

Helmer Lind

ROBOTKEEVITUSE TOOTLIKKUSE SUURENDAMINE TARMETEC OÜ NÄITEL

Lõputöö

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut

Tootmine ja tootmiskorraldus

Juhendaja: Ruslan Raid

Tallinn 2023

Mina, Helmer Lind, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teoste on viidatud õiguspäraselt.

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

Juhendaja Ruslan Raid (allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Helmer Lind
sünnikuupäev: 21.04.1994

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Robotkeevituse tootlikkuse suurendamine Tarmetec OÜ näitel

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 (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

SISUKORD

SISUKORD	3
SISSEJUHATUS.....	5
1. ETTEVÖTTE TUTVUSTUS.....	7
1.1. Ettevõtte struktuur	7
1.2. Ettevõtte üldine töökorraldus	8
1.3. Pakutavad tooted	9
1.3.1. Autode lisavarustus	9
1.3.2. Seadmed roostevaba terasest.....	9
1.3.3. Masinad ja nende osad	10
1.3.4. Tööriistaehitus.....	10
2. TOOTMISTEHNOLLOOGIA	11
2.1. Robotkeevituse tehnoloogia	11
2.2. Seadmete kirjeldus	13
2.3. Töökeskuste asendiplaan.....	14
2.4. Robotkeevituse protsessi kirjeldus	14
3. OLUKORRA KAARDISTAMINE JA PROBLEEMIPÜSTITUS	16
3.1. Osakonna robotkeevituse tööaja analüüs	16
3.2. Probleemipüstitus	18
3.3. Ishikawa diagramm	19
4. ANDMED JA METOODIKA.....	21
5. TÖÖAJA VAATLUSE TULEMUSED.....	25
6. LEAN METOODIKA JA SELLE RAKENDAMINE.....	29
6.2.1. Tootlikkuse mõõtmine.....	33
6.2.2. Autonoomne hooldus	34
6.2.3. Planeeritud hooldus	35
6.2.4. Väljaõpe	36
6.3.1. 5-s metoodika rakendamine robotkeevitusseadmetel.....	38

7. PARENDUSETTEPANEKUD	41
7.1. Valmistustehnoloogiate parendamine	41
7.2. TPM metoodika kasutuselevõtt	43
7.3. OEE mõõtmine kriitilise tähtsusega protsessides	44
7.4. Lühiajaliste tõrgete registreerimine	45
KOKKUVÕTE	46
SUMMARY	47
VIIDATUD ALLIKAD	48
LISAD	50
Lisa 1. Ettevõttes toodetavad autode lisavarustustooted [3]	51
Lisa 2. Autonoomse hooldussüsteemi standard	52

SISSEJUHATUS

Tootmisettevõtted on silmitsi seismas olukorraga, kus kasumlikkuse saavutamist pidurdavad toorme ja energiahindade muutlikkus ja kvalifitseeritud tööjõu nappus. Lisaks seisavad Eesti ettevõtted silmitsi Euroala kõrgeima inflatsiooniga, mis ohustab otseselt Eesti tööstuste konkurentsivõime säilitamist. Konkurentsis püsimiseks on Eesti tootmisettevõtted olukorras, kus tuleb üle hinnata ressursside kasutus ja leida lahendusi ressursside optimeerimiseks. Konkurentsis püsimise eelduseks on tööprotsesside pidev parendamine, mille tulemuseks on tootlikkuse kasv. Tööprotsesside automatiseerimine on üheks lahenduseks, mida tootmisettevõtted on rakendanud tootlikkuse kasvu saavutamiseks.

Käesoleva lõputöö raames analüüsiti robotkeevitusseadmete tootlikkust ettevõtte Tarmetec OÜ näitel. Lõputöö teema valik tulenes eespool kirjeldatud majandusolukorrast, mis survestab tööstusettevõtteid tõhusamalt majandama, et tagada toodete omahinna säilimine.

Keevitusprotsessi automatiseerimiseks kasutatakse robotite abi, mis võimaldab kiiremat tootmisaega ja ühtlasemat tulemust võrreldes käsikeevitusega. Lisaks väheneb keevitusprotsessi automatiseerimisega oskustööjõu vajadus. Antud eelistest lähtuvalt on ettevõttes eesmärgiks tõsta robotkeevituse osakaalu kogutootmismahust. Robotkeevitusseadmetel tehtavate tööoperatsioonide mahu suurendamiseks on esmalt vajalik mõista olemasolevate seadmete tegelikku võimekust ja tootlikkust piiravad tegureid. Sellest tulenevalt on lõputöö eesmärkideks seatud:

1. Analüüsida robotkeevitus seadmete tootlikkust, mõistmaks kuhu kaob kasulik tööaeg.
2. Parendada töökeskkonda ja tuvastada raiskamised protsessides, ning leida lahendused tootlikkuse suurendamiseks.
3. Robotkeevitus töökeskuste seisakute vähendamine läbi regulaarse hooldussüsteemi.

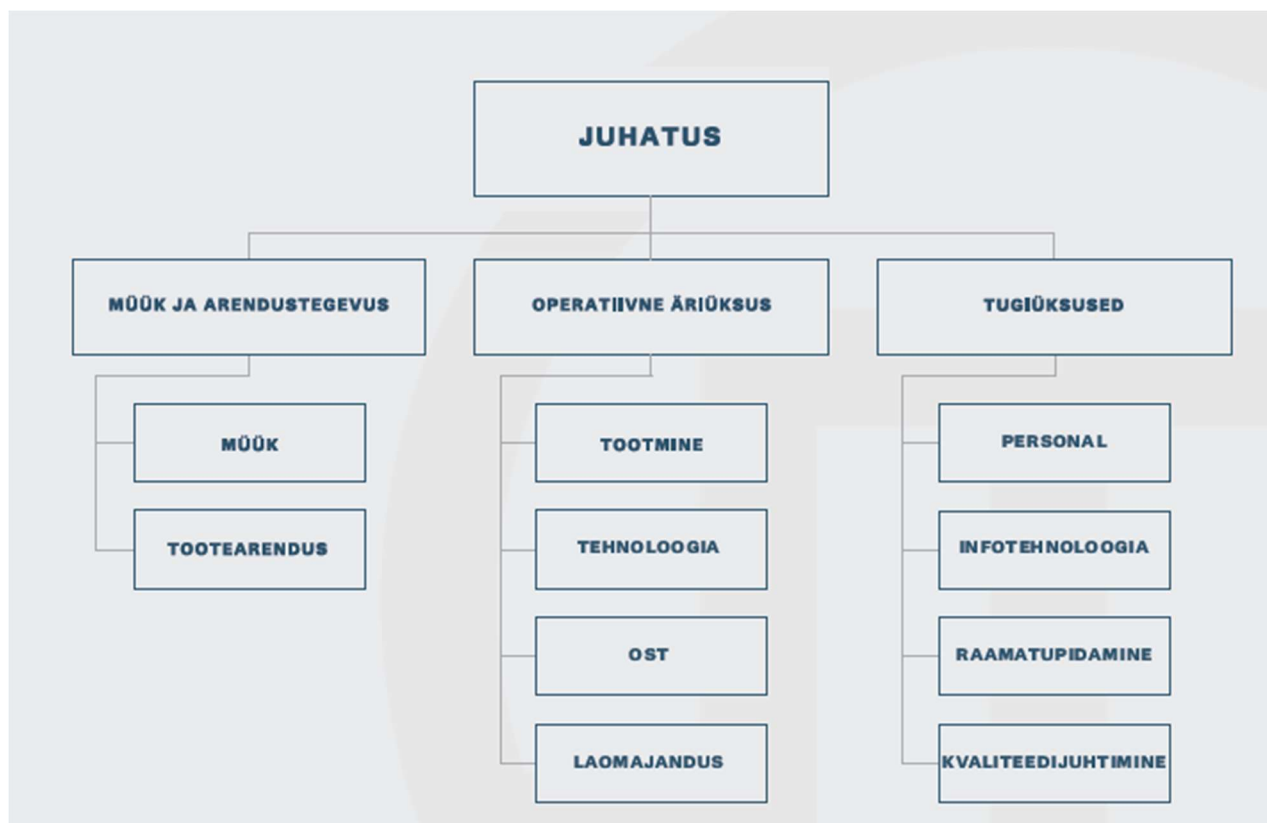
Käesolev lõputöö koosneb seitsmest sisulisest osast. Esimeses osas antakse ülevaade lõputöös vaadeldavast ettevõttest ning selle pakutavatest toodetest. Teises osas kirjeldatakse robotkeevituse tootmistehnoloogiaid ning seadmeid ettevõttes Tarmetec OÜ. Kolmandas osas antakse ülevaade

mõõdikutest ja kaardistatakse olemasolev olukord, millele järgneb probleemi püstitus. Neljandas osas kirjeldatakse lõputöös kasutatud andmeid ja vaatluse metoodikat ning viiendas peatükis koostatakse vaatlustulemuste analüüs. Kuues peatükk keskendub lõputöös püstitatud eesmärkide ja probleemülesande lahendamisele läbi *lean* metoodika rakendamise ning seitsmendas ja ühtlasi viimases sisulises peatükis tuuakse välja parendusettepanekud robotkeevituse tootlikkuse suurendamiseks ettevõttes.

1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Tarmetec OÜ on Eestis erakapitalil tegutsev metallitööstus ettevõtte, mis sai alguse 1993. aastal Tartus. Ettevõtte alustas tootmistegevust, rentides tootmisruume ja seadmeid Tartu Teaduspargilt. Edasine suur samm oli juba kolm aastat peale tootmistegevuse alustamist mil ettevõtte soetas esimesed tootmisruumid, kus võeti kasutusele torupainutustehnoloogia. Peamiseks tegevusalaks oli toona sõidukite kaitseraudade tootmine roostevabast terasest.[1] Tänapäevaks on ettevõtte kasvanud Eestis metallitööstus ettevõtete äripäeva top-i teenides 2022. aastal 46 miljonit eurot müügitulu. [1] Eelneva saavutamiseks annab igapäevaselt Tarmetecis oma panuse ligikaudu 250 töötajat, kelle tööülesannete täitmiseks on 21000m² suurune tootmishoone, mis asub Taru linnas.

1.1. Ettevõtte struktuur

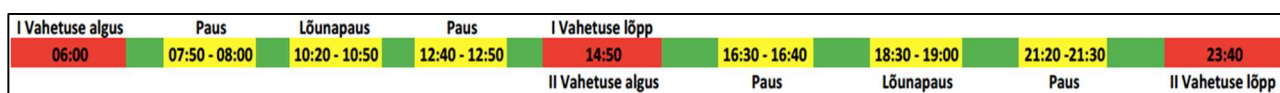


Joonis 1. Tarmetec OÜ juhtimisstruktuur [1]

1.2. Ettevõtte üldine töökorraldus

Ettevõtte tootmistegevused on jaotatud nelja osakonna vahel, milleks on 1) ettevalmistusosakond, 2) musta metalli tootmisosakond, 3) roostevaba metalli tootmisosakond ja 4) instrumentaalosakond. Kogu tootmistegevus saab alguse leht ja toru materjali töötlemisest, mida teostatakse ettevalmistusosakonnas. Sinna alla kuulub materjalide lõikused, painutused ja erinevad lukksepatööd.

Edasi liiguvad pooltooted olenevalt materjalist kas roostevaba tootmisosakonda või musta metalli tootmisosakonda, kus toimub pooltoodete keevitus, lukksepatööd, erinevate pinnaviimistluste teostamine, lõpptoodete koostamine ja pakkimine. Tootmistöö toimub enamuse lõikudes kahes vahetuses, hommikune vahetus alustab tööpäeva kell 6:00 ja vahetus kestab kuni 14:50-ni ja õhtune vahetus alustab 14:50 ja lõpetab vahetuse 23:40. Mõlemas vahetuses on ettenähtud kaks kümne minutilist pausi ja üks poole tunnine lõunapaus (Joonis 2).



Joonis 2. Tööajad ja puhkepausid

Autor keskendub lõputöös musta metalli osakonnale, kus töötab kahes vahetuses kokku 49 inimest, kes jagunevad üheteistkümne ametikoha vahel. (Tabel 1. Töötajate jaotus osakonnas).

Tabel 1. Töötajate jaotus osakonnas

Ameti nimetus	Inimeste arv, tk
Tootmisosakonna juht	1
Tootmisüksuse juht	2
Seadmeoperaator	13
Seadistaja	2
Lihvija	2
Lukksepp	3
Keevitusroboti operaator	6
Keevitusroboti eestöoline	2
Keevitaja	14
Keevitaja eestöoline	1
Transporttööline	2
Komplekteerija	1

1.3. Pakutavad tooted

Ettevõttes Tarmetec OÜ toodetavate toodete nomenklatuur on väga lai. Käibel olevaid lõpptooteid mida ettevõttes toodetakse on ligikaudu 3500. Selleks, et seda kõike oleks lihtsam ohjata on tooted jaotatud nelja ärisuunda:

1. autode lisavarustus;
2. seadmed roostevaba terasest;
3. masinad ja nende osad;
4. tööriistachitus.

1.3.1. Autode lisavarustus

Tarmetecis disainitud ja toodetud autode lisavarustustooted kuuluvad enamasti Meteci kaubamärgi alla, mis registreeriti 2005. aastal, mil ettevõtte oli tegutsenud kaksteist aastat, arendades ja tootes autode lisavarustust. Meteci lisavarustus tooted on disainitud ja arendatud EU nõuetest lähtuvalt ja kõik ettevõtte poolt müüdavad tooted on testitud laborites ja omavad vastavustunnistusi. Lisavarustus tooteid müüakse 29 riigis. Lisaks Metec brändi toodetele toodetakse ettevõttes lisavarustustooteid tuntud autotööstustele, millest suurimad on Mercedes-Benz ja Scania. Pakutavad lisavarustustooted jagunevad viieks tooteperekonnaks: [3]

1. nähtavustooted;
2. ergonoomika tooted;
3. funktsionaalsustooted;
4. kaitsetooted (Lisa 1);
5. aerodünaamika tooted.

1.3.2. Seadmed roostevaba terasest

Ärisuunda, mis teenindab kliente kelleks on meditsiiniseadmeid lõpptarbijale pakkuvad ettevõtted on Tarmetecis arendatud alates 1999. aastast. Ettevõtte suurimaks läbimurdeks meditsiinivahendite tootmises peetakse 2007. aastal elektropoleerimise tehnoloogia kasutuselevõttu, mis on roostevabast terasest meditsiinitehnika soosituim pinnaviimistlus vorm. Meditsiinitehnika tootmisel on oluline roll toomise kvaliteedil ja üldise korra ja puhtuse tagamisel, mille eest on kõik ettevõtte töötajad vastutavad.

Meditstiinitehnika jaguneb viide suuremasse tooteperekonda, milleks on: [1]

1. mobiilsed laadimissüsteemid;
2. isesõitvad laadimissüsteemid;
3. statsionaarsed konveierid ja laadimissüsteemid;
4. erinevate seadmete kere ja tööorganite osad;
5. perifeeriaseadmed operatsioonide teostamiseks ja operatsioonitarvikute ladustamiseks.

