

Jaanus Ruut

PUIDU HÖÖVELDAMISE EFEKTIIVSUSE TÕSTMINE ETTEVÕTTE X NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut
Tootmine ja tootmiskorralduse õppekava
Juhendajad: Anna Truver, *MSc* ja Jaak Lavin, *PhD*

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Jaanus Ruut

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

Puidu hõõveldamise efektiivsuse tõstmise ettevõtte X näitel

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Jaanus Ruut tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendajad Anna Truver ja Jaak Lavin

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

LÜHENDID JA MÕISTED.....	5
SISSEJUHATUS	6
1 TIMMITUD TOOTMISE TEOREETILNE KÄSITLUS, TEHNIKAD JA RAKENDAMISE VÕIMALUSED	8
1.1 Timmitud tootmise ajalugu ja olemus	8
1.2 Kuue Sigma metoodika	11
1.2.1 DMAIC-mudel	12
1.2.2 Põhjus-tagajärg diagramm	14
1.3 Seadme üldine kasutamiseefektiivsus	15
1.4 Masina seadistusaja lühendamise.....	17
1.5 Seadme tulemuslik hooldus	18
1.6 Töökoha korrasoleku parendamine	19
1.7 Tootmise pidev parendamine	21
2 SITUATSIOONI ANALÜÜS JA PROBLEEMI MÄÄRATLEMINE	23
2.1 Ettevõtte X tutvustus.....	23
2.2 Hõõveldamise protsessi kirjeldus.....	25
2.3 Varasem hõõvelduspink	26
2.4 Praegune hõõvelduspink	28
2.5 Hõõvelduspingi kasutamise efektiivsuse ja planeerimata seisakute analüüs	29
2.6 Probleemi määratlemine	32
2.7 Põhjus-tagajärg diagramm.....	33
3 TIMMITUD TOOTMISE TEOORIA RAKENDAMISE VÕIMALUSED ETTEVÕTTE X HÕÕVELDAMISE PROTSESSI EFEKTIIVSEMAKS MUUTMISEL	35
3.1 Materjal ja metoodika	35
3.2 Tööaja vaatluse tulemused	36
3.2.1 Protsessi osalised ja etapid	36
3.2.2 Protsessi osad	37
3.2.3 Väärtuslisavad lisavad tegevused	37
3.2.4 Väärtust mitte lisavad tegevused	38
3.2.5 Protsessi skeem.....	38
3.2.6 Seisakute kategoriseerimine.....	39
3.3 Timmitud tootmise rakendamise ajendid	41
3.4 Global Reader	42
3.4.1 Ettevõttes kasutatava programmi tutvustus ja võimalused	43
3.4.2 Programmi täiendamine ja potentsiaal	44
3.5 Timmitud tootmise rakendamise tulemused ja analüüs	45

3.5.1	Rakendatud parendusmeetmed hõövli seadistuse timmimiseks	46
3.5.2	Andmete analüüs ja tulemused	47
3.5.3	Vaatluse tulemused	48
3.6	Järeldused ja autori ettepanekud edaspidiseks	50
KOKKUVÕTE		53
SUMMARY		55
VIIDATUD ALLIKAD		58
Lisa 1.	Esimene vaatlus	60
Lisa 2.	Teine vaatlus	61
Lisa 3.	Kolmas vaatlus	62
Lisa 4.	Neljas vaatlus	63
Lisa 5.	Seisakute põhjused ja kommentaarid	64
Lisa 6.	Hööveldamise protsessi seisakute kategoriseerimine ja ajalised kestused	65
Lisa 7.	Hööveldamise protsessi efektiivsuse dünaamika ja graafiline määratlus	66

LÜHENDID JA MÕISTED

5S	– jpn <i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i> (töökoha korrashoiu tagamine)
BOM	– ingl <i>Bill of Materials</i> (komponentide põhjalik loetelu leht)
CNC	– ingl <i>Computer Numerical Control</i> (arvjuhtimisega arvutipõhine tööpink)
DMAIC	– ingl <i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i> (viiefaasiline parendamise mudel)
Ishikawa diagramm	– põhjus-tagajärg diagramm, probleemide põhjuste analüüsiks
Kaizen	– tootmise pidev parendamine
Kaizen Blitz	– kiire probleemilahenduse meeskonnatöö metoodika
Lean Production	– timmitud tootmine; pidev tegevuse ja protsesside täiustamine, et vähendada kulusid, lühendada tarneaegu ja parendada kvaliteeti
Lean Six Sigma	– kuue sigma põhimõtteid kombineeritud kulusäästliku tootmisega
OEE	– ingl <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (seadme üldine kasutamiseefektiivsus)
PDCA	– ingl <i>Plan, Do, Check, Act</i> (pideva parendamise tsükkel)
Six Sigma	– kuus sigma; tehnikate ja tööriistade kogum protsesside parendamiseks
Six Sigma Quality	– kõrgeim kvaliteedistandard tootmises ja teeninduses
SMED	– ingl <i>Single Minute Exchange of Die</i> (seadmete ja töövahendite seadistamisaegade vähendamine)
TPS	– ingl <i>Toyota Production System</i> (Toyota tootmissüsteem)
TPM	– ingl <i>Total Productive Maintenance</i> (terviklik seadmete hooldussüsteem)

SISSEJUHATUS

Tänapäeva puidutööstus seisab silmitsi mitmete väljakutsetega, kus efektiivsuse suurendamine ja keskkonnamõju vähendamine on muutunud hädavajalikuks. Puidu hõõeldamise protsessi efektiivsus mängib selles kriitilist rolli, kuna see mõjutab otseselt nii ressursside kasutust kui ka tootmisvõimekust.

Lõputöö teema valik kujunes vastusena ettevõtte X vajadusele. Ettevõtte soovib tõsta hõõvli kasutamiseefektiivsust (*OEE*) stabiilselt 70% peale. Selle põhjuseks on kasvav tootevalik. Suurenenud tooteportfell nõuab erinevate toodete pidevat kohandamist ja seadistamist.

Ettevõtte tegevjuhi poolt eesmärgiks seatud *OEE* 70% tase toetab keeruka ja mitmekesise tootmisprotsessi paindlikkust ja tõhusust. On arvestatud, et ülejäänud 30% tööpäevast kasutatakse teistele hõõveldamise etappidele, mis on samuti kriitilised komponendid tootmisprotsessi sujuvuses.

