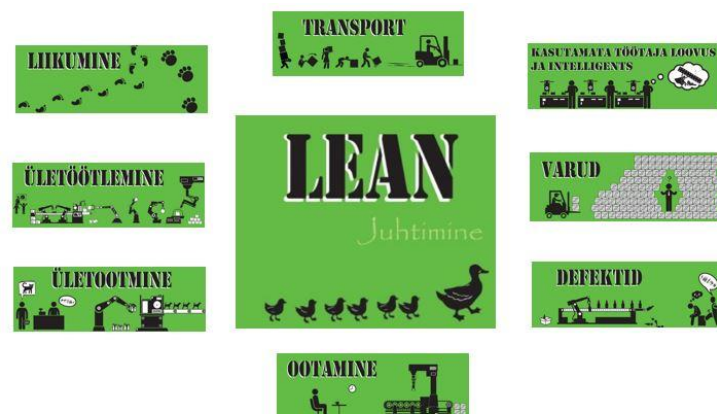
Muri - jaapani keelest kahjud põhjustatud ebamõistlikust tööprotsesside korraldamisest. Need kahjud hõlmavad sageli kulumist, seadmete ülekoormust ja ressursside valesti jaotamist.

Muda - jaapani keelest tähendab kaotust. Need on tegevused, mis kulutavad ressursi, nii ajutist kui materiaalist, kuid ei anna tootele tarbija jaoks lisaväärtust. [[2](#)]

Üldtunnustatud kaode loetelu välja töötanud Kaidzeni filosoofia põhjal. Selle loetelu autor on Jaapani insener-ettevõtja Taiichi Ohno. Nimekiri 8 muda'st:

- Transpordiraiskamised
- Liigset varud
- Liikumise raiskamised
- Ootamise raiskamised
- Ületootmine
- Ületootlemine
- Defektid
- Inimpotentsiaali raiskamine [2]

Tänapäeval Eesti äri arenemise jaoks ratsionaalne ressurside kasutamine olukord on väga oluline, kuna suurem osa ressursidest ostetakse välismaalt. Ajakaode (vt joonis 2.2) vähendamine või hälvete eemaldamine vähendab ettevõtte toodete loomise ja tarnimise kulusid. Seega suurendab ettevõtte oma kasumit ilma lõpptarbijale hindu tõstamata. [1]



Joonis 2.2 Ajakadude põhjused tööprotsessis

Selle ajakaode loeteluga tuleb teha analüüsi tootmisliinil.

3 TIMMITUD TOOTMISE MEETODITE RAKENDAMINE

3.1 Kaode analüüs ZGZ Base liinil

Kliendi soov on osta kahe kraana mudeli rohkem. Tema valik on kraana mudel 5M. Projektijuht on antud ülesanne, teha tootmisliinil tootmisprosessi analüüs ja leida võimalusi kahe kraana valmistamiseks ilma suurte investeeringuteta (vt tabel 3.1).

Tabel 3.1 Fikseeritud aeg kraana valmistamiseks

Kraana mudel	Kogu aeg valmistamiseks (min)
Care	1180
858 / 1058	1890
858 / 1058 integreeritud	2430
335	1320
5M	600
6xx	1470

Töötajate kompetentsi analüüs näitas, et puudub dokument, kus on kirjutatakse töötajate oskusi ja võimalusi arenemiseks.

Kahe kraana valmistamiseks on vaja 20 tundi ja järgnevalt kirjeldatakse sammud ajakaode eemaldamist.

3.2 Inimpotentsiaali raiskamine ehk Pudeli kaela leidmine

Inimpotentsiaal on üks väärtuslikumaid ressursse. Personali oskuste arendamine võimaldab vähendada tööprotsesside katkemise riske. Tööliinil töötavad nii koostajad kui ka keevitajad. Igapäevaste vahetustega tööülesannete planeerimisel peab juht silmas pidama suurt hulka teavet töötajate oskuste kohta. [4]

Eesmärk: koostada töödokument, kus töötajate oskuste maatriks kuvatakse läbipaistvalt (vt Lisa 1).

Loodud dokumendis märgib juht konkreetse töötaja perekonnanimega veerus "+" töötajale kuuluva toiminguga. Tabeli ülemine parempoolne osa vastutab liinile pööratud tööliste eest, nii et ühe töötaja puudumisel saab juht töid paindlikult planeerida. Töötajate kompetentside visualiseerimine võimaldab juhil tuvastada kitsaskohad ja koolitada töötajaid lisatoiminguteks, et vähendada häirete riske tööprotsessides ja kraanade tarnimise ajastus kliendile. Ettevõtte kannab tarnehäirete korral tõsist rahalist kahju.

Töötaja kompetenstsi visualiseerimise eelised:

- Paindlikkus töögraafiku koostamisel
- Lisakoolituste läbiviimine tööliinil
- Töötajate kutseoskuste taseme tõstmine

3.3 Liikumise ja ootamise raiskamised

Inimene kui oluline tegur, mis otseselt mõjutab tootmist. Väga oluline on töötajate liikumise optimeerimine. Üheks selliseks ülesandeks on liigutuste ja tegevuste analüüs ning eesmärgina leida lahendusi ajakaode eemaldamiseks, sest selliseid tegevused ei anna väärtusi lõpptoodetele. Selliste kadude eemaldamiseks on vajalik, et tööala paigutus võimaldaks toota tooteid minimaalse liikumisega ning seadmete asukoht peab olema ergonoomiline. [5]

ZGZ Base tootmisliinil asetsevad 2 koostamisseaded, kus koostajad koostavad kohal #1 kraana kered ja kohal #2 täiendavad kered lisadetailidega. Toodete pööramine finaliseerimise ajal toimub manipulaatori abiga, neid on 4 tükki. Toodete teisaldamiseks kasutatakse 2 sildkraanat tõstevõimega 1600 kg ja 1 siltkraanat tõstevõimega 2 tonni. Finalist kasutab kraanat ainult toote manipulaatorile laadimiseks, koostaja aga pöörab kraanaga tooteid pidevalt ümber. Tootmisliini territooriumil on tootes sisalduvate osade jaoks riiulid, mis on plaanil tähistatud numbritega 2015, 2010, 2050, 2040.

Töötajate liikumise visualiseerimiseks koostati Spagettide diagramm. Spagettide diagramm on meetod liikumiste visualiseerimiseks, joonistades plaanile abijooni. Erinevate värvide jooned aitavad eraldada üksikute tööliste rühmade liikumistrajektoore. Pärast analüüsi on võimalik määrata liigutuse pikkuse, liigutuste arvu. Analüüsi tulemusena saab jälgida ebavajalikke liigutusi, lisada või vähendada töötajate arvu ning teisaldada ka seadmeid. [5]

Tehtud Spagetti diagrammil (vt Lisa 5) rohelised jooned tähistavad koostajate liikumist, sinised jooned finaliste liikumist. Koostamisseadel nr 1 koostaja koostab kraana kered, misjärel saadab need robotkeevitamiseks. Koostamisseadel nr 2 koostaja täiendab kered detailidega, valandid keevitatud keredesse ja saadab need lõplikule keevitamisele. Finalist võtab keevitatud toote ja teostab viimistlemise, et pärast anda toode mehaaniliseks töötlemiseks. [5]

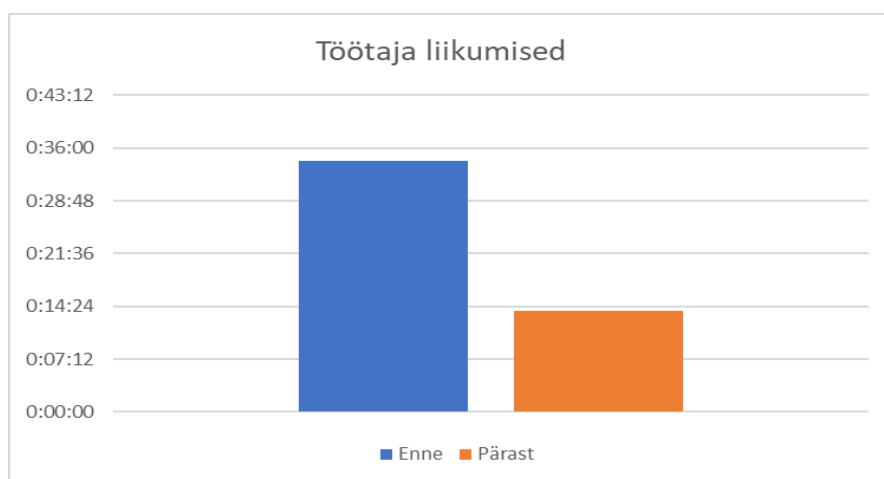
Koostamisseadel nr 2 koostaja marsruutidest lähtuvalt teeb ta vahetuse ajal pikki liigutusi detailidele võtmiseks, samuti kokkupandud toodete toimetamist robotijaama. Seadmete asukoht ei ole ergonoomiline, kuna töötajate marsruudid ristuvad, puudub

selge koosteliin ja lõplik parendusliin. Koostaja liikumise aeg on fikseeritud. Sellest tulenev kogu liikumisaeg vahetuse kohta on 34 minutit ja 15 sekundit

Lisa ajakaod on kraana ootamine, umbes 5-10 minutit. Välja toodud Spaghetti diagramm näitab, et koostamiseade nr 2 on vaja paigaldada teise kohale, robotijaama juurde.