1.3.3. Masinad ja nende osad

Ärisuund, kus toodetakse masinaid ja nende osasid sai alguse 2001. aastast, mil alustati esimeste komponentide tootmist veoautode ja haagiste tarbeks. Klientideks on ülemaailmselt tegutsevad suurettevõtted, kes kasutavad Tarmeteci poolt toodetud komponente lõpptoodete valmimisel. Sellest tulenevalt on väga oluline tagada soovitud tarned, et nende tehaste tootmisliinid ei seisku. Tänapäevaks on ärisuunda laiendatud ka väljapoole autotööstusest, pakkudes lõpptooteid ja komponente, mis kuuluvad järgnevasse tooteperekondadesse: [1]

1. tõste ja teisaldusseadmed;
2. tehhooldus-, metsandus ja põllumajandustehnika;
3. eriotstarbeliste sõidukite osad;
4. traktorite ja autode kere osad;
5. ehitusmasinate osad;
6. autode veermiku osad.

1.3.4. Tööriistaehtus

Lisaks seeriatootmisele on ettevõttes välja arendatud osakond, mis tegeleb majasiseseks tootmiseks vajaminevate töövahendite ja seadmete tootmise, hoolduse ja parandusega. Täiendavalt majasisestele tellimustele pakutakse osakonnas tehtavate tööde teenust ka teistele ettevõtetele, kes vajavad erilahendusi, mis pole kaubandusest saadaval või tarnete pikkusest tingituna on otstarbekas lahendused ise toota. Lisaks erilahenduste tootmisele pakutakse ka tööriistade katsetamise teenust, mis tagab klientidele toimivad lahendused. [1]

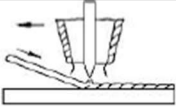
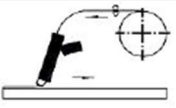
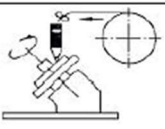
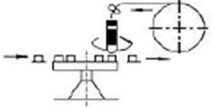
2. TOOTMISTEHNOLOOGIA

Järgnevas peatükis kirjeldab lõputöö autor uuritavas valdkonnas kasutusel olevat robotkeevituse tehnoloogiat. Tehnoloogia on alustala toote või teenuse valmistamiseks ning selle kasutamise eelduseks on teadmised, oskused ja seadmed. [7] Tänapäevases tootmises on tootmistehnoloogia eesmärk välja töötada kulusäästvad ja optimaalsed tootmis metoodikad. Pidevat arengut tootmistehnoloogias survestavad aina süvenev tööjõupuudus ja ülemaailmne hinna konkurents, mida on viimasel aastal mõjutanud toorme hindade tõus ja energiakriis. Kõrgtehnoloogilised seadmed koos nutikate lahendustega, pidev protsesside parendamine ja võrdlemisi madalad tööjõukulud on võimaldanud tootmisettevõtetel Ida-Euroopas püsida, pakkudes seejuures kõrget kvaliteeti konkurentsivõimelise hinnaga.

2.1. Robotkeevituse tehnoloogia

Keevitamine on tehnoloogia haru, mida võib nimetada kõige levinumaks materjalide liitmismetoodikaks, mida kasutatakse püsivate ehk mittelahtivõetavate liidete valmistamiseks. Keevitus on protsess, mille käigus ühendatakse kaks või enam osa, andes neile püsiva kuju. Selleks rakendatakse kas kuumutamist või survet, mis sulatab ja ühendab liidetavad materjalid omavahel ning moodustab nende vahele ühtse sisestruktuuri. Teatud keevitusliikide puhul kasutatakse lisamaterjali, mis lisatakse keevitusprotsessi käigu liidetavatele materjalidel. Keevitamise tulemuseks on keevisõmblus, mida kasutatakse peamiselt püsiliidete ehk mittelahtivõetavate liidete valmistamiseks. [6] Keevitustehnoloogiad jagunevad mehhaniseerimise taseme järgi (Tabel 2).

Tabel 2. Keevituse liigitus mehhaniseerimise taseme järgi [8]

Nimetus	Skeem	Liikumised keevitamisel		
		põleti/detaili liikumine	lisametalli etteandeliikumine	detaili manipuleerimine
käsikeevitus		käsitsi	käsitsi	käsitsi
osaliselt mehhaniseeritud keevitus, poolautomaatkeevitus		käsitsi	mehhaniseeritud	käsitsi
täielikult mehhaniseeritud keevitus, masinkeevitus		mehhaniseeritud	mehhaniseeritud	käsitsi
automaatkeevitus		mehhaniseeritud	mehhaniseeritud	mehhaniseeritud

Robotite kasutamine on laialdaselt tööstustes levinud automatiseerimise vorm, mida rakendatakse paljudes tootmisharudes. Robotkeevituseks nimetatakse keevituse liiki, kus keevitusprotsessi automatiseerimiseks kasutatakse roboteid, mis pakub käsikeevituse ees mitmeid eeliseid. [8] Programmeeritavate robotite abil saavutatakse robotkeevitustel ühtlased ja kvaliteetsed keevisõmblused. Lisaks on robotkeevitus kordades kiirem, kui käsitsi keevitamine ja see võib töötada ööpäevaringselt, ilma puhkeperioodideta, mille tulemusel kasvab tootlikkus ja vähenevad tööjõukulud. [9]

Vaatamata eelistele on robotkeevitus protsessil ka mõned puudused, millest peamisteks on kõrged investeeringukulutused seadmete soetamisel ja hooldus- ja remondikulud. Lisaks tuleb robotkeevitusseadmete puhul arvestada tööprotsesside teostamiseks vajaminevate keevitusprogrammide nõuetest, millega määratakse roboti liikumissuund, liikumiskiirus ja voolutugevus. Tööoperatsioonide teostamiseks vajaminevate programmide vajadus muudab robotkeevitused vähem paindlikumaks võrreldes käsikeevitusega. [9]

2.2. Seadmete kirjeldus

Käesolevas peatükis annab autor ülevaate keevitusosakonnas kasutusel olevate robotkeevitusseadmete tehnilisest võimekusest. Ettevõttes on kokku viis robotkeevitus töökeskust, millest lõputöö raames keskendutakse kolme uurimisele.

Tabel 3. Osakonna robotkeevitus töökeskuste spetsifikatsioonid [11] [12]

	Reis 073	Panasonic 060	Yaskawa 178
Robotite arv	1	2	1
Telgede arv	6	6	6
Maksimaalne tööraadius	2000mm	1000mm	3124mm
Makimaalne töökiirus	2500mm/s	3000mm/s	3000mm/s
Max kandevõime	200kg	500kg	1500kg
Max koostu pikkus	800mm	2760mm	5000mm

Ettevõttes kõik kasutusel olevad robot töökeskused on varustatud pööratav positsioneerijaga (Foto 1). See tähendab, et seadmele on võimalik paigaldada kaks rakist korraga ja positsioneerijat on võimalik horisontaalsuunas liigutades suunata kas tööalasse või rakistamisalasse. Antud tehnoloogia kasutus võimaldab toota korraga kahe rakisega, kas siis sama toodet duubelrakisega või siis teist toodet, mille keevitusaeg on ajaliselt sarnane ja kasutatav täitematerjal sama.

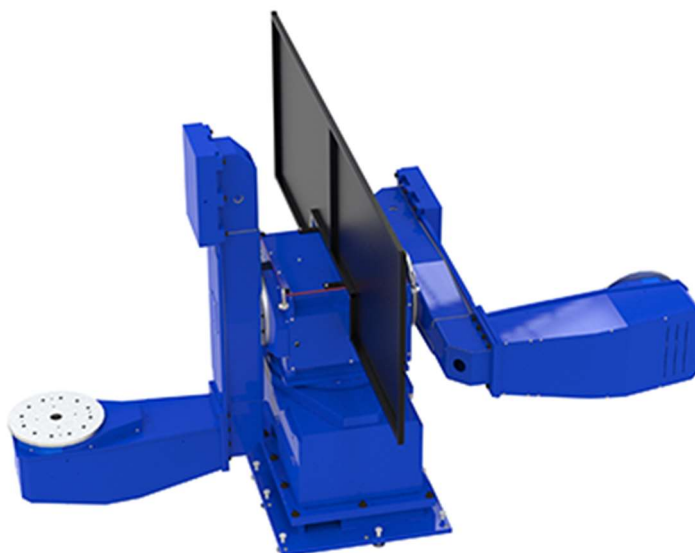
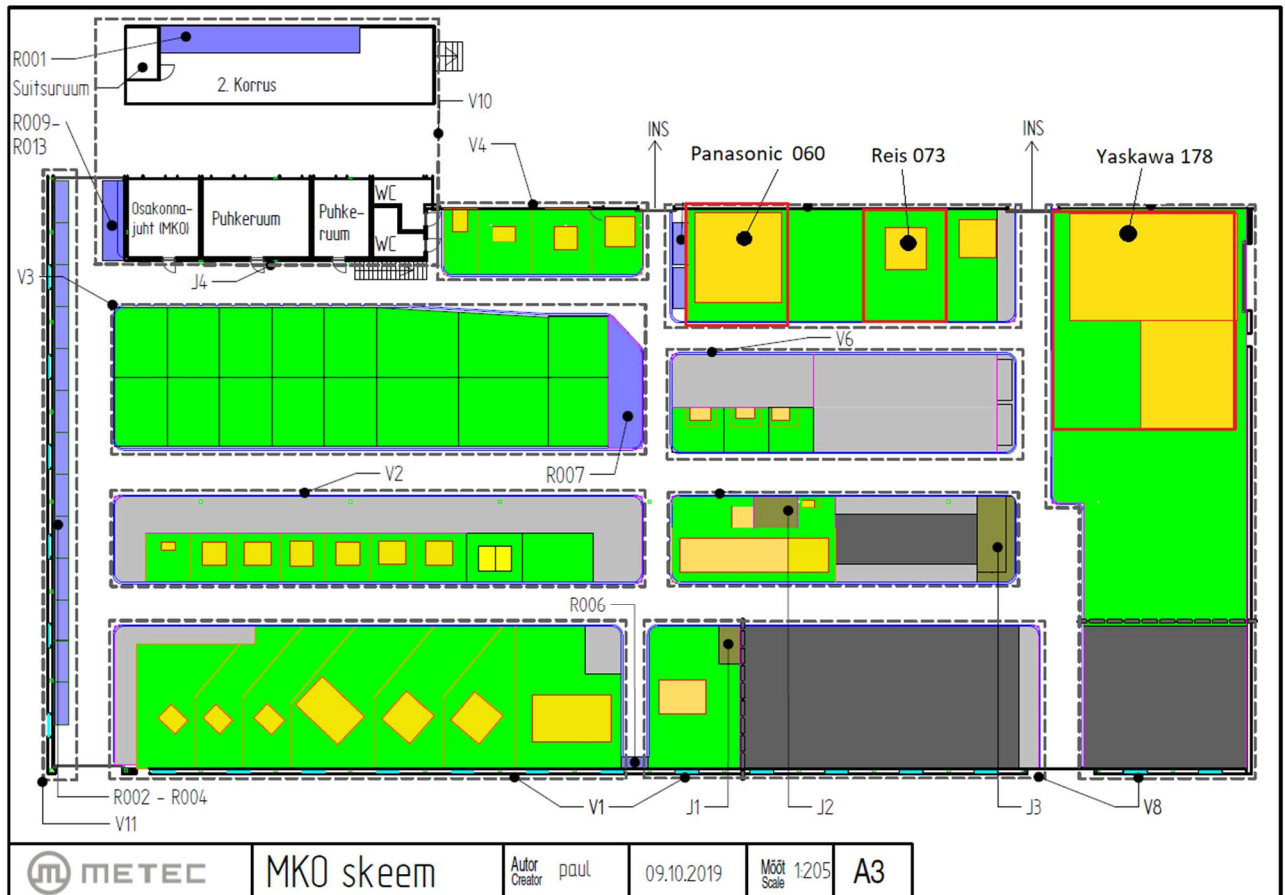


Foto 1. Yaskawa VMF-1500 positsioneerija [8]

2.3. Töökeskuste asendiplaan

Lõputöös vaadeldavad robot keevitusseadmed paiknevad musta metalli tsehhi alal, kus kokku on 6900m² põrandapinda. Asendiplaanis on vaadeldavad robot keevitusseadmed ääristatud punasega (Joonis 3).



Joonis 3. Musta metalli osakonna asendiplaan

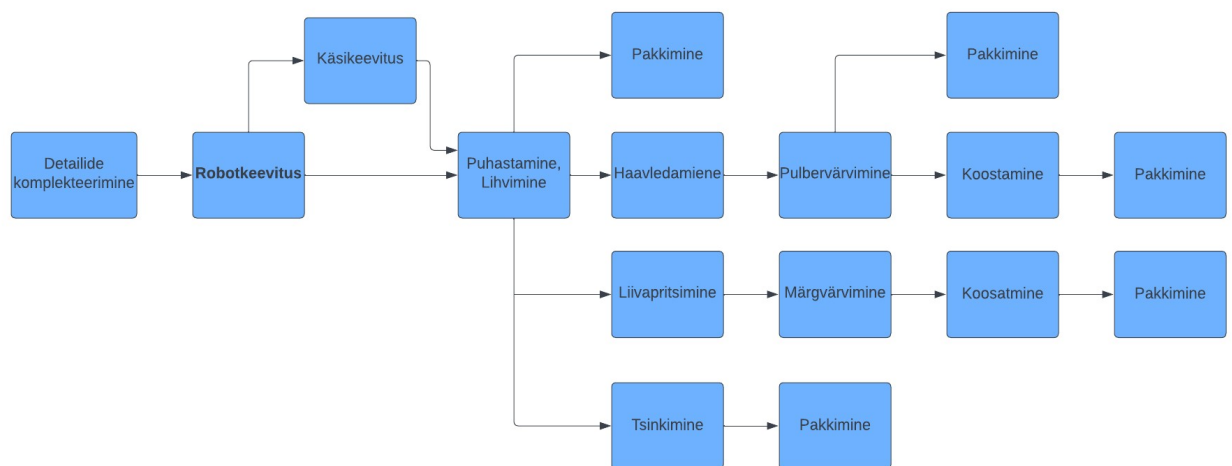
2.4. Robotkeevituse protsessi kirjeldus

Robotkeevituse protsessi eesmärk on nagu ka kõigi teiste tööstusrobotite puhul asendada korduvad käsitöö operatsioonid automaatse tööga. Robotkeevitus protsess on kasumlik juhul, kui protsessi aeg on madalam koos seadistuse ja abiaegadega võrreldes alternatiivprotsessidega. Robotkeevitusseadmetele sobivad tooted, mis korduvad ja mille partiide suurused on piisavad, et tagada seadme efektiivne kasutus. Neid samu põhimõtteid on vaadeldavas ettevõttes ka järgitud ja

tooted, mis on robotkeevitus töökeskusele juurutatud on kliendiproгноoside põhjal pika elueaga ja sisaldavad piisavas mahus keevitusaega.