Käesolev lõputöö uurib puidu hõõveldamise efektiivsuse tõstmise võimalusi ettevõtte X näitel, põhinedes *Lean*-tootmise kontseptsioonidel, mis on kirjeldatud Toyota tootmissüsteemi ja Kuue Sigma metoodika kontekstis. Eesmärgiks on integreerida need põhimõtted puidu hõõveldamise protsessi, et leida praktilisi lahendusi seisakute vähendamiseks ja seadistusaegade optimeerimiseks, mis aitab parendada *OEE* taset.

Autor keskendub kahele uurimusküsimustele:

- Mis on olnud planeerimata seisakute peamised põhjused ja kuidas on need mõjutanud seadme *OEE* madalat taset puidu hõõveldamise protsessis?
- Missugused konkreetsete parandusmeetmed on võimalikud hõõvelduspingi seadistuse ja kasutamise efektiivsuse tõstmiseks?

Lõputöö esimene osa annab ülevaate timmitud tootmise teoreetilistest lähtekohtadest, ajaloost ning peamistest tehnikatest, mis on relevantset puidu töötlemise kontekstis.

Töö teises osas kirjeldatakse ettevõtte X hetkeolukorda. Seejärel keskendub töö empiirilisele uurimusele, kus analüüsitakse ja hinnatakse kahe erineva hõõveldusmasina töötulemusi konkreetsetel perioodidel ning määratletakse probleem.

Viimases, kolmandas osas, täiendatakse ettevõttes X kasutatavat tarkvarasüsteemi, et tagada täpsemad andmed ja korrektsemad tulemused. Sellele järgneb *Lean*-tööriistade rakendamine, eelneva kuu andmete analüüs ja uus tööajavaatlus, et hinnata tehtud muudatuste mõju. Autor esitab analüüsi tulemused, järeldused ja soovitusel.

Töö lõppeesmärk on pakkuda praktilisi soovitusi ettevõtte X jaoks, tuginedes *Lean*–filosoofia põhiprintsiibile, raiskamise vähendamisele. Selle saavutamiseks on töös välja toodud konkreetsed sammud, mis aitavad tõsta protsessi efektiivsust ja optimeerida selle etappe.

1 TIMMITUD TOOTMISE TEOREETILNE KÄSITLUS, TEHNIKAD JA RAKENDAMISE VÕIMALUSED

Tootmisprotsess muutub lihtsaks, kui on omandatud vajalikud teadmised ja oskused. Tehnoloogiate valdamine ja juhtimismeetodite tundmine võimaldavad valida ja rakendada strateegiaid, mis tagavad edu nii praegu kui ka tulevikus. [1]

Innovatiivsus on tootjale kriitilise tähtsusega, et püsida sammu võrra ees konkurentidest ja saavutada jätkusuutlikkuse eeliseid. Innovatiivne tootja, kes mõistab oma klientide vajadusi ja soove, suudab pakkuda turule just neid tooteid, millest tarbijad unistavad, muutudes seeläbi usaldusväärseks ja väärtustatuks partneriks. [1]

1.1 Timmitud tootmise ajalugu ja olemus

Käesolevas alapeatüki keskmes on timmitud tootmise (*Lean*) kontseptsioon ja selle juured. Tekstis rõhutatakse timmitud tootmise peamisi põhimõtteid, sealhulgas raiskamise vähendamist, väärtust lisava töö maksimeerimist ning mitteväärtust loovate tegevuste minimeerimist.

Uued ideed ei sünni kunagi tühjalt kohalt, vaid pigem olukordades, kus olemasolevad lahendused enam ei toimi. See kehtib eriti *Lean*-tootmise kohta, mis arenes välja konkreetsetes riigis ja ajahetkel, kuna traditsioonilised tööstusarengu mudelid ei tundunud selles kontekstis efektiivsed. *Lean*-tootmise ja selle juurte sügavamaks mõistmiseks on vajalik vaadata tagasi ajalukku, täpsemalt autotööstuse koidikule 19. sajandi lõpus.

Lean-tootmise juured ulatuvad tagasi Toyota tootmissüsteemi (*TPS – Toyota Production System*), mis sai alguse Jaapani autotööstuses peale Teist maailmasõda. Sel perioodil domineeris globaalselt masstootmise mudel, mille eeskujuks olid Põhja-Ameerika ettevõtted, sealhulgas Fordi autotehased Detroitis. Toyota asutajad, Toyoda perekond, koos ettevõtte inseneridega, tegid mitmeid visiite Fordi tehastesse, et õppida nende tootmisprotsesse. Nad jõudsid järeldusele, et masstootmise mudel ei sobi Jaapani turu vajadustega, mis nõudis mitmekesisest sõidukivalikut alates väikeautodest kuni suurte veokiteni, et rahuldada erinevaid vajadusi ülerahvastatud linnades ja kaupade transportimisel. Lisaks piiras Jaapani majandust kapitali nappus uusima lääne tootmistehnoloogia soetamiseks ning riigis kehtisid ranged tööjõupoliitikad. Sellest lähtuvalt hakkas Toyota välja töötama uut tootmisfilosoofiat, mis keskendus tootmise ja organisatsiooni efektiivsusele. [2]

Massitootjatega võrreldes, kes keskendusid suurtele mahtudele ja seadistuste vähesusele, oli Toyota tehases vaja toota palju erinevaid detaile. Arendustöö käigus kümne aasta

jooksul saavutati tulem, kus selgus, et väiksemate koguste detailide tootmine on soodsam, kui suurte partiide tootmine, kuna ladustamise kulud olid madalamad ja kvaliteedi tõus tänu kiiresti avastavusele. Eijii Toyota, Taiichi Ohno ja Shigeo Shingo töötasid välja Toyota tootmissüsteemi (*TPS*), mis tähendabki efektiivset tootmist võimalikult väheste ressurssidega. [2]

Frank George Woollard'i töö Morris Engines Ltd juures annab märkimisväärseid näiteid *Lean*-tootmise põhimõtete varajasest rakendamisest Suurbritannia autotööstuses juba enne seda, kui tegi Toyota. Üheks oluliseks tulemuseks oli mootoritootmise ümberkorraldamine partiitooteviisilt voolutootmisele, mis tõstis toodangu mahtu märkimisväärselt, algsest alla 300 ühiku nädalas 1923. aasta jaanuaris kuni 600 ühikuni nädalas 1923. aasta detsembriks, ja edasi 1200 ühikuni nädalas 1924. aasta detsembriks. Selline toodangu kasv näitab voolutootmise mõju tootlikkuse ja efektiivsuse suurenemisele. Frank George Woollard'i töö automaatsete ülekandeseadmete väljatöötamisel on märkimisväärne näide varajasest innovatsioonist tootmisprotsessides, mis mõjutas oluliselt töötleva tööstuse tulevikku. Automaatse ülekandeseadme peamiseks tööpõhimõtteks oli detailide automaatne liigutamine ühelt töötlusoperatsioonilt teisele ilma inimsekkumiseta, mis tagas sujuvama ja kiirema tootmisprotsessi. Selline süsteem võimaldas tootmisvoogu märkimisväärselt kiirendada, vähendades samal ajal vigade võimalust ja parandades toote kvaliteeti. Woollard'i lähenemine oli oma ajast ees andes olulise panuse *Lean*-tootmise põhimõtete arengusse, näidates, kuidas innovatsioon ja tehnoloogia võivad tootmist efektiivsemaks muuta. [3]