Läbi viidud teiseldamine, mille käigus moodustati selge koostamis liin ja finaali liin ([vt Lisa 6](#)). Koostamiseadme nr 2 asukoht robotijaamale lähemal muudab koostamise voogi loogilisemaks ja arusaadavamaks, kuna tooted peavad jõudma keevitamiseks kiiremini, et finalistidel ei jääks seisakuid.

Fikseriti koostaja liikumise aeg. Saadud kogu liikumise aeg kogu vahetuse kohta 13 minutit 44 sekundit. Selline ümberkorraldus võimaldas lühendada ühe töötaja liikumise aja liigi 2 korda (vt joonis 3.1).



Joonis 3.1 Töötajate liikumise ajakulu

Nüüd on koosteliinil 2 sildkraanat, mis eemaldab kraana ootamise aja koosteliinil.

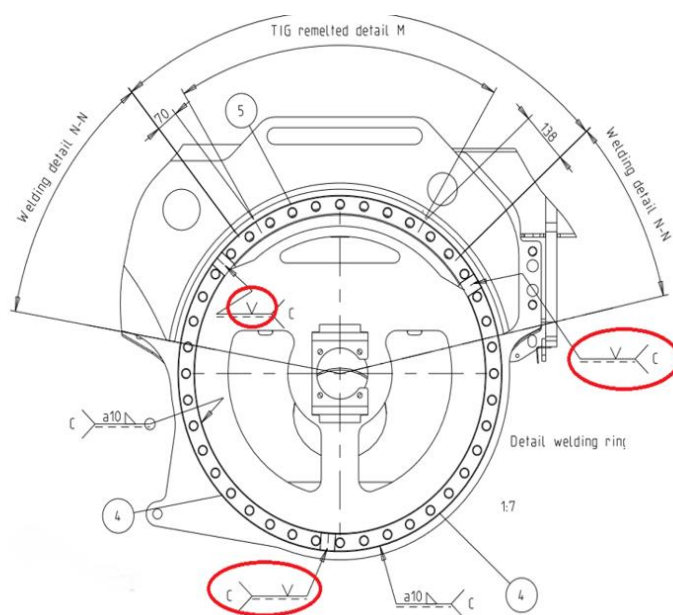
Enne põhitöö alustamist kulub töötajal detailide komplekteerimisele kuni 20 minutit. Lisaks kulub tal 10–15 minutit riulite juures korra hoidmiseks. Detailide komplekteerimise ja kora hoidmisega tegeleb valdavalt 7 töölist, keskmiselt on kuulutamise aeg töötaja kohta on 30 minutit, siis igapäevaselt kokku 3,5 tundi kaod, nädalas 24,5 tundi.

Selle probleemi lahenduseks on tööüksuse - korjaja - lisamine. Selle tööliini kõrval on teine tootmiskoht, kus selline tööline on. Tema nädalakoormus näitas, et on olemas vabaressurs detailide komplekteerimiseks. Tulemuseks on ressursside tõhus jaotamine keskmiselt 24,5 tundi lisaiega.

3.4 Ületöötlemine

Toote liigne töötlemine toob kaasa ettevõtte täiendava ressursi raiskamist, mis ei anna tootele lõppväärtust juurde. Kraanade tootmise analüüsi käigus fikseeriti, et palju aega kuulutakse kaldservade keevitamisele. Järgmisena kirjeldatakse meetodit keevitusaja vähendamiseks. [4]

Analüüsiks valiti kraana mudel, kus toimub kaldservade keevitamine kolmes sektorites (vt joonis 3.2). Esialgne lõikenurk on 60° , ühe sektori kaldenurk on 30° (vt Lisa 2)



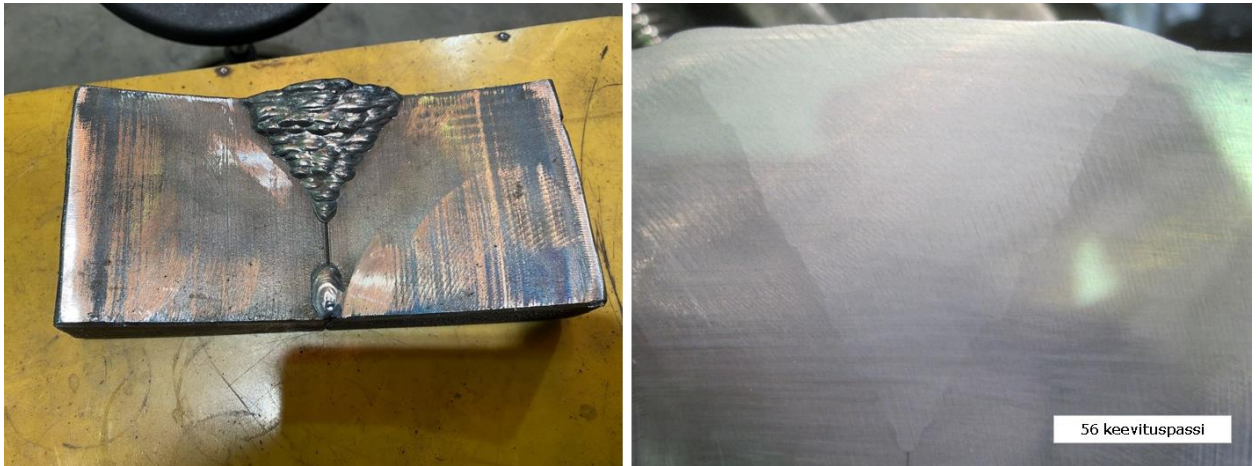
Joonis 3.2 Kaldservade keevitus

Kliendi joonisel oleva juhendi järgi on vaja teostada keevitamist koos soone täitmisega. Joonisel puudub selgitus läbitungimissügavuse ja muude keevitamise tähistuste kohta. Keevitamiseks kasutatakse kehtivat WPS-i (vt Lisa 3).

Keevitamine toimub 56 käiguga, lõikenurk kokku on 60° . Protsessi ajastamiseks pandi tootmisse keevitamiseks mõeldud proovid, misjärel saadeti proovid kontrollimiseks laborisse. Kogu keevitusaeg 28 minutit ja eemaldamine 20 minutit.

Üks keevisliidete testimise meetodeid on hävitatav kontrollmeetod - makrolõiked. Keevitatud komponentidest lõigatakse proovid ja testitav pind pestakse 25% lämmastikhappe vesilahusega. Pärast seda proov kuivatatakse ja tehakse visuaalne kontroll. [6]

Esitatud makrolõige (joonis 3.3) näitab, et läbitungimatuid tsoone ei ole, seega vastab proov kvaliteedinõudele.

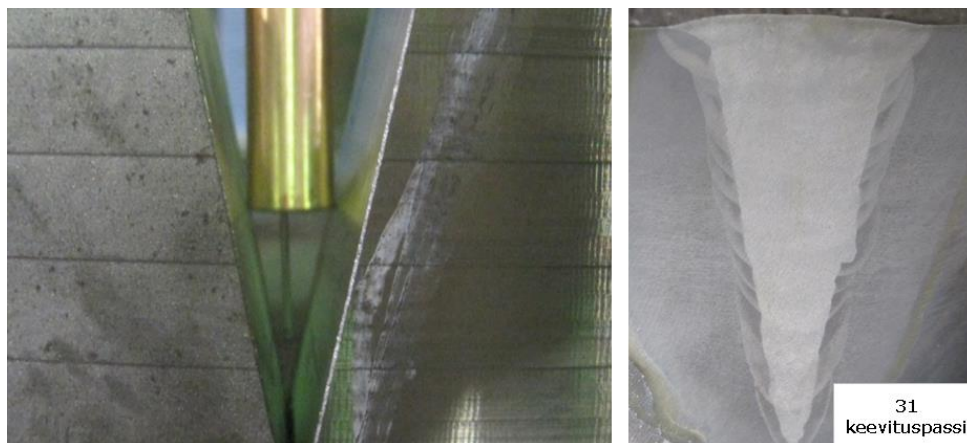


Joonis 3.3 Keevitise katseproov kaldenurgaga 60° ja tema makrolõik

Kuna oli esimene proovikatse, soone keevitus, mille kogunurk oli 25°. Kuid purustatava kontrolli tulemus näitas, et juurkeevitusvööndis oli läbitungimine mittetäielik. See defekt on vastuvõetamatu. ([vt Lisa 11](#)).

