

Tartu Ülikool
Sotsiaalteaduste valdkond
Narva Kolledž
Õppekava “Ettevõtlus ja digilahendused”

Ragne Jürgens

**EFEKTIIVSUSE TÕSTMINE ROBOTISEERIMISEGA
VÄIKEETEVÕTTES HANVAL METALL OÜ**

Lõputöö

Juhendaja Harald Kitzmann PhD

Narva 2024

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikad, muud kasutatud allikad on viidatud.

Ragne Jürgens

17.05.2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ragne Jürgens

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

„Efektiivsuse tõstmine robotiseerimisega väikeettevõttes Hanval Metall OÜ“. mille juhendaja on Harald Kitzmann PhD

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Ragne Jürgens

20.05.2024

(Allkirjastatud

Digitaalselt)

SUMMARY

The thesis, titled as “Increasing efficiency with robotization in a small company Hanval Metall OÜ“.

The overall situation to find a good skilled workers in Estonia is very difficult. Companies will face a situation that no workers who to take in. Companies do have free work spots, companies wants to develop but not possible to hire new workers. Statistic will tell, problem will not solve as overall in Estonia there are no people in the needed age at all. One option, must to start to robotization process.

If companies wants to survive, it is needed to find a way. One option is robotization. Robots do have option do hand easy repeat movement. Robots can help to increase efficiency. Robots are the way to survive. For Hanval Metall, first is needed to know efficiency level and then is possible to improve and add steps to improve more.

The thesis is divided into two parts, first is for an introduction and literature review, an second part is for empirical study and a conclusion. The introduction gives an overview about the research tasks and why this topic was chosen. The theoretical part of the thesis gives an overview about the different ways and models how to measure the efficiency. The empirical study focuses how to measure Hanval Metall efficiency with OEE method.

Study confirmed robotalization is a way to continue, with Hanval Metall OEE is better with robot in use. But it is needed to study more do have even better OEE in the future.

Keywords: skilled workers, efficiency, robotalization, OEE

SISUKORD

SUMMARY	4
SISSEJUHATUS	7
1. ROBOTISEERIMISE RAKENDAMISE ALUSED.....	9
1.1 Oskustööjõu puudus kui robotiseerimise põhjus.....	9
1.2. Efektiivsuse tõstmise vajadus.....	12
1.3 Efektiivsuse erinevad mudelid	13
1.3.1 Summeeritud tulemusmõõduga süsteemid	13
1.3.2 Mitme tulemuse mõõtmise süsteemid	16
1.3.3 Mitme huvirühma vaatega süsteemid.....	16
1.3.4 Süsteemid, millel on mitme sidusrühma panuse rahulolu suhe.....	16
1.3.5 Põhjus/tagajärg ahelale orjenteeritud.....	16
1.4 Robotiseerimine kui lahendus oskustööjõu puudusele.....	16
1.5 Robotiseerimise juurutamise protsessid	20
2. HANVAL METALL OÜ EFEKTIIVSUSE TASE ROBOTISEERIMISE RAKENDAMISEL.....	23
2.1 Uuringu metodoloogia.....	23
2.1 Ettevõtte tutvustus	24
2.3 Ettevõttesisesed takistused robotiseerimisel.....	27
2.4 Hanval Metalli efektiivsus.....	29
2.5 Vaatlus Roboti käivitamiseks Hanval Metall ettevõttes.....	30
2.6 Hanval Metalli efektiivsuse arvutamine	31
2.6.1 Võimekuse arvutamine OEE alusel	31
2.6.2 Jõudlus OEE alusel.....	32
2.6.3 Kvaliteet OEE alusel	33
2.6.4 OEE ISO 22400 alusel Hanval Metall ettevõttes	34

2.5 Hanval Metalli efektiivsus rahalises vaates.....	34
2.6 JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD	35
3. KOKKUVÕTE	40
4.KASUTATUD KIRJANDUS	42
LISA 1 INTERVJUU TEGEVJUHIGA.....	46
LISA 2: ROBOTISEERITUD TÖÖKOHA VAATLUS	47
LISA 3: OPERAATORIGA TÖÖKOHA VAATLUS.....	48

SISSEJUHATUS

Metallitööstuse alal tegutses 2023 aastal Eestis 223 ettevõtet, üle 200 ettevõtte on üle ühe miljoni käibega. Ettevõtteid, kes toodavad erinevaid metallitootmeid on Eestis rohkem kui 2000. Statistikaameti andmetel vähenes 2023. aasta märtsis metalli eksport 15% ja import 12%. Sellest tulenevalt on tegutsevatel ettevõtetel surve turul püsimiseks, konkurentsivõime säilitamiseks, ettevõtte kasvamiseks vaja teha muudatusi.

Oskustööjõu puudus ja soov turule jääda on andnud sisendi väikeettevõttele Hanval Metall tootmise robotiseerimiseks. Ettevõtte on soetanud esimese roboti, millega alustatakse üldist robotiseerimise suunda. Lõputöö eesmärk on robotiseeritava töökoha efektiivsuse hindamine.

Lõputöös toob autor välja oskustööjõu puuduse põhjused, avab efektiivsuse mõiste ja selle tähenduse. Autor uurib erinevaid mudeleid, et väikeettevõtte Hanval Metall OÜ teaks ettevõttele parima efektiivsuse mudeli tähtsust ettevõttest lähtuvalt. Lõputöös annab autor ülevaate robotiseerimise senisest suunast Eesti tööstustes, koostöös Hanval Metall juhtkonnaga käivitatakse ettevõttes esimene robotiseeritud töökoht. Autor defineerib Hanval Metall jaoks efektiivsuse, analüüsib ettevõtte hetkeolukorda baasandmete alusel. Autor analüüsib andmeid kvalitatiivse ja kvantitatiivse meetodi abil.

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud ülesanded:

- teha kindlaks oskustööjõu puuduse põhjused
- tutvuda erinevate efektiivsuse mõõtmise mudelitega
- defineerida, mis on Hanval Metall OÜ jaoks efektiivsus
- teha kindlaks, milline on hetkel väikeettevõtte efektiivsus ja sellest lähtuvalt teha valik, milline mudel on ettevõtte jaoks parim efektiivsuse mõõtmiseks.

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks on vajalikud uurimisülesanded:

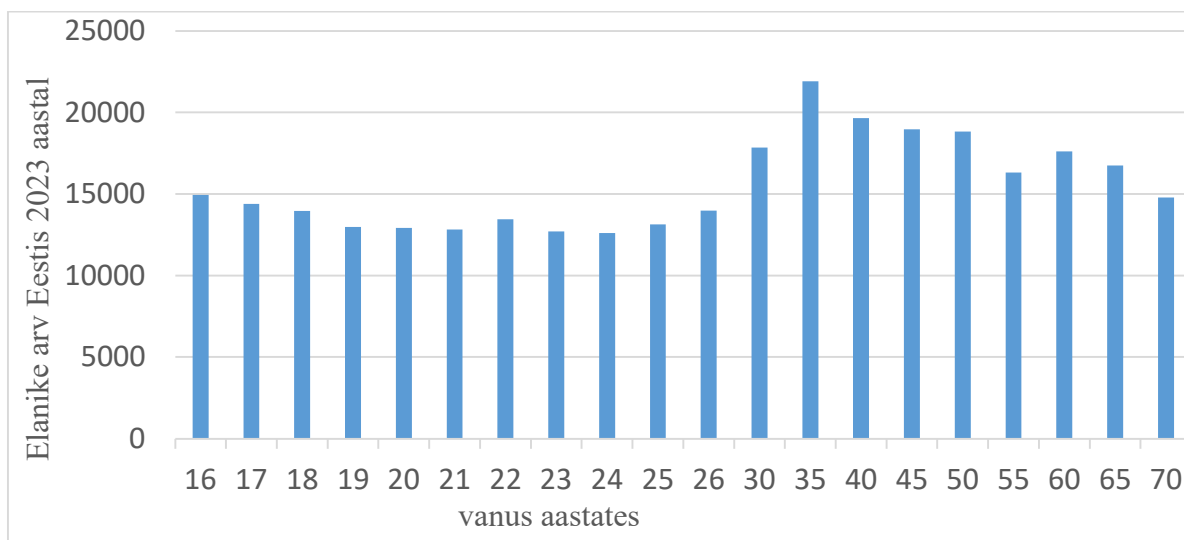
- uurida oskustööjõu puuduse põhjuseid, et teha kindlaks, kui pikaajaline probleem on
- koguda andmeid, et defineerida Hanval Metall OÜ efektiivsuse tase
- analüüsida andmeid, et pakkuda välja parim efektiivsuse mõõtmise mudel, mida rakendada robotiseeritava töökoha analüüsimiseks.

Juhtumianalüüsi viib autor läbi kohapealse vaatlusega, võrdeleb ja analüüsib andmeid kindlaksmääratud väärtuste alusel.

1. ROBOTISEERIMISE RAKENDAMISE ALUSED

1.1 Oskustööjõu puudus kui robotiseerimise põhjus

Oskustöölise sõna tähendusena mõistame isikut, kes on saanud väljaõppe teatud alal, mis on andnud isikule teadmised ja oskused antud valdkonnas tegutseda. Kutsestandard tõendab oskusi konkreetsel kutsealal edukaks töötamiseks (Kutsekoda, 2024). Oskustööjõu puuduse korral on aktiivseid tööpakkumisi teatud, kuid kandideerijaid pakutavatele ametikohtadele ei ole. Olemasoleva väljaõppega inimesed on rakendatud. Tööturul on vabu töökohti rohkem kui on pakkuda tööjõudu. Oskustööjõu puudust saab selgitada mitmest aspektist, maakonnas ei ela vastava hariduse ja erialaga elanikke, koolides õpetatakse valesid erialasid, noortel puudub huvi, rahvastiku vanuseline lõhe. (Haridus- ja Teadusministeerium, 2015) Vanuselise lõhe all peab autor silmas, et statistikaameti andmetel on 2023 Eesti elanike vanuseline jaotus seotud oskustööjõu puudusega (joonis 1).



Joonis1. Eesti rahvastiku vanuseline jaotus aastal 2023

Allikas: Eesti Statistika, statistikaamet RV021, autori koostatud.

Eestis elab vanuses 17 -28 aastaseid noori nii naisi kui mehi keskmiselt 7000 inimest igas vanuserühmas. (Statistikaamet, Statistikaamet, 2024) Eesti riigis on kogu rahvastikust kõige vähem just keskkooli lõpetajaid, isikuid, kes saaksid siseneda tööturule, sellest tulenevalt ei ole suunata töötajaid vabadele töökohtadele. Autori järeldus on, oskustööjõu puudus ei ole kiiresti lahendatav probleem. Kuigi sisseränne oli aastal 2023 positiivne ei ole andmeid järgmiste aastate osas, autori arvates on põhjus Ukraina sõjas, mis võib tähendada suuremat

väljarännet sõja lõppemise korral. Aastal 2024 esimese jaanuari seisuga elab Eestis 9% muust rahvusest elanikke, venelasi elab 22.5%, rahvus on teadata 0.8%. Eestlaseid elab 67.8%. (Statistikaamet, 2024) Oskustööjõu puudus ei ole ajutine probleem, kuna rahvastiku vanuselist jaotus on ebavõrdne. Tööturul olevad inimesed peavad olema valmis ümberõppeks ja muudatusteks, kui ettevõtted automatiseerivad tootmiseid tööjõu puuduse põhjustel. Samas töötukassa ei toeta kergekäeliselt töötajate koolitamist ja/või ümberõpet. Töötukassa hindab tööjõupuudust maakonniti üle Eestiliselt (tabel 1). Andmed kogutakse tööjõubaromeetri alusel, kvalitatiivse hinnangumeetodiga. Hindamise aluseks võetakse pakkumise ja nõudluse vaheline tasakaal järgmise 12 kuu pärast: hinnatakse tööandjate vajaduse ja tööturul saadaoleva tööjõu suhet mainitud vahemiku ulatuses. (Töötukassa, 2024). Lõputöö autor uuris rahvastiku vanuselist jaotust rahvastikupüramiidi alusel, noori, kes saaksid kutsekoolidesse õppima minna ja/või tööturule siseneda Eestis hetkel ei ole.

Tabel 1: Tööjõu puuduse hindamine maakonniti vastavalt valdkonnale

Tööjõu vajadus	Keevitajad	CNC operaator	Maakond	12 kuu vajadus
Ülejääk	-	-	-	Okt. 2023-2024
Puudus		x	Viljandimaal	Okt. 2023-2024
Tasakaal		x	Ida Virumaal	Okt. 2023-2024
Suur puudujääk	x		Eestis üldiselt	Okt. 2023-2024

Allikas: Töötukassa veebileht, tööjõuvajaduse baromeeter, autori koostatud aprill 2024.