Robotkeevitus seadmeoperaatorite tööülesannete täitmise eesmärk on töökeskuste koormamine vastavalt etteantud plaanile, mille väljundiks on kvaliteetne toodang. See hõlmab detailide komplekteerimist rakistesse ja keevitustööde teostamist robotkeevitus seadmetel. Ettevõtte kvaliteedisüsteem kohustab operaatoreid peale iga koostu keevitamist hindama visuaalselt keevitusõmbluste kvaliteeti ja probleemide esinemisel kõrvaldada probleemide tekitajad. Mõningal juhul on operaatori tööülesanneteks ka keeviskoostude puhastamine keevispritsmetest ja keevisõmbluste lihvimine. Antud tegevused lisanduvad juhtudel, kui keevitusprotsessi aeg võimaldab järeltegevuste teostamist. Selle eesmärk on operaatorite tööaja kasulikult rakendamine ajal, mil töökeskus töötleb detaile.

Protsessis pooleli olevad tooted transpordivad operaatorid ise järgnevasse protsessi või väljundtsooni. Valmistoodangu lattu transpordi eest vastutavad transporttöötajad. Robotkeevitusele järgnevad protsessid on toodud välja (Joonis 4). Tööks vajalikud juhised ja suunised saab operaator töökäsul olevalt operatsiooni info väljalt või jooniselt. Lisaks ülal toodud tööülesannetele kuulub operaatori päevaste tegevuste hulka seadme ja selle ümbruse koristus. Selle tarvis on osakonna kõigile töötajatele eraldatud 10 minutit tööaja lõpust koristustegevuste läbiviimiseks.



Joonis 4. Robotkeevitusele järgnevad protsessid

3. OLUKORRA KAARDISTAMINE JA PROBLEEMIPÜSTITUS

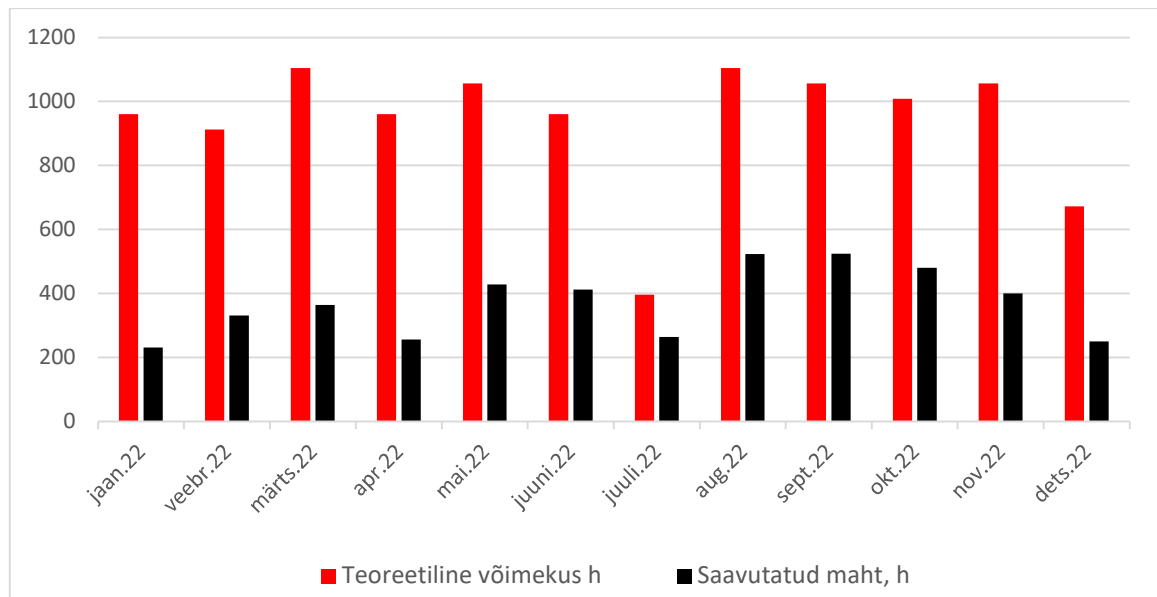
Käesolevas peatükis toob lõputöö autor välja robotkeevitus töökeskuste tööaja tulemuslikkuse andmed, mis pärinevad ettevõtte aruandluskeskkonnast. Vaadeldavaks perioodiks on aasta 2022. Andmete esialgse analüüsi tulemusena püstitatakse probleem, mida järgnevides peatükkides analüüsitakse ja tuuakse välja võimalikud lahendused, mis aitavad jõuda soovitud eesmärgini.

3.1. Osakonna robotkeevituse tööaja analüüs

Kvantitatiivne analüüs teostati kolme robotkeevitusseadme 2022. aasta tööaja andmetele. Vaadeldavasse perioodi jäi kolm nädalat kollektiivpuhkust, millest kaks nädalat oli juulis ja üks nädal detsembris, mil seadmetega tööd ei tehtud.

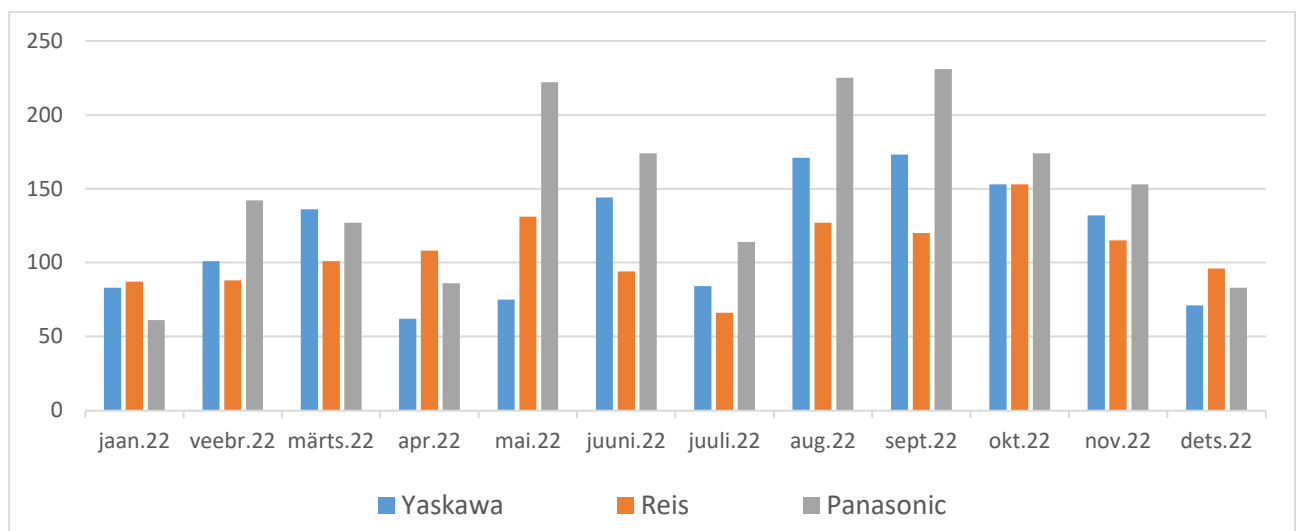
Väljatoodud andmete põhjal on vaadeldava perioodi kolme robotkeevitus töökeskuse kuu keskmine teoreetiline võimekus 937 tundi (Joonis 5). Teoreetilised tunnid on tuletatud tööpäevade arvust kuus, mille sisse pole arvestatud planeeritud seisakuid, mille alla kuuluvad seadistused ja plaanilised hooldustööd. Teostatud tunnid on kuvatud normeeritud normtundide alusel, mis on tagasisidestatud vaadeldavas perioodis. Vaadeldavas perioodis teostati robotkeevitus seadmetel keskmiselt kuu lõikes 372 tundi tööd.

Välja toodud andmete põhjal saame aasta keskmiseks koormatuseks 39,7% ja seisakute ajaks 60,3%, mis ei ole ootuspärane tulemus. Huvitava on asjaolu, et 2022.a juulis, mil tehas oli kaks nädala kollektiivsel puhkusel on selle eelsel perioodil saavutatud koormatus tasemeks 66,6%, mis on ühtlasi ka parim tulemus vaadeldava perioodi jooksul.



Joonis 5. Robotkeevitus töökeskuste koormatus tundides

Välja toodud võimekusega on arvestanud ka tootmise planeerijad, kes tootmisplaan luues arvestavad ca kolmandikuga kogu teoreetilisest võimekusest. Mõistmaks madalat tulemust toob autor eraldi välja kolme uuritava seadme saavutatud mahu tulemused (Joonis 6). Kus on kujutatud tulpadena töökeskuste tagasisidestatud normtundide mahtu kuude lõikes. Väljatoodud andmete põhjal saame järeldada, et kolmest seadmest kõige rohkem tööd teostati seadmel Panasonic, kokku 1792 tundi. Yaskawal teostati vaadeldaval perioodil 1385 tundi ja töökeskusel Reis oli teostatud tööde maht 1286 tundi.

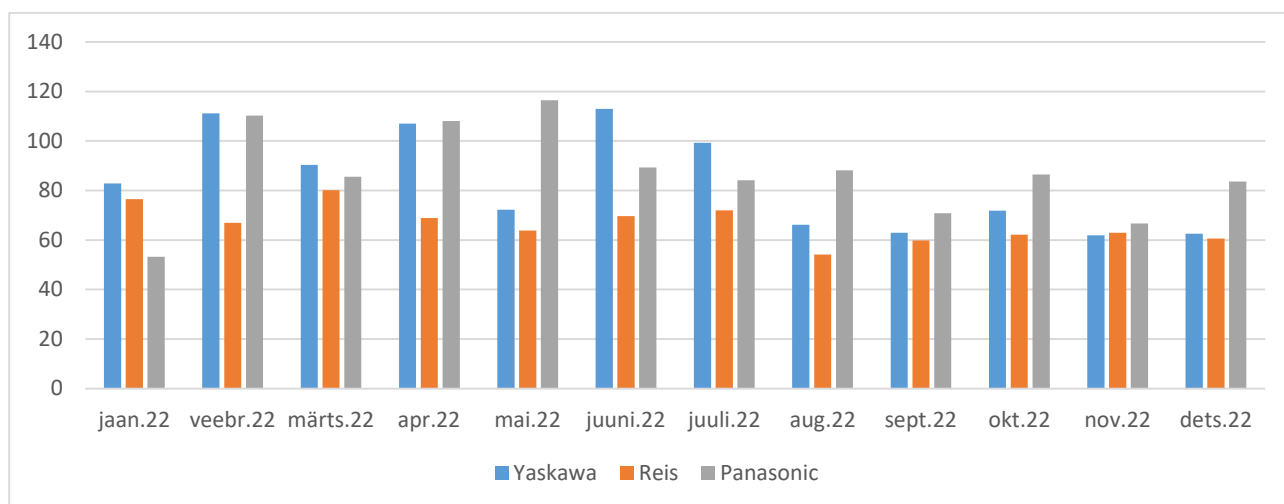


Joonis 6. Robot keevitustöökeskuste ressursimaht tundides

Lisaks teostatud mahule mõõdetakse ettevõttes ka seadmetel tehtavate tööoperatsioonide efektiivsust. Efektiivsus on oodatud väljundi ja tegeliku väljundi suhe, mis tuuakse välja protsendina. Efektiivsuse mõõtmine annab ülevaate selle kohta, kui hästi ressursse kasutatakse. [9]

$$\text{Efektiivsus} = \text{Tegelik tulemus} / \text{soovitud tulemus} \times 100\%$$

2022. a andmete põhjal on kolme töökeskuse aasta keskmine efektiivsus 78,9%. Madalaim tulemus on töökeskusel reis 073, mille vaadeldud perioodi keskmine efektiivsus oli 66,5% (Joonis 7).



Joonis 7. Robot keevitustöökeskustel teostatud tööde efektiivsus

3.2. Probleemipüstitus

Probleemi püstitus tugineb kaardistatud keevitusosakonna robotkeevituse tööaja analüüsile ja makromajanduslikele aspektidele, mis mõjutavad ettevõtte konkurentsivõime säilimist. Osakonna keevitusrobotitel teostatud töö maht on teoreetilisest võimekusest 39,7%, mis seab piirangud kliendinõudluste õigeaegsele täitmisele ja uute toodete juurutamisele robotkeevitusseadmetele.

Vaadeldavate seadmete keskmiseks efektiivsuseks on 78,9% millest madalaim tulemus oli töökeskusel reis 073, mille tulemus oli 21% madalam võrreldes teiste robotkeevitus seadmetega. Väljatoodud andmete põhjal võib järeldada, et vaatluse all olevates protsessides esineb raiskamist, mida on võimalik ilma suuremate investeeringuteta vähendada. Sellega seoses on autor võtnud lõputöös uuritavaks probleemülesandeks:

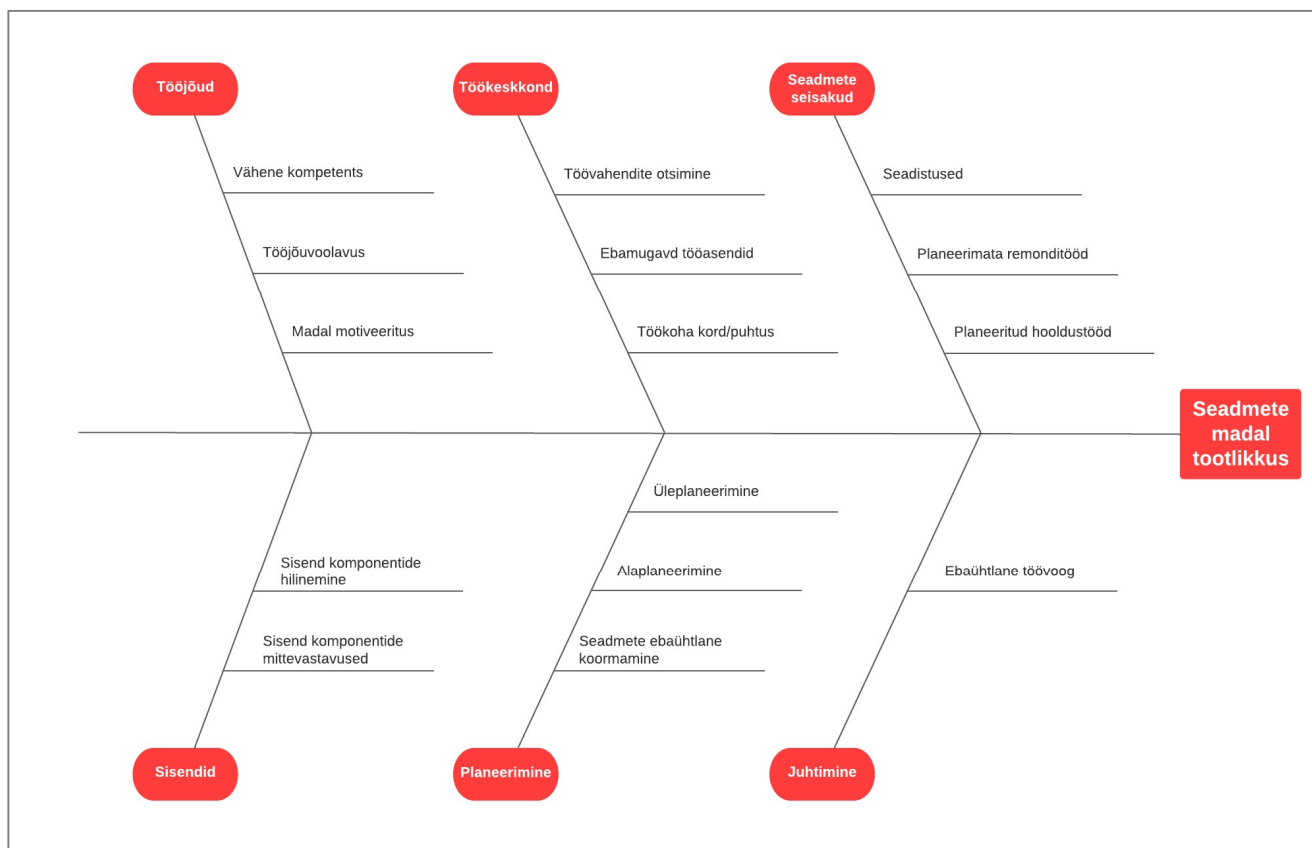
- Tootlikkuse kasvu suurendamise uuritava osakonna robotkeevitusseadmetel.