Üldist lõikenurka otsustati muuta 30° peale (vt joonis 3.4). Selleks muudeti sektorite faaside nurka 30°-lt 15°-le. ([vt Lisa 4](#)). Lisaks on keevituspõleti varustatud pikendatud väiksema läbimõõduga keevitusotsiku ja pikendatud voolukollektoriga, et tagada täielik juuretsooni tungimine.

Makrolõike tulemus näitas, et muudetud kaldenurk tagab täieliku läbitungimise. Keevitusprotsessi muudatuse põhjal koostas keevitustehnoloog-insener uue keevitusprotseduuri ([vt Lisa 7](#)). Tsoone 30° kaldenurkaga keevitati 31 käiguga. Ajastatud keevitusaeg 15 minutit ja eemaldamine 7 minutit.



Joonis 3.4 Keevitise katseproov kaldenurgaga 30° ja tema makrolõik

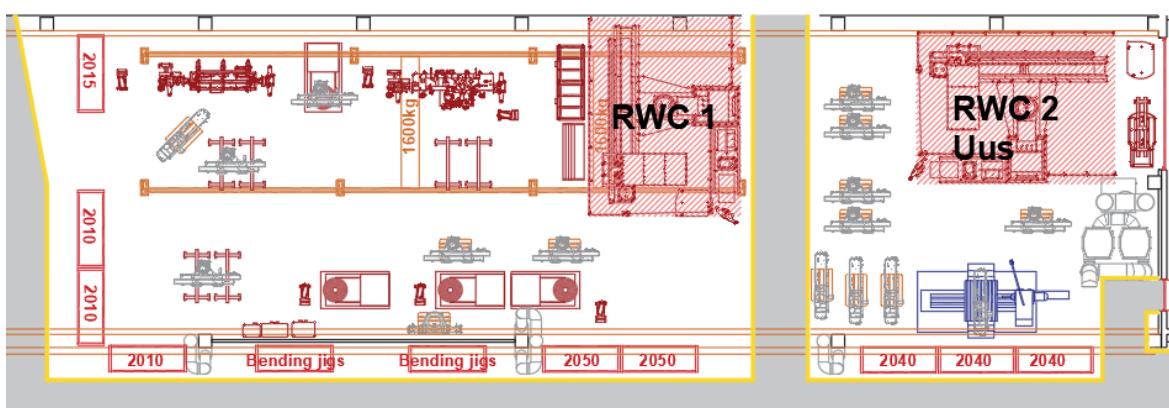
Tehtud töid võimalasid vähendada keevitusaja kaod. Kolme kaldenurka keevitus vähenes 1 tunni ja 16 minutit võrra.

4 UUE ROBOTJAAMA RAKENDAMINE JA VERIFITSEERIMINE

Uute toodete edukas juurutamine, kvaliteedinõuete säilitamine ja kraanade tarneaja järgimine kliendile äratavad kindlustunnet tootmisliini edasiarendamisel toodete mahu suurendamiseks. [4]

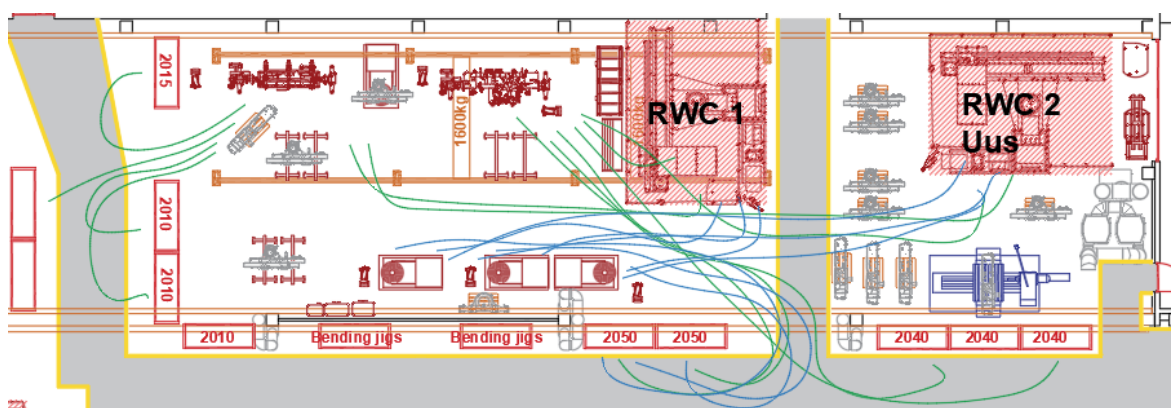
Toodete arvu kasvades muutuvad kitsaskohaks seadmed. Suuremate mahtude tootmiseks on vähe seadme tunde, seega tuleb paigaldada lisaseadmed. Selle liini jaoks on aktsepteeritud uue robotjaama paigaldus (vt joonis 4.1). [4]

Aktsepteeritud seadmed objekti paigaldamiseks, Yaskawa Motomani robotijaam. See jaam on üks Yaskawa Electric Corporationi tooteid, mis on automaatika- ja ajamitehnoloogia turul tuntud juba üle 100 aasta. [10]



Joonis 4.1 Uue robotjaama plaani paigaldamine

Pärast uue jaama paigaldamist töötavale liinile on vaja läbiviia katsed keevisliidete kohta, mis tähendab WPQR-protseduuri läbimist. Lisaks on muudetud paigutuse jaoks tehtud uus Spagetti diagramm (vt joonis 4.2). [5]



Joonis 4.2 Spagetti diagramm uue robotjaamaga

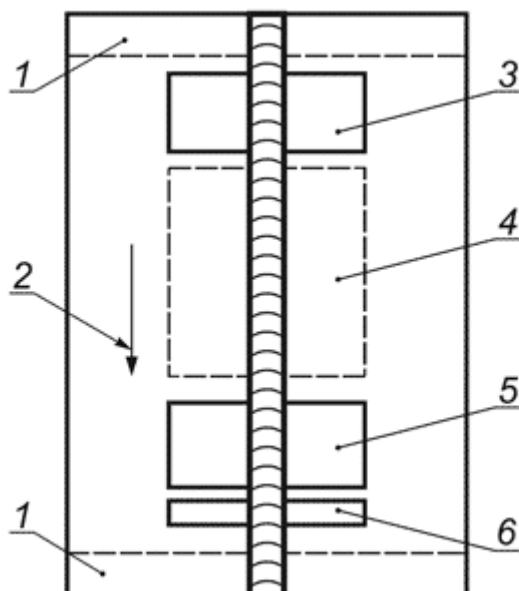
4.1 Keevitusprotseduuri verifitseerimine

Keevitusprotseduuri verifitseerimine näitab, et tootmitoiminguid vastavad täelikult keevitusprotseduuri, selhulgas eel- ja järeltöötuse, kehtestatud nõutele. Uued verifitseerimise töid viiakse läbi standardi ISO15614-1. [6]

See standard määrab kindlaks keevitusprotseduuride katsetamise tingimused ja kvalifitseerimise ulatuse, millises vahemikus nõudeid kohaldatakse. Proovide pikkus ja paksus peavad olema nõutavate katsete tegemiseks piisavad. [6]

Kliendi toodete eripära määrab kindlaks kahte tüüpi keevisliiteid, mida tuleks verifitseerida: täistungivad pökk ja nurkkeevisliited. [6]

Keevitustööde tegemisel valitakse kõik parameetrid vastavalt pWPS-ile, keevitusprotseduuri eelspetsifikatsioonile. Pärast keevitamist saadetakse proovid laborisse testimiseks. Katseproovid lõigatakse vastavalt skeemidele. Pökkliide jaoks on standardiga ette nähtud järgmine lõikamise skeem (vt joonis 4.3):