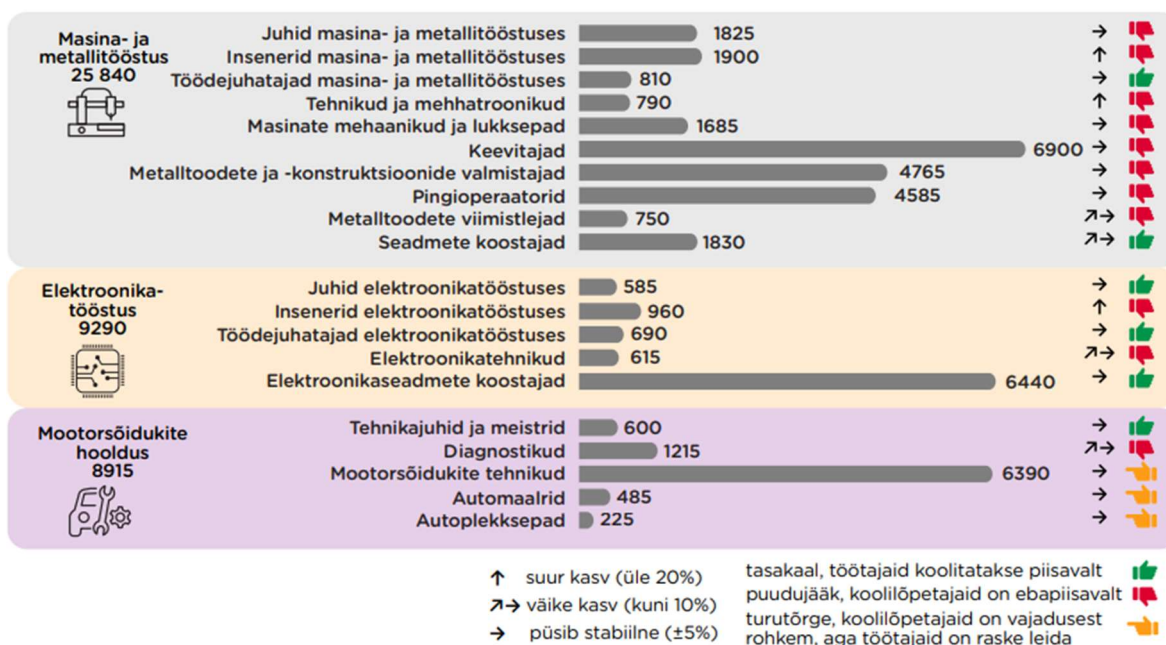
Tööjõubaromeetri alusel (tabel 1), on töötukassal võimalik analüüsida valdkonniti, millistele töökohtadele on oskustööjõudu piisavalt ja millistele ametikohtadele on puudus. Informatsiooni kogutakse kindlaskmääratud näitajate alusel, mis on järgmised:

- muutus tuleneb Euroopa Liidu struktuurivahendite rahastusest – EAS ja Kredex ühisrahastuse projektid digitaliseerimise toetustele tööstusettevõtetele
- muutus tuleneb mitmest ettevõttest või muutustest tervel tegevusalal – Näiteks e-panganduse laiem levik toob kaasa pangakontorite sulgemise ja töötajate koondamise
- muutus tuleneb uue tehnoloogia kasutuselevõtust – Näiteks uue tehnoloogia (robotiseerimine, automatiseerimine) kasutuselevõtt tingib järgneva 12 kuu jooksul koondamisi, tööjõu nõudluse vähenemist.

- muutus tuleneb ühest ettevõttest – Suur metallitööstlus ettevõtte, näitena Metest Metall Karksi- Nuias sulgeb tehase ja töötuks jääb suur hulk kohalikke elanikke.

Arvestades rahvastiku vähesust on väga oluline, et olemasolev oskustööjõud õpiks erialadel, millest on puudus. Oskustöötajate puudus on otseses seoses tasemeõppes väheste lõpetajate arvuga (joonis 2). Vajalike oskustega lõpetajate arv on väiksem, kui tööturul pakutavate töökohtade arv. Läbiviidud “OSKA” uuringu kohaselt on metalli ja tehnika valdkonnas aastas vaja umbes 750 lõpetajat. Viimaste aastate statistika näitab, et kutseõppes on lõpetajate arv vähenenud viiendiku, kõrghariduses kümnendiku võrra, mida on selgelt liiga vähe vajalike ametikohtade täitmiseks. (Uiboupin & Lepik, 2023) Oskustöötajate puudusti tuleks asuda lahendama varem, ehk põhikooli õppekavas on vajalik hoida huvi tehnika vastu. Huvi kaotamisel ei suundu noored metallitööd õppima, tehnika alaste teadmistega inimeste arv väheneb aastalt aastale. (Lepik & Uiboupin, 2023)

MME valdkonna põhikutsealade hõive prognoos aastaks 2031 ning hinnang tööjõuvajaduse ja pakkumise tasakaalule



Joonis 2: Oskustöötajate hõive prognoos aastaks 2031 "OSKA" kutsekoja hinnangul

Allikas: Uiboupin Lepik 2023, kuvatõmmis.

1.2. Efektiivsuse tõstmise vajadus

Selles peatükis selgitab autor, mis on efektiivsuse mõiste, miks on selle mõõtmise oluline.

Efektiivsus ei ole üheselt mõistetav. Efektiivsuse teerajajaks peetakse Debreu käsitlust aastal 1951, ja M.J. Farnelli 1957 aasta Journal of the Royal Statistical Society avaldatud artiklis "The Measurement of Productive Efficiency". (Førsund & Hjalmarsson, 1974, lk 141)

Ettevõtte efektiivsust defineeritakse kui edukust antud sisendite hulgast võimalikult suure toodangu tootmiseks. Tõese tulemuse eelduseks on kõigi sisendite ja väljundite korrektne mõõtmine. (Farell, 1957, lk 290) Tegutseva ettevõtte jaoks on oluline olla turul, toota minimaalsete kulutustega maksimaalset kasu. Kasu võib olla rahaline või muul viisil mõõdetav ettevõtte jaoks oluline tegur. Suurim positiivne tulem saavutatakse efektiivse tootmisega. Kui konkurents kasvab on ülimalt oluline toota efektiivselt, see tagab muutunud olukorras ettevõtte kasumliku tegevuse. (Lovell, 1993, lk 6)

Efektiivsuse analüüsimisel võrreldakse ressursse, mida on tegelikult tootmiseks vaja, kasutuses olevate ressurssidega. Üleliigsed ressurssid vabastatakse, alles jääb vajalik (Tangen, 2004, lk 730).

Üldiselt peab efektiivsust käsitlema avatumalt, mis tähendab kõigi majandusressursside efektiivsuse sisendina. Eesti on piiratud ressurssidega, hinnatõus on vältimatu, sellest tulenevalt on vajadus tootmissisendeid säästlikult majandada, mis tähendab kogutootlikuse kasvu. (Kalle, 1997, lk 7)

Valem 1: Efektiivsuse arvutamine

$$Efektiivsus = \frac{Eesmärk/(tulemus)}{vahendid (kulutused)}$$

Allikas: E.Kalle „Tootlikkuse kasvu juhtime ettevõttes“ 2007, autori koostatud

Eesmärk võib olla teenus, toode, efekt jms. Vahendite all saab määrata tööjõu, tooraine, energia, kapitali jms. (Kalle, 1997, lk 8)

Efektiivsuse mõistet laiemas tähenduses kasutatakse ressursside kasutamiseloomustamiseks, täpsemalt öeldes, ressursside õigesti kasutamist. Efektiivsus on suhteline mõiste, tuleb määratleda konkreetsele ettevõttele või üksusele, millisel tasemel ja

mida on vaja mõõta efektiivsuse hindamiseks, kas a) makrotase – ressursside eri sektoritesse jagamise teel, b) tööstuse tase – tõhususmeetodid sellel tasemel näitavad võimalusi tõhustada tootmist, c) mikrotase – ettevõtte sees olevad kasutusallikad, tootmistehnoloogiad. (Damelang & Otto, 2023, lk 15) Efektiivsuse hindamisel tuleb silmas pidada, et uuendustele tehtavad kulutused oleksid võrreldavas suhtes kulutustega, ehk finantsiliselt ettevõtte tuludekuludega kooskõlas. Siiski on vajalik mõistmine, kui uuendused ei too kohest kasu, ei ole tegu läbikukkumisega. Tegevuse käigus on saadud vajalikke teadmisi, mis on ettevõttele kasulikud. (Fransman & King, 1984) Turul ja konkurentsis püsimiseks on vaja investeerida masinatesse, on vajalik uue tehnoloogiaga kaasas käija. Protsessid arenevad ja sellega seoses tootmised (Fransman & King, 1984).

Efektiivsuse määramiseks on vaja selgitada, mis on tootlikus ja kuidas see on seotud efektiivsusega. Üldises tähenduses tootlikkus on organisatsiooni, ettevõtte väljundi või väljundite ja sisendi või sisendite suhe. Tootmise eesmärk on muuta sisendid võimalikult kulutõhusalt väljunditeks. (Kalle, 1997, lk 24)

Tootlikkuse teada saamiseks on vaja tootlikkust mõõta, milleks tuleb määrata, mida ja kuidas on vaja mõõta, et saada vajalik informatsioon. Järgnevalt on vajalik tulemuste analüüsimine, Tulemusi on vaja hinnata, et teada saada, kas ettevõtte on majandusnäitajatega tasemel, kus organisatsioon olla soovib. (Kalle, 1997, lk 4) Tuntumaks töö tulemuste hindamiseks kasutatakse tööjõu produktiivsust ehk teatud aja jooksul toodetud toodangu ja kulutatud aja suhet. Sellisel juhtul on võimalus efektiivsuse all mõelda ettevõtte või organisatsiooni kasumi ja palgakulude suhtarvu. (Kalle, 2007, lk 15)

1.3 Efektiivsuse erinevad mudelid

Efektiivsuse defineerimiseks on võimalik kasutada erinevaid mudeleid. Käesolev lõputöö võtab aluseks klassifikatsioon vastavalt H.Kitzmann 2018 (Kitzmann, 2018) käsitlusele

1.3.1 Summeeritud tulemusmõõduga süsteemid

Tootlikkus, kvaliteet ja paindlikkus on kriitilise tähtsusega hindamaks ettevõtte majandamist. Tootlikkus on kui efektiivsus, millega muudetakse sisendid väljunditeks. Kvaliteet on kui kraad toote hindamisel ja paindlikkus on kui võime toime tulla tootmises tekkivate muudatustega. (Young & Park, 1987, lk 94)

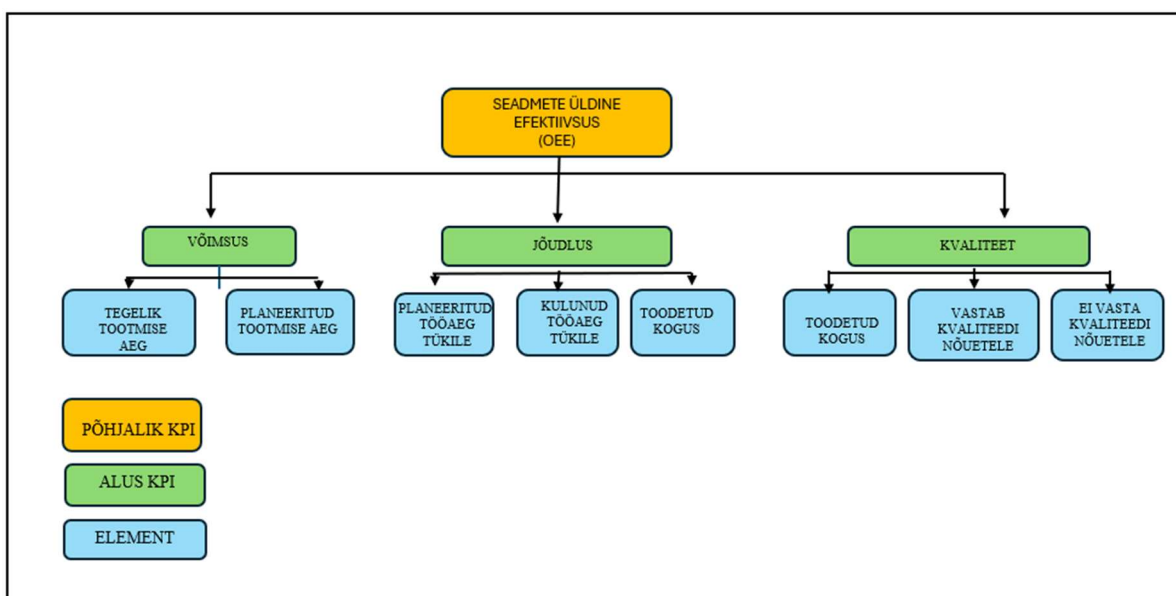
Tööjõu efektiivsus annab sisendi, kui palju on vaja töötajaid teatud tootmisühiku saavutamiseks. Sobib kasutada töömahukates tootmisüksustes. Automatiseerides väheneb otsene tööjõud, mis muutub kaudseks tööjõuks. Efektiivsuse arvutamisel võetakse arvesse mõlemad, otsesed ja kaudsed tööjõukulud. Kapitali efektiivsus – kapitali efektiivne kasutamine, seadmete ja investeringute arvestamine sisendi väljundiks muutmisel. Materjalide efektiivsus – algmaterjalide kasutamine, millise osa moodustab teatud materjali osakaal tootes. Soodsaid materjale on mõistlik osta suuremas koguses, kallimaid otse tootesse. Üldefektiivsus – efektiivsus millega vaadeldakse eelpool märgitud väärtusi välistades muid vajalikke kulusid tootmiseks. Muud kulud võivad olla masinate ja seadmete remont, tööriistad, tarkvara, põrandapind, jt. (Young & Park, 1987, lk 96)

Kvaliteet on kui täiuslikkuse aste toodetele, kuidas ettevõtte hakkama on saanud. Kvaliteeti saab mõõta kas toodete alusel või hinnates protsessi. Mõlemal juhul mõõdetakse teatud osa kvaliteedist, kuid ei jäeta tähelepanuta teisi aspekte. Osalised kvaliteedi meetmed – protsess, mille kasutamisel on soov valmistada häid tooteid väikseste ennetuskuludega. Selliste protsesside osa on masina või programmi usaldamine. Võib toimida, kuid praagi ilmnemisel on kulutused suuremad kui loodetud tulud. Kogu kvaliteediprotsessi mõõtmine – hõlmab endas kogutoodangu kvaliteedi mõõtmist ja jälgimist. Meetodi miinus on, et kvaliteedi kontrollimiseks tehakse liigsed kulutused, mis tähendab efektiivsuse kadu. Kui ettevõtte teab, millised on riskid ja võimalused on kuluefektiivsem kasutada osalise kvaliteedi mõõtmise meetodit. (Young & Park, 1987, lk 98)

Pindlikkus on toomise võimekus teha muudatusi vaadeldes nelja erinevat aspekti – varustus/seadmed, tooted, protsess, vajadus. Saab vaadelda täielikku või osalist paindlikkust.