Mõiste „*Lean* tootmine“ (*Lean Production*) võttis kasutusele John Krafcik oma 1988. aasta artiklis „Triumph of the Lean Production System“ („*Lean* tootmissüsteemi triumf“) ja selle laiem avalikusele populariseerimine leidis aset 1990. aastal ilmunud James P. Womack, Daniel T. Jones ja Daniel Roos raamatus „The Machine That Changed the World“ („Masin, mis muutis maailma“). Eesti keeles kasutatakse erinevaid väljendeid nagu näiteks: kulusäästlik tootmine, kulusäästlik mõtlemine, timmitud mõtteviis, paindlik tootmine, säästlik tootmine, ladus tootmine. Enimlevinud inglise keelele terminile „*Lean Production*“ eelistatakse eesti keeles tihti tõlget „timmitud tootmine“, mis annab edasi kõige paremini pideva parendamise sisu, see tähendab pidevat oma tegevuse ja protsesside täiustamist, et vähendada kulusid, lühendada tarneaegu ja parendada kvaliteeti. Samuti eristab seda teooriat töötajate suurenenud motivatsioon ja ettevõtte loovuse kasv. [2]

Kuluefektiivse tootmise mõistmiseks on vajalik tutvuda selle lähenemise aluspõhimõtetega ning seejärel tegelda kahjude ehk kulude minimeerimisega. Kuluefektiivse tootmise kontseptsioon tuvastab kolm kadude põhiliiki. Autor toob jaapanikeelsed terminid ja nende

kirjeldused, et pakkuda täielikumat ülevaadet *Lean*–tootmise kadude liikidest ja nende mõjust tootmisprotsessile [4]:

- 1) Ülekoormatus (*muri*) – inimeste või seadmete liigne koormamine. Ülekoormamine toob kaasa ohutus- ja kvaliteediprobleeme inimeste puhul ning seadmete rikkeid ja defekte. Teisisõnu, ülekoormus võib põhjustada muda. Veelgi enam, inimeste ülekoormamine võib põhjustada tervise- ja ohutusprobleeme;
- 2) Ebaühtlus (*mura*) – tootmissüsteemides esineb sageli töömahtude kõikumist, kus vahel on tööd rohkem, kui inimesed või masinad suudavad teha, ja teinekord on tööd liiga vähe. Selline ebaühtlus tuleneb ebaregulaarsest tootmisgraafikust või tootmismahutuste kõikumisest sisemiste probleemide, näiteks seisakute, puuduvate osade või defektide tõttu. See ebaühtlus nõuab, et kõrgema tootmistase jaoks oleks alati olemas vajalik varustus, materjalid ja inimesed, isegi kui keskmised vajadused on palju väiksemad. Ebaühtlus toob kaasa olukorra, kus vahel on tööd liiga vähe ja teinekord on ülekoormus, mis viib otse ülekoormatuseni;
- 3) Raiskamine (*muda*) – viitab väärtust mitte lisavatele tegevustele. Need raiskavad tegevused pikendavad läbimisaegasid, põhjustavad lisaliikumist osade või tööriistade järele, loovad liigset varu, nõuavad ümbertegemise aega vigade tõttu või toovad kaasa ooteaega.

Lean–tootmises peetakse raiskamiseks kõike, mis ei lisa tootele väärtust, ehk tegevusi, mille eest klient ei ole valmis maksma. Raiskamised viitavad süsteemi sisesele ebaefektiivsusele, põhjustades asjatuid kulusid ja kasumi vähenemist. Need võivad ilmned a erineval kujul, nagu liigsed varud või kvaliteediprobleemid. Taiichi Ohno, kes on tunnustatud kui üks *Lean*–tootmise rajajaid, identifitseeris esialgu seitse raiskamise tüüpi. Hiljem on *Lean*–praktikud lisanud kaheksanda ja üheksanda raiskamise tüübi, et kajastada täiendavaid ebaefektiivsuse vorme tootmisprotsessides. See lähenemine aitab tootmisettevõtetel veelgi vähendada raiskamist ja suurendada nende tegevuse efektiivsust, produktiivsust ja jätkusuutlikkust [5]:

1. Transport – tootmisprotsessis esinev ülemäärane materjalide liigutamine, mis ei lisa toote väärtust, märkides ebatõhusat tootmise korraldust.
2. Varud – liigsed materjalide varud, mis viitavad planeerimisvigadele ja võivad põhjustada finantskoormust.
3. Liikumine – töötajate asjatud füüsilised liigutused, mis ei ole tootmisprotsessi seisukohalt vajalikud, viidates töökeskkonna optimeerimise vajadusele.
4. Ootamine – tootmisprotsesside ajaline seisak, mis tekib seadmete, materjalide või informatsiooni ootamisest, näidates koordineerimise puudujääke.
5. Ületootmine – rohkemate toodete valmistamine, kui hetkel vaja, mis viib ressursside raiskamiseni ja ladustamisprobleemideni.

6. Ületöötlemine – toodete või teenuste ülemäärane töötlemine, mis ületab kliendi nõudeid, viidates protsesside ebatõhususele.
7. Defektid – vead tootmises, mis nõuavad parandamist või asendamist, põhjustades lisakulusid ja aja raiskamist.
8. Kasutamata talent – töötajate oskuste ja loovuse mittekasutamine, mis piirab innovatsiooni ja efektiivsuse kasvu.
9. Käitumine – inimtegevusest tulenevad jäätmed, mis tekivad protsesside, inimeste ja tootega seotud juhtimise ebakõlast.