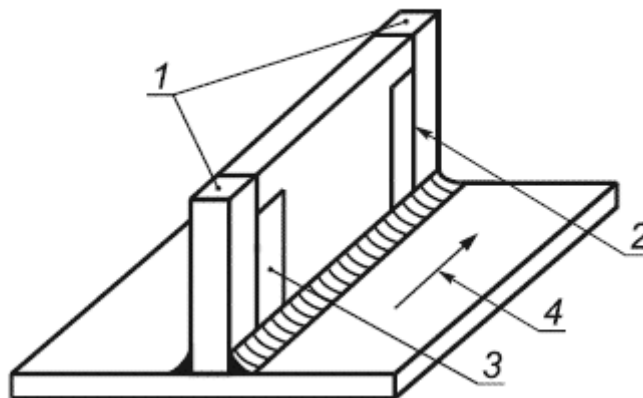
Joonis 4.3 Proovi lõikamise skeem pökkliide järgi. 1 - arvestamata piirkond 25 mm; 2 - keevitamise suund; 3 - piirkond ühe proovi väljalõikamiseks tõmbekatseteks ning teise proovi painde- ja murdumiskatseteks; 4 - täiendavate proovide väljalõikamise piirkond, kui see on ette nähtud; 5 - piirkond ühe proovi väljalõikamiseks tõmbekatsete jaoks ning proovide painde- ja purunemiskatseteks; 6 - piirkond ühe proovi lõikamiseks makroskoopilisteks uuringuteks ja ühe proovi lõikamiseks kõvaduse mõõtmiseks.

Pökkliidete jaoks esitatakse järmised testid:

- Visuaalne kontroll
- Radiograafiline või ultraheliuuring
- Pinnaprao tuvastamine
- Põiktõmbe katse

- Põikpaine katse
- Kõvaduse test
- Makrostruktuuri kontroll [6]

Nurkkevisliide lõikamisskeem katsete jaoks (vt joonis 4.4):



Joonis 4.4 Proovi lõikamise skeem nurkkevisliite järgi. 1 - arvestamata piirkond 25 mm; 2 - proovide lõikamise piirkond makroskoopilisteks uuringuteks; 3 - piirkond ühe proovi lõikamiseks makroskoopilisteks uuringuteks ja kõvaduse mõõtmiseks; 4 - keevitamise suund

Nurkevisliide jaoks esitatakse järgmised testid:

- Visuaalne kontroll
- Pinnaprao tuvastamine
- Kõvaduse test
- Makrostruktuuri kontroll [6]

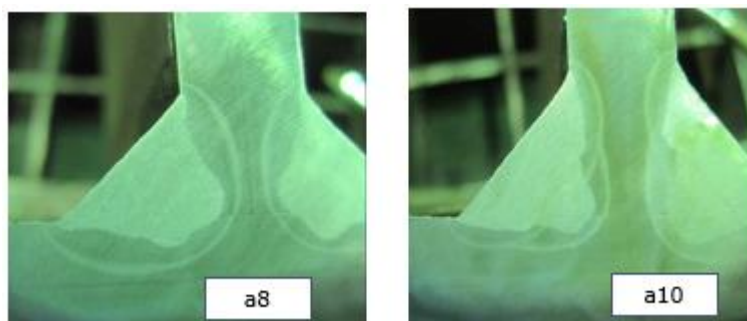
Katsete arvu vähendamiseks rühmitatakse terase keevitusprotseduurid vastavalt standardile ISO 15608. Lähtuvalt komponentide tootmiseks kasutatavate teraste volavuspäästest valitakse kolmas kategooria ([vt Lisa 8](#)). Kolmanda kategooria ala hõlmab 1. ja 2. kategooriat. [7]

Proovi paksus tuleks valida nii, et valitud väärtusvahemik kataks sisendkomponentide väärtusi. Nurga- ja põkkliidete puhul valitakse paksuse väärtus tabelist ([vt Lisa 9](#)). [6]

Pärast kõigi proovide katsete läbimist koostatakse keevituse protseduuri kvalifitseermise protokoll ehk WPQR. Protokollis on kirjeldatud katsede ja korduvkatsede sooritatud tulemusi ja hindaid. Juhul, kui vastuvõetamatuid tulemusi ei leita, loetakse WPQR positiivseks ja sellele alkirjastab vastav sertifitseeritud ettevõtte. Edasi valmistab Fortaco Estonia keevitustehnoloog ette töötava WPS-i.

Saadud keevitamise tehnoloogilised nõuded tuleks välja töötada katsetoote peal. Selleks tootmisliini koostab toode ja seda keevitatakse uue nõude järgi. Kui on vajalik, tehakse muudatusi. [6]

Keevitatud konstruktsioonile on märgitud hävitatava juhtimise tsoonid - makrolõiked. See kontroll on vajalik toote keevitamise kvaliteedi kinnitamiseks. (vt Lisa 10). Positiivsete tulemuste saamisel saadetakse kliendile vastuvõtmiseks akt tootega tehtud katsetööde kohta (joonis 4.5).



Joonis 4.5 Keevisliidete makrolõigud

Kliendilt positiivse vastuse saamisel arvutakse, et robotjaam on ametlikult kontrolli läbinud. Järgmine etapp pärast taatlemist on katse toote koostamine ja keevitamine uues robotjaamas ning valmis toote saatmine kliendile enda testimiseks. Tavaliselt on see täisväärtusliku kraanasüsteem, kus kõik süsteemid on ühendatud ja kraana töötab mitu tsüklit. Kui testid on edukalt läbitud, koormatakse kraana üle normi, et määrata selle ohutusvaru.

4.2 Keevisliidete raamatukogu kirjutamine

Keevituskoodide efektiivsemaks kirjutamiseks loob operaator keevisõmbeluste raamatukogu. See tähendab, et joonisel olevatest keevitusnõuetest lähtuvalt seadistatakse iga keevisõmbeluse parameetreid vastavalt kehtivale WPS-ile. Seadistada saab keevitusvoolu, keevituspõleti liigutuste võnkesagedust, võnke võrdluspunkte jne (joonis 4.6). [9]



Joonis 4.6 Programeerimine. Keevitus parameetrite paigaldus

Robotjaamaga tehtud keevislüüed peavad vastama kvaliteedinõuetele. Selleks kasutatakse koodi kirjutamisel programmi "COMARC" (vt joonis 4.7), see on täiustatud keevitustrajektoori juhtimissüsteem. Keevituskoodi kirjutamise algoritmi paremaks mõistmiseks kirjutatakse põleti asendi jälgimise süsteemiga sirgjooneline keevituse kood. [8]

```
/JOB
```

```
//NAME Student
```

```
NOP // Koodi algus
```

```
CALL JOB:CLEAN // Puhastusprogrammi aktiveerimine
```

```
MOVJ VJ=60.00 +MOVJ VJ=60.00 // Teljede vabainterpoljatsiooni liikumine
```

```
MOVL V=300.0 // Lineaarne liikumine, keevituspõleti lähenemispunkt
```

```
MOVL V=300.0 // Keevituse algpunkt
```

```
ARCON ASF#(13) // Keevitamise sisselülitamine seadistatud parameetritega keevislüüedete raamatokogust
```

```
REFP 1 // 1 abipunkt
```

```
REFP 2 // 2 abipunkt
```

```
COMARCON WEV#(12) U/D=285 L/R=0.0 // Traektorijate jälgimise parameetrid, keevituse võnkefaili number
```

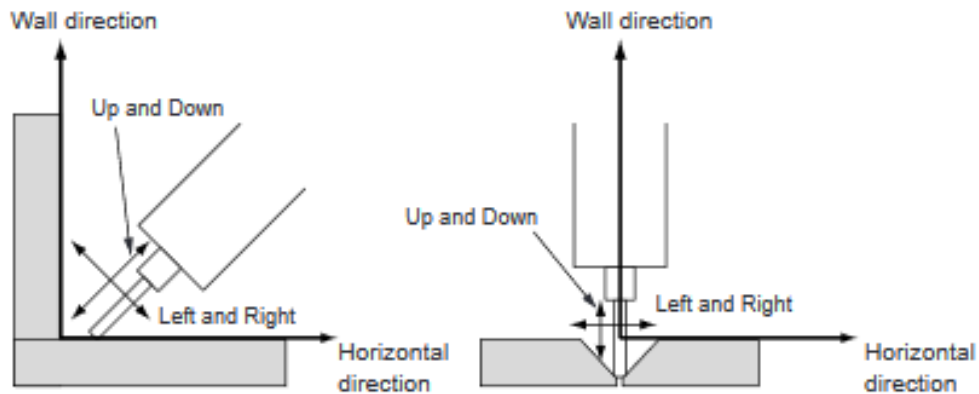
```
MOVL // Viimane keevitamise punkt
```



```

COMARCOF // Traektoori jälgimise lõpp
ARCOF AEF#(1) // Keevituse lõpp
MOVL V=300.0 // väljamineku punkt
MOVJ VJ=60.00 +MOVJ VJ=60.00 // Teljede vabainterpoljatsiooni liikumine
CALL JOB:CLEAN // Puhastusprogrammi aktiveerimine
END // Koodi lõpp [8]