Seadmete osaline paindlikkus – võimalus kasutada seadmeid erinevate toodete tootmiseks. Samas jälgida ja vaatluse alla võtta masinate ja seadmete seisangu/ ooteajad. Efektiivsuse tõstmiseks on vajalik olla paindlik võttes tööse tooteid, et vähendada masina seisuaega. Toodete osaline paindlikkus- toote vajadus, turg muutub ja seoses sellega on vaja kohaneda, olla valmis pidevalt uusi tooteid tootma. Tuleb tähele panna, et väiksete partiidega tulevad suured seadkulud ja sellega seoses läheb efektiivne tootmine vasassuunas soovitu. Tuleb leida optimaalne tasakaal. Protsessi osaline paindlikkus – võime tähele panna pikki seisakuid ja ooteaegu, oskus näha ja vältida. Tööriistade varumine, tootmisplaneerimise ülesanded. Vajaduste osaline paindlikkus- materjalide ja toodete lattu ostmine ja laost tootmine. Ennustustele tuginedes otsuste tegemine. (Young & Park, 1987, lk 100)

Seiichi Nakajima, tootmisjuhtimise ekspert ja Japan Institute of Planet Management õppejõud mõtles välja termini ületuldisise tootmise mõõtmiseks. Seiichi Nakajima meetod keskendub aja mõõtmisele. See on meetod, kuidas arendada, mõõta ja võrrelda tootmisprotsessi ületuldist olemus on kaod nähtavaks teha ja tuua välja alad, mida saab parandada. (R. Iannone; M. E. Nenni 2018: 32) Kogutootmise efektiivsuse levinud termin on tähekombinatsioon – OEE (joonis 4) (ISO 22400, 2011). OEE koosneb kolmest komponendist, milles esimene on võimekus. Definitsiooni võimekusele on kui protsent tegelikust kulunud tootmisajast, millal masin töötab kuni tootmisajani kuni masin on vaba teatud töö jaoks. Teine element OEE valemis on jõudlus ehk tootlikkus. Masinal toodetud detailide koguarvu protsent masina tootmiskiirusest. Ja kolmandaks osaks on kvaliteet, protsent kvaliteetsed tooted võrreldes toodetud kogusega. (Kulkarni & Naik, 2015, lk 7001)



Joonis 4: OEE alused ISO 22400 alusel

Allikas: Almström 2017 (Almström et. al., 2017) , autori koostatud

Valem 2: OEE arvutamine ISO 22400 alusel

$$OEE = A \times P \times Q$$

kus A = võimekus - tegelik tootmise aeg / planeeritud aeg
 P = jõudlus – planeeritud kogus/ toodetud kogus
 Q = kvaliteet – kvaliteetsed /koguarv

Allikas: ISO 22400 alusel, autori koostatud

1.3.2 Mitme tulemuse mõõtmise süsteemid

Võimalik jälgida mitme näitaja tulemusi. Võimalik parandada info kvaliteeti ja ettevõtte olukorda lihtsamate sammudega. Selle mudeli aluseks on tehniliste seadmete jälgimine, simulatsioonid, mudelite juurutamine. (Nyhuis & Wiendahl, 2009, lk 12)

1.3.3 Mitme huvirühma vaatega süsteemid

Aastal 1972 ÜRO väljakuulutatud rakendusmeede, mille järgi on kõigil ettevõtetel kohustus kaitsta ja hoida keskkonda, milles elame ja tegutseme. Süsteemi toimimise võimalikkus on anda informatsiooni ja pidada aruandlust rahvusvahelistele alustele tuginedes. Tootmine keskendub kõigi ümbritseva heaolule. (Kitzmann, 2018, lk 23)

1.3.4 Süsteemid, millel on mitme sidusrühma panuse rahulolu suhe

Keskendub sidusrühma rahulolu loomisele. Võtab arvesse koostööd sidusrühmaga, ehk ettevõtte ja huvirühma vaheline koostöö ja rahulolu. Ei keskendu ettevõtte ühe aspekti parandamisele vaid põhineb strateegiatel, strateegiliste eesmärkide saavutamisel. Vastastikune koostöö. (Neely, 1999)

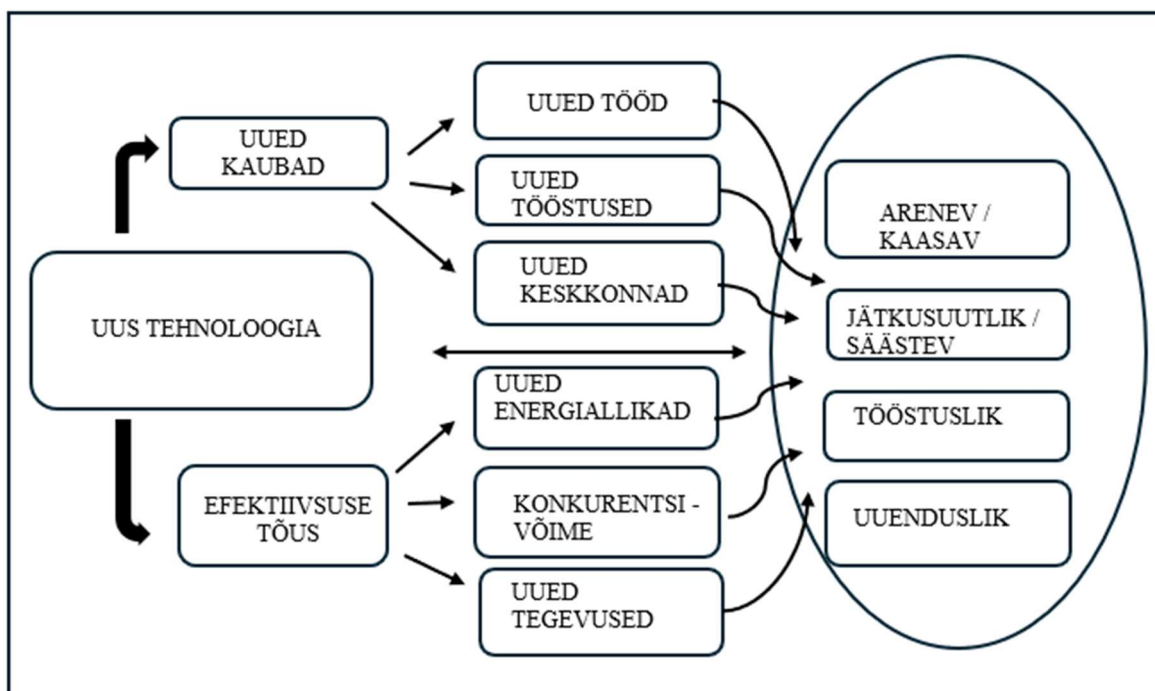
1.3.5 Põhjus/tagajärg ahelale orjenteeritud

Keskendumine juhtimisele, juhtkonna tegutsemise aluste selgitamine läbi praktiliste mudelite. Koostöö juhtimise ja huvirühmade vahel toob parima tulemuse. Lynch ja Cross (1995) kirjeldus Performance Pyramiidi abil, kuidas koostöö toimimine juhtimises pidevate muudatustega toob tulemusi. (Weber & Schaffer, 2001)

1.4 Robotiseerimine kui lahendus oskustööjõu puudusele

Kiired arengud robotikas, tehisintellektis, andmeanalüütika suurenenud võimalused, innovatsiooni kiire areng annavad võimalused suurendada toodangu mahtu mainitud valdkondade arengu kaudu. Tööstusrevolutsiooni arengu sagedane väide on, et inimtööjõud asendatakse robotitega, kuigi robotiseerimise teel luuakse uusi töökohti uutes valdkondades. (Yong, 2020, lk 9) Uued tehnoloogiad võimaldavad turule tuua uusi tooteid, tehnoloogiaid, mis annavad turule võimaluse areneda ja ettevõtetele efektiivsemalt toota (joonis 5). Tooted sobivad massturule ja konkureerivad hinnas. (Yong, 2020, lk 32) Järgmine areng tööstuses on robotite ja inimeste koostöö. Protsessid, millega tehnoloogia hakkama ei saa jäävad inimeste hallata, kuid väga täpsed ja inimeksimise võimalusega tööd suunatakse robotite

haldusalasse. Kui varem oli kindel hulk töid, mida robotid ei olnud võimelised teostama on jõudud sammuni, kus koostöös kahe erineva objekti vahel saavad tööd teostatud mõlemale osapoolle kasumlikult. (Yong, 2020, lk 42)



Joonis 5: Tehnoloogia areng ajas OECD 2020 andmetel, autori koostatud

Uued tehnoloogiad ja robotite kasutamine tootmises aitab oskustöajõul areneda ja omandada uusi teadmised. Robotite kasutuselevõttuga kaotatakse vähetähtsad töökohad, kuid oskustöajõud areneb uuele tasemele, mis annab võimaluse palga ja oskuste tõusuks. (Damelang & Otto, 2023, lk 5).

Robotiseerimise algus

Aastal 1495 ehitas Leonardo da Vinci seadme, mida oli võimalik mehaaniliselt liigutada. Kavand oli soomustatud rüütli sarnane, mis jättis liigutades mulje, et rüü sisse on peidetud inimene. Aastal 1926 sai teleekraanilt näha esimest Maria nimelist naisrobotit, "Metropolis" nimelises filmis, autor Fritz Langi. (Mathia, 2010, lk 5)

Sõna robot pärineb 1921 aastast, Karel Capek teosest "Rossum's Universal Robots". Teiskordselt kasutas sõna robot 1942 aastal Isaac Asimov oma novellis. Peale teist maailmasõda loodi masinad, mille eesmärk oli tootmise võimekust suurendada, esimeste arvjuhtimisega masinate kasutuselevõtt. Liites masinate võimekuse ja arvjuhtimise, 1961 aastal loodi esimene robot, 40 aastat hiljem sõna Robot kasutamist. (Low, 2007)

Roboti ülesanne on täita talle ette antud ülesandeid, robotite tüübid ja ülesanded saavad olla väga erinevad, tööstuslikud robotid, manipulaatorid, meelelahutuslikud, humanoidid, maapealsed, õhus, vees olevad, jt (Zamalloa et. al., 2017). Roboteid on tööstuses kasulik kasutada, kuna nad on programmeeritavad erinevaid ülesandeid täitma. Sellest tulenevalt on nad paindlikud ja mitmekülgised. Tööstusrobotid suudavad inimestest rohkem tunde tööd teha, on võimelised töötama ohtlikes töölõikudes ja ebamugavates tingimustes. Robotid on suurema täpsusvõimega kui inimesed ja robotid täidavad täpselt neile seatud juhiseid. (Mathia, 2010).

Robotiseerimine Eesti tööstustes

Statistikaameti andmetel on robotite kasutuselevõtt ehk robotiseerimine aastatel 2018 kuni 2022 suurenenud (tabel 2), tõus on toimunud 0.9 kuni 49.4% ulatuses. Suurima hüppe on teinud robotite kasutuselevõtt tööjõukulude vähendamise eesmärgil. (Statistikaamet, Eesti Statistikaamet, 2024)

Tabel 2: Robotite kasutuselevõtu statistika aastatel 2018 -2022

Tegevusala	2018 (%)	2020 (%)	2022 (%)
Töötlev tööstus	8.9	9.7	13.2
Metalltoodete tootmine	12.4	11.8	18.7
Teenindusrobotite kasutamine	0.7	0.8	1.7
Kõrge tööjõukulu tõttu roboteid kasutanud ettevõtted	0	0	49.4

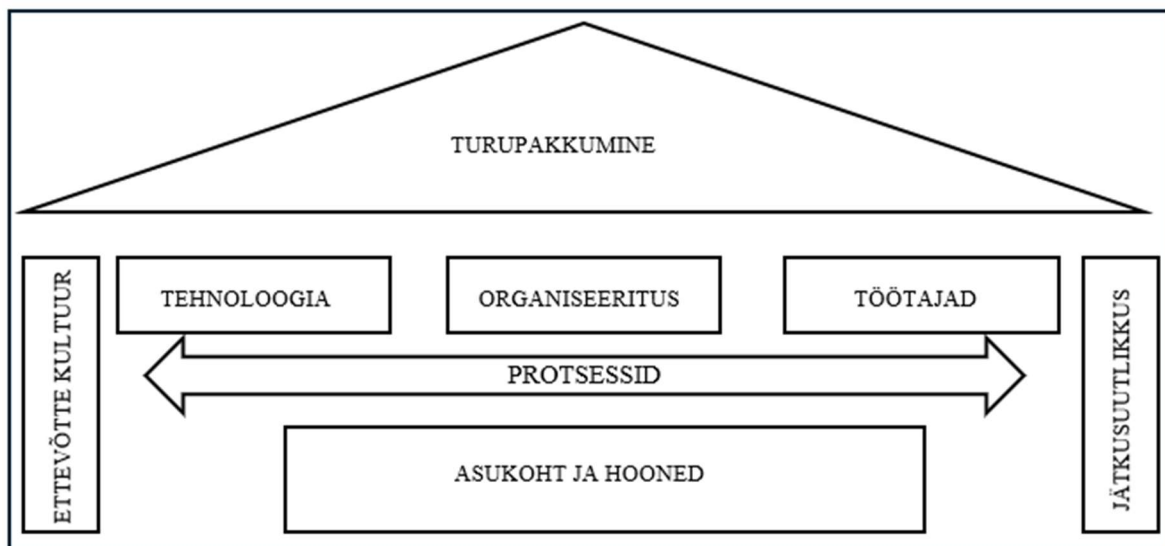
Allikas: Statistikaameti veebileht, IT146 robotite kasutamine ettevõtetes, autori koostatud.

Statistikaameti andmetel on Eestis enim roboteid kasutusel metallitööstustes, transpordivahendite ja mootorsõidukite tootmistes, arvutite ja elektroonikatööstuses. Robotite kasutamine on levinud keemia ja erinevate plasti-, kummitootmistes. Tööstusroboteid kasutatakse teenindusrobotitega võrreldes rohkem. (statistikaameti veebileht 2024) Robotite kasutuselevõtt on laialdaselt levinud igas valdkonnas, kodumajapidamises, põllumajanduses, sõjalistes tegevustes. Robotid on suutelised asendama inimtööjõudu selgeksõpetatud käskluste alusel. (Riives, 2015, lk 46). Tootmise automatiseerimine on võimalik igas etapis, robot tellib materjale, digilahendused jälgivad tootmist ja automaatselt väljastatakse tellimused laost. Protsesside automaatseks muutmisega kaob inimtööjõu vajadus, kasvab oskustöötajate vajadus. Väheste elanikega asukohad jäävad ellu, võimalik, et saavad lisarahastust ja edu kasvab. (Varblane, 2019, lk

22). Robotite ülesanded tootmistes on teha korratavaid lihtsaid ülesandeid. Mainitud viisil on võimalik kuludes kokku hoida 30 -50%. Selliste ülesannete täitmiseks on näitena tehisintellekti kasutamine, iseteeninduskassad poodides. (Ribeiro & Lima, 2021, lk 52) Robotite kasutamine on tulevikusuund, kuna selles nähakse võimalusi ettevõtte kasvuks. Korratvates tegevustes robotid ei eksi, roboteid saab kasutada klienditeenindusest alates, suhtlusrobotid võtavad inimestelt ebavajaliku ajakasutuse seejuures eksimata. Korratavate tegevuste ja tootmisetappide puhul on kulutused robotitetele mõistlikud, tagades kvaliteedi ja kiiruse. (Devarajan, 2018, lk 13) Robotiseerimise positiivseid näiteid saame vaadelda Covid-19 pandeemia näitel. Pakiautomaadid ja inimkontakti vältivad lahendused olid üliolulised ja aitasid kaasa ettevõtete tegevusele mainitud ajal. (Siderska, 2021, lk 4).