Eelnevast saab järeldada, et raiskamised hõlmavad aja, ressursside ja ruumi tarbetut kasutust, ilma et see aitaks kaasa materjali või informatsiooni muundumisele vastavalt kliendi vajadustele. Vastandina sellele, väärtust loov tegevus hõlmab tooraine või informatsiooni transformeerimist viisil, mis rahuldab kliendi nõudmisi, olles töö, mille eest klient on valmis maksma. Tootlikkuse kasvatamise strateegia seisneb väärtust loova töö maksimeerimises ning raiskamise tuvastamises ja minimeerimises. *Lean*-mõtlemise raames klassifitseeritakse protsessi tegevused tavaliselt lisaväärtust loovateks (*value adding*) või lisaväärtust mitte loovateks (*non-value adding*) tegevusteks. *Lean*-mõtlemine rõhutab lisaväärtust loovate tegevuste suurendamist ja mitteväärtust loovate tegevuste vähendamist, kasutades selleks väärtusvoo kaardistamist (*value stream map*), mis aitab protsesside ühtlustamisel ja tõhususe suurendamisel. [6]

Kokkuvõtteks *Lean*-kontseptsiooni järgi on fundamentaalne eristada lisaväärtust loovaid tegevusi mitteväärtust loovatest tegevustest, kuna see võimaldab organisatsioonidel vähendada ebaefektiivsust, suurendada kliendi väärtust ja parendada toimivust, edendades lisaväärtust loovaid tegevusi ja minimeerides väärtust mitte loovaid tegevusi. Järgnevatel peatükkidel käsitletakse autor poolt viie olulise *Lean*-tootmise tööriista tutvustamist, mille valik on suunitlusega konkreetselt seatud eesmärkidest ja uurimismeetodite abil tuvastatud raiskamistüüpidest ettevõttes X.

1.2 Kuue Sigma metoodika

Alljärgnev annab ülevaate Kuue Sigma kvaliteedijuhtimise mudeli ajaloost kuni selle tänapäevase rakendamiseni suurtes rahvusvahelistes ettevõtetes. Lisaks tutvustatakse *Lean Six Sigma*-metoodikat, mis ühendab Kuue Sigma ja *Lean*-lähened, ning selgitatakse *DMAIC*-mudeli struktuuri ja tutvustatakse põhjus-tagajärg diagrammi.

Kuue Sigma (*Six Sigma*) kontseptsiooni päritolu ulatub tagasi 18. sajandi Ameerikasse, mil Eli Whitney arendas välja standardiseeritud osade süsteemi, millest esialgu sai kasu relvatööstus. Hilisem tööstusrevolutsiooni suurkuju, Henry Ford, arendas välja

masstootmiseks koosteliini, milles töös mängisid suurt rolli standardiseeritud autode osad. [7]

1970-ndatel võttis Jaapani firma üle *Motorola* televiisorikomplekte tootva *Quasar* tehase Ameerika Ühendriikides. Uue juhtimise all langes defektide arv televiisorites 20 korda, kasutades samal ajal sama tööjõudu, tehnoloogiat ja disaine ning alandades kulusid. See edulugu inspireeris *Motorolat* 1980. aastate keskpaigas, Bob Galvin'i juhtimisel, alustama kvaliteediparanduste Kuue Sigma programmi. See programm viis *Motorola* kvaliteedi- ja kasumiliidriks ning pärast 1988. aastal Malcolm Baldrige'i riikliku kvaliteediauhinna võitmist sai ettevõttest Kuue Sigma revolutsiooni eestvedaja. [8]

1995. aastal seadis *General Electric Company* tegevjuht Jack Welch eesmärgiks muuta ettevõtte viie aasta jooksul Kuue Sigma ettevõtteks, integreerides selle metoodika osaks firma kultuurist. Welch'i edu inspireeris paljusid suurettevõtteid nagu *Amazon*, *Boeing*, *Ford* ja *Samsung*, Kuue Sigma metoodikat kasutusele võtma. [9]

Kuus Sigma metoodika keskendub protsesside väljundite kvaliteedi parandamisele, tuvastades ja kõrvaldades vigade põhjuseid ning minimeerides variatsiooni tootmis- ja äriprotsessides. Selle lähenemisviisi juures on kesksel kohal mitmesugused kvaliteedijuhtimise meetodid ning organisatsiooni töötajate pidev koolitus, et nad omandaksid oskused nende meetodite rakendamiseks. Alates 2000. aastate algusest on Kuue Sigma põhimõtteid ühendatud kulusäästliku tootmisega, luues *Lean Six Sigma*-metoodika, mis ühendab mõlema lähenemise tugevused. [4]

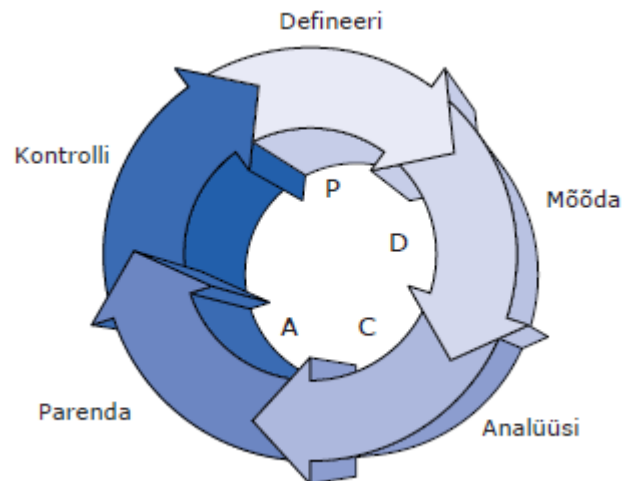
Lean Six Sigma ühendab endas metoodika, mille eesmärk on maksimeerida aktsionäride väärtust, saavutades kiireimat arengut kliendirahulolus, kuludes, kvaliteedis, protsessi kiiruses ja investeeritud kapitalis. *Lean* ja *Six Sigma* ühendamine on vajalik, kuna *Lean* ei suuda üksinda protsessi statistilise kontrolli alla tuua. Samuti ei suuda *Six Sigma* üksinda oluliselt parandada protsessi kiirust ega vähendada investeeritud kapitali. Seetõttu rakendab *Lean Six Sigma*-metoodika mõlema lähenemise tugevusi. See saavutab tervikliku parenduse ettevõtte toimimises, rõhutades efektiivsuse ja kvaliteedi tähtsust äriprotsessides. Lisaks saab seda kasutada mis tahes protsesside kiirendamiseks. See hõlmab tootearendust, tellimuste sisestamist, täitmist, disainimuudatusi ja klienditeenindust. Metoodika loob väärtust kõigis ettevõtte valdkondades. [10]

1.2.1 DMAIC-mudel

Six Sigma-metoodika põhikomponent on *DMAIC*, mis pakub paremat viisi tööprotsesside parandamiseks, vähendades lõpptoote defektide määra. *DMAIC* on lühend sõnadest *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. See struktureeritud lähenemine võimaldab

süsteemselt tuvastada ja kõrvaldada vigade põhjused, optimeerides seeläbi protsesse ja tagades toote kvaliteedi. [4]

DMAIC–mudel baseerub Deming`i ringil (Joonis 1), mida tuntakse *PDCA* (*plan, do, control, act*)–tsükliks, et viia ellu protsesside kavandamise/ümberkujundamise, juhtimise ja täiustamise strateegiad, mis viib lõpptulemuseni [4].