Tuletatud probleemülesande lahendamiseks on kavandatud saavutada kuu keskmine töömaht 465 tundi, mis tähendab 25% võrra rohkem töötunde, mis teostatakse robotkeevitusseadmetel. Efektiivsusnäitaja tõusu saavutamiseks keskendub autor lõputöös madalaima efektiivsus näitajaga seadme reis 073 raiskamiste tuvastamisele ja nende kõrvaldamisele. Eeldatavaks tulemuseks prognoosib autor 86% mis teeb efektiivsuse tõusuks kolmel seadmel 10%. Prognoositud tulemuste saavutamine kindlustab õigeaegsed klienditarned ja võimaldab juurutada uusi tooteid robotkeevitusseadmetele, mille tulemusel on võimalik vähendada käsikeevituse osatähtsust.

3.3. Ishikawa diagramm

Lõputöö autor kasutab püstitatud probleemi võimalike mõjutajate väljaselgitamiseks Ishikawa, ehk põhjus-tagajärg diagrammi, mis on tuntud kulusäästliku tootmise tööriist (Joonis 8). Diagrammi lähteprobleemi valikul on autor lähtunud eelnevalt tõestatud madalast tootlikkusest robotkeevitusseadmetel.

Diagrammi eesmärk on välja tuua kõikvõimalikud probleemide tekitajad, millega edasistes parendustegevustes tegeleda. [7] Antud diagrammi täitmiseks kasutab autor operaatoritelt saadud infot, ning oma teadmisi ja kogemust uuritavas lõigus.



Joonis 8. Ishikawa diagramm

Ishikawa diagrammis on välja toodud eeldatavad probleemi tekitajad, mille seast valiti välja hääletusmeetodil kaks mõjutajat mida lõputöös süvitsi uurida. Hääletusel osalesid operaatorid, seadistajad ja üksuse juhid.

Seadmete seisakud osutusid üheks mõjutajaks, mis hääletuse käigus valituks said. See hõlmab toodete vahetuste seadistustele kuluvad aega ja planeeritud- ja planeerimata hooldustöid. Lisaks seisakuid, mis on seotud seadmete tõrgetest, millega operaatorid ja seadistajad tegelevad jooksvalt. Lühiajalisi seisakuid ettevõttes hetkel ei fikseerita, seega puudub ülevaade tegelikust olukorrast. Iga seisak, kas planeeritud või planeerimata on kõige otsesem kuluallikas ettevõttele. Lisaks tootmata toodangule tekib pikemate seisakute puhul juhtidel vajadus leida lahendus inimeste rakendamiseks seisakute ajal. See omakorda tekitab pingeid tööliste seas, kui tuleb tegeleda tegevustega, mis ei kuulu nende igapäevaste tööülesannete hulka.

Töökeskond on teiseks probleemi tekitajaks, mis hääletus tulemusel valitus osutus. Üldpilt tootmistehhi töökeskonnast on viisaks, kui tähelepanelikult vaadeldes märkab määrdunud ja hooldamata seadmeid. Lisaks puuduvad kõigil töökohtadel töövahendid, mille tagajärjel operaatorid laenavad töövahendeid kõrval olevate seadmete töövahendite stendidelt, mis on otsene efektiivsuse languse allikas. Töökeskonna olulisus on palju enam kui meile esialgu tunduda võib. Külalised, kliendid ja koostööpartnerid, kes ettevõtet külastavad, loovad endale kuvandid ettevõttest, mida mõjutab suuresti silmaga nähtu. Ka tööjõu volavuse üheks põhjustajaks võib pidada töökeskonda, sest tänane tööjõud on valiv keskkonna osas, kus igapäevaseid tööülesandeid täita.

4. ANDMED JA METOODIKA

Lõputöö autor on kombineerinud lõputöös kvalitatiivset ja kvantitatiivset uurimismetoodikat. Käesolevas töös keskendutakse robotkeevituse tööprotsessi süvaanalüüsile kvalitatiivselt tööaja vaatluste näol, mis võimaldab uurida protsessi erinevaid tahke ning saada detailne ülevaade uurimisobjektist kui sellisest. Lisaks kasutati töös robotkeevitus töökeskuste tööaja andmed, mis pärinevad ettevõtte aruandluskeskkonnast. Vaatluste põhjal viiakse läbi süvaanalüüs ja koostatakse võimalikud parendusettepanekud robotkeevituse tootlikkuse suurendamiseks.

Vaatluse eesmärgiks on hinnata tööaja kasutust ja leida selle käigus protsessi kitsaskohad ning selle põhjal luua parendusettepanekud raiskamise vähendamiseks ning tootlikkuse suurendamiseks. Vaatlus on andmete kogumise meetod, mida vaatleja ise mõjutada ei saa ja kus andmeid uuritava tegevuse kohta saadakse nägemis- ja kuulmismeele kaudu. Vaatlusel koguti andmeid sihipäraselt ja kindla tegvuskava kohaselt. Vaatluse eesmärk on teha kindlaks, kus kohas toimub raiskamine ja sellest tulenevalt teha järeldused, millisel moel on võimalik raiskamist minimeerida. [3]

4.1. Robotkeevituse tööaja andmed

Lõputöö kvantitatiivne analüüs keskendub kolme robotkeevitusseadme tööaja andmete analüüsile, mille eesmärk on hetkeolukorra kaardistamine, probleemülesande püstitamine ning võimalikult laiapõhise ülevaate saavutamine uurimisobjektist, et teostada põhjalik analüüs ja esitada asjakohaseid parendusettepanekuid robotkeevituse tööprotsesside tõhustamiseks. Andmed pärinevad ettevõtte aruandluskeskkonnast. Vaadeldavaks perioodiks on 2022. aasta.

4.2. Tööaja vaatluse metoodika

Tööaja analüüsi viidi läbi kasutades tööpäeva vaatluse metoodikat. Antud metoodika rakendamine võimaldab täpsemalt mõõta tööaja kasutust, tuvastada võimalikud probleemid ja leida protsessides esinevaid raiskamisi. Tööaja vaatlus annab ülevaate sellest, kui palju aega kulub tööoperatsioonide teostamiseks, kui tihti esinevad seisakud ja kui kaua need kestavad. Selle põhjal on võimalik

analüüsida tööprotsessi tõhusust ning leida võimalusi protsesside parendamiseks, mis aitab vähendada kulusid ja suurendada tootlikkust. [12]

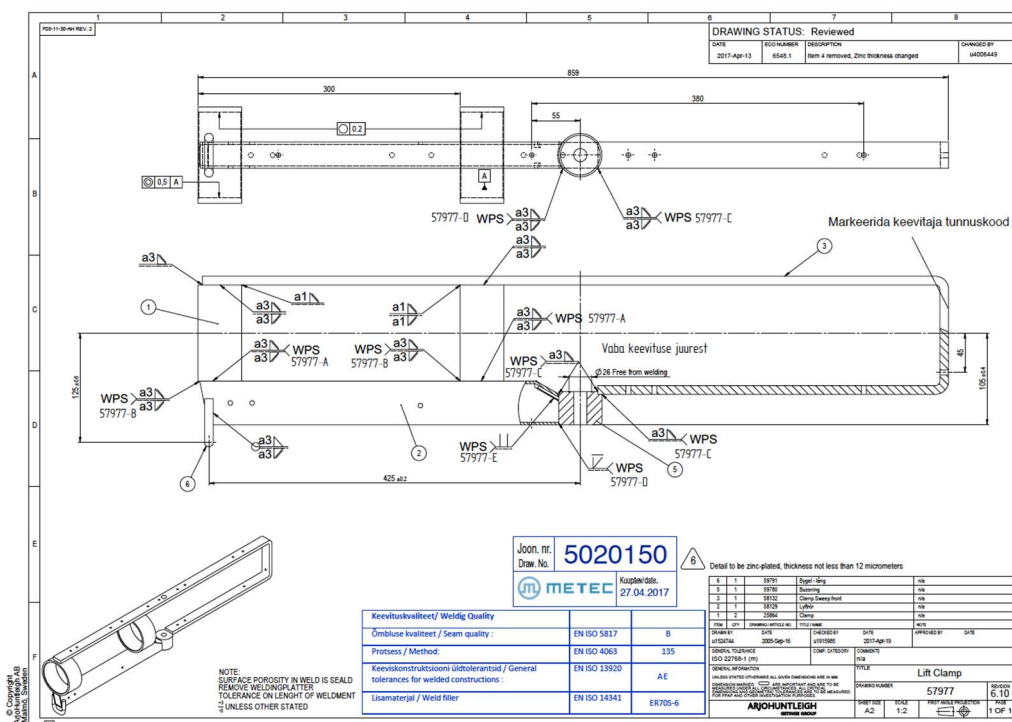
Tööpäeva vaatlus koosneb järgmistest etappidest [12]:

1. ettevalmistustöö vaatluseks;
2. vaatluse läbiviimine;
3. vaatlustulemuste töötlemine ja analüüs;
4. vaatlustulemuste teavitamine.

Vaadeldavaks seadmeks valiti reis 073. Valik tulenes robotkeevituse tööaja andmete analüüsist ja töötajatelt vestluse käigus saadud infost, mille kohaselt on just antud seade kõige probleemsem. Vaatluse läbiviimiseks kasutas autor kaamerat, millega filmiti kolmel korral operaatorite tööprotsesside täitmist keskmiselt kahe tunni vältel. Enne vaatluse läbiviimist võeti töötajatelt kirjalik luba tööprotsesside filmimiseks ja videomaterjali töötlemiseks.

Lisas viidi vahetult peale vaatlusi läbi vabas vormis vestlus seadme operaatoritega. Vestluse eesmärk on välja selgitada asjaolud, mida ei pruugi olla võimalik filmitud visuaalse vaatluse teel kaardistada.

Kahel esimesel vaatluseperioodil teostati seadmel artikli 5020150 keevitust ja puhastamist (Joonis 9).



Joonis 9. Artikli 5020150 keevitusjoonis

[illegible]

Kahe vaatluse alguse ajaks valis autor vahetuse algused, et hinnata tööde alustamiseks kuluvat aega. Kolmas vaatlus viidi läbi kaks tundi enne vahetuse lõppu, et koguda andmeid vahetuse lõpus tehtavate tegevuste kohta ning saada kõikehõlmav ülevaade kogu tööprotsessist. Kõigi kolme vaatluse töötingimused olid vaadeldavatel perioodidel võrdsed. Edaspidi eristame kolme vaatlust järgnevalt: *Vaatlus A-5020150*, *Vaatlus B-5020150*, *Vaatlus C-917009*.

1. Tootliku töö osatähtsus %, (toote loomine, ettevalmistusaeg, lõpetamisaeg ja töökoha hooldamine).
2. Mittetootliku töö osatähtsus %, (praagi parandamine, normaalsete töötingimuste kõrvalekalded, millest tingitud lisategevused tööoperatsioonide täitmiseks).
3. Operaatorist mittesõltuvate seisakute osatähtsus %, (töö ootamine, töövahenditest tingitud seisakud).

4. Operaatorist sõltuvate seisakute osatähtsus % (enneaegne töölopetamine, põhjuseta lahkumine töökohalt, kõrvalised jutuajamised jne).

5. TÖÖAJA VAATLUSE TULEMUSED

Vaatlusanalüüsi eesmärk on selekteerida välja peamised efektiivsuskaod. Tööaja vaatlusel kogutud andmete põhjal saame järeldada, et tootliku töö osatähtsus oli kõigil kolmel vaatlusel suurima osakaaluga kogu vaadeldava perioodi vältel. Kolme vaatluse võrdluses on vaatlustulemused uuritavate näitajate osas võrdsetel tasemetel, millest võime järeldada protsesside stabiilsust (Tabel 4). Mittetootlikku tööd kolme vaatluse käigus ei tuvastatud, kuid selle põhjal ei saa me järeldada, selle puudumist protsessides. Operaatoritega vesteldes selgus, et protsessis tekkinud praagid kogutakse vahetuse jooksul kokku ja enne vahetuse lõppu kas parandatakse ise ära või lastakse kaaskolleegeidel seda teha. Seega läbiviidud vaatlused ei toonud välja andmeid, mittetootlikku töö kohta.

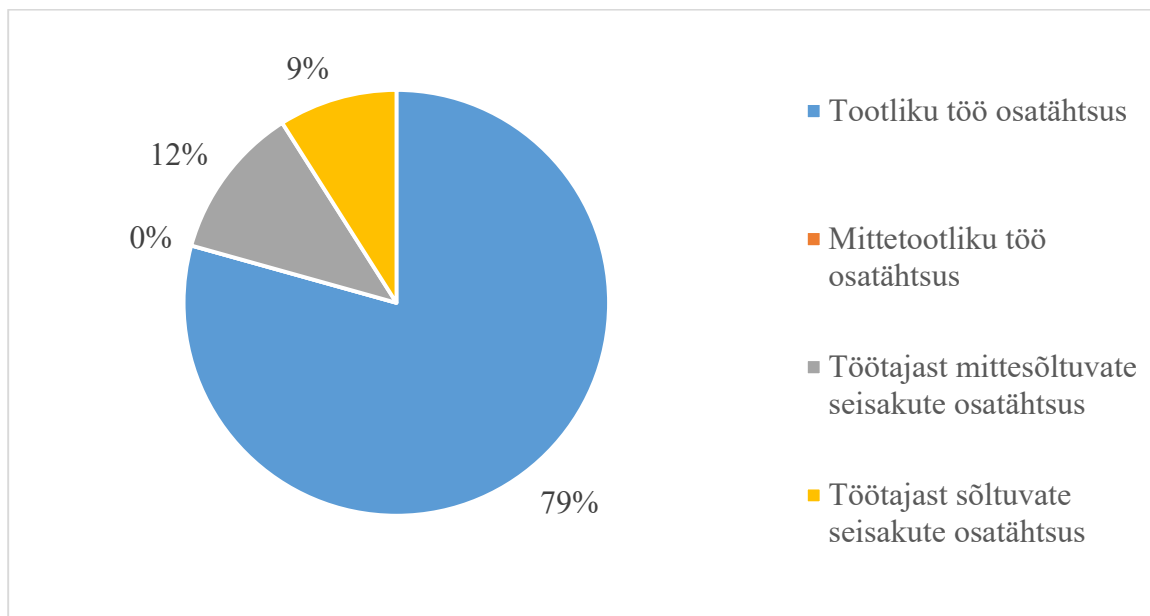
Töötajast sõltuvate seisakute osatähtsus oli kõige kõrgem *Vaatluse B* puhul, mis küündis 15%-ni vaadeldud perioodist. Väljatoodud ajal viibis töötaja kaadrist eemal või vestles kaaskolleegeidega töökohal olles. Töötajast mittesõltuvate seisakute alla liigitati ka aeg, mil operaatorid veetsid roboti tööalas.