Tootmise ja tootmisruumide planeeringu olulisus robotiseerimiseks

Tootmise planeerimisel on oluline aru saada ärioloogikast, kasumi ja ettevõtte tulude olulisusest. Kolm olulist aspekti on jätkusuutlik majandamine, uuendusmeelsus ja muutlikkus. Tootmise alustamisel on oluline mõelda müügiimahule, asukohale, konkurentsile ja tootmise suurusele (Wiendahl et. al., 2015, lk 15) Tootmise parimaks tulemuslikkuse tagamiseks on oluline arvestada tootmiseks vajalike komponentdega (joonis 6), et tagada parim kasumlikkus. Tootmise sisemine paigutus mõjutab tootlikkust ja efektiivsust kõige suuremal määreal. (Wiendahl et. al., 2015, lk 22)



Joonis 6 Tootmist mõjutavad tegurid.

Allikas: Handbook Factory Planning and Design 2015, autori koostatud.

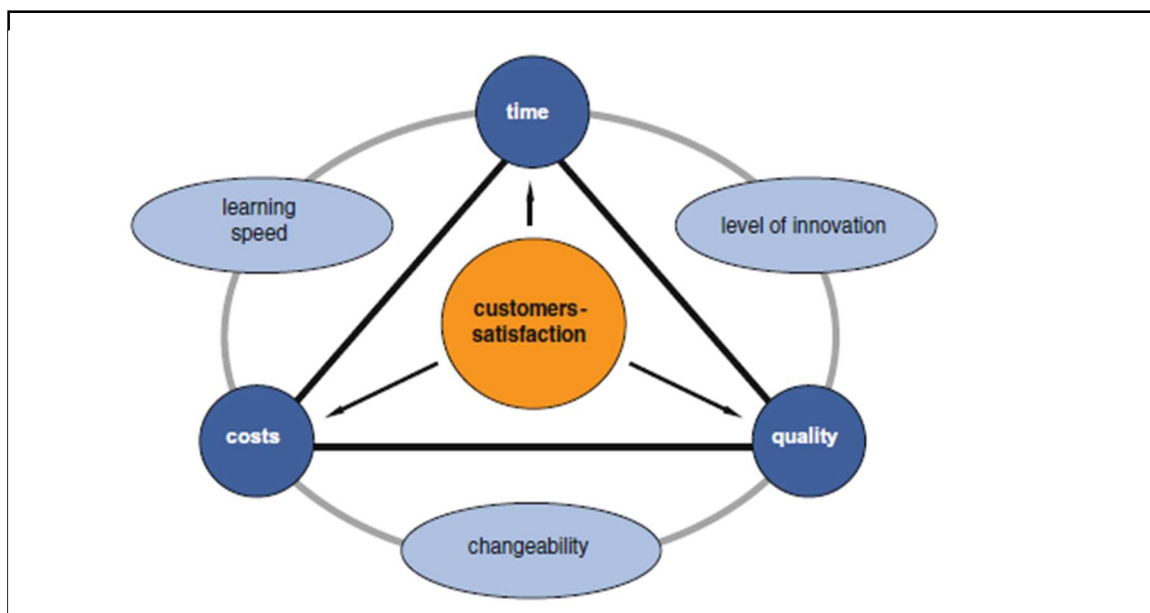
Tehase sees saavad olla erinevad väiksed osad, millel on erinevad tehnoloogiad. Kui tehase planeering on läbimõeldud, muudatused, uuendused toimivad. On vaja selget juhtimist,

tegevuste jälgimist, kuna kasu toovad suurte seerjate tootmine ja raiskamste vähendamine. (Wiendahl et. al., 2015, lk 25). Tootmise organiseerimine etappide ja tegevuste järjekorras annab võimalusi raiskamisi vältida, toota efektiivsemalt. Tootmine organiseeritakse võimalikult järgnevaid samme ja tegevusi läbi mõeldes, et ei tekiks ebavajalikke tegevusi. (Wiendahl et. al., 2015, lk 77).

1.5 Robotiseerimise juurutamise protsessid

Robotiseerimise alustamiseks on ettevõttel vaja selgeks teha, millised on soovid ja vajadused. Ettevõtte vajadus on võtta vastu tellimused, toota kliendile kinnitatud ajaga ettevõtte kalkuleeritud kuludega või soodsamalt. Saada maksimaalselt kasu minimaalsete tegevustega. Oluline on selgeks teha tootmismeetodid, ettevõtte toimimise mudel, energia kasutamine, töömeetodid, materjali vood, kauba väljastamine. Üleliigne energia kulutamine valedes etappides tekitab kulutusi. (Wiendahl et. al., 2015, lk 57) Konkurentsipüsimiseks on vaja kohaneda, automatiseerida tootmist või tootmishooneid. Eriti vajalik on käsitsi tootmise protsessid automatiseerida. (Chemweno, &Torn, 2022)

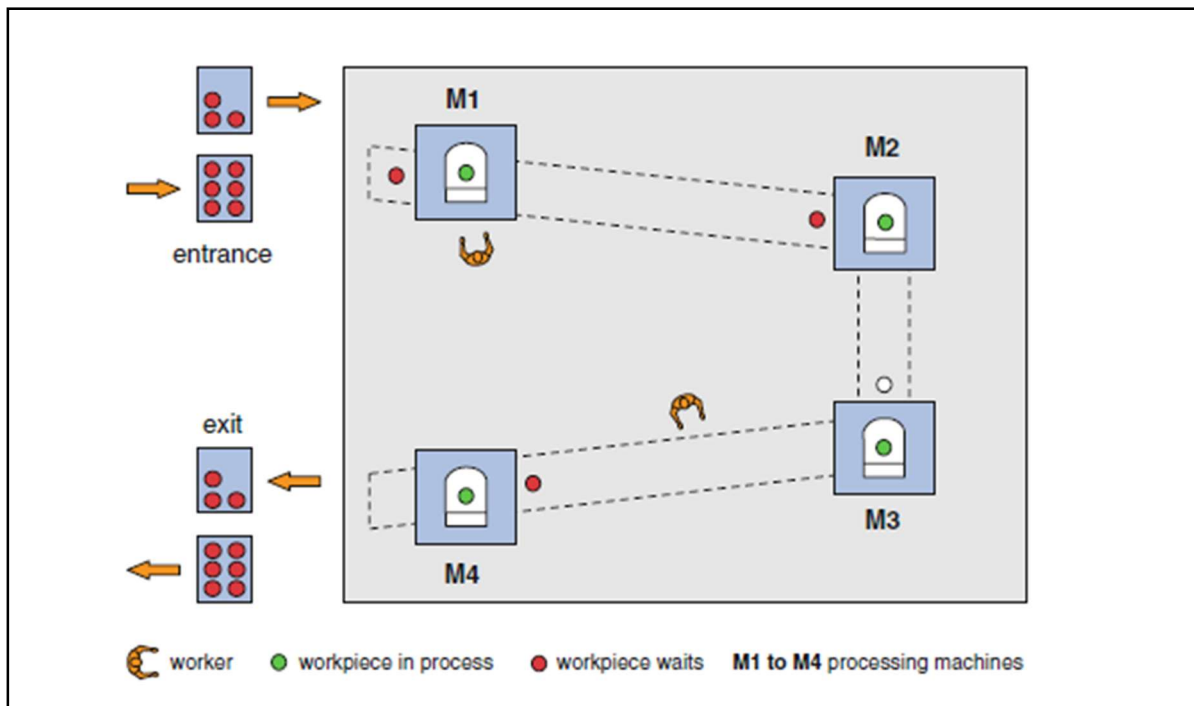
Ettevõtte seisukohalt on oluline fokuseerida kliendirahulolu tagamisele, seeläbi tulu teenimisele. Rahulolu on võimalik saavutada uuenduste, töötajate õppimisvõime arendamise, innovatsiooni ja muutunud ühiskonnaga kohenemisel (joonis 4) (Wiendahl et. al., 2015, lk 9)



Joonis 7: Konkurentsivõimeline tehas vastavalt Wiendahl (Wiendahl et. al., 2015, lk 69)

Tehase planeerimisel on oluline läbi mõelda planeering, et see oleks jätkusuutlik ja toimiks muutuvates oludes, toetaks finantsilisi näitajaid, kliendi rahulolu, üldiseid ärilisi protsesse, samas võimaldaksid kasvada ja areneda. (Wiendahl et. al., 2015, lk 15) Süsteemid inimese ja masina koostööl on turvalised lahendused. Kiire võimalus ümber seadistada annab paindlikkuse ja arenemisvõimaluse. Samas, kui ettevõtte ei kasuta 90% mahust võib investeeringu tulemus olla negatiivne. Oluline on tagada pidev ja püsiv töö. (Wiendahl et. al., 2015, lk 34)

Tootmise sujuva ja minimaalsete kulutuste tagamiseks on vaja mõelda tootmise põrandaplaanile. Mõistlik on teha U kujuline tootmine, kus tooted (materjal) viiakse ühest sissepääsust sisse, kõik sammud järgnevad nii, et tooted jõuavad ringiga tagasi pakkimisalale üleliigseid samme tegemata (joonis 8). (Wiendahl et. al., 2015, lk 69)



Joonis 8: Tootmise optimaalne planeering, vastavalt Wiendahl (Wiendahl et. al., 2015, lk 69)

Kui tootmine on hästi organiseeritud tähendab see, et ruumi on maksimaalselt kasutatud tulu teenimiseks, töötajad ei tee üleliigseid liigutusi ja kasu saavad nii töötajad kui ka omanikud. Et tootmine püsivalt toimiks teatud alustel on vaja kirjutada juhendid ja seada normid, millest lähtuda. Üldtundud ISO standardid. (ISO 22400, 2011, lk 1-93)

Autori lõputöö teoretilises osas uuritud teemad on olulised empiirilise osa tegevuste jaoks.

Oskustööjõu puuduse põhjuste uurimine andis teadmised kvalifitseeritud töötajate olukorrast töajaturul, kinnitas autori jaoks informatsiooni, et tööjõu puudus on jätkuv probleem, ettevõtte soov robotiseerida on tööjõu vaates vajalik samm. Efektiivsuse erinevad mudelid annavad väikeettevõttele võimaluse aru saada, milline on sobiv mudel robotiseeritava töökoha analüüsimisel. Robotiseerimise taseme uurimine Eestis andis kindlust, et projektiga on vajalik jätkata. Järgnevas peatükis keskendub autor uuringu metoodika ja uuringu tulemuste kirjeldamisele.

2. HANVAL METALL OÜ EFEKTIIVSUSE TASE ROBOTISEERIMISE RAKENDAMISEL

2.1 Uuringu metodoloogia

Lõputöös on tegemist juhtumiuuringuga, informatsiooni kogutakse tegevust toimivas keskkonnas. (Laherand, 2010, lk 15)

Juhtumiuuring annab võimaluse põhjalikult uurida läbi ühe ettevõtte, kas robotiseerimine ja õigete mudelite valik aitab saavutada parema efektiivsuse taseme, mis jääb püsima ja annab pikaajalisi tulemusi.

Lõputöö empiirilises osas keskendub autor järgmistele küsimustele

- Kogub andmeid oskustööjõu puuduse tuvastamiseks Hanval Metall OÜ-s.
- Analüüsib efektiivsuse mudeleid, et selgitada välja ettevõttest lähtuvalt parim rakendatav ja tulemuslik meetod.
- Teeb kindlaks robot Fanuc R2000iB võimekuse ja robotiseerimise olukorra ettevõttes
- Analüüsib kogutud andmeid ja teeb omapoolsed ettepanekud.

Peamised tegevused uurimiseesmärkide täitmiseks on:

1. Milline on ettevõtte tööjõu, efektiivsuse ja robotiseerimise tase?
2. Milline saab olla ettevõtte olukord robotiseerimise abil?
3. Milline efektiivsuse mudel on ettevõttest lähtuvalt parim tulemuslikkuse jälgimiseks.
4. Millised sammud on vajalikud ettevõtte robotiseerimise positiivse tulemuse tagamiseks/saavutamiseks.

Robotiseerimise osas, autor annab ülevaate ettevõttes olemasoleva roboti ja robotiga ühendatud CNC masina osas.

Rakendusuringu ülesanded on:

1. Vaatluse käigus kogutud andmete analüüs. Mis seisneb roboti töö analüüsis ja võrdlemises inimtööjõu tulemustega.
2. Probleemkohtade leidmises roboti töökohal ja inimese töökohal.
3. Valitud efektiivsuse mudeli tulemuste arvutamine.

Lõputöö autor tutvub ettevõtte olukorraga kohapeal. Saab teadmised ettevõtte majanduslike näitajate kohta, informatsiooni, mis on ettevõtte nägemus, kus soovitakse olla ja kuhu jõuda läbi robotiseerimise. Teave kogutakse korduvate intervjuude käigus ettevõtte tegevjuhiga.

Autor kogub ettevõtte kohta andmeid avalikest allikatest ja ettevõtte sisestest allikatest. Autor on teinud intervjuud ettevõtte tegevjuhiga, teeb koostööd tootmisjuhtide ja teiste vajalike osapooltega, et koostatud lõputöö oleks asjakohane ja vastaks püstitatud eesmärkide saavutamisele.