Joonis 1. *DMAIC* ja *PDCA* kooslus Kuue Sigma lähenemisviisi parendustsükliks [11]

Defineeri etapis keskendutakse probleemi või parendusvõimaluse selgele määratlemisele, sealhulgas projekti eesmärkide, ülesannete ja ulatuse täpsustamisele. On kriitilise tähtsusega täpselt välja selgitada, millist protsessi on tarvis optimeerida, üksikasjalikult aru saada kliendi ootustest ja kehtestada kesksed mõõdikud. [8]

Mõõda etapi peamiseks tegevuseks on andmete hankimine, mis aitab hinnata protsessi hetkeseisu. See samm sisaldab protsessi sisendite ja väljundite määratlemist, sobivate mõõdikute valikut ja andmete kogumist, mis võimaldab määrata võrdlusbaasi. Kogutud andmed aitavad probleemi suurust määratleda ja on eelduseks edasiseks analüüsiks. [8]

Analüüs etapis keskendutakse põhjuste leidmisele. Kasutades statistilisi meetodeid ja analüüse, uuritakse eelnevalt kogutud andmeid, et tuvastada probleemi juurpõhjused. Selliseid vahendeid nagu juurpõhjuste analüüs ja protsessi visualiseerimine rakendatakse protsessi mõjutavate faktorite mõistmiseks. [8]

Parenda etapi peamiseks väljundiks on planeeritud tegevuste tuvastamine, mille eesmärk on täiustuste rakendamine, et vähendada mõju ja pakkuda lahendusi esile kerkinud probleemidele [8].

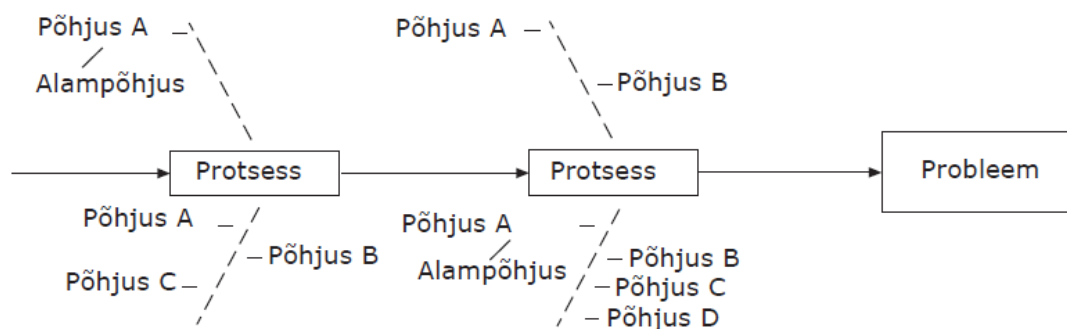
Kontroll etapis keskendutakse lahenduste laialdasele juurutamisele ja meetmete loomisele nende jätkusuutlikkuse tagamiseks. Välja töötatakse kavad protsessi monitoorimiseks ja eesmärkide saavutamiseks, tagades pideva kontrolli ja edusammude jätkuva hindamise, et ennetada tagasilööke ja säilitada saavutatud tulemusi. [8]

1.2.2 Põhjus–tagajärg diagramm

Ishikawa ehk põhjus–tagajärg diagramm (Joonis 2), mis on üks Kuus Sigmast tuntud ja laialdaselt kasutatav tööriist sujuva tootmise tagamiseks, põhineb kala luukere kujulisel analüüsimudelil. Probleemi ilmnmisel loovad meeskonnaliikmed võimalike põhjuste loetelu. Tegemist keerulise loeteluga, mida tuleb analüüsimiseks ja lihtsustamiseks fragmenteerida. Kaoru Ishikawa, kvaliteedikontrolli statistik Jaapanis, kes töötas laevaehituses, oli esimene, kes kasutas seda tööriista probleemanalüüsis. Tänapäeval on kalaluu diagramm tootmissektoris kõrgelt hinnatud oma probleemide lahendamise oskuste tõttu. [12]

Põhjus–tagajärg etapid [13]:

1. Probleemi selgitamine – joonistada joon, et esitada probleem selgelt.
2. Oluliste tegurite identifitseerimine – otsustatakse, millised tegurid mängivad probleemi lahendamisel keskset rolli.
3. Tegurite detailne analüüs – vaadeldakse, kuidas peamised tegurid sõltuvad alamteguritest, kasutades loovaid meetodeid nagu ajurünnak, et arutada nende tähtsust ja parendusvõimalusi.
4. Ühise tee leidmine – töötatakse meeskonnana, et visualiseerida lahendusi ja saavutada üksmeel järgnevate protsessammude osas.



Joonis 2. Tootmisprotsessi põhjus–tagajärg diagramm [8]

Põhjuse–tagajärg diagrammis käsitletakse iga põhjuse üksikasjalikku mõju lõpptulemusele. Kui eelmainitud kriteeriumid on täidetud, võib järeldada, et antud protsessi või partneriga seotud probleeme ei esine ning koostöö on usaldusväärne.

Sarnaselt tuleks vajadusel uurida ka teisi põhjuseid üksikasjalikumalt ja teha vastavad järeldused. [13]

Kokkuvõtteks saab tõdeda, et Kuus Sigma on tõestanud oma võimet muuta ettevõtteid kvaliteedi- ja kasumiliidriteks, aidates neil saavutada maksimaalset efektiivsust, kliendirahulolu ning konkurentsivõimet. *Lean Six Sigma*-metoodika ühendamine pakub täiustatud võimalusi protsesside optimeerimiseks ja väärtuse loomiseks kogu organisatsioonis. Selle struktureeritud lähenemise oluline osa on *DMAIC*-mudel, mis võimaldab süsteemselt tuvastada ja kõrvaldada vigade põhjused, tagades sellega parema toote- ja teeninduskvaliteedi ning organisatsiooni tõhusama toimimise. Põhjus-tagajärg diagrammi kasutamine on selle protsessi lahutamatu osa, pakkudes visuaalset vahendit probleemide süsteemseks analüüsimiseks ja nende juurpõhjuste tuvastamiseks. Selline analüütiline tööriist rikastab Kuus Sigma-metoodikat, võimendades selle mõju organisatsiooni kvaliteedijuhtimisele ja toetades pideva parendamise kultuuri loomist.