Tõrkeid, mis takistasid seadme normaalset tööd esines enim *Vaatluse A* puhul. Lisaks selgus, et lühiajalisi seisakuid, mida operaatorid või seadistajad ilma remondiosakonna abita iseseisvalt lahendavad ei registreerita ettevõtte halduskeskkonda. Sellest tulenevalt puudub ettevõttel ülevaade tõrgete osakaalust.

Tabel 4. Tööaja vaatlustulemused

	Vaatlus A	Vaatlus B	Vaatlus C
Tootliku töö osatähtsus	79%	73%	86%
Mittetootliku töö osatähtsus	0%	0%	0%
Töötajast mittesõltuvate seisakute osatähtsus	16%	12%	7%
Töötajast sõltuvate seisakute osatähtsus	5%	15%	7%

Läbiviidud tööaja vaatluse eesmärgiks oli tuvastada raiskamised tööprotsessides. Kolme vaatlustulemuse aritmeetilise keskmise põhjal saame väita, et suurimaks raiskamiseks oli töötajast mittesõltuvate seisakute osatähtsus, millest valdav enamus oli seotud seadmete tõrgetega (Joonis 11).



Joonis 11. Töötaja vaatlustulemuste aritmeetiline keskmine

Esmaste vaatlustulemuste põhjal on kolme vaatluse aritmeetiline keskmine tootlikku töö osatähtsus 79% (Joonis 11). Kuna tootlikku töö hulka kuuluvad ka abiajad on kahtlust arvata, et suurimad raiskamised on just sinna peidetud. Sellest tulenevalt viib autor läbi kordusvaatluse, mille eesmärgiks on välja tuua protsessi sees olevad tegevused, mille tegevusaega oleks võimalik vähendada või sootuks elimineerida.

Kordusvaatluse käigus vaadeldakse järgnevad näitajad:

1. Töökeskuse töötaja osatähtsus %, (töökeskuse tegelik kasutus, ehk keevitusaeg).
2. Rakistamise osatähtsus %, (detailide rakistamiseks kuluv aeg, mil töökeskus seisab).
3. Töökeskuse tõrgetega seotud seisakud %, (seisakute ajad, mil operaator/seadistaja tegeleb tõrgete kõrvaldamisega).

Muude kõrvaltegevuste osatähtsus %, (tööks vajaminevate vahendite otsimised, toomised ja muud mitteväärtust loovad tegevused).

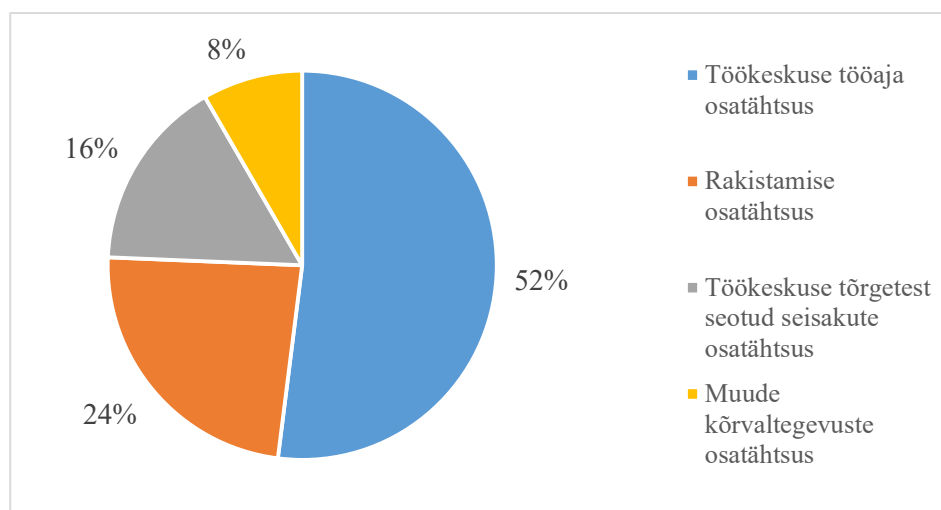
Kordusvaatlusest selgus, et *Vaatluse A* ja *B* töökeskuse kasutus on alla poole vaadeldud perioodi tulemusest (Tabel 5). Töökeskus seisis *Vaatluse A* puhul 60% ja *Vaatluse B* puhul 57% kordusvaatluse perioodist. Parim tulemus saavutati *Vaatluse C* käigus, kus töökeskus kasutus ulatus

73%-ni. *Vaatluse C* läbiviimisel töödeldi detaile kasutades duubelrakiseid. Ühe vaatluse põhjal ei ole võimalik järeldada, kas esineb seos töökeskuse tööaja efektiivse kasutuse ja duubelrakiste vahel.

Tabel 5. Tööaja vaatlustulemused

	Vaatlus A	Vaatlus B	Vaatlus C
Töökeskuse tööaja osatähtsus	40%	43%	73%
Rakistamise osatähtsus	29%	30%	12%
Töökeskuse tõrgetest seotud seisakute osatähtsus	22%	18%	8%
Muude kõrvaltegevuste osatähtsus	9%	9%	7%

Vaatluste käigus kogutud andmete põhjal saadi töökeskuse tööaja osatähtsuseks 52% vaadeldud tööajast. Suurimaks seisuaegade põhjustajaks tuvastati detailide rakistesse paigaldamine ja sealt eemaldamine, mis moodustas 24% kolme vaatluse keskmisest tulemusest (Joonis 12).



Joonis 12. Vaatlustulemuste aritmeetiline keskmine

Vaatluste tulemuste analüüsi käigus selgus, et üheks suurimaks kuluallikaks oli töökeskuse tõrgetest seotud seisakud. Väljatoodud probleemi kirjeldasid ka operaatorid vestluse käigus, mida ühtlasi kinnitasid tööaja vaatlustulemused. Operaatoritega vesteldes selgus, et peamised tõrked on seotud täitetraadi kinnijäämisega, mis viitab etteandemehhanismi kulumisele või traadiliinis olevale mustusele, mis takistab täitetraadi vaba liikumist. Teiseks, tihti esineva tõrkena, tõid operaatorid välja düüsi puhastusseadme ebapiisava puhtuse, mistõttu tuleb operaatoritel endal aegajalt düüsi puhastamas käia. Düüsi puhastamiseks peab operaator töö seiskama, viima keevituskäpa hooldusasendisse ja mehaaniliselt düüsi ära puhastama.

Teise probleemina toob autor tööaja vaatluse tulemuste põhjal välja rakistamisele kuluva aja. Rakistamine kuulub protsessis tootlikku tööaja hulka, ent kui arvestada töökeskuse võimekust töödelda detaile kahe rakisega liigitab autor rakistamisele kulunud aja ressursi ebaotstarbekaks kasutuseks ehk raiskamiseks. Seda põhjusel, et ettevõttes kõik kasutusel olevad robot keevitusseadmed on varustatud pöördlauaga, mis võimaldavad korraga keevitada kahe rakisega, ning hetkel mil seade detaile keevitab on võimalik teha ettevalmistusi järgmise detaili keevitamiseks.

Kolmanda raiskamisena toob autor välja töövahendite puudumise ja ebaergonoomilised tööasendid, mis pärsivad seadmel tehtavate tööoperatsioonide tootlikkust. Töökeskusel reis 073 puuduvad töövahendid tööoperatsioonide läbiviimiseks. Sellest tingituna on igal operaatoril omad töövahendid, mida hoiustatakse lukuga töövahendite kappides. Antud lahendus on ebaefektiivne, kuna operaatorid kulutavad osa tööajast töövahendite otsimisele ja toomisele. Lisaks kaotatud tööajale on antud lahendus lisakuluks ettevõttele, kuna kolme seadme töövahendite asemel on kõigil kuuel operaatoril omad vahendid, ehk töövahendite laovarud on antud lõigu näitel poole suuremad.

6. LEAN METOODIKA JA SELLE RAKENDAMINE

Käesolevas peatükis kirjeldab autor töös kasutatavaid *lean* metoodika põhimõtteid ja nende olulisust ettevõtete jaoks kelle eesmärgiks on turul konkurentsivõimelise ettevõttena püsida. *Lean* kui tervik on juhtimiskontseptsioon, mis sai alguse kahekümnendal sajandil peale teist maailmasõda Jaapani Toyota autotehases, mil seisti silmitsi keerulistes oludes nii finantsiliselt kui tootmissisendite saadavuste osas. Keeruline olukord sundis Jaapani autotööstuse konkurentsipüsimiseks muutusteks, mille edu üritavad tänaseni maailma tootmisettevõtted jäljendada. [7] Antud kontseptsiooni peamine eesmärk on saavutada vähemaga rohkem. Eelkõige tähendab see ressursside raiskamise vähendamist, läbimõeldud tegutsemist, koostööd ja pidevat täiustamist. [8] Esialgses *Lean* tootmis metoodikas oli kirjeldatud seitset tüüpi raiskamist, millele lisandus 90. aastatel kaheksas raiskamise tüüp, milleks on kasutamata töötaja loovus ja intelligents [9]

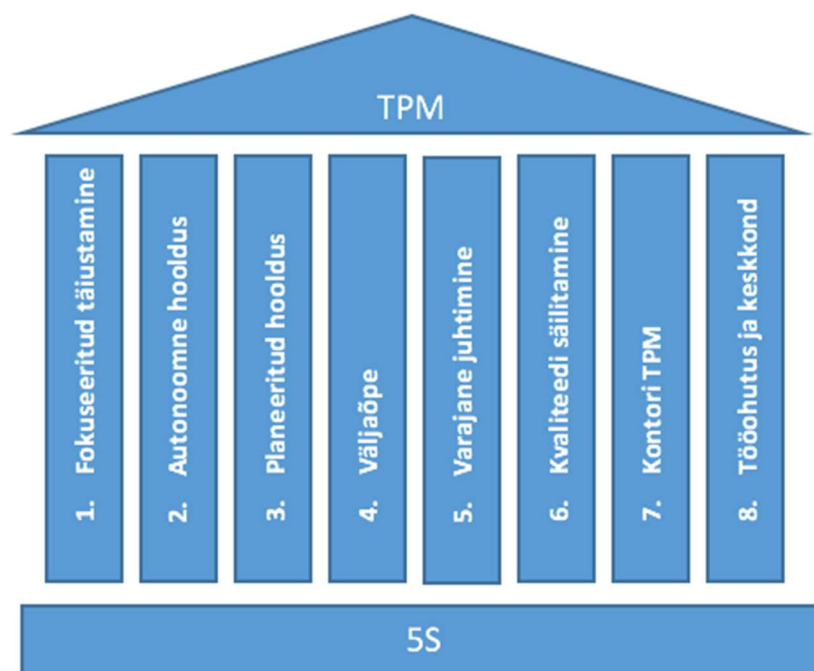
4. ületootmine;
5. ootamine;
6. transport;
7. defektid/vead;
8. varud;
9. liikumine;
10. ülemäärane töötlemine;
11. kasutamata töötaja loovus ja intelligents.

Lean juhtimiskontseptsioon koosneb erinevatest tööriistadest ja metoodikatest mille rakendamise eesmärgiks on ettevõtte tulemuslikkuse suurendamine. Järgnevatel peatükkides keskendub autor kahe *Lean* tootmise tööriista tutvustamisele ja nende rakendamisele vaadeldavas lõigus. Tööriistade valikul lähtus autor seatud eesmärgist ja tuvastatud raiskamistest, mis toodi esile uurimismetoodikaid rakendades.

6.1. TPM kõikehõlmav tulemuslik hooldussüsteem

TPM (*total productive maintance*) metoodika mis eesti keelde tõlgituna on seadmete tulemuslik hooldussüsteem. TPM on hooldusstrateegia, mis keskendub seadmete töökorras hoidmisele ennetavate hooldustegevuste kaudu. TPM-i eesmärk on tõsta tootmisprotsesside tootlikkust ja efektiivsust, viies seadmete kasutatavuse maksimaalsele tasemele ning elimineerides seadmete seisakud. [9]

Levinumaid TPM-i juhtimismudeleid on JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) ehk kaheksa samba kontseptsioon, mis määratleb valdkonnad, millele keskenduda, et saavutada eesmärgistatud tulemus (Joonis 13). TPM metoodika eelduseks on 5-S süsteemi olemasolu. [9]



Joonis 13. JIPM juhtimismudel

JIPM kontseptsioon koosneb järgnevatest sammastest (Joonis 13) [14]:

1. Fokuseeritud täiustamine (Kaizen): tootmisprotsessides olevate raiskamiste pidevat tuvastamist ja kõrvaldamist.

2. Autonoomne hooldus: operaatorite volitamine põhiliste hooldustööde teostamiseks, nagu puhastamine, määrimine ja perioodilised kontrollid, seda selleks, et hoida seadmed normaalses konditsioonis.
3. Planeeritud hooldus: antud sammas hõlmab hooldusgraafiku loomist ja regulaarsete hooldustööde teostamist, tagamaks seadmete tõrgeteta töö.
4. Väljaõpe: Töötajate vajalike oskuste ja teadmiste arendamine hooldustoimingute läbiviimiseks.
5. Varajane juhtimine: seadmete kavandamine töökindlateks ja hõlpsasti hooldatavaks tuginedes TPM programmi raames saadud teadmistele.
6. Kvaliteedi säilitamine: mittevastavuste varajane avastamine ja juurpõhjuste kõrvaldamine. Millega tagatakse kliendirahulolu läbi kvaliteetse ja õigeaegselt tarnitud kauba.
7. Kontori TPM: protseduuride ja protsesside analüüsimine ja parendamine admin- ja toetussüsteemides, tootlikkuse tõstmiseks ja automatiseerimiseks.
8. Tööohutus ja keskkond: ohutu töökeskkonna loomine ja arendamine.

6.2. TPM hooldussüsteemi rakendamine

Lõputöö raames uurimismetoodikate rakendamise tulemusel võime järeldada, et töökeskuse tõrgetest seotud seisakud moodustavad 16% vaadeldud perioodi ajast. Lühiajalistest riketest seotud seisakud annavad selgelt märku seadme seisukorrast või keevitusprotsessi kvaliteedist. Mõlemal juhul on tulemuseks efektiivsuse langus, millega kaasneb tsükliaja pikenemine. Sellest tulenevalt keskendub autor parendustegevusena TPM hooldussüsteemi rakendamisele. Ettevõttes pole eelnevalt antud laadi hooldussüsteemi rakendatud ja pole ka kindel selle tulemuslikkuses. Seega tuleks antud kontseptsioon esmalt läbiviija pilootprojektina robotkeevitusseadmetel, ning seejärel hinnata selle edukust [18].

TPM-i põhi fookus on suunatud tootmisseadmete töökindlusele, mille puhul on oluline mõista seadmete rikkeid ja nende põhjuseid. Rikete ja haldus tegevuste juhtimiseks on ettevõttes kasutusel halduskeskkond, kuhu registreeritakse seadmete remondi- või haldustellimused. Informatsioon seisakutest, mis on seotud seadmete riketest koondatakse aruandlus keskkonda, kust on võimalik näha remonditellimuste hulka ja kulu seadmete kohta. Kasutusel olev süsteem ei võimalda aga

registreerida seadmete tõrkeid, mis põhjustavad lühiajalisi seiskuid, mida jooksvalt lahendavad operaatorid või seadistajad. Seeläbi jäävad lühiajaliste seisakute juurpõhjused tihti määramata ja on oht nende kordumisteks.