Ajagraafik tulemuste saavutamiseks

Tegevus	Ajavahemik
Ettevõtte kohta üldinformatsiooni kogumine (ettevõttes kohapeal)	09.01.23-.31.10.23
Metoodika valimine	10.10.2023
Kohapealne vaatlus, informatsiooni kogumine jooksvate küsimuste lahendamiseks vastavalt vajadusele mitte harvem, kui kaks korda kuus	01.11.2023-30.04.2024
Valitud metoodika täitmine	01.02.2024-28.02.2024
Kvalitatiivne analüüs	01.02.2024 – 30.03.2024
Tulemuste analüüs	01.03.2024-30.03.2024
Kokkuvõte	20.05.2024
Ettepanekud, soovitusel, takistused	20.05.2024

Andmete analüüs

Autor analüüsib vaatluse käigus kogutud andmeid ettevõtte sisedokumentidest saadud andmetega. Lõputöö autor kordab mõõtmist, et näha toimunud arenguid robotiseerimises, programmi töökiirust, roboti liikumiskiirust, toodete asetamist ühest kohast teise.

2.1 Ettevõtte tutvustus

Hanval Metall on väike ettevõtte, registreeritud 10.04.1997 Viljandimaal Karksi-Nuias (e-äriregister, 2024) Ettevõtte põhitegevusala on metallide mehaaniline töötlemine (25621), metallist detailide valmistamine (Teatmik, 2024) Hanval Metall on pereettevõtte, ettevõtte, mille juhtimine on üle antud isalt pojale. Ettevõtetel on kaks tootmisüksust, millest üks asub Viljandi linnas ja teine üksus Karksi-Nuia väikelinnas. Viljandi osakonnas toodetakse CNC treimis-ja freesimismasinatele väiksemaid detaile (tabel 1), kaaluga kuni 20kg tükk. Karksi-Nuia osakonnas suuremaid tooteid, kaal võib ulatuda sadade kilodeni (Hanval Metall

veebileht). Hanval Metallil on kokku 10 treimise CNC keskust ja 4 freesimiskeskust, keevitusseadmed, manuaalpingid, erinevate võimekustega saed (väiksete detailide saagimisest kuni 270mm suuruseni). Hanval Metall teenuseks on detailide valmistamine kliendi jooniste järgi, oma toodet ettevõttel ei ole. Hanval Metall on allhanketeenust pakkuv ettevõtte (intervjuu tegevjuhiga)

Tabel 1: Hanval Metall teenused

Nimetus	CNC treimine		Nimetus 2	CNC freesimine
Max valisläbimõõt	600mm		Töölaua mõõdud (XYZ)	720/460/510mm
Max siseläbimõõt	350mm		Töötlemise ala (XYZ)	1000x1000x1000mm
Max latisõõtja läbimõõt	105mm		Maksimaalne detaili kaal	500 kg
Max pikkus	700mm		telgsus	4 telge
Max spindli läbiava	105mm			
Min läbimõõt	10mm		Minimaalne läbimõõt	20x20x20mm
muud teenused	*koostamine *keevitamine *painutamine *allhanked			

Allikas: Hanval Metall koduleht 2023, autori koostatud

Ettevõttes on 20.04.2024 seisuga 29 töötajat. (Teatmik, 2024) Töötajate arv on viimase viie aasta lõikes jäänud samaks (tabel 2), kuna oskustööjõudu ei ole õnnestunud värvata (intervjuu tegevjuhiga). Ettevõtte on keskmiselt kaks korda aastas otsinud CV keskuse ja Töötukassa abil masinaoperaatoreid ettevõtte kasvu eesmärgil, kuid püsivaid töötajaid ei ole õnnestunud leida. Ettevõtte on valmis ostma uusi masinaid laienemise eesmärgil, oskustööjõu puuduse tõttu ei ole see olnud võimalik. Hanval on valmis töötajaid töö käigus ettevõtte siseselt koolitama, kuid baasteadmised on vajalik omandada koolis. Alates 2021 aastast on ettevõtte töötajatele võimaldatud osaleda Eesti Maaülikoolis töötajatele vajalikel koolitustel, milledeks on CNC treimine ja freesimine. Koolituste eest tasub ettevõtte. Viimase kolme aasta jooksul on üks töötaja saanud koolitatud töötukassa toetuse abil, kuid toetuse taotlemine ja positiivse vastuse saamine on väga keeruline. Aastal 2024 osales kaks töötajat freesimise koolitusel, töötukassalt ei õnnestunud toetust toetust saada. Töötajate keskmine töötatud aeg ettevõttes on 15 aastat, kontoritöötajatel keskmiselt 7 aastat. Vanimad töötajad on ettevõttes töötanud 27 aastat. Kontoritöötajad on osalenud erinevatel AIRE ja IMECC

läbiviidud robotiseerimise koolitustel, mis on ettevõtetele tasuta (vähese tähtsusega abi raames) kättesaadavad (intervjuu tegevjuhiga).

Tabel 2: Töötajate arv Hanval Metall ettevõttes aastate lõikes

Aasta	Tootsitiitajate arv	Kontoritöötajate arv
2023	23	5
2022	23	5
2021	22	5
2020	22	5
2019	22	5

Allikas: Hanval Metalli sisedokumendid 2024, autori koostatud

Töötukassa veebilehel on avalikud andmeid, millistel ametikohtadel on tööjõu ülejääk, tasakaal või puudus. Viimase viie aasta statistika näitab (tabel 3), et oskustööjõudu metallitööstusesse on raske leida, kuna on suur tööjõu puudujääk. Hanval Metall on ettevõtte, kus on tööl vaid Eesti keelt kõnelevad töötajad.

Tabel 3: Tööjõud 2019 -2023 andmed töötukassa tööjõubaromeeter.

Aasta	Suur tööjõu puudus 15 vaba ametikohta 0-5 kandideerimist	Tööjõu puudus 10 vaba ametikohta, 0-5 kandideerimist
2023		Metallitööstuspinkide seadistajad ja operaatorid ja keevitajad
2022		Metallitööstuspinkide seadistajad ja operaatorid ja keevitajad
2021	Metallitööstuspinkide seadistajad ja operaatorid ja keevitajad	
2020		Metallitööstuspinkide seadistajad ja operaatorid ja keevitajad
2019		Metallitööstuspinkide seadistajad ja operaatorid ja keevitajad

Allikas töötukassa veebileht, tööjõu baromeeter, autori koostatud 2023.

Maksu ja Tolliameti (MTA) lehelt on võimalik vaadata töötajate ja/või ettevõtete hõivatusetaset (alajaotus 3 Statistika, ettevõtluse statistika kohalike omavalitsuste kaupa, failid aastate kaupa). MTA andmetele on töötleva tööstuse ettevõtteid lisandunud Mulgi valda 2023 aastal kokku kolm uut ettevõtet (tabel 4). Aastal 2022 oli Mulgi Vallas 34 töötleva tööstusega tegelevat ettevõtet, aasta hiljem 37 ettevõtet. Kolm uut ettevõtet tõid Mulgi Valda juurde 4

tööandjat kes esitasid käibemaksudeklaratsioon (KMD) ja seetõttu suurema käibega, mis on positiivne suund, kuid väga väikesel määral (MTA, 2024).

Tabel 4 . Töötajate hõivatus MTA andmetel Mulgi vallas 2021-2023a

Aasta	Asukoht	Tegevusala	KMD esitavate juriidiliste inimeste arv omavalitsuses	Ettevõtete arv omavalitsuses aastate lõikes
2023	Mulgi vald	Töötlev tööstus	54	37
2022	Mulgi vald	Töötlev tööstus	50	34
2021	Mulgi vald	Töötlev tööstus	47	34

Allikas MTA töötajate hõivatuse tase 2021- 2023, autori koostatud 2023.

2.2 Robot Fanuc ja CNC masin

Aastal 2015 on ettevõtte soetanud kasutatud roboti Fanuc R-2000iB 210F, aasta 2005, millega oli plaanis alustada ettevõttes robotite kasutust. Samal aastal AIRE läbiviidud uuringu tulemusel selgus, et ettevõtte tase ei ole robotiseerimiseks valmis ja projekti elluviimine jäi ootele. Aastal 2022 – 2023 võttis ettevõtte teema uuesti päevakorda, kuna oskustööjõudu ei olnud võimalik värvata, kuid ettevõtte soov kasvada ja areneda on olemas. Aastal 2023 viidi läbi uus AIRE hindamine, mille tulemusel on näha, et ettevõtte on täna robotiseerimiseks valmis, esimesed sammud on tehtud. Robot Fanuc Fanuc R-2000iB 210F, mis soetati aasta 2005 on ühendamata, tegevust saab alustada. (intervjuu tegevjuhiga) Robot on ühendatud ja töötab koos pingiga Doosan Puma 3100m. Kohapealsel vaatlusel selgus, et hetkel teenindab robot vaid ühte pinki. Lisaks robotile ja masinale on töökohal loodud abi rakendused detailide puhastamiseks ja mõõtmiseks. Robot võtab toorikud ühe euroaluse pealt ja paneb valmis detailid teise euroaluse peale. Projekti algul asub robot Viljandi osakonnas. Robotiseerimise eesmärk on muuta tööjõuefektiivsus kapitali (masina) efektiivsuseks.

2.3 Ettevõttesisesed takistused robotiseerimisel

Tegevjuht sõnul on ettevõtte plaaninud robotiseerimist pikalt, kuid ei ole seda rakendanud töötajate tugeva vastuseisu tõttu (tabel 5). Ettevõtte kasvu soov on pikaajaline, robotiseerimine kui oskustööjõu probleemi lahendus on arutlusel olnud aastaid. Juht selgitas,

et arenguvestluste käigus väljendasid CNC-masinaoperaatorid vastuseisu robotiseerimise suunal. Robotiga koostööle planeeritud operaatorid olid arvamusel, et roboti rakendamisel teeb masin kogu töö ja asendab seeläbi inimtööjõu. Operaatorid arvasid, et robotiseerimisel kaob neil võimalus töötada mitme pingiga ja seetõttu tekib kaotus igakuises sissetulekus. Täna näevad töötajad robotis võimalust hallata lisamasinat ja seeläbi sissetulekut kasvatada. Tegevjuhi hinnangul on teiseks suureks takistuseks ruumipuudus. Esialgu roboti projekti käivitades ei olnud ettevõtte tuttav Lean põhimõtete ja 5S kvaliteedisüsteem. Roboti vajab rohkem ruumi kui inimene-masin töökoht. Ohutuspiirded ja masinate tööpiirkonnad võtavad põrandal rohkem ruutmeetreid. Projekti kiireks edasilikumiseks paigutas ettevõtte roboti nii öelda inimese töökohale (aastal 2005 roboti ostu järgselt). Arvestades robotiseerimisest projekti ajaliskust, hakkas robot igapäevatööle ette jääma.

Tabel 5: Robotiseerimise takistused ettevõttes

Takistuse põhjus	Takistus	Lahendus	Tulemus
Masinaoperaatorite vastasseis.	Hirm kaotada töö .	Ettevõttesisene informatsiooni liikumine, selgitustöö.	Lahendatud november 2023.
Masinaoperaatorite vastasseis.	Hirm kaotada palgas.	Privaatsed vestlused	Lahendatud november 2023.
Ruumipuudus.	Piiratud liikumine töökohal.	5S ja Lean koolitused.	Lahendatud september, oktoober 2023.
Roboti liikumisala suurus.	Inimene ja teised masinad ei mahu koos töötama.	Roboti liikumine Viljandi osakonnast Karksi-Nuia osakonda.	Ruumi on piisavalt, lahendatud oktoober 2023.
Programmi kirjutamine, roboti igapäevatöö.	Puudus majasisene oskus ja tahe tegeleda robotiga.	Oskuse palkamine väliselt teenusepakkujalt.	Toimiv koostöö teenusepakkujaga.
Tõsteseadmete puudus.	Raskeid detaile ei saanud Viljandi osakonnas käidelda.	Roboti viimine osakonda, kus on tõsteseadmed.	Probleem lahendatud 2023.

Allikas: intervjuu tegevjuhiga, autori koostatud 2023

Tekkis lokaalne ruumipuudus, mistõttu pidi robotit pidevalt liigutama, projekt muutus töötajatele häirivaks. Aastal 2005 oli takistuseks tõsteseadmete puudus. Igal töökohal eraldi tõsteseade puudub, operaatorid peavad seadmeid jagama Roboti suur tõstevõime on aga efektiivsuse tagamiseks vajalik, sest hoiab kokku investeeringuid lokaalsetesse tõsteseadmetesse (intervjuu tegevjuhiga).

2.4 Hanval Metalli efektiivsus

Hanval Metall omab erineva võimekuse tasemega CNC masinaid (tabel 6). Ettevõttel on manuaaltreipingid, millega on võimalik teostada lihtsamate detailide treimist. Manuaalselt on võimalik toota väikseid seerjaid ja lihtsaid detaile. Teisel tasemel on automaatsed arvjuhtivad masinad, kuid millel on vaja operaatorit, kes teostab vahetõstmised, detailide keeramised käsitsi. Kolmanda taseme CNC masinatel on aktiivsed tööriistad. Selliste pinkide abil saab masin detaili töötlemise teostada ühe operatsioonina, kuid inimtööjõud peab detailid manuaalselt masinasse asetama. Sellistel masinatel on lisaks treimisele olemas võimekus teostada freesimise operatsioone. Võimekusaste neli tähendab Hanvali jaoks kõige rohkem automatiseeritud tootmist. CNC masina seadistaja peab panema masina seadesse (ehk kirjutama koodi töö teostamiseks joonise järgi) ja seejärel materjali masinasse laadima. Masinal on võimekus materjali edasi lükata, detailid valmistada, operaatori ülesanne on detailid konteinerist kokku korjata, kontrollida mõõdud ja liigutada pakkimisalale (Hanval Metalli sisedokumendid).