1.3 Seadme üldine kasutamiseefektiivsus

Seadme üldine tõhususe mõõtmise vahend, tuntud ka kui *OEE (Overall Equipment Effectiveness)*, on loodud tootmisseadmete efektiivsuse hindamiseks. See mõõdik esitatakse suhtarvuna protsentides. *OEE* hindab masinate võimekust, tulemuslikkust ning toodangu kvaliteeti. [14]

1988.aastal tutvustas Seiichi Nakajima seadme tulemusliku hoolduse (*TPM*) kontseptsiooni, mille eesmärk on kõrvaldada seadmetega seotud rikked ja defektid. Selle saavutamiseks loodi *OEE* mõõdik, mis aitab hinnata seadmete tõhusust ja toetab *TPM*-i eesmärgi. *TPM*-i ja *OEE* kasutamine soodustab rikete ja defektide vähenemist, tootmiskaotuste suurenemist, kulude ja varude vähendamist, tõstes lõpuks tööjõu tootlikkust ja parandades seeläbi tootmise üldist efektiivsust. [14]

OEE aitab liigitada peamisi kaotusi või halva soorituse põhjuseid, luues seeläbi aluse parandustegevuste prioriteetide seadmisele ja juurpõhjuste analüüsi alustamisele. Lisaks aitab saavutada tasakaalustatud tootmisvoogu. [14]

Töötlemisprotsessides esinevad kroonilised ja juhuslikud häired põhjustavad erinevaid ressursikadusid või jäätmeid, tarbides ressursse ilma lisaväärtust loomata. Üldise seadme efektiivsuse eesmärk on tuvastada need kaod. Et saavutada seadme maksimaalset tõhusust, kõrvaldatakse kuus suuremat kadu [15]:

Seiskamise kaod:

1. Rikete tõttu tekkivad kaod, mis jaotuvad aja kadudeks, kui tootlikkus väheneb, ning koguse kadudeks, mis on põhjustatud defektsetest toodetest.
2. Seadistamise ja reguleerimise kaod, mis tulenevad seisakutest ja defektsetest toodetest, mis esinevad siis, kui ühe toote tootmine lõppeb ja seadmed seadistatakse ümber vastavalt teise toote nõuetele.

Kiiruse kaod:

3. Seisakute ja lühemate katkestuste kaod tekivad, kui tootmine peatub ajutise rikke tõttu või kui masinal ei toimu tööd.
4. Vähendatud kiiruse kaod viitavad erinevusele seadme kavandatud kiiruse ja tegeliku töökiiruse vahel.

Kvaliteedi kaod:

5. Kvaliteedivigadest ja parandustöödest tulenevad kvaliteedikadod on põhjustatud tootmisseadmete riketest.
6. Käivitamiskadod on saagikuse kaod, mis tekivad tootmise varajastes etappides, alates masina käivitamisest kuni tootmisprotsessi stabiliseerumiseni.

Kuut suurt kadu mõõdetakse protsentuaalselt *OEE* valemi abil (1), mis on seadme kättesaadavuse (*Availability*), tootlikuse (*Performance*) ja kvaliteedi määra (*Quality*) korrutis [14]:

$$OEE = \text{Kättesaadavus} \times \text{Tootlikkus} \times \text{Kvaliteet} \quad (1)$$

Kättesaadavuse protsendi valem (2) kajastab planeeritud tootmisajast lahutatud seisakuid [14]:

$$\text{Kättesaadavus} = (\text{Tööaeg} - \text{Seisakud}) \div \text{Tööaeg} \quad (2)$$

Tootlikkuse protsent (3) on saavutatud koguse ja planeeritud toodangu vaheline jagatis [14]:

$$\text{Tootlikkus} = \text{Saavutatud kogus} \div \text{Planeeritu kogus} \quad (3)$$

Kvaliteeti kajastav protsent (4) on kvaliteetse koguse ja kogutoodangu jagatis [14]:

$$\text{Kvaliteet} = \text{Kvaliteetne kogus} \div \text{Kogutoodangu kogus} \quad (4)$$

OEE näitajate võrdlemine erinevate ettevõtete või tootmisüksuste vahel on keeruline, arvestades andmete suuri erinevusi. Ideaalses olukorras võib näit üle 0,84 viidata

maailmaklassi tootmisele, samas kui realistlikumad uuringud näitavad *OEE* taset vahemikus 0,30 kuni 0,80. See toonitab näitude võrdlemisel esinevaid raskusi ja vajadust arvestada iga tootmiskeskonna unikaalseid omadusi. [15]

1.4 Masina seadistusaja lühendamine

Tootmisprotsesside peamiseks eesmärgiks on toormaterjali efektiivne muundamine kvaliteetseks lõpptooteks, optimeerides samal ajal ressursikasutust ja tagades klientidele õigeaegsed tarned. Oluline on maksimeerida seadme kasutust, kuna selle seisak tähendab tootmisvõimaluste kaotust. Ümberseadistamise keerukus nõuab kõrgelt kvalifitseeritud ja kogunud tööjõu kaasamist, mis suurendab personalikulusid. Antud kontekstis võetakse kasutusele *SMED* (*Single-Minute Exchange of Die*)-metoodika, mille tõhus rakendamine aitab ümberseadistamise aega ja kulusid märkimisväärselt vähendada. [4]

Lühend *SMED* pärineb inglise keelest ja tõlgituna eesti keelde tähendab ümberseadistus ühe minutiga. See kontseptsioon sai alguse autotööstusest, kus ümberseadistuste kiirendamine oli kriitilise tähtsusega. *SMED*-metoodika arendas ja töötas välja Jaapani insener Shigeo Shingo, kes töötas erinevate autotootjate juures. Shingo tõi välja, et eesmärgi saavutamise ainus tee on optimeerida protsesse nii, et võimalikult paljud toimingud viiakse läbi masina töötamise ajal, ehk tegevused tuleks läbi viia kas enne seiskamist või pärast masina taaskäivitamist. Sellele tuginedes jagas ta metoodika kolmeks etapiks [16]:

- Sisemiste ja välimise tegevuste eristamine.
- Sisemiste tegevuste viimine välimisteks tegevusteks.
- Kõiki ümberseadistuste tegevuste optimeerimine.