```



Joonis 4.7 COMARC keevituse jälgimine ja korrekteeurimine

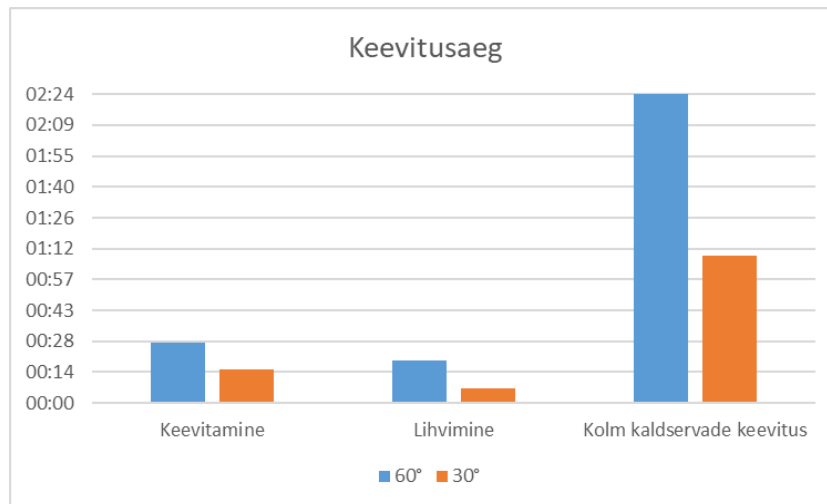
U/D parameeter sõltub seatud voolust. Antud juhul kirjutatud 285 ja kui seda parameetrit keevitamise ajal muudetakse, muutub traadi väljaulatuvus. Selle hälve kompenseerimiseks muudab robotpõleti asendit üles või alla keevituskoha suunas.

L/R parameeter sõltub pingest. Selleks, et põleti võnkuvate liikumiste ajal trajektoori täpsemalt välja töötaks, on ette nähtud abipunktid REFP 1 ja REFP 2. Nende väärtused peavad olema võrdsed 0-ga, siis on keevisliide ühtlane. Kuid kui on vaja keevitada sunnitud asümmeetriaga, siis neid parameetreid muudetakse. [8]

5 PARENDUSTEgevuse Tulemuse Analüüs

Lean tootmise vahendeid kasutades saavutati ajakadude minimeerimise eesmärk. Spagettide diagrammi analüüs ja tegevused kadude eemaldamiseks suurendasid lisaega 24,5 tundi.

Tööliini nädala koormuse analüüs (vt joonis 5.1) näitas, et toodetakse 4 kraana mudelit sektorite keevitustega. Vähendades keevitamiseks kuuluvat aja, suurened lisaeg nädalas 5 tundi 04 minutit.



Joonis 5.1 Keevitusaja võrreldus

Eesmärk on saavutatud ja kliendile kinnitatakse, et tootmisliin on valmis toota kahe kraana rohkem.

KOKKUVÕTE

Lõputöös on kirjeldatud toimingute tulemusena sai võimalikuks ilma täiendavate investeeringuteta toota kliendi soovil täiendavaid kraanasid.

Oli loonud töötajate kompetentside maatriksi, ilmus töötajate oskuste visualiseering, mis avardab võimalusi koolituseks ja uutele töökohtadele meelitamiseks. Paindlik vahetuste planeerimine vähendab tarnehäirete ohtu.

Seadmete ümberpaigutamine objektil võimaldas kaotada töötajate tarbetu liikumise ning uue tööüksuse lisandumine andis olulise lisa aja tootmiseks.

Toodete liigne töötlemine on ressursside raiskamine, mis tuleb kõigepealt eemaldada. Tehtud tööd võimaldasid keevitamiseks kuluvat aega poole võrra vähendada, säilitades samal ajal kvaliteedinõuded.

Ettevõtluse arendamise toetus võimaldab investeerida Fortaco Estonias uutesse seadmetesse. Uue robotijaama verifitseerimine tööliinil on lõpetatud. See seade annab lisatunde suurema koguse kraanade tootmiseks.

SUMMARY

As a result of the operations described in the dissertation, it became possible to produce additional cranes at the customer's request without additional investment.

Having created a matrix of employee competencies, a visualization of employee skills was published, which expands opportunities for training and attracting new jobs. Flexible shift planning reduces the risk of supply disruptions.

The relocation of the equipment on the site made it possible to eliminate unnecessary movement of workers, and the addition of a new work unit provided a significant additional time for production.

Over-processing of products is a waste of resources that must be removed first. The work done halved the welding time while maintaining quality standards.

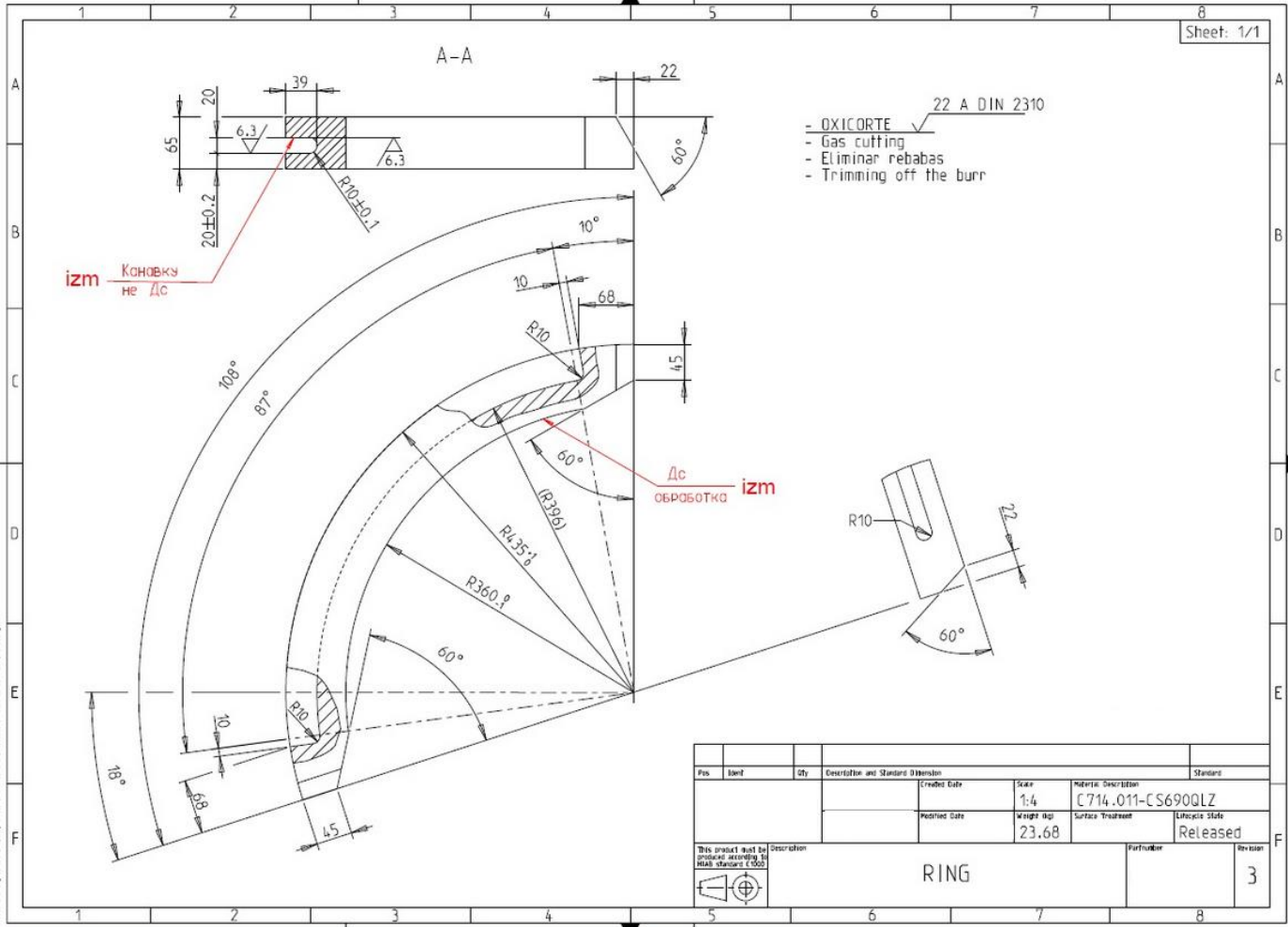
Business development support enables Fortaco Estonia to invest in new equipment. The verification of the new robot station on the work line has been completed. This device provides extra hours for the production of larger quantities of cranes.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Tuul, V. Timmitud tootmine koolitus, [Online] <http://www.lean.planet.ee/timmitud-tootmise-ajalugu/>
2. Bankiir, M. Lean meetodid ja terminid, [Online] <http://www.leanway.ee/mura-muri-muda>
3. Bankiir, M. Tööstus 4.0, [Online] <https://leanway.ee/toostus-4-0-ja-lean-tootmine/>
4. Kalle, E. Tootlikkuse kasvu juhtimine ettevõttes. Tallinn: OÜ Külim, 2007
5. Senderska, K., Vaclav, Š., Mareš, A. Spaghetti diagram application fo workers' movement analysis, 01.2017, [Online] https://www.researchgate.net/publication/316634571_Spaghetti_diagram_application_for_workers'_movement_analysis
6. Metallide keevitusprotseduuride spetsifitseerimine ja kvalifitseerimine, Eesti standardimis- ja akrediteerimiskeskus, [Online] <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-15614-1-2017+a1-2019>
7. Keevitamine. Juhised metalsete materjalide rühmitamiseks, Eesti standardimis- ja akrediteerimiskeskus, [Online] <https://www.evs.ee/et/cen-iso-tr-15608-2017>
8. Yaskawa Electric Corporation, Motoman DX100 instructions, operator's manual. For arc sensor comarc function, [Online] <http://www.cad2688.com/UEditor/net/upload/2021-01-12/0224165f-68bb-4cf5-9a97-d4545b0c79c4.pdf>, 14.12.2010
9. Yaskawa Electric Corporation, Motoman DX100 instructions, operator's manual. For spot and arc welding using motor gun, [Online] http://www.microsistemascol.com/doc/2_YASKAWA_DX100_Operator-s-Manual.pdf
10. Yaskawa Electric Corporation, [Online] <https://www.yaskawa.eu.com/about-yaskawa/About-Yaskawa>