Tabel 6: Pinkide võimekus

Pink	Funktsionaalsuse kirjeldus	Pingi võimalused detailide töötlemiseks
Y telg + abispindel	Valmistab detaile mõlemast otsast, teostab freesimise operatsioone. Detaili ei pea käsitsi vahetama (pöörama)	4
Aktiivsed tööriistad	Teostab freesimise operatsioone. Detaile peab käsitsi vahetama	3
Ilma aktiivsete tööriistadega	Teostavad ainult treimise operatsioone. Detaile käsitsi vahetama	2
Manuaalpingid	Seadistamisajad lühemad. Sobivad lihtsamate detailide tegemiseks väikestes kogustes	1

Allikas: Hanval Metalli sisedokumendid, autori koostatud 2023.

Koostöös ettevõtte tegevjuhiga on jõutud järeldusele, et Hanval Metalli efektiivsuse ja robotiseeritud töökoha efektiivsuse arvutamiseks on vajalik kasutada OEE meetodit. Üldine OEE annab ülevaate keskmisest tasemest, arusaama, milliste võimekusega (tabel 6) pinkides on mõttekas robotiseerimist kasutada. OEE arvutamine annab ettevõttele infot „tõelise“ süsteemi efektiivsuse osas. OEE põhineb kindlaksmääratud KPI- de alusel andmete kogumisele, kus kõrvalekaldeid on võimalik analüüsida ja sihipäraste meetmetega tulemusi parandada. (Focke & Steinbeck, 2018, lk 1) OEE kasutades võetakse arvesse tootmisaeg,

kogus, kiirus ja kvaliteet (ISO 22400, 2011, lk 8). Mittevastavused on nähtavad töötajatele ja juhtkonnale. OEE koosneb kolmest alanäitajast nagu kättesaadavuse tase, jõudluse tase ja kvaliteeditase (Focke & Steinbeck, 2018, lk 3). Hanval Metall valis OEE meetodi, võttes aluseke element „aeg“ ja sellest tulenevalt hakata andmeid koguma ja analüüsima. Süsteemide tootlikkuse tõusu on võimalik saavutada tehnilise optimeerimisega, OEE oluliseim rakendusvaldkond on prioriteetne parendustöö. (Focke & Steinbeck, 2018, lk 4). OEE arvutamise idee on lihtne, tootmise alustamisest lahutatakse maha seisakud ja saadakse tulemuslik aeg. Kahe ajavahemiku suhe üksteise suhtes annab ettevõtte olemasoleva OEE protsentides (Focke & Steinbeck, 2018, lk 7).

2.5 Vaatlus Roboti käivitamiseks Hanval Metall ettevõttes.

Lõputöö autor viis läbi vaatluse Hanval Metall ettevõttes. Ajavahemikul 01.11.2023 kuni 30.04.2024 vaatles autor (lisa 2) kohapeal robotiseeritavat töökohta. Lõputöö vaatluse ajal oli robot kinnitatud masinale planeeritud asukohta. Robot oli kinnitatud raamiga pörandakülge. Vaatluse käigus nägi lõputöö autor, kuidas mõõdeti välja asukohad materjali alustele, valmistoodetele, kvaliteedikontrolli ootavatele toodetele, tööriistadele. Roboti käivitamiseks oli vajalik palgata ettevõtte väline teenusepakkuja roboti ja masina koostööks ühendamiseks. Lõputöö autor nägi, kuidas robot avas esimest korda CNC masina ukse ja sisestas detaili vastavasse hoidjasse. Robot liikus testkiirusel olles väga aeglane. Järgmise vaatluse ajaks oli paigaldatud optiline silm, mis avas ja sulges masina ukse, roboti töö oli kiirem. Vaatluse käigus oli näha, et robotil oli raske detailist väliselt haarata, vajalik oli väga täpne programmeerimine. Järgneval planeeritud vaatlusel oli robotile paigaldatud magnethaaratsid. Robot töötas masinaga koostöös. Ühe vaatluse käigus õnnestus lõputöö autoril näha, kuidas robotkäpp olles masinas sees, CNC masina programm läks tööle. Operaatori kiire tegutsemine hoidis ära õnnetuse. Vaatluse käigus nägi lõputöö autor, kuidas robot saavutasid toimiva töörežiimi.

Inimene koostöös CNC masin vaatlus (lisa 3) keskendus samadele toodetele, millega saavutati roboti töörežiim. Vaatluse käigus selgus, et inimene töötab kahe masinaga. Ajal, mil masin töötab, toob operaator materjali masina juurde. Ei tekkinud seisakuid. Kui operaator alustas tööd, ta võttis töökäsu, tutvus sellega, vaatas joonist, luges mõõde, kontrollis vastavust töökäsu tekstilisele osale. Avas masina, vahetas tööriistad, seadistas programmi ja aetas detaili sisse, vajutas nuppu. Tegevust korrates möödus operaatori päev. Vaatluse käigus oli näha, et operaator toimetab masinatega erinevatel aegadel. Inimesel ei tekkinud

seisaku aega, kuna detailide töötlemine võttis aega. Vabaneva aja täitis operaator jooksvalt lahendust vajavate ülesannetega.

2.6 Hanval Metall efektiivsuse arvutamine

Koostöös tegevjuhiga otsustati Hanval Metall efektiivsuse arvutamise aluseks võtta seadmete üldise efektiivsuse mudel, kus $OEE = \text{võimekus} \times \text{jõudlus} \times \text{kvaliteet}$.

2.6.1 Võimekuse arvutamine OEE alusel

Võttes aluseks OEE “aja” ISO 22400 alusel analüüsis lõputöö autor järgmiseid näitajaid:

„Availability“ võimekus/käideldavus/saadavus – tegelik tootmise aeg / planeeritud aeg (Kulkarni & Naik, 2015, lk 7001).

Võimekuse alusel leiab autor roboti ja CNC masina tootliku aja ehk töös oleva planeeritud ja tegeliku aja suhte. Võrdeb tulemusi kahe erineva tootmisviisi vahel. Roboti koostöö msinaga võrreldes inimese - masina samade väärtustega.

Tabel 7: robotiseeritava töökoha ja inimese võimekuse võrdlus

Töötaja	Tööaeg ööpäevas tundides	Tegelik tootmise aeg ööpäevas	Planeeritud aeg ööpäevas tundides	Hälve tundides	võimekus ööpäeva tundidest
Inimene + CNC	24	15	16	9	66.66
Robot + CNC	24	21	24	3	87.50

Allikas: autori koostatud, andmed Hanval Metall sisedokumendid

Hanval Metall on planeerinud CNC masina töös hoida kaks korda kaheksa tundi, ehk kaks vahetust, kokku 16 tundi ööpäevas (tabel 7). Inimtööjõuga masinad ei saa olla maksimaalse ajaga koormatud. Töötajatele on vajalik lõunasöök, pausid, töö ja puhkeaja seaduse jälgimise ja üldise töökeskonna heaolu tõttu. Inimtööjõud väsib, neil on sotsiaalsed suhtlemisvajadused jms. Kui asendada inimene robotiga, saab pinki koormata ööpäevas maksimaalselt 24 tundi. Robot ei vaja pause ega puhkeajaga, kui talle on võimalik vajalikku tööd ette anda ja roboti kasutamisel jälgitakse etteantud norme ja tööriistareziime. Sellest tulenevalt on roboti koostöö CNC masinaga rohkem töötunde hõlmav. Seadmed saavad pausideta pikemalt töötada, vajalik on töö suunamine robotile. Roboti võimekus on inimese omast kõrgem, kuid ei ole maksimaalne, kuna vajab inimese toetavat tegevust. Robotile on vajalik inimtegevuse tulemusena masina manuaalne sisse-väljalülitamine, materjalide ette

toomine ja kvaliteedikontroll. Vaatluse käigus kogutud andmete analüüsimisel saame teada, robot võimekam. Inimtöäjõudu toetab mitme pingiga töötamise võimalus, mis aitab hoida mitu pinki korraga töös, ajakasutuse arvestamine võimaldab kõrvaltegevusi masina töös olemise ajal. Hanval Metall on töökohad loonud selliselt, et üks operaator tegeleb kahe pingiga.

2.6.2 Jõudlus OEE alusel

„Effectiveness“ - Jõudlus/ tootlikkus/ tulemuslikkus - Masinal toodetud detailide koguarvu protsent masina tootmiskiirusest. (OEE = koguarv/eesmärgiarv) (Kulkarni & Naik, 2015, lk 7001). Kui arv erines planeeritust, millised on põhjused.

Tabel 8: robotiseeritava töökoha jõudlus võrreldes inimese jõudlus

Tootja	Planeeritud võimekus ehk töötamise aeg tundides ööpäevas	Saavutatud võimekus ehk mitu tundi 24/h masin oli koormatud	Planeeritud detailide koguarv kokku tükides	Toodetud detailide koguarv kokku	Jõudlus tegelikust võimekusest
Inimene + CNC	16	15	160	150	93.75
Robot + CNC	24	21	240	220	91.66

Allikas: autori koostatud, andmed Hanval Metalli sisedokumentid

Lõputöö autori arvutatud jõudlus (tabel 8) annab ülevaate roboti madalamast jõudlusest. Vaatluse all olnud ajaperioodil planeeriti inimtöäjõuga masinal toota 16-st tunniga 160 toodet. Inimtöäjõul rakendatud masinal tekkisid seisakud, mis tähendas masina reaalset kasutust 15h, ehk masina ja inimtöäjõu koostööl rakendati võimsust tulemusega 93.75. Jõudluse vaatlemisel tuleb arvesse võtta, et detailide töötlemisel peab arvestama masinale etteantud režiime. Operaatorid peavad saama kontrollida tööriistade ja materjalile lubatud kiiruseid ja löikesügavusi. Jõudlust saab suurendada, kuid arvesse tuleb võtta, millised on kaasnevad tegurid. Hanval Metall arvestab jõudlust enne detailide töösse võtmist exceli baasil. Ettevõttel on loodud süsteemne tabel valemite järgi arvutamiseks, millisele tööle on lubatud rakendada minimaalseid ja maksimaalseid režiime.. Kui masin on hõivatud 100% ajast ja ettevõtte teab, et selle ajaga on arvestatud (teatud näitajate alusel tehtud arvutused tööriistad, resiimide, lubatud võimsuses, vibratsioonid, pinnad, jms) toota 160 toodet. Analüüsi tulemusena on selgunud, et inimese jõudlus on 93.75, roboti jõudlus samas

arvutuses on 91.66 Võimsus sõltub enamasti tööriista režiimidest, võimsuse arvutamisel tuleb lähtuda teostatavast tööst ja otstarbekusest. Robotiseeritava töökoha võimsus on OEE vaates väiksem, mis tuleneb masinast sõltumatutest teguritest. Masin on võimeline tegema tööd, kuid inimtöötajad peab selleks vajalikud tingimused looma (materjali piisav kogus, valmistoodangu ladustamise võimalus, kvaliteedikontroll, jms). OEE arvutamise aluseks on toodetud tükide arv jagatud masinale planeeritud tükide arvuga. Tulem annab inimene + CNC masin suurema jõudluse võrreldes robot + CNC masin. Võttes jõudluse aluseks kogutoodangu, ühele tükile kulunud aja, on tulemus robotiseerimise kasuks. Inimene + CNC masin tootis ühe tüki 6 minutiga, robot + CNC masin tegi sama toote valmis 5.7 minutiga. Tulemus annab kinnitust robotiseerimise kasulikkusest.

2.6.3 Kvaliteet OEE alusel

„Quality ratio“ Kvaliteet – protsent kvaliteetsed tooted võrreldes toodetud kogusega $OEE = \frac{\text{kvaliteetsed tooted}}{\text{koguarv}}$ (Kulkarni & Naik, 2015, lk 7001). Ehk siis toodetud kogus on 100tk, millest 99 on hea kvaliteediga, 1 ei läbi kvaliteedikontrolli, tulemus 99%.

Tabel 9: robotiseeritava töökoha kvaliteet võrreldes inimtöötajõu kvaliteet

Seade	Partii suurus	Mittevastavus	Kvaliteet
Inimene + CNC	416	2	99.48
Robot + CNC	416	1	99.60

Allikas: autori koostatud, andmed Hanval Metalli sisedokumendid

Kvaliteedi arvutamiseks valis autor roboti töödeldavad tooted. Toodetele oli ettevõttes loodud töökäsk kogusega 416tk. Kogus oli ettevõtte osakonnajuhataja sõnul valitud optimaalse (mõistlik kogus tootmisele kuluefektiivseima tulemuse saavutamiseks) tootmise koguse järgi, mis on varem inimtöötajõuga välja arvatud. Vastava suurusega partii on osakonnajuhataja sõnul parim kliendi, inimese ja roboti vaates. Tootmise tulem oli inimesel kaks mittevastavat toodet, robotil üks mittevastav toode. Detailide tootmine vastavalt joonisele ja etteantud nõuetele, annab robotile kõrgema kvaliteetsete toodete tootmise tulemuse. Detaili tehnilised nõuded tulevad kliendi käest, on märgitud joonisele ja neid tuleb vastavalt järgida, inimene ja robot ise otsustada ei saa.

2.6.4 OEE ISO 22400 alusel Hanval Metall ettevõttes

Mõõtmistulemustest (võimekus (tabel 7), jõudlus (tabel 8), kvaliteet (tabel 9)) saab lõputöö autor arvutada Hanval Metall robotiseeritava töökoha OEE ehk seadmete üldefektiivsuse ISO 22400 alusel.

Vaatluste käigus tehtud mõõtmistulemuste arvutustulemustest selgub robotiseeritava töökoha efektiivsus on inimese koostööst masinaga kõrgem (tabel 10). Tulemustest selgub robotiseeritava töökoha käivitamise mõistlikkus.

Arvutusvalem OEE tulem on järgmine:

$$OEE = \text{Võimekus} \times \text{Jõudlus} \times \text{Kvaliteet}$$

Kus võimekus - tegelik tootmise aeg / planeeritud aeg

Jõudlus - koguarv/eesmärgiarv

Kvaliteet - kvaliteetsed tooted/ koguarv

Tabel 10: OEE Hanval Metall ettevõttes inimtööl ja robotiseerimise tulemusena

Masin	Võimekus (%)	Jõudlus (%)	Kvaliteet (%)	OEE (%)
Inimene + masin	66.66	93.75	99.48	62.17
Robot	87.50	91.66	99.60	79.88

Allikas: autori koostatud, andmed kogutud lõputöö käigus

Mõõtmistulemustest lähtuvalt on tulemused robotiseerimist toetavad. Roboti võimekus on inimese võimekusest kõrgem. Jõudlus on robotil madalam, kuna kuna sõltub hetkel inimese teotavatest tegevustest, võimalusel robot saab järjepidevalt tööd teha. Kvaliteet on robotil parem, robot ei eksi, inimene saab eksida. Valemi järgi OEE arvutades on selgunud robotiseeritava töökoha efektiivsus, 79.88, mis annab kõrgeima mõõdetud tulemuse.