Ümberseadistus hõlmab kõiki toiminguid, mis on vajalikud tootmisprotsessi ümberhäälestamiseks ühelt tootelt teisele. Selle protsessi ajaarvestus algab eelmise tootmispartii viimasest kvaliteetsest tootest ja lõpeb järgmise partii esimese kvaliteetse tootega. Põhitegevused sisaldavad masina ettevalmistamist, vanade seadistuste eemaldamist, uute paigaldamist, masina käivitamist ja uue partii nõuetele vastavate parameetrite seadistamist. [4]

SMED-metoodika rakendamise etapid ettevõttes hõlmavad järgmist [4]:

1. Dokumentatsiooni nõuetekohane täitmine ja järgmise tööülesande ettevalmistamine, sealhulgas kõik vajalikud abivahendid ja kinnitusseadmed, toimub veel eelmise operatsiooni ajal.
2. Kõik vajalikud tööriistad ja abiseadmed tuleb hoida organiseeritult ja kindlalt määratletud kohtades, et minimeerida aja raiskamist nende otsimisele.

3. Sagedamini kasutatavad tööriistad peaksid olema hõlpsasti kättesaadavad ja asuma lähedal.
4. Ümberseadistustegevuste ja nende järjestuse täpne väljatöötamine. On oluline, et kõik töötajad järgiksid neid tegevusi kindlas järjekorras.
5. Töökoha ja selle ümbruse korrapärane korrashoid. Iga töötaja peab tagama oma tööala puhtuse ja korra.

Eelnevast informatsioonist lähtudes saab tõdeda, et *SMED*–metoodika pakub olulist panust *Lean*–tootmise filosoofiasse, vähendades seamete seisuaegu ja parendades seeläbi seadmete või tootmisliinides kasutatust.

1.5 Seadme tulemuslik hooldus

TPM (Total Productive Maintenance) on seadmete terviklik hooldussüsteem, mille juured ulatuvad 1950. aastate Jaapanisse. Aja jooksul võtsid lääneriigid Jaapanis välja töötatud *TPM* põhimõtted üle, kohandades neid Euroopa ja Ameerika tootmiskultuuri eripäradega. Selline kohandamine hõlmas *TPM* kontseptsioonide integreerimist lääneliku ettevõtluskultuuri, tööetika ning tootmispraktikatega. [17]

Süsteem eristub oma innovaatilise lähenemisega seadmete hooldusele, mis on suunatud seisakute minimeerimisele ja töötajate julgustamisele võtta iseseisvalt vastutus igapäevase hooldustegevuse eest. Antud lähenemine võimaldab tööjõu ja seadmete efektiivsemat kasutust. Samuti tugevdab see töötajates vastutustunnet, julgustades neid nägema end justkui masinate omanikena oma töökohtades. See omakorda motiveerib neid osalema seadmete algtasemel hoolduses ja täiendustes. [17]

TPM peamised eesmärgid hõlmavad järgmist [17]:

- Planeerimata seisakute arvu vähendamine, mis on põhjustatud seadmete tõrgetest.
- Defektide ja praagi vähendamine seadmete rikete tõttu.
- Masinate töökiiruse ja jõudluse optimeerimine, et saavutada nende maksimaalne võimsus ja efektiivsus.

TPM rakendamine jagunevad kolmeks peamiseks kategooriaks [17], [4]:

1. Autonoomne hooldus – operaatoritel on oluline vastutus nende seadmete eest hoolitsemisel, sealhulgas varajaste tõrgete ja rikete tuvastamisel. Autonoomse ja hästi struktureeritud hooldussüsteemi olemasolu tagab seadmete optimaalse toimimise. Iga masin on pideva järelevalve all, mis on suunatud ootamatute seiskamiste ja rikete minimeerimisele.
2. Tavaline ja ennetav hooldus – hõlmab regulaarset hooldustegevust, mis on ette nähtud seadmete hooldusjuhendis, lisades sinna praktilistel kogemustel põhinevad

tegevused. Ennetava hoolduse eesmärk on ära hoida kõik potentsiaalsed rikked, tagades seadmete järjepideva ja tõrgeteta töö. See nõuab hooldustegevuste planeerimist ja läbiviimist enne, kui seadme garanteeritud tööressursi või -aja piir saabub. Ennetava hoolduse praktika, mis seab operaatori vastutusele rutiinse hoolduse teostamise eest, on oluline samm tootlikkuse suurendamise suunas.

3. Seadmete parendamine – seadme jõudluse parandamise ideede rakendamine. Kõik parendusettepanekud tuleb hoolikalt analüüsida ja vajadusel rakendada, kaasates sellesse protsessi kõik asjaosalised, sealhulgas seadmete operaatorid ja tootjad. Seadmete tootjatele pakub see väärtuslikku tagasisidet, mis aitab parandada toodangu kvaliteeti ja suurendada konkurentsivõimet.

TPM rakendamise eeldusteks on *5S* süsteemi olemasolu, parendusettepanekute süsteemi funktsioneerimine, töötajate koolitused ja juhtkonnahuvitus. [17]

1.6 Töökoha korrasoleku parendamine

Kulusäästliku tootmise meetodina on *5S* (töökoha korrasoleku parendamine) efektiivne lähenemine töökoha organiseerimisele, mis keskendub visuaalsele korrale, organiseeritusele, puhtusele ja standardiseerimisele. Selle meetodi eesmärk on toetada kõrget töökultuuri ja distsipliini, mis omakorda aitab saavutada parimaid tulemusi ning pakub rahulolu kvaliteetse töö tegemisest. *5S* rakendamine tootmises on oluline samm tõhususe tõstmisel ja optimaalse töökeskkonna loomisel. [4]

5S meetodi kasutegurid ilmnevad mitmetes olulistest seostes tootmisprotsessis ja töökultuuris. Korras töökoht [4]:

- tagab kõrge tootlikkuse;
- tagab kõrge kvaliteedi;
- vähendab kulusid;
- tagab tarnetäpsuse;
- on turvaline töötamiseks;
- on kõrge töömoraali alus;
- tagab klientide usalduse.

5S-metoodika, Toyota tootmissüsteemist pärit lähenemine, keskendub töökoha efektiivsuse ja ohutuse suurendamisele. See seab eesmärgiks jäätmete minimeerimise, vigade ja tööõnnetuste ennetamise, rõhutades puhtuse, korra ja protsesside standardiseerimise tähtsust. Metoodika tugineb viiele põhimõttele ja moodustub viie jaapanikeelse termini esitähedest [18]:

1. Sorteer (Seiri) – töökoha efektiivsuse tõstmiseks on kriitilise tähtsusega üleliigsete esemete elimineerimine. Oluline on tööriistade ja seadmete nõuetekohane

märgistamine ja organiseerimine. Nende paigutuse optimeerimine kasutussageduse järgi ning töökoha puhtuse, sealhulgas lekete regulaarse tuvastamise ja likvideerimise järjepidev monitooring.