Ettevõtte haldusosakond koosneb viiest liikmest, kuhu kuuluvad:

- haldusosakonna juht;
- haldus, remondispetsialist;
- kolm remonditehnikut.

Antud osakonna roll ettevõttes on tegeleda operatiivselt haldus ja remonditellimuste täitmisega, ning korraldada seadmete hooldus tegevusi. Lisaks olemasolevale meeskonnale kasutatakse teatavate tegevuste teostamiseks välispartnereid, kes omavad kõrgemat kompetentsi teatavate seadmete hooldus ja remonditegevuste teostamisel.

Remonditellimuste kogumaht 2022. aastal vaadeldavas lõigus küündis 35 tellimuseni, mille rahaline kulu oli 3988.71 eurot (Joonis 14).

INVNR	Seadme nimetus	Juhtumite arv	Kulu kokku	Meie kulu läbi kulutatud tööaja	Ostetud remondi/hooldus/ehitus teenus ja kulumaterjalid
060	2 tööorganit, MIG/MAG	16	1,374.89	727.89	647.00
178	AR3120, integreeritud keevitusseade ID 193, töötunde üleandmise hetkel 340 h.	6	1,752.51	68.78	1,683.73
073	RV10-6, ühepealine; ROBOTstar V	13	861.31	617.31	244.00
Kokku		35	3,988.71	1,413.98	2,574.73

Joonis 14. Robotkeevitus seadmete remondikulud 2022. aastal

TPM hooldussüsteemi vajaduste hindamise aluseks võetakse eelnevas peatükis kirjeldatud TPM kaheksa samba kontseptsioon (Joonis14). Antud kontseptsioonis kirjeldatud sammastest on ettevõttes juba kasutusel fokuseeritud täiustamine ja kvaliteedi säilitamine, seega ei keskenduta lõputöö raames antud teemadele. Lisaks kasutusel olevatest sammastest jätab autor kõrvale sambad, mille tegevused on TPM süsteemi edasiarendused. Lõputöö raames keskendutakse autonoomse- ja planeeritud hooldussüsteemi kavandamisele.

6.2.1. Tootlikkuse mõõtmine

Tootlikkuse kasvu suurendamine nõuab muudatusi ja nende juhtimist, mille eelduseks on muudatuste juhtimise kava ja eesmärgistatud tulemuste prognoos, kuhu soovitakse läbi muudatuste jõuda. Muudatuste juhtimine algab mõõdikute määramisest, et oleks võimalik läbiviidud tegevuste mõju hinnata. TPM hooldussüsteemi tulemuslikkuse hindamiseks kasutatakse seadmete üldist efektiivsus näitajat OEE-d (Overall Equipment Efficiency). OEE on kolme komponendi korrutis: masina kasutatavus, tootlus, kvaliteet. [13]

$$OEE = \text{Kasutatavus} \times \text{Tootlus} \times \text{Kvaliteet}$$

Väljatoodud kolme näitaja abil hinnatakse seadmete tootlikkust ja tõhusust, mis aitavad kategoriseerida peamisi tootlikkuse kadusid. Järgnevalt kirjeldab autor lahti OEE näitajad [15]:

Kasutatavus on protsent, mis näitab planeeritud tootmisaja ja tööaja vahelist suhet, kus planeeritud tootmisajast on lahutatud seisakud. [11]

$$\text{Kasutatavus} = \text{Tööaeg} / \text{Planeeritud tootmisaeg}$$

Tootlus näitab tegeliku toodangu hulga ja teoreetilise toodangu hulga vahelist suhet teatud aja jooksul. [11]

$$\text{Tootlus} = \text{Tegelik hulk} / \text{Teoreetiline hulk (võimekus)}$$

Kvaliteet näitab suhet kvaliteetselt toodetud mahu ja kogutoodangu maha vahel. [11]

$$\text{Kvaliteet} = \text{Kvaliteetsete toodete hulk} / \text{Kogutodanguhulk}$$

OEE andmete kogumine ja nende analüüsimine annab hea võimaluse leida tõhustamiskohti, kui uurida seisakute ja kvaliteediprobleemide juurpõhjuseid. Sageli on seadmete madala tootlikkuse põhjustajaks lühiajalised seisakud, mida ei registreerita ja sellest tulenevalt ei tegeleta tegelike põhjuste väljaselgitamisega. See omakorda võib kaasa tuua seisakuid põhjustavate probleemide kordumisi. [13]

OEE mõõtmine robot keevitusseadmetel võimaldaks koguda informatsiooni seadmete tegelikust tööajast, mis tooks parema ülevaate ressursside kasutuse kohta. Uuritavas osakonnas pole OEE

möödikut töökeskuste tootlikkuse mõõtmiseks rakendatud. Ja lõputöö läbiviimise perioodil pole antud näitajat võimalik mõõta, kuna puuduvad selleks tehnilised lahendused. Kuid antud möödiku rakendamine kriitilistel seadmetel tuleks võtta ettevõtte üheks eesmärgiks. Sellega seoses kasutatakse lõputöö raames tulemuste hindamiseks kasutusel olevaid koormatus, efektiivsus ja ressursimahu mõõdikuid.

6.2.2. Autonoomne hooldus

Lõputöö raames keskendub autor autonoomse hooldussüsteemi loomise kavandamisele. Autonoomse hoolduse raames antakse seadmete hooldus- ja remonditööd inimestele, kes nende seadmetega töötavad. [9] Operaatorite kaasamine hooldusprotsessi annab parema ülevaate seadmete tegelikust seisukorrast, kuna töötajad puutuvad tootmisseadmetega kokku kõige enam ja seeläbi tunnevad ka seadmete probleeme millele tähelepanu pöörata. Lisaks on operaatorite hooldustegevustesse kaasamise eesmärgiks saavutada operaatorites “omandi tunne”, mille tulemusel tekitatakse operaatorites huvi seadmete korrashoiu tagamises ja seeläbi vähendatakse seadmete hoolduskulusid ja suureneb tootmisseadmete töökindlus. [11]

Autonoomse hoolduse kasutuselevõtt ettevõttes nõuab üldise mõtteviisi muutust seadmete hoolduse osas, mis läbi on olulise tähtsusega operaatorite koolitamine ja vajamineva toe pakkumine. Tähtsal kohal on hooldustegevuste kaardistamine ja vastutusvaldkondade jagamine, et kõigil seotud töötajatel oleks ühtne arusaam tegevustest. Operaatorite ja hooldusspetsialistide vastutusvaldkonnad peavad olema selgesti mõistetavad, et ei tekiks katmata alasid, ega üksteise dubleerimist. [11] Autonoomse hoolduse rakendamine on jaotatud järgnevasse etappidesse [16]:

- esmane puhastamine;
- mustuseallikate ja raskesti ligipääsetavate kohtade kõrvaldamine;
- seadmete üldine ülevaatus;
- puhastus- ja hooldusstandardi loomine;
- töötajate juhendamine.

Esimese kahe tegevuspunkti raames puhastatakse seade mustusest. Puhastustegevuste läbiviijateks on operaatorid, kes seadmetel töötavad ja TPM süsteem rakendamise eest vastutav isik. Puhastamise käigus kaardistatakse mustust tekitavad tegurid ja raskesti ligipääsetavad kohad, mis nõuavad enim aega regulaarse puhastustegevuse läbiviimiseks. Koostöös vastutavate inseneridega hinnatakse tuvastatud kitsaskohad üle ja võimalusel leitakse lahendus nende kõrvaldamiseks.

Seadmete üldise ülevaatus läbiviijateks on: TPM süsteemi rakendamise eest vastutav isik, seadistajad, vastutavad insenerid ja remonditehnikud. Koostöös kontrollitakse üle seadmete tööorganid ja vajaminevate kommunikatsioonide hetkeolukord. Üldise ülevaatus käigus hinnatakse üle võimalused kontrolltegevuste lihtsustamiseks, kasutades selleks visualiseerivaid vahendeid. Parandus- ja parendusettepanekud fikseeritakse, mille põhjal luuakse tellimused probleemide kõrvaldamiseks.

Mõistmaks tegevusi, mida seadmetega töötavalt operaatoritelt oodatakse koostas autor puhastu- ja hooldusstandardi (Lisa 2). Standard on jaotatud kolmeks tegevusblokiks, kus on väljatoodud sinna kuuluvate tegevuste täpne kirjeldus ja selleks vajaminevad vahendid. Igal tegevusel on kindlaks määratud intervall, mis määrab tegevuse sageduse. Standardis välja toodud tegevused on nummerdatud, mis võimalusel tähistatakse sama numbriga ka seadmel, et hooldustegevusi läbiviies oleks tegevuspunkt lihtsasti leitav. Iga tegevuse juurde on määratud aeg tegevuse teostamiseks, mida süsteemi rakendamisel saab vajadusel korrigeerida.

6.2.3. Planeeritud hooldus

Tööstusseadmete hooldamine on üks võtmetegureid millega suudetakse ära hoida enamus seisakud tootmises mis on seotud ootamatute rikete tagajärjel. Samuti võime leida seoseid toodetavate toodete kvaliteedi ja seadme hetkeolukorrast. Sellest tulenevalt keskendub autor lõputöö raames planeeritud hooldussüsteemi parendamisele. TPM hooldussüsteemi rakendamisega viiakse teatud osa hooldusest tööoperatsioonide läbiviijatele, millega suurendatakse remondiosakonna võimekust tegeleda planeeritud hooldusega. [13]

Planeeritud hooldus jaguneb kolmeks: [13]

1. Ennetav hooldus – hooldusliik, mille käigus viiakse läbi pidevat seadmete kontrolli, et tuvastada võimalikud kõrvalekalded selle algfaasis.

2. Korrigeeriv hooldus – hooldusliik, mille käigus täiustatakse seadmeid ja nende osi, mille eesmärgiks on ennetava hoolduse lihtsustamine.
3. Rikkejärgne hooldus – hooldusliik, mida rakendatakse seadmete purunemisel.

Ettevõttes on osaliselt kasutusel ennetav hooldus, mida rakendatakse välishoolduspartnerite kaasamisel läbiviidavatest hooldustegevustes. Hooldusintervallid on registreeritud haldussüsteemi, mis automaatselt genereerib teavituse hoolduse eest vastutavale isikule, millele järgneb hooldusaja kokkuleppimine. Ennetavate hooldustegevusteni, mida viib läbi ettevõtte remondiosakond ei jõuta, kuna põhi ressurss kulub rikkejärgsete hooldustegevuste läbiviimiseks.

TPM hooldussüsteemi rakendamise tulemusel väheneb rikkejärgsete hooldustegevuste vajadus, kuna autonoomse hooldussüsteemi käigus tuvastatakse võimalikud kõrvalekalded ennetavalt, mis võimaldab aegsasti probleemidega tegeleda.

6.2.4. Väljaõpe

TPM süsteem rakendamise eduks on põhjalik väljaõpe. Sellega tagatakse, et töötajad on koolitatud oskustega, mis võimaldab läbi perioodiliste tegevuste tagada eesmärgistatud tulemus. [13]

Operaatorite ja remonditehnikute väljaõppe läbiviimiseks koostas autor koolituskava, kus tuuakse välja teema punktid, mida koolitusel töötajatele tutvustada:

1. TPM põhimõtete selgitamine – Sissejuhatusena tuuakse välja TPM süsteemi põhimõtted, mille käigus kirjeldatakse probleemi olemust ja tuuakse välja lahendusmeetmed, mis toetavad eesmäärke saavutamist.
2. Hooldusstandardi tutvustamine – Kirjeldatakse hooldusstandardi olemust ja mõtestatakse lahti hooldusstandardi punktid.
3. Autonoomse hooldussüsteemi praktiline osa – Viiakse läbi praktiline harjutus, mille käigus tehakse näidis sooritus hooldusstandardis kirjeldatud tegevustest.

Väljaõppe läbiviimisel tuleb tähelepanu pöörata hooldussüsteemi presenteerimisele, mille tulemusel ei tohiks jääda töötajatele muljet, kui uuest lisategevust või kohustusest. Rakendatav hooldussüsteem peab tekitama usalduse antud süsteemi toimimises, mille tulemuslikkuse saavutamisel on töötajatel võimalik läbi motiveeriva töötasusüsteemi teenida lisatasu efektiivsuspreemia näol.

6.3. 5-S metoodika

Lean tootmise üheks tuntuimaks tööriistaks on 5S metoodika, mida peetakse ka *Lean* tootmise alustalaks. 5S süsteemi eesmärk on läbi töökeskkonna täiustamise luua organiseeritud, tõhus ja turvaline töökeskkond. Antud süsteemi kasutamine toob esile väärtust mittelisavaid olukordi, ning nende elimineerimine annab märgatavaid tulemusi, mis erinevate uuringute järgi tõstab tootlikkust 5-15%. [9] Meetodi nimi tuleneb viiest jaapanikeelsest tegevusest mis kokku moodustab etapilise parendusprotsessi, mis koosneb järgnevast [11]:

1. Sorteer (jaapani keeles *Seiri*). Töökohal olevate töövahendite, materjalide, tööriistade sorteerimise käigus jäetakse alles ainult tööks vajaminevad vahendid. Ebavajalik märgistatakse ja vastavalt kasutussagedusele viiakse ära, või paigutatakse eraldatud alasse, kust on vajadusel võimalik neid taas kasutusele võtta.
2. Sea kord (jaapani keeles *Seiton*). Igale esemele töökohal tuleb leida oma kindel koht. Kindla koha määramisel tuleb võtta arvesse kasutussageduse ja töö ergonoomika aspekti. Töökohal olevate esemete asukohad peavad olema märgistatud siltide või muude abivahenditega, et töövahendite olemasolu oleks võimalikult lihtne kontrollida.
3. Sära (jaapani keeles *Seiso*). Töökoha ja töövahendite puhastamise käigus eemaldatakse mustus ja mustuse tekkepõhjused, mis vähendab koristusvajadust. Puhtuse säilimiseks tuleb vastutusalad jagada nii, et iga töötaja teab oma vastutusalala ja puhastamise sagedust. Töökoha regulaarne puhastamine võimaldab ennetavalt märgata seadmete probleeme ja rikkeid ning nende kõrvaldamisega aegsasti tegeleda.
4. Standartiseeri (jaapani keeles *Seiketsu*). Esimese kolme etapi säilimiseks standardi loomine, mis on abiks töötajatel ja perioodiliste auditite läbiviijatele, mõistmaks üheselt korras töökoha tähendust.
5. Säilita (jaapani keeles *Shitsuke*). Korra säilitamine standartiseeritud töökohal, mille eelduseks on pidev parendamine ja raiskamise kõrvaldamine.

Väljatoodud viis tegevust tagavad korras töökoha, mille korrasolekut on võimalik hõlpsalt visuaalse vaatluse abil hinnata. Tulemuseks on töökoht, kus on ainult tööks vajaminevad vahendid, mis on kergesti leitavad. Seeläbi vähendatakse raiskamisi, mis on seotud tööks vajaminevate vahendite otsimisega.