2.5 Hanval Metall efektiivsus rahalises vaates

Kuna ettevõtte ei soovi palgaandmeid avalikustada, teeb lõputöö autor rahalise arvutuse usaldusväärsete veebilehtede andmeid kasutades. Statistikaameti andmetel oli 2023 aasta neljanda kvartali keskmine brutokuupalk 1832 eurot (statistikaamet, 2024) CNC operaatoritel ja seadistajatel. Palgainfo veebilehe andmetel on keskmine palk mainitud ametikohal 1127 – 1919 eurot (Palgad, 2024) Võttes aluseks statistikaameti informatsiooni, töökoha robotiseerimisel ei teki ettevõttel keskmisele töötajale makstavat palgakulu,

lisaboonusena teeb robot sama tööd efektiivsemalt (tabel 10). Ettevõtte ülesehitus on kahe pingiga töötamine, kui lisada inimtööjõu palgakulu kahekordselt saab Hanval Metall suurema võidu, kui on eelnevalt arvatud.

Töökoha robotiseerimise tulemusena asendub inimtööjõud masinaga. Järgnevalt teeb lõputöö autor ühe toote näitel tabeli, et selgitada paremini robotiseerimisest saadavat võitu efektiivsuses. Ettevõttel on aktiivselt tellimuses üle 200 erineva toote, robotiseerimine on planeeritud toodetele kaaluga 5-15kg, näite aluseks võetud toote vajadus on 5000 toodet aastas (tabel 12). Seega kui inimene toodab 5000 toodet kahe vahetusega, mis on kokku 16 tundi ööpäevas. Töö tulemusel on CNC masin detaili tootmisega koormatud umbes 27 päeva. Samas kui robot teeb sama tööd 24/7 on töö valmis 18 päevaga. Vaatluse alla võetud masin ei saa kuu aja jooksul teha muid töid, mis tähendab, et kuu käive tuleb teenida vaid ühe toote tootmisega. Roboti kasutamisel on võimalus lisada teisi detaile ja teenidada kuu lõikes rohkem kliente. Masin ei tõrgu, töötab efektiivselt ja teeb toodangu valmis inimtööjõuga võrreldes 1/3 kiiremine.

Tabel 12: OEE toote näitel, kulu inimesel, tulu robotiseerimisel

Masin	Tooteid aastas	Aeg ühe tk tootmiseks	Tooteid päevas	Päevi kokku
robot	5000	5 minutit	180	27
inimene	5000	5 minutit	270	18

Allikas: autori koostatud, andmed kogutud lõputöö käigus

Perioodi valikul on oluline arvestada reaalsete tellimuste mahtudega. Vajalik on arvutada efektiivsus toodete põhiselt olemasolevate andmetega ja võrrelda seda võimalike maksimaalsete tulemustega, et teada saada, milline on tulemus hetkel, milline efektiivsus saab olla väikeettevõttes saavutatav robotiseerimise kaasabil üleüldiselt, suurematel ja väiksematel toodetel, kogu tootmise vaates. Informatsiooni teada saamiseks on ettevõttel vajalik teha lisaanalüüse, arvutusi.

2.6 JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

Robotiseerimise projekti üks tulevikuperspektiiv on panna robot teenindama mitut pinki. See lahendus sobib Hanvali senistele töökohtade ülesehitusele, kus üks töötaja töötab kahe pingiga. Samas peab vaatama ka robotiseerimise tulevikusuundasid, kus üks robot võib teenindada kõiki pinke. aastal 2018 kuni 2023 tehtud enesehindamise testid vastavalt AIRE

ja IMECC metoodika näitasid, et Hanval on robotiseerimise seisukohalt mõõdukalt arendatud (AIRE, 2024). Hanval Metall soovib robotiseerida, oluline aspekt robotiseerimisel on partiide suurus, kus masinad saavad pikemalt töötada ja on seetõttu inimestest efektiivsemad, seega on vaja leida kliendid, kelle käest ettevõttel on võimalik saada suuremate seeriatega tooteid, mis tagavad läbi robotiseerimise kõrge efektiivsuse taseme. Roboti töökoht peab olema inimesest võimalikult vähe sõltuv. Robotiseerimise abil maksimaalse kasu saamiseks teeb lõputöö autor järgmised ettepanekud:

1. Valida robotiseeritavad tooted.

Hanval Metall on allhanketeenust pakkuv ettevõtte, sellest tulenevalt on toodete arv suur, mida ettevõtte on võimeline töötlemas. Sarnaseid lõpptooteid on palju. Detailidel võib olla väike erinevus, lisaava, keere, liistusoon jms. Robotiseerimise abil saab suunata masina hallata lihtsad korratavad tegevused. Toetudes peatükis 1.3 robotiseerimise kasutuselevõtu põhjustele, roboti abil on võimalik kulusid kokku hoida kuni 50% ulatuses. Devarajan (Devarajan, 2018) on öelnud, robotid jälgivad programmi, ei tee hooletusvigu, ei väsi, sarnaste tunnuste alusel valitud toodete seadistamine võtab vähe aega, toodete vahetus on kiire.

2. Klassifitseerida tooted kaalu alusel.

Lõputöö autor analüüsis osaliselt tootmisprotsessi, Robot Fanuc R-2000iB 210F on suur seade, millel on väiksed tooted keeruline haarata. Robotil on keeruline väiksekaalulisi tooteid asetada ühest kohast teise, tekib oht detaile väliselt vigastada, pakkimisel nihutada, jms. Vajalik on testida robothaaratsi tõstevõimet, analüüsi tulemusel otsustada kaalu alusel sobivad tooted. Klassifitseerimisega on võimalik tõsta efektiivsust 1.2 peatükis uuritud alustel, kasutades ressursse efektiivsel viisil, tootes minimaalsete kulutustega maksimaalset tulu, samas silmas pidades, et turul püsimiseks on mõistlik tootmine automatiseerida. Roboti ressursse tuleb kasutada maksimaalselt, et saada parim võimalik kasu. Young ja Park (Young & Park, 1987, lk 100) on öelnud turg muutub, on vaja kohaneda, vaja on ära kasutada seadme osaline paindlikkus.

3. Käivitada 24/7 tootmine.

Roboti kasumlikkus on kõige suurem, kui robot saab tööd teostada ööpäevaringselt. Hetkel vajab robot järelvalvet, inimtöötajad peab robotile tooteid ette tooma, valmistoodangu ladustama, vajadusel tegema programmi muudatusi. Kui lisada automaatne etteseade, kuhu

toormaterjal saab liikuda, on võimalik robot iseseisvalt tööle rakendada. Sel juhul on vajalik lõpptoodangu ladustamise osa pikendada või ala laiendada korrustena, et robot ei peaks ootama. Lõputöö peatükk 1.3 uuritud alustele on teada, et robotid suudavad pausideta tööd teha, robotid on võimelised tööd teostama keerulistes ja rasketes oludes.

4. Pöörata tähelepanu ohutuse tagamisele

Robot on võimeline iseseisvalt tööd tegema, kuid ohutuse tagamiseks on vajalik roboti liikumisala piirata, et tagada ohutus töökojas. Kui mingil põhjusel peaks masin käsklusi eirama on masina sirutusulatus piisavalt lai, et ohustada vales kohas liikuvaid inimesi. Sellest tulenevalt saab järeldada, et robot vajab järelvalvet, kuni vajalikud toimingud on teostatud. Tuginedes joonis 6 (*Handbook Factory Planning and Design 2015*) (Wiendahl et. al., 2015) on oluline mõelda pörandaplaanile ja üldisele paigutusele. Tootmise planeering peab olema läbimõeldud.

5. Tagada kvaliteetsed tooted, automaatne mõõteseade

Tuginedes lõputöö teoreetilisele osale, roboti kasutamine on tulevikusuund, Eestis on metallitööstuste robotiseerimine kasvanud viimasel aastal 8%. Peatükist 1.2 on autor uurinud Young & Park (Young & Park, 1987, lk 98), kvaliteet näitab ettevõtte täiuslikkuse taset. Hanval Metall robotiseerimise protsess on inimesest sõltuv, kuna masinal puudub seade, millega automaatselt iseseisvalt etteantud kvaliteedinäitajaid mõõta. Lahendusena näeb lõputöö autor automaatset kvaliteedimõõtmisüsteemi, 3-d mõõtemasinat või lasersilma detailide mõõtmiseks, mille abil kvaliteedikontroll automatiseerida.

6. Lisada CNC masinaid roboti töökohale

Robot on paigutatud asukoha mõttes hästi, roboti ümber on võimalik paigutada lisamasinaid, mida robot suudab oma suuruse ja sirutusala tõttu hallata. Lisades robotile taatud toodete tootmise, lisades CNC masinaid on võimalik saavutada suurem efektiivsus, ettevõtte kasv ja soovitud areng. Teoreetilise osa 1.1 põhjal saab kinnitada, et oskustööjõu puudus ei ole mööduv, robotiseerimine aitab ettevõttel püsima jääda, teoreetilises osas 1.3 on autor uurinud, et väiksemad asulad ja vähema elanikkonnaga asukohad saavad jääda ellu robotiseerimise abil.

7. Lisada roboteid, mis suudavad hallata väiksemaid tooteid

Lõputöö autor näeb võimalust robotiseerimiseks väiksematel toodetel. Ettevõttel on lepingulised partnerid, kes tellivad igakuiselt suuri kogused. Sellised tooted on operaatorite

jaoks lihtsad, operaatoritel ei ole võimalust anda toodetele lisaväärtust, detailid hoiavad masinaid pikalt kinni. Kui ettevõtte oleks valmis soetama selliste rutiinsete tööde jaoks lisaroboti vabastaks see pingiresurssi uutele klientidele. Vajalik on teostada mõõtmised, et lõputööautor saaks järeldusi faktiliselt kinnitada.

8. Laiendada tootmist inimene + robot töökohtade abil

Ettevõttel on lai profiil, toodetakse tooteid toormaterjalist, treitakse ja freesitakse detaile, keevitatakse kooste kokku. Vajalikud on tõsteseadmed, abiseadmed, kinnitused, jms. Koostöörobot saab aidata inimtöölajal vajalikud sammud kiiremini teostada. Samuti vajalik analüüs, et kinnitada, millised saavad olla reaalsed tulemused. Kui väikeettevõtte suudab pakkuda huvitavat tööd, opereerimist ja seadistamist robotiga, konkurentsivõimelist palka seejuures parema efektiivsuse läbi, jääb töölajad ettevõttesse. Robotiseerimine Eesti tööstustes, teoreetiline osa 1.3, oskustöölajou vajadus muutub, vaja on inimesi, kes oskavad robotitega koos tööd teha ja seeläbi on neil võimalus suurema sissetuleku teenimisele. Mis tähendab, kasu on mõlemapoolne. Ettevõtte saab oskustöölajou, tööline saab väärilise tasu.IMECC koostöös AIRE klubiga näevad tulevikusuunda robotite koostöös inimestega (AIRE, 2024).

9. Planeerida roboti abil tootmisele kiirem detaili töötlemise aeg

Vastavalt tabel 8 toodud näitele, robot toodab inimesest kiiremini. Kui planeerida robotil kiirem tootmisaeg, masin jääb planeeritud aja raamidesse. Sellisel viisil on ettevõttel parem jõudlus, tootmisplaan saab kinnitada lühema tarneaja kliendile, ettevõtte saab vastu võtta rohkem tooteid.

10. Korrata mõõtmistulemusi ja teha vaheanalüüse

Vastavalt tehnoloogia arengule ja majanduse muutuvatele mõjudele on vajalik teha korratavad mõõtmised, et teada, millised muutused annavad kasu või kahju ettevõtte arengule. Ettevõtte soovib teenida tulu, mis tähendab kliendirahulolu, vastavalt joonis 6 alustele on oluline olla innovaatiline ja kohanemisvõimeline, see tagab edu.

Ülevaatlikkuse eesmärgil on lõputöö autor koostanud tabeli (tabel 13), mis annab visuaalse ülevaate tehtud ettepanekuste mõju kohta ettevõttele

Tabel 13: Ettepanekute mõju Hanval Metalli efektiivusele

+ / või / - mõju	A (võimsus)	P (jõudlus)	Q (kvaliteet)
Valida robotiseeritavad tooted	+	+	
Klassifitseerida kaalu alusel		+	
Käivitada 24/7 tootmine	+	-	
Ohutuspiirded			+
Automaatne mõõteseade	+		+
Lisada CNC masinaid	+	+	+
Lisada roboteid	+	+	+
Koosterobotite lisamine	+	+	+
Kiirem toote toomine	+	+	+
Mõõtmistulemuste kordamine	+	+	+

Allikas: autori koostatud 2024

3. KOKKUVÕTE

Oskustööjõu puudus on probleem, millele kiiret lahendust ei ole. Eesti elanikkond vananeb, noored ei lähe kutsekoolidesse metallitööd õppima. Koolid õpetavad erialasid, milles on tööjõu ülejääk, kuid ei õpeta erialasid, milles on oskustööjõu puudujääk. Põhjus tuleneb sellest, et õpetajaid ei ole, noored ei tea eraalade võimalusi, puudub huvi ja tahe päris tööd teha. Sellest tulenevalt näevad ettevõtted turul püsimiseks vajadust robotiseerimise abil tootmist kasvatada, võimsust lisada ja püsida konkurentsivõimel.

Ettevõtte soov on teenida kasumit, toota efektiivselt. Lõputöös on autor uurinud erinevaid efektiivsuse arvutamise viise, mille hulgast on lõputöös valitud seadmete üldise efektiivsuse mõõtmise viisi ehk OEE meetod. Ettevõtte üldine OEE on robotiseeritud töökohal kõrgem kui inimtööjõu kaasamisel.