LISAD

LISA 2 DETAILI JOONIS ENNE MUUDATUSI



LISA 3 KEEVITUSPROTSEDUURI SPEFIKATSIOON

FORTACO

Спецификация процесса сварки (WPS)
EN ISO 15609-1

Пр-дура сварки WPQR № 675.21.038ES-0028

рWPS № s.3.2.5.450

Изготовитель Fortaco Estonia OÜ

Ф.И. сварщика

Процесс сварки 138

Тип соединения BW

Положение сварки PA

Перенос металла Spray

Экзаменатор

Метод подготовки кромок

Основной материал

556 Обозначение основного металла

Толщина основного металла, мм

Внешний диаметр трубы, мм

Наименование изделия

Enefit Solution

Mechanical

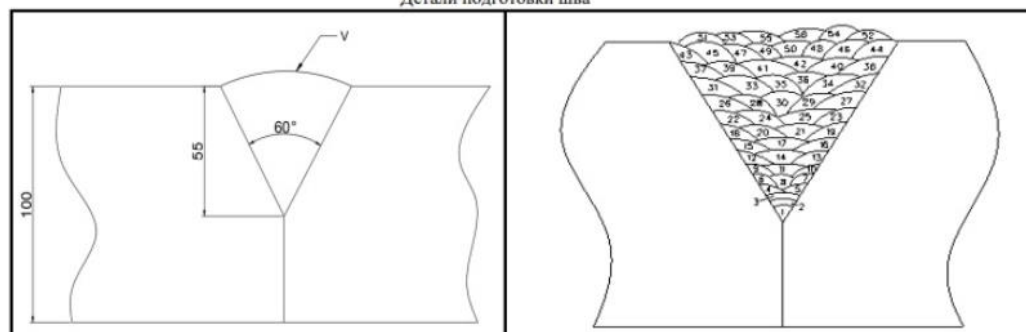
CEN ISO/TR 15608: 3.1+3.1

Strenx 700E

100+100

Base

Детали подготовки шва



Параметры сварки

Проход	Процесс	Диаметр присадки мм	Ток А	Напряжение V	Скорость подачи проволоки м/мин	Скорость сварки мм/мин	Тип тока и полярность	Погонная энергия (max) кДж/мм
1 PA	138	1,2	240-280	28.8	9,6	300-350	DC+	1.0-1.3
2-56 PA	138	1,2	240-280	29.8	9,6	300-350	DC+	1.0-1.3

Марка и тип присадочного материала:

EN ISO 17632-A: T 46 3 M M 2 H5 (Outershield MC710-H)

Прокалка или сушка:

—

Газ, флюс:

защитный:

EN ISO 14175-Z-ArC+NO-18/0,03

защита корня:

—

Расход газа:

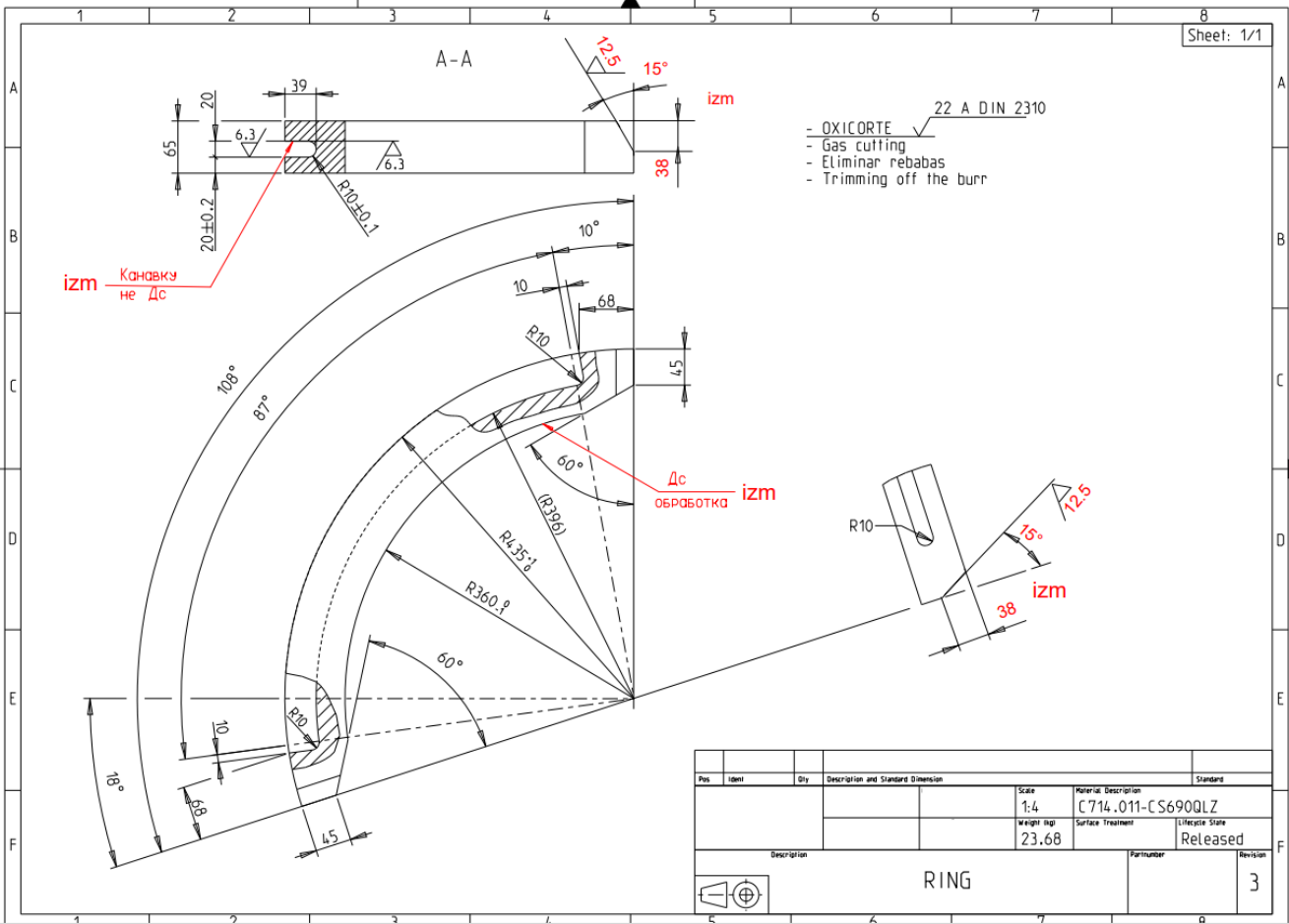
защитный:

18-20 l/min

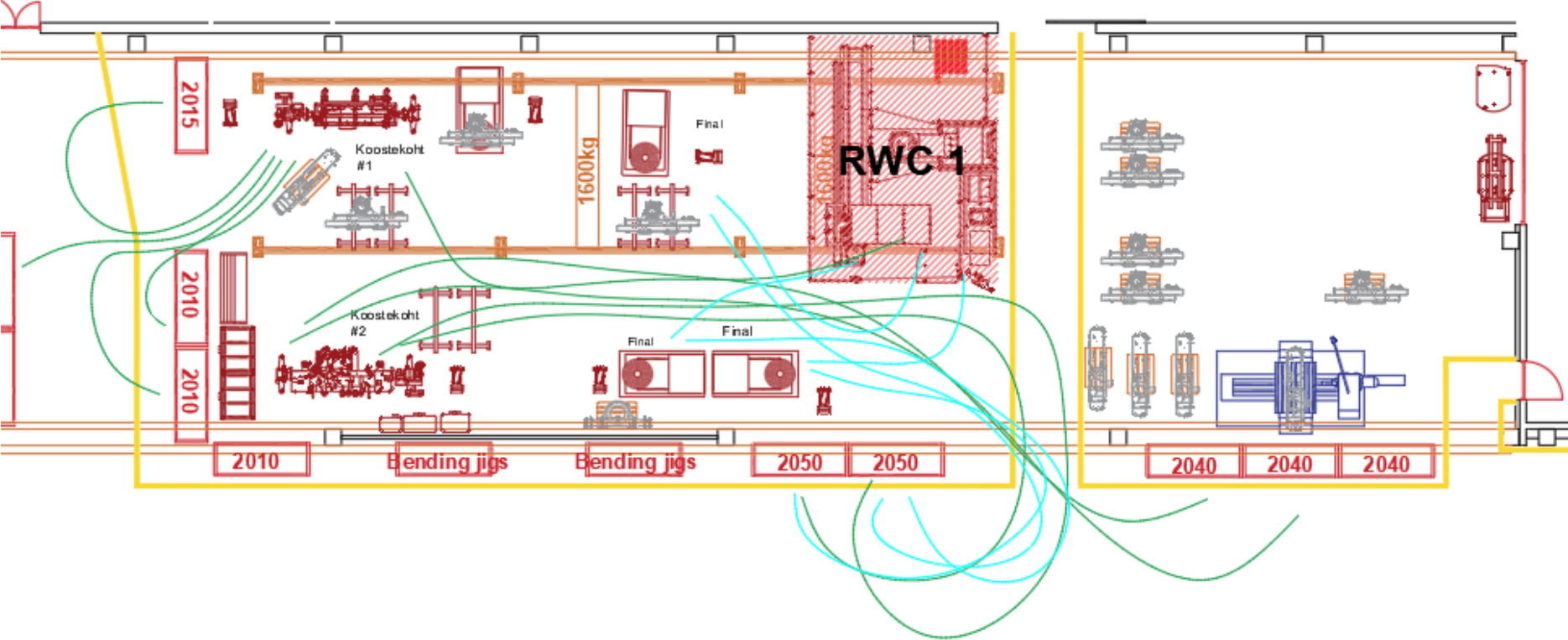
защита корня:

—

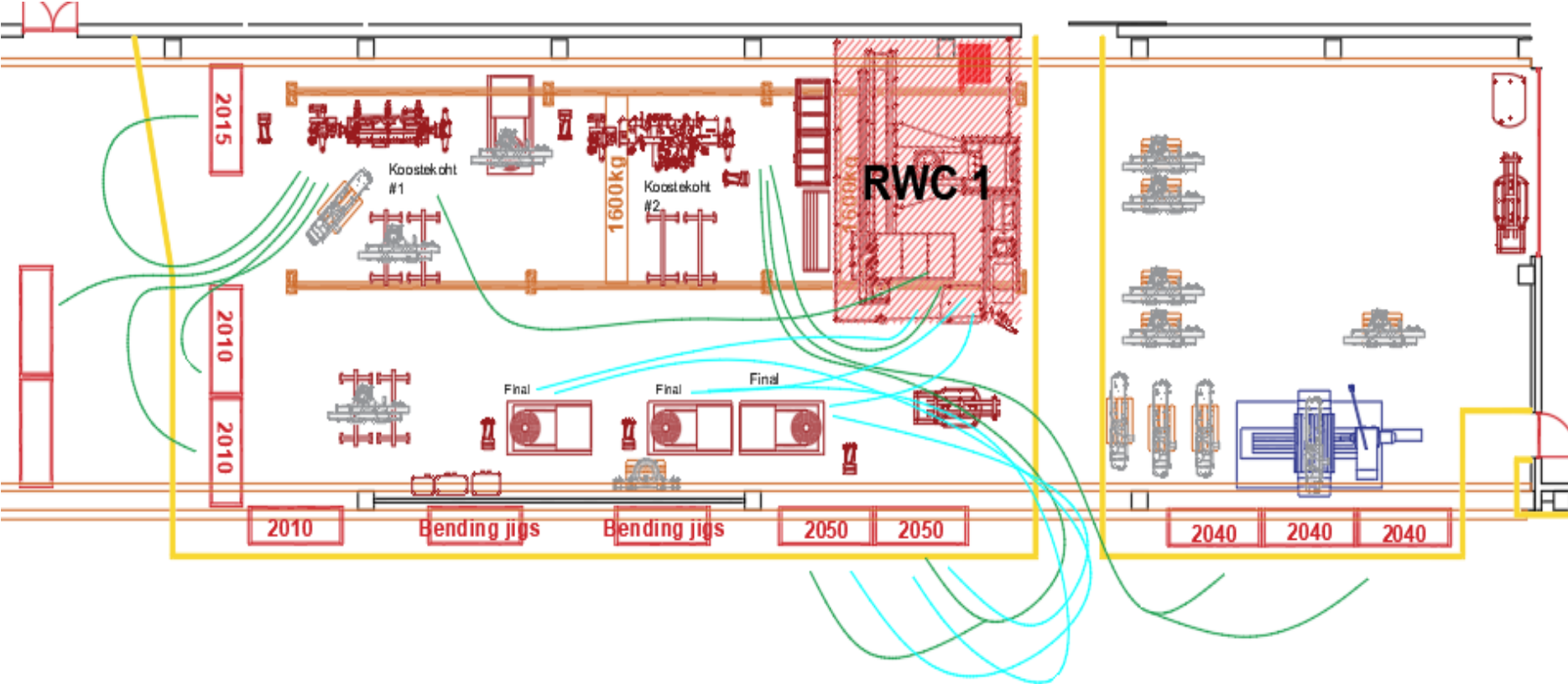
LISA 4 DETAILI JOONIS. MUUTMISE PÄRAST



LISA 5 SPAGHETTI DIAGRAM. ENNE MUUDATUSI



LISA 6 SPAGHETTI DIAGRAM. PÄRAST MUUDATUSI



LISA 7 KEEVITUSPROTSEDUURI SPEFIKATSIOON

FORTACO

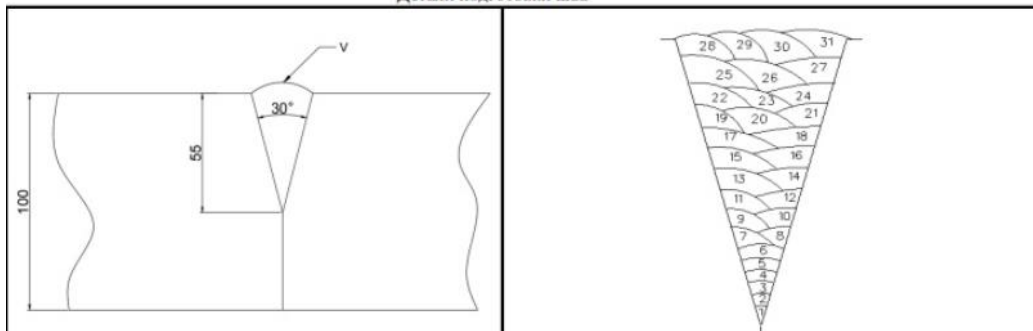
Спецификация процесса сварки (WPS)
EN ISO 15609-1