6.3.1. 5-S metoodika rakendamine robotkeevitusseadmetel

Uuritavas ettevõttes on küll 5S süsteem juurutatud, kuid selle püsima jäämist on mõjutanud järjepideva kontrolli puudumine, mille tulemusel ei peeta alati 5S standarditest kinni. Kuigi üldmulje tehases on puhas ja korras, leidub sellegipoolest tegevusi, mis võimaldaks läbi parendustegevuste tööoperatsioonides raiskamisi vähendada. Jooksva aasta üheks tehnoloogia osakonna eesmärgiks on 5S süsteemi taaskäivitamine koos üle ettevõtte ühtse standardi loomisega, mille tulemuseks on üle ettevõtte töökohad ühtse ülesehitusega. Lõputöö ja ettevõtte poolt seatud eesmärkide ühtimisel, ei ole piiranguid parendustegevuste rakendamiseks, seega saab autor keskenduda lõputöö raames robotkeevitus seadmete töökohtade parendustegevuste läbiviimisele.

Alustuseks keskendub autor uurimismetoodikate rakendamise käigus tuvastatud probleemidele, mida 5S süsteemiga lahendada. Autor toob välja järgnevad probleemid:

- töökoha ja seadmete puhtus;
- töökoha ergonoomikaga;
- töövahendite puudumine ja keeruline ligipääs;

Enne väljatoodud probleemidega tegelemist tutvustab autor osakonna tootmistöötajatele 5S süsteemi ja selle osatähtsust tootlikkuse kasvu suurendamiseks. Lisaks lepatakse koosoleku raames kokku meeskond, kes antud süsteemi parendustegevustega aktiivselt tegelema hakkavad.

Esmase tegevusena viidi osakonna robotkeevitustöökohtadel läbi töövahendite sorteerimine, mille käigus keskenduti vajaminevate töövahendite tuvastamisele. Sorteerimise käigus eemaldati töökohalt ebavajalik ja alles jäeti ainult vajaminevad esemed. Töökohalt tuvastatud mittevajalikud esemed, kas utiliseeriti, või viidi lattu, kust on võimalik vajadusel need tagasi tuua. Lisaks kaardistati sorteerimise käigus vajaminevad vahendid, mis töökohtadelt puudusid. Osakonnas vaadeldud lõigus oli kolmest seadmest kahel töökohapõhised töövahendid stendidel osaliselt olemas. Töökeskusel Reis 073 puudusid töökohapõhised töövahendid täielikult, uued vajalikud tööriistad telliti koos ratastel töövahendite stendiga, selle saabumisel paigaldatakse uus stend töökeskuse vahetuslähedusse. Vajaminevatest töövahenditest koostas autor nimekirja (Tabel 5). Vaadeldavas osakonnas on kasutusel süsteem, kus iga töötaja saab endale vajaminevad töövahendid laost ise võtta ja mida hoiustatakse lukustatud isiklikes tööriistakappides. Peale tulemusliku 5S süsteemi juurutamist

väheneb vajadus töötajatel kasutada neile laost väljastatud töövahendeid, mis kasutuse mitte leidmisel tuleb tagastada lattu.

Tabel 5. Reis 073 töökeskuse töövahendite stendi inventar

Tööriista nimetus
Nihik
Keevisõmbluse kõrguse mõõdik
Mõõdulint
Näpitsad
Suruõhupüstol
Meisel
Suruõhumeisel
Nurklihvija
Nr. 24 lehtsilmusvõti
Kuuskantvõtmete komplekt 1,5-10 mm
Lameviil

Järgneva tegevusena paigutatakse töökohal vajaminevad esemed selliselt, et need oleksid loogiliselt asetatud ja kiiresti leitavad. Töökoha paigutamisel tuleb silmas pidada liikumis ergonoomikat, et tihti kasutatavate töövahendite kättesaadavus oleks vähest vaeva nõudev. Töövahendite paigutamiseks kasutatakse tööriistastende, kuhu kinnitatakse töövahendid spetsiaalseid kinnitusvahendeid kasutades. Töövahendite asukohad markeeritakse stendidel kleebistega, millel on kirjeldatud töövahendi eesti keelne nimetus, mis lihtsustab õige tööriista asukohta leidmist (Foto 2).

Kolmanda tegevusena puhastatakse kogu tööruum, kuhu kuuluvad kõik seadmed, töövahendid ja pinnad kuhu on kogunenud mustus. Selle teostamiseks eraldatakse tootmistegevusest aeg, ning puhastustegevuste teostajateks on töökeskustel töötavad operaatorid. Ettevõttes on tööaja sisse arvestatud kümme minutit vahetuse lõpust, mis on ettenähtud tööala koristamiseks. Kuna vahetuste vaheline aeg on ka juhtide jaoks kõige intensiivsem periood tööpäevast võib juhtuda, et järelevalve puudumisel ei pruugita puhastusaega otstarbekalt kasutada. Sellega seoses soovib autor jälgida töötajate tegevusi koristustegevusteks ettenähtud ajal.

Neljanda tegevusena loodi standard korrastatud töökohast, mis aitab esimeses kolmes etapis tehtud täiustusi säilitada. Selle raames tehti korrastatud töökohast standardfotod ja lisati töökoha vahetuslähedusse, mis on abiks töö teostajatel töökoha korrashoidmiseks, ning perioodiliste auditeerijatele töökoha korrasoleku hindamiseks.

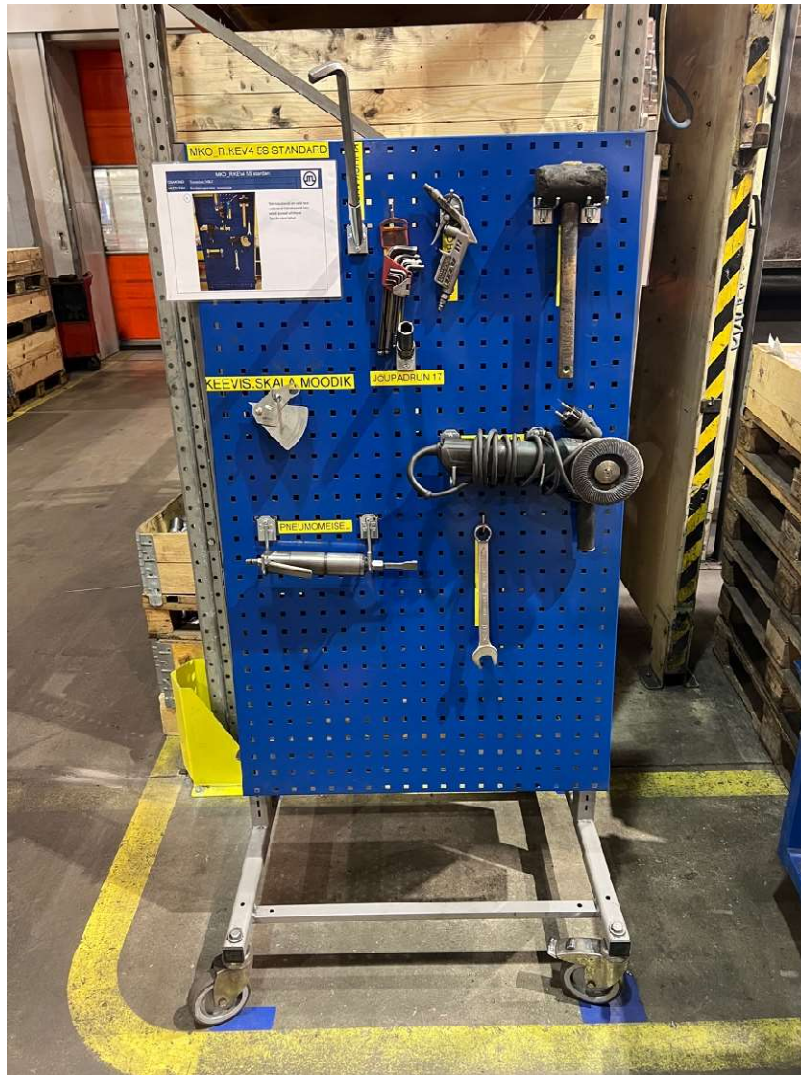


Foto 2. Korrastatud töövahendite stand (autori foto)

Viiendaks etappiks on läbiviidud tegevuste säilitamine, mis on ka üheks keerukamaks tegevuseks 5S süsteemi rakendamisel. Järjepidev auditeerimine ja parendamine on 5S süsteemi raames tehtud muudatuste säilimise üheks peamiseks teguriks. Auditeerimistega on planeeritud alustada 2023. aasta teises pooles, mil valmib ka võimekus auditeerida digitaalselt, kasutades selle läbiviimiseks sülearvutit. Puuduste tuvastamisel on võimalik auditeeritavale sülearvutile paigaldatud kaamera abi need üles pildistada ja läbi ülesannete keskkonna suunatakse parendustegevused vastutavale töötajale. Auditite tulemused kuvatakse osakonna infotelekaatesse, et kõigil töötajatel oleks ülevaade auditite tulemustest.

7. PARENDUSETTEPANEKUD

Käesolevas peatükis tuuakse välja parendusettepanekud, mis põhinevad lõputöö raames tuvastatud raiskamistele. Parendusettepanekute eesmärk tugineb lõputöö raames seatud eesmärgile, milleks on robotkeevituse tootlikkuse kasv. Autor on parendusettepanekud jaotanud neljaks teemapunktiks, kus kirjeldatakse parendusettepanekuid ja nende tuletuslikku mõju.

7.1. Valmistustehnoloogiate parendamine

Lõputöö raames tuvastatud probleemina tõi autor välja robotkeevitusseadmete võimekuse kasutamata jätmise. Põhjusteks on teatavatel toodetel rakistusvahendite puudumine, mille põhjusel teostatakse teatavaid töid ühe rakisega keevitades.

Autor analüüsis osakonna robotkeevitusseadmetel keevitatavaid tooteid ja nende rakiseid, mille tulemusel toodi välja tooted mida keevitatakse ühe rakisega (Tabel 6).

Parendusettepanekuna juurutada tabelis 6 väljatoodud toodete keevitamine robotkeevitusseadmetel duubelrakistega.

Tabel 6. Puuduolevad robotkeevitus duubelrakised

Rakise number	Toote artikkel	Toodetud kogus 2022.a, tk
R2108	5020150	1956
R2479	5024330	1762
R2227	901280	1061

Robotkeevitusseadmete tootlikkuse kasvu eelduseks on seadmete minimaalsed seisuajad. Duubelrakiste kasutamine vähendab oluliselt protsessisiseseid seisakute aegasid, kasutades keevitusaega järgneva toote rakisesse paigaldamiseks ja ettevalmistuste tegemiseks, et keevitustsükli lõppemisel oleks võimalik koheselt alustada järgmise detaili keevitamisega. Eesmärk on töökeskuste maksimaalne koormamine.

Töötaja vaatluse meetodil saadud andmete põhjal koostas autor teoreetilise tsükliaja skeemi, mille tulemusel saame teoreetiliseks tsükliajaks 04:50:00 minutit kahe rakisega keevitades (Joonis 15).



Joonis 15. Artikli 5020150 teoreetiline tsükliäeg kahe rakisega keevitades

Tabel 7. Toote 5020150 tsükliäegade erinevus

Toote artikkel	Töödeldud kogus 2022.a	Ühe tk tsükliäeg ühe rakisega keevitades	Ühe tk tsükliäeg kahe rakisega keevitades
5020150	1956	09:30:00	04:50:00

Välja toodud teoreetilise tsükliaja põhjal saame tuletada võimalik kokkuhoiu 2022 aasta näitel. Toote 2022 aasta koguse ressursimahu vajadus At on leitav valemiga:

$$At = \frac{Ta * Ak}{60}$$

kus At - Ressursimaht toote tootmiseks, h;

Ta - Kasutatud tööaeg, h;

Ak – 2022 aasta tootetud kogus, tk.

$$At = \frac{9,5 * 1956}{60} = 309,7 \text{ tundi}$$

Aastane ressursimaht teoreetilise tsükliaja põhjal on leitav valemiga:

$$Ao = \frac{To * Ak}{60}$$

kus Ao – Teoreetiline ressursimaht toote tootmiseks, h;

To – Teoreetiline tööaeg, h;

Ak – 2022 aasta tootetud kogus, tk.

$$Ao = \frac{4,8 \cdot 1956}{60} = 156,4 \text{ tundi}$$

Teoreetilise kulusäästu leidmiseks kasutatakse valemit:

$$Ka = At - Ao$$

kus Ka – Teoreetiline kulusääst aastas, h;

At - Ressursimaht toote tootmiseks, h;

Ao – Teoreetiline ressursimaht toote tootmiseks, h.

$$At = 309,7 - 156,4 = 153,3 \text{ tundi}$$

7.2. TPM metoodika kasutuselevõtt

Uurimismetoodikate põhjal saadud andmetest saame järeldada, et suurimaks raiskamiseks vaadeldud perioodil olid seadmete seisakud, mille põhjustajaks oli seadmete tehniline seisukord.

Võimaliku lahendusena pakub autor lõputöös välja TPM hooldussüsteemi rakendamise pilootprojektina robot keevitusseadmetel. Väljapakutud lahenduse tulemusliku rakendamise korral väheneb protsessisiseste seisakute osatähtsus, mis on tingitud seadme tõrgetest.

TPM hooldussüsteemi rakendamisega kaasneb seadmete kasulik tööaja vähenemine, ehk seadmete igapäevane hooldus nõuab hooldustegevuste teostamiseks ligikaudu kolm minutit seadme kohta enam, kui hetkel ettenähtud puhastusaeg. Seega saame tuletada keskmise kuu ressursimahu kulu kasutades valemit:

$$Rp = \frac{(Sk \cdot Rk \cdot Vk) \cdot Pk}{60}$$

kus Rp - Ressursimahu kadu kuus, h;

Sk - Lisandunud hooldusaeg, min;

Rk - Seadmete kogus, tk;

Vk - Vahetused päevas, tk;

Pk - Päevi kuus, tk.

$$Rp = \frac{(3*3*2)*20}{60} = 6 \text{ tundi.}$$

Võttes aluseks vaatlustulemuste andmed, saame tuletada ühe töökeskuse ressursimahu kulu tõrgetest seotud seisakutele, kasutades valmeit:

$$Rk = \frac{Sr*Nh*2}{60}$$

kus Rk - Ressursimahu kulu, h;

Sr – Keskmine seisuaeg tunni, min;

Nh – Kuu keskmine normtundide maht seadmel, h.

$$Rk = \frac{7,2 * 160 * 2}{60} = 38,4 \text{ tundi}$$

7.3. OEE mõõtmine kriitilise tähtsusega protsessides

Lõputöö raames läbiviidud uurimismetoodikate rakendamisega tõestati, et seadmete töö jälgimisega on võimalik tuvastada raiskamised protsessides ja neile tähelepanu pöörates saavutada suurem tootlikkus.