Robotiseerimise projekti analüüs Hanval Metall OÜ ettevõttes näitab, et kasu robotiseerimisest on olemas. Tööstused arendavad robotiseerimise suunda. Väiksesed linnad, asulad sobivad robotiseerimise suunal arenema, automatiseeritus aitab lahendada oskustööjõu probleemi. Töötajatel ei ole vaja karta töökohtade kadumist, kuna robotiseeritud tootmised vajavad olemasolevat oskustööjõudu, teave, mida on vaja hallata on suurem ja sellest tulenevalt on ettevõttes töötaval oskustööjõul võimalus teenida senisest rohkem.

Eesti ettevõtted liiguvad robotiseerimise suunas, kuna lihtsad ja korduvad tööd teeb robot eksimata, kiiremini, kvaliteetsemalt. Ettevõtetel on võimalus rakendada oskustööjõudu tööprotsessides, kus ei ole robotiseerimine kiiresti ja lihtsasti teostatav.

Robotiseerimise projekti edukus ja efektiivsus sõltub väga palju ettevõtte üldisest heaolust. Hanval Metall sai teada robotiseeritud töökoha efektiivsuse taseme, kuid suurema kasu eesmärgil on lõputöö autor teinud erinevad ettepanekud. Nii nagu iga masin või töökoht on mõeldud mingi konkreetse toote tegemiseks, nii on ka robot ja selle töökoht sobiv mingi kindla töö tegemiseks. Ettevõtte peab tegema lisauuringud, et teha kindlaks, millised tooted robotiseeritakse. Vajalik on investeerida kvaliteediseadmetesse, et robot saaks iseseisvalt töötada ja seeläbi efektiivsuse ja tootlikkuse taset tõsta.

Ettevõtte robotiseerimise suunal liikumiseks on vaja analüüsida kogu tootmine toodete lõikes, leida ühised tunnused ja sellest tulenevalt ostustada tulevikus, millised saavad olla järgmised robotid ettevõtte kasutuses.

Autori hinnangul sai lõputöö eesmärk täidetud. Selgus robotiseeritava töökoha efektiivsus. Lõputöö autor jätkab ettevõttega koostööd tehtud järelduste ja etappanekute rakendamise eesmärgil.

4.KASUTATUD KIRJANDUS

- AIRE. (2024, aprill 25). *AIRE*. Retrieved from Digiküpsuse hindamine: <https://aire-edih.eu/teenus/digikupsuse-hindamine/>
- Chemweno, & Torn. (2022). Innovative robotization of manual manufacturing processes. *ScienceDirect*, 69-101. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.161>
- Damelang & Otto. (2023). Who is Replaced by Robots? Robotization and the Risk of Unemployment for Different Types of Workers. *Sage Journals*, 1-20. doi:<https://doi.org/10.1177/073088842311629>
- Devarajan. (2018). A Study of Robotic Process Automation. *International Journal of Computer Techniques*, 12-18. Retrieved from <http://www.ijctjournal.org/Volume5/Issue6/IJCT-V5I6P3.pdf>
- e-äriregister. (2024, aprill 20). *äriregister*. Retrieved from Hanval Metall: <https://ariregister.rik.ee/est/company/10206145/Osa%C3%BCing-Hanval-Metall>
- Farell. (1957). The measurement of production efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 253-290. doi:doi.org/10.2307/2343100
- Focke & Steinbeck. (2018). *Steigerung der Anlagenproduktivität durch OEE-Management*. Aachen: Springer Gabler. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21456-2>
- Førsund & Hjalmarsson. (1974). On the Measurement of Productive Efficiency. *The Swedish Journal of Economics*, 76(2), 141-154. doi:doi.org/10.2307/3439197
- Fransman & King. (1984). *Technological Capability in the Third World*. the University of Michigan: Palgrave Macmillan UK.
- Haridus- ja Teadusministeerium. (2015). *Haridus- ja Teadusministeeriumi aasta-analüüs*. Tartu: Haridus- ja Teadusministeerium. Retrieved from <https://dspace.ut.ee/server/api/core/bitstreams/a7c4e719-dc43-481c-8218-53dbb5645fb5/content>
- ISO 22400. (2011). *ISO/DIS 22400-2*. Geneva 20: ISO copyright office. Retrieved from www.iso.org
- Kalle. (1997). *Tootlikkuse kasvu juhtime ettevõttes*. Tallinn: Küllim.

- Kalle. (2007). Tallinn: Külim.
- Kitzmann, H. (2018). *Разработка модели управления гибкостью предприятия на оперативном и стратегическом уровне*. Moscow.
- Kulkarni & Naik. (2015). Performance Analysis of Production Line A Case Study in Small Scale Industry. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6997-7003. doi:DOI:10.15680/IJRSET.2015.0408041
- Kutsekoda. (2024, mai 9). *Kutsekoda*. Retrieved from SA Kutsekoda: <https://www.kutsekoda.ee/kutsesusteem/>
- Laherand, M.-L. (2010). *Kvalitatiivne uurimisviis*. Tallinn: Suesep.
- Lepik & Uiboupin. (2023). *Tulevikuvaade tööjõu- ja oskuste vajadusele: masina-, metalli- ja elektroonikatööstus; mootorsõidukite hooldus ja remont*. Tallinn: SA Kutsekoda. Retrieved from <https://uuringud.oska.kutsekoda.ee/uuringud/masina-metalli-elektroonikatoostus>
- Lovell. (1993). *The Measurement of Productive Efficiency*. Oxford: Oxford University Press. Retrieved from <https://books.google.ee/books?id=-RzXa4GzleUC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Low, K.-H. (2007). *Industrial Robotics*. (L. K. Huat, Ed.) Croatia: verlag Robert Mayer-Scholz. Retrieved from https://books.google.es/books?id=xj37AX_VqHYC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Mathia, K. (2010). Industrial robotics. *Robotics for Electronics Manufacturing*, 10. Retrieved from https://assets.cambridge.org/97805218/76520/excerpt/9780521876520_excerpt.pdf
- MTA. (2024, aprill 20). *emta*. Retrieved from statistika ja avaandmed: <https://www.emta.ee/eraklient/amet-uudised-ja-kontakt/uudised-pressiinfo-statistika/statistika-ja-avaandmed#tasutud-maksud>
- Neely, A. (1999). The performancemeasurementrevolution205The performancemeasurement revolution: why now and what next? *University of Cambridge, Cambridge, UK*, 205-228. doi:10.1108/01443579910247437

- Nyhuis & Wiendahl. (2009). *Fundamentals of Production Logistics*. Hannover: Springer.
- Palgad. (2024, aprill 20). *Palgad*. Retrieved from CNC pingi seadistaja ja operaator: <https://www.palgad.ee/palgainfo/mehaanika/cnc-pingi-seadistaja-operaator>
- Ribeiro & Lima. (2021). Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *Procedia Computer Science*, 51-58. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>
- Riives. (2015). Tööstus 4.0 ja selle mõjud Eesti tööstusele ja haridusele. *Riigikogu Toimetised*, 42-50. Retrieved from <https://rito.riigikogu.ee/wordpress/wp-content/uploads/2016/02/J%C3%BCri-Riives-T%C3%B6%C3%B6stus-4-0-ja-selle-m%C3%B5jud-Eesti-t%C3%B6%C3%B6stusele-ja-haridusele.pdf>
- Siderska. (2021). The Adoption of Robotic Process Automation Technology to Ensure Business Processes during the COVID-19 Pandemic. *ICT Adoption for Sustainability*, 1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su13148020>
- Statistikaamet. (2024, märts 6). Retrieved from Rahvastik: <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/rahvastik>
- Statistikaamet. (2024, märts 11). *Eesti Statistikaamet*. Retrieved from <https://www.stat.ee/et/uudised/ettevotted-turundavad-end-sotsiaalmeedias-ja-otsivad-abi-tehisintellektilt>
- Statistikaamet. (2024, märts 6). *Statistikaamet*. Retrieved from Rahvastikupüramiid: <https://www.stat.ee/rahvastikupyramiid/?lang=et>
- statistikaamet. (2024, aprill 20). *statistikaamet*. Retrieved from keskmine brutokuupalk: <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/tooelu/palk-ja-toojoukulu/keskmise-brutokuupalk>
- Tangen. (2004). Performance measurement: From philosophy to practice. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 726-737. doi:10.1108/17410400410569134
- Teatmik. (2024, aprill 20). *Teatmik*. Retrieved from Hanval Metall: <https://www.teatmik.ee/en/personlegal/10206145-Osa%C3%BChing-Hanval-Metall>

- Töötukassa*. (2024, märts 6). Retrieved from Tööjõuvajaduse baromeeter: <https://www.tootukassa.ee/et/baromeeter/kaart>
- Uiboupin & Lepik. (2023). *Tulevikuvaade tööjõu- ja oskuste vajadusele: masina-, metalli- ja elektroonikatööstus; mootorsõidukite hooldus ja remont*. Tallinn: SA Kutsekoda. Retrieved from https://oska.kutsekoda.ee/wp-content/uploads/2023/04/Masina-metalli-elektroonikatoostus_final_20.04.23.pdf
- Varblane. (2019). *Eesti regionaalse majanduse stsenaariumid*. Tallinn: Arenguseire Keskus. Retrieved from [Eesti-regionaalse-majanduse-stsenaariumid-203520200123-69078-12rzgx-libre.pdf](https://www.arenguseire.ee/sites/default/files/2020-01/Eesti-regionaalse-majanduse-stsenaariumid-203520200123-69078-12rzgx-libre.pdf)
- Weber & Schaffer. (2001). On the way to active management of performance measures. *International Journal of Business Performance Management*, 47-65. doi:10.1504/IJBPM.2001.000090
- Wiendahl et. al.,. (2015). *Handbook Factory Planning and Design*. Münster: Springer. doi:10.1007/978-3-662-46391-8
- Yong, L. (2020). *Industrial Development Report 2020*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization. Retrieved from [UNIDO_IDR2020-English_overview.pdf](https://www.unido.org/publications/industrial-development-report-2020)
- Young & Park. (1987). Economic Measure of Productivity, Quality and Flexibility in Advanced manufacturing Systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 93 -207. doi:10.1016/0278-6125(87)90018-5
- Zamalloa et. al.,. (2017, April 27). Dissecting Robotics — historical overview and. *Acutronic Robotics*, April 2017, p. 9. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1704.08617.pdf>

LISA 1 INTERVJUUKÜSIMUSED TEGEVJUHIGA

1. Kui kaua olete Hanval Metalliga seotud olnud?
2. Milline oli Hanval Metalli minevik, sünnilugu?
3. Kuidas leiab ettevõtte töötajaid, millised on takistused ja kitsaskohad?
4. Milline on ettevõtte suund tulevikuks?
5. Millised olid ettevõtte takistused robotiseerimiseks minevikus?
6. Millised on tänased takistused?
7. Kas näete muudatusi varasemate ja tänaste takistuste osas?
8. Kuidas on üldine tööstuse areng mõjutanud Hanval Metalli arengut?
9. Lisaküsimused, täpsustused.

LISA 2: ROBOTISEERITUD TÖÖKOHA VAATLUS

Kuupäev	Tegevus	Aeg	Tulemus
01.10.2023	Ettevõtte infoga tutvumine, lõputöö teema arutelu, kokkulepped ja info jagamine.	Kaks tundi vestlust.	Kokkulepped, millist infot võin koguda, töödelda, kasutada.
01.11.2023	Roboti kiiruse test	Ühe detaili masinasse panemiseks kulus viis minutit	Masina kiirus on väga aeglane. Vajalik on välise haaratsi vahetus magneti vastu. Kiirendab detailist kinnihaaramist, robot saab kiiremini opereerida. Optiline ukse avamine.
15.11.2023	Roboti tehnilise seisu ülevaatus, test	Uks avaneb ja sulgub masina normaalkiirusega, viivitust ei teki.	Optilise silma abil on aeg paranenud. Lisarakis aitab toodet ringi keerata. Magnetid on kohal, paigaldamisel.
29.11.2023	Tehnilise võimekuse test.	Robotiseerimise mõttes ei ole aeg paranenud.	Vajalik on tellida uued magnetid, mille tõstevõime on tugevam.
10.01.2024	Robotil on magnetid vahetatud, saab tooteid masinasse sisestada viivitusteta.	Detaili masinasse asetamine võtab aega 20 sekundit, mis on oodatud vahemikus.	Robot ja CNC masin on valmis koostööks masinasse programmeeritud toodete tootmiseks.
24.01.2024	8 tunnine vaatlus kohapeal	Aja mõõtmise arvutuste tegemiseks	Andmete analüüs excelis.
30.04.2024	Üle kahe nädala vaatlused kohapeal.	Aja võrdlus	Andmete analüüs excelis.

Allikas: autori koostatud, 2024

LISA 3: OPERAATORIGA TÖÖKOHA VAATLUS

Kuupäev	Tegevus	Aeg	Tulemus
08.11.2023	OEE vaatlus	Kestvus 8 tundi.	Töö sai masinasse kiiresti. Kaheksa tunni jooksul ei toodetud mittevastavaid tooteid. Operaator tegeles samaaegselt kahe masinaga, kuid sellest tõrkeid töös ei tekkinud. Kokku kulud üks tund seadistamise, detailide liigutamise, kontrolli jaoks.
06.12.2023	OEE vaatlus	Kestvus 8 tundi	Teine operatsioon valmis kiiremini. Vastasolevas masinas olid pikemaajaga detailid, seetõttu seisakuid ei olnud. Kulus 30 minutit programmeerimisele.
10.01.2024	OEE vaatlus	Kestvus 8 tundi	Operaator seadistas masina kiiresti seadesse, vahetades tööriistad, transportides materjalid aega kaotamata. Töö oli kiire ja operatiivne.
07.02.2024	OEE vaatlus	Kestvus 8 tundi	Kiiresti ja oskuslikult detailide vahetamine. Toodeti üks mittevastav toode.
30.04.2024	Vaatluse kordused andmete kogumise eesmärgil kuni 30.04.2024	Kestvus, üks vahetus vaatluse ajal.	Kiiresti ja oskuslikult detailide vahetamine. Korratavad tegevused.

Allikas: autori koostatud ,2024