Пр-дура сварки WPQR № 675.21.038ES-0028
рWPS № s.3.2.5.466
Изготовитель Fortaco Estonia OÜ
Ф.И. сварщика
Процесс сварки 138
Тип соединения BW
Положение сварки PA
Перенос металла Spray

Экзаменатор
Метод подготовки кромок
Основной материал
556 Обозначение основного металла
Толщина основного металла, мм
Внешний диаметр трубы, мм
Наименование изделия

Enefit Solution
Mechanical
CEN ISO/TR 15608: 1.1+3.1
Strenx 700E
100+100
Base

Детали подготовки шва



Параметры сварки

Проход	Процесс	Диаметр присадки мм	Ток А	Напряжение V	Скорость подачи проволоки м/мин	Скорость сварки мм/мин	Тип тока и полярность	Погонная энергия (max) кДж/мм	Примечание
1-10 PA	138	1,2	240-290	28,8	9,6	300-350	DC+	1,0-1,3	тонкое сопло
15-31 PA	138	1,2	240-290	29,1	9,6	300-350	DC+	1,0-1,3	с 15-го прохода обычное сопло

Марка и тип присадочного материала: EN ISO 17632-A: T 46 3 M M 2 H5 (Outershield MC710-H)

Прокатка или сушка: —

Газ, флюс: защитный: EN ISO 14175-Z-ArC+NO-18/0,03

защита корня: —

Расход газа: защитный: 18-20 l/min

защита корня: —

LISA 8 TERASE JAGAMINE RÜHMAKS. ISO 15608

Table 1 — Grouping system for steels

Group	Subgroup	Type of steel
1		Steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ ^a and with analysis in per cent (%):
		$C \leq 0,25$
		$Si \leq 0,60$
		$Mn \leq 1,8$
		$Mo \leq 0,70^b$
		$S \leq 0,045$
		$P \leq 0,045$
		$Cu \leq 0,40^b$
		$Ni \leq 0,5^b$
		$Cr \leq 0,3$ (0,4 for castings) ^b
		$Nb \leq 0,06$
		$V \leq 0,1^b$
		$Ti \leq 0,05$
	1.1	Steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$
	1.2	Steels with a specified minimum yield strength $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
1.3	Normalized fine-grain steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$	
1.4	Steels with improved atmospheric corrosion resistance whose analysis may exceed the requirements for the single elements as indicated in group 1	
2		Thermomechanically treated fine-grain steels and cast steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	2.1	Thermomechanically treated fine-grain steels and cast steels with a specified minimum yield strength $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$
	2.2	Thermomechanically treated fine-grain steels and cast steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 460 \text{ N/mm}^2$
3		Quenched and tempered and precipitation hardened fine-grain steels except stainless steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	3.1	Quenched and tempered fine-grain steels with a specified minimum yield strength $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 690 \text{ N/mm}^2$
	3.2	Quenched and tempered fine-grain steels with a specified minimum yield strength $R_{eH} > 690 \text{ N/mm}^2$
	3.3	Precipitation-hardened fine-grain steels except stainless steels

LISA 9 MATERJALLI PAKSUSE VALIMINE

Table 7 — Range of qualification for butt welds material thickness and deposited metal thickness

Dimensions in millimetres

Thickness of test piece t	Range of qualification			Deposited weld metal thickness for each process s
	Level 1	Parent material thickness		
		Single run	Multi-run	
$t \leq 3$	0,5 t to 2 t			max. 2 s
$3 < t \leq 12$	1,5 to 2 t	0,5 t (3 min) to 1,3 t	3 to 2 t^a	max. 2 s^a
$12 < t \leq 20$	5 to 2 t	0,5 t to 1,1 t	0,5 t to 2 t	max. 2 s
$20 < t \leq 40$	5 to 2 t	0,5 t to 1,1 t	0,5 t to 2 t	max. 2 s when $s < 20$ max. 2 t when $s \geq 20$
$40 < t \leq 100$	5 to 200	—	0,5 t to 2 t	max. 2 s when $s < 20$ max. 200 when $s \geq 20$
$100 < t \leq 150$	5 to 200	—	50 to 2 t	max. 2 s when $s < 20$ max. 300 when $s \geq 20$
$t > 150$	5 to 1,33 t	—	50 to 2 t	max. 2 s when $s < 20$ max. 1,33 t when $s \geq 20$

^a For level 2: when impact requirements are specified but impact tests have not been performed, the maximum thickness of qualification is limited to 12 mm.

Table 8 — For level 2: Range of qualification for material thickness and throat thickness of fillet welds

Dimensions in millimetres

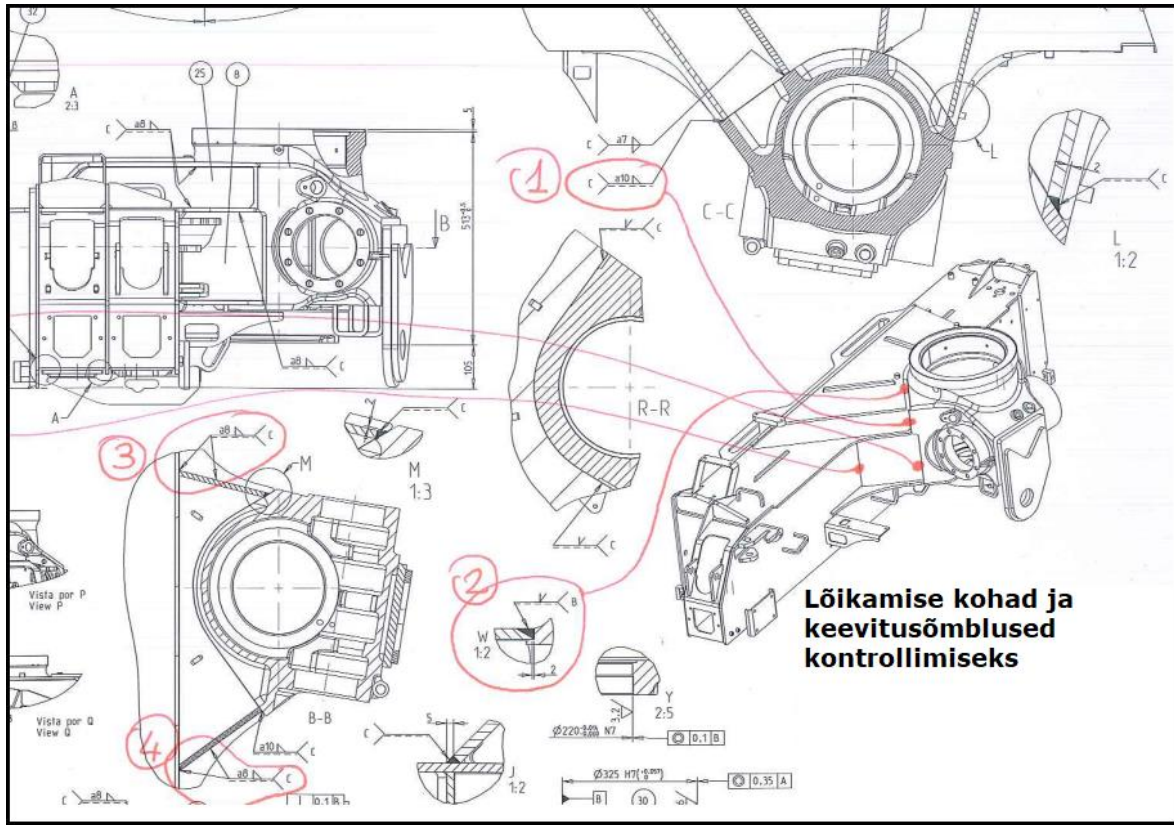
Thickness of test piece t	Material thickness ^a	Range of qualification	
		Single run	Throat thickness
			Multi-run
$t \leq 3$	0,7 t to 2 t	0,75 a to 1,5 a	No restriction
$3 < t < 30$	3 to 2 t		
$t \geq 30$	≥ 5		

Where a fillet weld is qualified by means of a butt weld test, the throat thickness range shall be based on the thickness of the deposited weld metal.

NOTE a is the nominal throat thickness as specified in pWPS for the test piece.

^a In case of different material thicknesses, the range of qualification of both thicknesses of the test pieces shall be calculated separately.

LISA 10 MAKROLÖIKUDE MÄÄRAMINE VALMIS TOODEL



LISA 11 KEEVISLIIDE MAKROLÕIK. PRAAK JUURE KOHAL