Autor pakub võimaliku lahendusena välja OEE mõõtmiseks Evocon mõõtmistarkvara kasutuselevõtu. Evocon on digitaalne OEE mõõtmine lahendus, mis mõõdab reaajas seadmete üldist efektiivsust läbi seadmetele paigaldatud andurite. Tarkvara abil saab reaajas jälgida kogu tootmist ja seadmeid ning seeläbi tuvastada võimalikke probleeme ja raiskamisi tootmisprotsessis. Lisaks pakub tarkvara tootmise kohta põhjalikke analüüse ja raporteid. Evocon mõõtmistarkvara kasutamine robotkeevitusseadmetel võimaldab keevitusprotsessi jälgimist reaajas, mis tooks esile tõrgetest seotud seisakute osakaalu, küll aga mitte tõrgete kirjeldusi. [19]

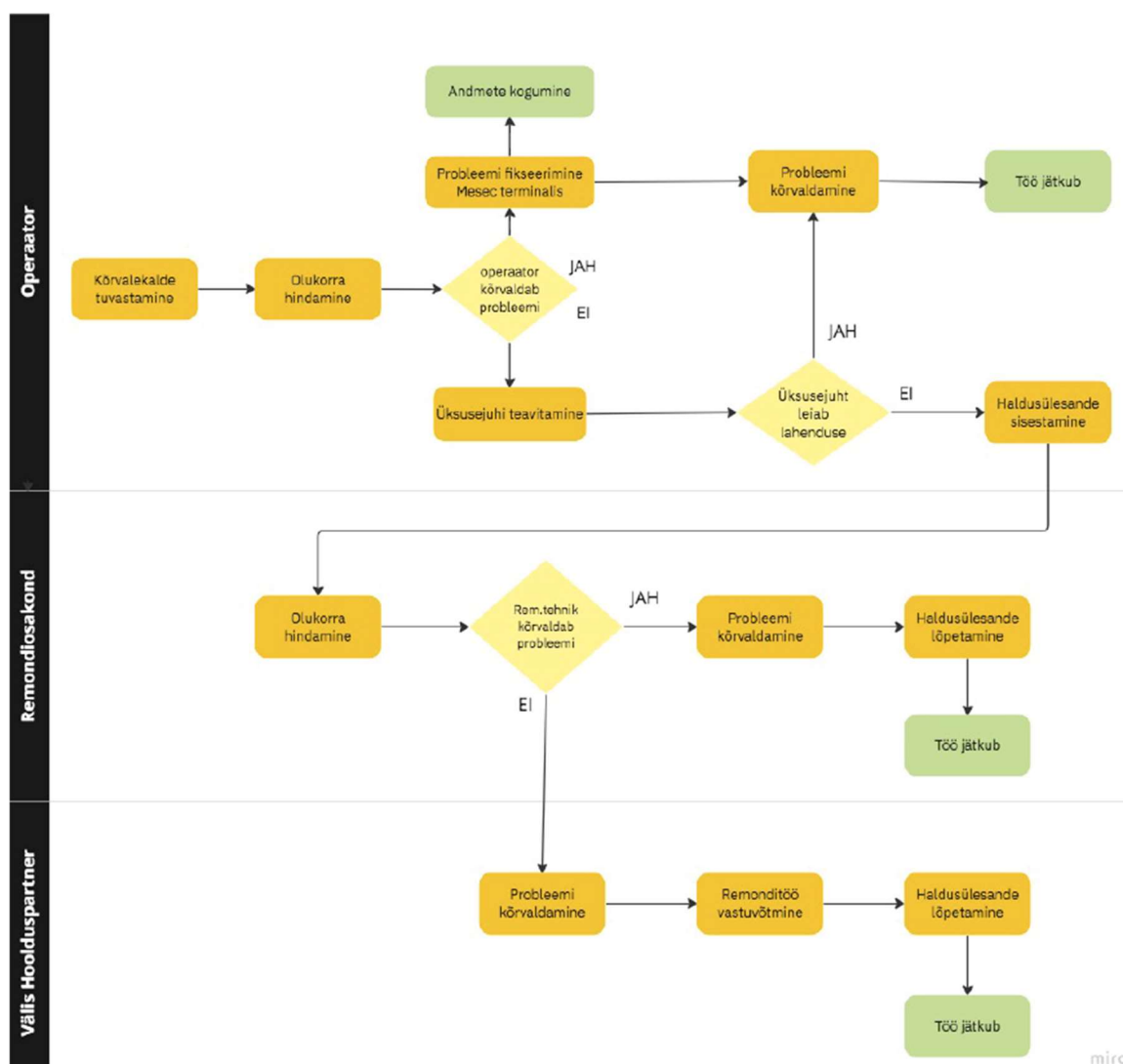
Parendusettepanek ei mõjutaks koheselt uuritava lõigu tootlikkust, vaid aitaks välja tuua kitsaskohad, millega edasi tegeleda eesmärgi saavutamiseks.

7.4. Lühiajaliste tõrgete registreerimine

Uurimismetoodikate rakendamisel kogutud informatsioonist selgus, et seadmete lühiajalisi seisakuid ettevõttes ei registreerita. Mille tulemusel ei jõua vajalik informatsioon vastutavatele töötajatele, ning probleemide juurpõhjused jäävad tihti välja selgitamata.

Sellest lähtuvalt teeb autor ettepaneku luua it lahendus kasutusel olevas töökoha terminalis seisakute fikseerimiseks (Joonis 16). Terminalis registreeritavate seisakute põhjused on töökohapõhised ja eelnevalt tuletatud, mis võimaldab valikmenüüst kiiresti sobiva valiku leida.

Fikseeritud andmed kogutakse aruandluskeskkond, kust on võimalik seadmete kaupa filtreerida välja seisakute põhjused ja selle põhjal teostada järeltused ja võimalikud tegevused probleemide kõrvaldamiseks.



Joonis 16. Seisakute kõrvaldamise protsess robot keevitusseadmetel

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli leida ettevõtte Tarmetec OÜ musta metalli osakonna robotkeevitusseadmete madala tootlikkuse põhjused ja võimalikud lahendused. Püstitatud eesmärgi tähtsus seisnes aina süvenevas oskustöötajate puuduses ja hinnasurve, mis tuleneb tööjõukulude ja energiahindade tõusust. Sellest tulenevalt on ettevõttel kasumlik suurendada toodete tootmise automatiseeritust.

Eesmärgi saavutamiseks viidi läbi ettevõtte aruandluskeskkonnast pärinevate andmete analüüs, mille põhjal kaardistati olukord. Olukorra hindamisele järgnes uurimismetoodika rakendamine, milleks oli käesolevas lõputöös tööaja vaatlus. Antud tegevuste läbiviimise eesmärgiks oli tootlikkust mõjutavate tegurite väljaselgitamine.

Uurimismetoodika rakendamisega tuvastati protsessis kolm suurimat raiskamist. Tuvastatud raiskamised olid seotud seadmete üldises seisukorra halvenemisest ja töökeskkonnas esinevatest puudustest. Raiskamiste eemaldamiseks protsessis keskenduti *Lean* juhtimismetoodikast tuntud 5-s tööriista rakendamisele. Parendusettepanekuna tehti TPM hooldussüsteemi kasutuselevõtuks vajaminevad ettevalmistused, mis lihtsustavad antud süsteemi rakendamist pilootprojektina ettevõtte robotkeevitusseadmetel.

Kolmanda raiskamisena tuvastati tootmistehnoloogia puudused, mis põhjustasid seadmete ebaratsionaalseid seisakuid tööprotsessides. Raiskamise kõrvaldamiseks tehti parendusettepanek uute rakistusvahendite kasutuselevõtuks tööprotsessides.

Lõputöö käigus saavutati eesmärgistatud tulemus, milleks oli kitsaskohtade väljaselgitamine, mis pärsivad osakonna robotkeevitusseadmete tootlikkuse kasvu ning toodi välja parendusettepanekud, mis suurendaksid robotkeevituse tootlikkust ettevõttes. Parendusettepanekute tulemuslikul rakendamisel on võimalik saavutada soovitud tulemus.

SUMMARY

The goal of this graduation thesis was to identify the reasons for low productivity in the robot welding equipment at Tarmetec OÜ and suggest possible solutions.

To achieve the goal, an analysis of data from the company's reporting environment was conducted to assess the situation. Following the evaluation, the research methodology was applied, which involved time observation in this graduation thesis. The purpose of these activities was to identify factors that affect productivity.

Through the research methodology, three major wastes in the process were identified. The identified wastes were related to the general deterioration of the equipment and deficiencies in the work environment. To eliminate these wastes, the focus was on implementing the 5S tool known from Lean management methodology. As a proposal for improvement, preparations were made for the introduction of the TPM maintenance system, which will simplify the implementation of this system as a pilot project on the company's robot welding equipment.

The third waste identified was deficiencies in production technology, which resulted in irrational downtime of the equipment in the work processes. To eliminate this waste, a proposal for improvement was made to change the work processes to increase productivity.

In this graduation thesis, the desired outcome of identifying the bottlenecks that hinder the productivity growth of the department's robot welding equipment was achieved. The effective implementation of the proposed improvements will enable the company to achieve the desired results.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Tarmetec, „tarmetec,“ Tarmetec OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://tarmetec.ee/ettevotest/>. [Kasutatud 21 march 2023].
- [2] „Inforegister,“ Register OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.inforegister.ee/10322549-TARMETEC-OU>. [Kasutatud 28 march 2023].
- [3] „Metec,“ Tarmetec OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://metec.ee/tooteinfo/>. [Kasutatud 20 march 2023].
- [4] M.-L. Laherand, „syg.edu.ee,“ 2008. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.syg.edu.ee/~peil/ut_alused/kvalitatiivne_uurimisviis.html.
- [5] L. Õunapuu, KVALITATIIVNE JA KVANTITATIIVNE UURIMISVIIS SOTSIAALTEADUSES, 2014.
- [6] J. Rootamm-Valter, 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://sisu.ut.ee/kvalitatiivne/vaatlus>.
- [7] A. Laansoo, Keevitustehnoloogia, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2011.
- [8] B.-S. R. a. G. R. Pennock, „Intechopen,“ 1 december 2006. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/282>. [Kasutatud 2 April 2023].
- [9] M. Bankiir, LEAN käsiraamat, Tallinn, 2021.
- [10] A. Reinok, Kirjanik, *Loengukonspekt Tööuurimise meetodid*. [Performance]. 2019.

- [11] S. S. Jari Pekka Kukkonen, Läbimurre, Äriprotsesside pidev täiustamise kunst, Tallinn: Äripäev, 2012.
- [12] S. S. V. G. B. S. Venkataramanaiah Saddikuti, „Application of Lean in a Small and Medium Enterprise,“ intechopen, 19 april 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/76130>. [Kasutatud 25 march 2023].
- [13] P. M. Yash Parikh, „Total Productive Maintenance: Need & Framework,“ *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, p. 127, February 2015.
- [14] K. Eedo, Tootlikkuse kasvu juhtimine ettevõttes, 2007.
- [15] I. A. L. P. F. T. P. F. S. P. Guariente, „ScienceDirect,“ september 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917308120>. [Kasutatud 9 april 2023].
- [16] J. Mencik, „Intechopen,“ 13 April 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/50096>. [Kasutatud 04 January 2023].
- [17] Metec, „Metec,“ Tarmetec OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://metec.ee/tooteinfo/>. [Kasutatud 20 march 2023].
- [18] R. S. S. B. A. A. Eric Costa, „AN INDUSTRIAL APPLICATION OF THE SMED METHODOLOGY AND OTHER LEAN PRODUCTION TOOLS,“ 2013.
- [19] M. Elbert, Lean Production for the Small Company, CRC Press Taylor & Francic group, 2012.
- [20] M. Bankiir, „leanway,“ 20 Juuni 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://leanway.ee/produktiivsuse-ja-efektiivsus>. [Kasutatud 29 April 2023].

LISAD

Lisa 1. Ettevõttes toodetavad autode lisavarustustooted

Lisa 2. Autonoomse hooldussüsteemi standard

Lisa 1. Ettevõttes toodetavad autode lisavarustustooted [3]



Lisa 2. Autonoomse hooldussüsteemi standard

	Nr.	Puhastatav ala	Nõutav standard	Meetod	Töövahend	Aeg	Sagedus			Vastutaja
							Igapäevane	Iganädalane	Igakuine	
Puhastamine	1	Robotkeevitus töökeskkus ja tööala	mustusest vaba	Puhastada töökeskus tolmust, kasutades suruõhku. Lapiga puhastada tööorganid ja tööala(vajadusel kasutada puhastusainet: 104988). Põranda puhastamine tööalast ja töökeskkuse ümbrusest kasutades harja ja prügikühvli	Lapp, hari, prügikühvel, suruõhk	300	O			Operaator
	2	Keevituspüstol(id)	mustuse- ja pritsmetevaba	Puhastada keevituspüstol ja selle osad keevituspritsmetest ja mustusest. Pritsmete mitte nakkumiseks katta gaasidüüs(id) peale puhastust keraamilise pritsmevastase aerosooliga.	Lapp, näpitsad, meisel	180	O			Operaator
	3	Keevituspüstoli puhastusjaam	mustuse- ja pritsmetevaba	Puhastada pritsmetest ja mustusest	Lapp, meisel, suruõhk	120	O			Operaator
	4	Keevituspüstoli ja keevitusseadme vaheline kõri	mustusest vaba	Puhkuda suruõhuga läbi keevituspüstoli ja keevitusseadme vaheline kõri.	Suruõhk	120		O		Operaator
	5	Keevitusseade	mustusest vaba	Puhastada keevitusseadme õhukanalid, kasutades suruõhku. Keevitusaparaadi välispinnad puhastada lapiga(vajadusel kasutada puhastusainet: 104988)	Lapp, suruõhk	120		O		Operaator
Hooldus	Nr.	Määritav ala	Nõutav standard	Meetod	Töövahend	Aeg	Sagedus			Vastutaja
							Igapäevane	Iganädalane	Igakuine	
	6	Roboti liikuvad osad	Määritud	Määrida läbi määrdeniplite robotkeevitusseadmete liikuvad osad. Määrimiseks kasutada tootja poolt ettenähtud määret.	Määrdeprits	300			O	Operaator
Kontroll	Nr.	Kontrollitav ala	Nõutav standard	Meetod	Töövahend	Aeg, sekund	Sagedus			Vastutaja
							Igapäevane	Iganädalane	Igakuine	
	7	Tööala ja robot	Vigastused puuduvad	Kontrollida roboti tööorganite kahjustusi ja väliseid vigastusi.	visuaalne kontroll	90	O			Operaator
	8	Robotkeevituse töökeskkuse kaablid ja ühendused	Kaablitel ja ühendustel puuduvad välised vigastused.	Kontrollida visuaalselt töökeskkuse kaablite ja ühenduspunktide seisukorda.	visuaalne kontroll	60	O			Operaator
	9	Keevitusseadme vedelikjahutus	Min - Max vahemik	Kontrollida jahutusvedeliku taset. Kui tase on alanenud, lisada jahutusvedeliku..... norm tasemeni.	visuaalne kontroll	10	O			Operaator
	10	Robottelgede mootorid	Puuduvad lekked	Kontrollida visuaalse vaatluse käigus roboti telgede määride lekkeid.	visuaalne kontroll	30	O			Operaator
	11	Robotkeevitusalas asuvad õhu-, gaasitrassid	Puuduvad lekked	Kontrollida läbi kuulmismeel õhu ja gaasilekkeid.	Heli kuulamine	10	O			Operaator