2. Sea korda (*Seiton*) – töökoha korralduse eesmärk on praakmaterjalide ja tootmisvahendite, nagu rakised, tööriistad ja kärud, eristamine. Samuti nende märgistamine ning esemete kindlaksmääratud paigutus tagab nende kerge leitavuse ja süsteemse hoiustamise.
3. Sära (*Seiso*) – tõhusa töökoha haldamise võtmeks on jäätmete vältimine, koristamise lihtsustamine ja selle loomuliku tööritiini osaks tegemine. Koristustegevus peaks hõlmama töökoha ja tööriistade regulaarset kontrolli. Efektiivsuse saavutamiseks on kasulik koostada koristamist juhendavad protokollid ja kontrollnimekirjad. Samuti on oluline masinate seisukorra pidev monitooring, et märgata ja ennetada probleeme, mis aitab ka jäätmete tekkimist vähendada.
4. Standartiseeri (*Seiketsu*) – järjepidevus ja kõigi meeskonnaliikmete kaasamine. Kehtestada reeglid, määrata selged eesmärgid ning koristustegevuste ajad, säilitades korrashoidu. Efektiivsuse ja pideva parendamise saavutamiseks tuleb välja töötada süsteemid ja protseduurid, mis toetavad esialgsete sammude rakendamist ja tagavad töökoha pideva arengu.
5. Säilita (*Shitsuke*) – töötajad peavad järgima 5S metoodika põhimõtteid, kasutades juhiseid ja kontrollnimekirju, et säilitada töökoha kvaliteet ja edendada selle pidevat parendamist.

Töökoha optimeerimine algab esemete sorteerimisega, eraldades igapäevaselt kasutatavad esemed harva vajaminevatest, mida märgistatakse ja tööalast eemaldatakse. Luuakse kindlad kohad sagedasti kasutatavatele esemetele, ülejäänud esemed paigutatakse välja või utiliseeritakse. Korrapärane puhastamine ja visuaalne standardiseerimine aitavad säilitada korra ja hõlbustavad esemete leidmist. Protsess nõuab meeskonna järjepidevat kaasamist ja on osa igapäevatööst, mitte ainult tugipersonali ülesandest. [18]

Lean-metoodika kontekstis on 5S auditid olulised pideva parendamise protsessis. Auditite tulemused tuvastavad parendamist vajavad valdkonnad ja innustavad positiivseid muutusi. Kõrvalekalded näevad ette võimalusi süsteemis esinevate probleemide lahendamiseks. Töörühmad viivad regulaarselt, isegi igapäevaselt, läbi auditid, võttes vastutuse oma tööpiirkondade eest, samas kui juhid pakuvad perioodilist tagasisidet läbi inspekteerimiste. [18]

1.7 Tootmise pidev parendamine

Säilitamine 5S-metoodikas on sujuv üleminek pideva täiuse püüdlamise filosoofia suunas. Jaapani keelne vaste sellele on *Kaizen*. *Kai* – tähendab muutust või tegevust suunas ja *Zen* – hea või parem. [11]

Kaizeni kontseptsiooni algus ulatub tagasi 1986. aastasse, kui Masaaki Imai avaldas oma raamatu „*Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*“, milles ta tutvustas läänele *Kaizeni* põhimõtteid ja praktikaid. See raamat mängis olulist rolli Jaapani juhtimisfilosoofia levikus ülemaailmselt. [19]

Kaizen-filosoofia edendab organisatsioonikultuuri, mis väärtustab kõigi liikmete pidevat panustamist parendusprotsessi. See lähenemine keskendub mitte ainult kvaliteedi ja tootlikkuse tõstmisele, vaid ka töötajate rahulolu ja organisatsiooni konkurentsivõime parandamisele, läbi väikeste, kuid järjepidevate parenduste. *Kaizen* julgustab töötajate aktiivset kaasatust, ideede ja ettepanekute jagamist, mis aitavad kaasa organisatsiooni arengule ja efektiivsuse suurendamisele. [19]

Töö standardiseerimine on oluline, tagades kliendinõuetele vastava korduva protsessi ja sujuva töövoo. Parima töösooritusviisi dokumenteerimine loob pideva parendamise aluse, kus iga uus täiustus määrab järgmise parendustsükli standardi, edendades sellega järjepidevat arengut ja efektiivsuse kasvu. [18]

Kaizen-protsessi võib kirjeldada kui järjepidevat ja metoodilist lähenemisviisi, mis hõlmab mitmeid etappe tööprotsesside pidevaks parendamiseks ja optimeerimiseks [4]:

- tööoperatsioonide standardiseerimine;
- standardiseeritud operatsioonide mõõtmine ja tulemuste analüüs;
- erinevuste tuvastamine tegelike saavutuste ja eesmärkide vahel;
- parandusettepanekud, et vastata seatud nõuetele ja tõsta tootlikkust;
- standardiseeritakse parandatud operatsioonid;
- protsess on tsükliline, mistõttu korratakse seda pidevalt.

Pideva parendamise protsess keskendub toodete ja protsesside variantide arendamisele, nende efektiivsuse kriitilisele hindamisele ja optimaalse lahenduse valimisele, et tõsta tootmisprotsessi efektiivsust ja kohanemisvõimet. Kuigi tootmise peamine eesmärk on kasumi tootmine, sõltub see erinevatest sekundaarsetest näitajatest nagu tootlikkus, kulud, materjalid ja kvaliteet. Seetõttu peab pidev parendamine võimaldama tõhusat hindamist eri tootmisüksuste, sealhulgas töökohtade, seadmete ja tarneahelate osas, toetades ettevõtte üldist arengut. [4]

Toyota tootmissüsteemi kuuluv *Kaizen Blitz* on lühiajaline, intensiivne parendusprojekt, mis keskendub kiirele probleemilahendusele väikese meeskonnaga. Eesmärgiks on saavutada 3–5 päeva jooksul olulisi parendusi, kasutades lihtsaid vahendeid ja väikest eelarvet. See protsess eelistab tegutsemist planeerimisele ja kaasab otseselt tööprotsessis osalevaid inimesi, võimaldades kiireid tulemusi ja tugevdades meeskonnatööd ning juhtimist. [11]

Kokkuvõtlikult on *Kaizen* pideva parendamise filosoofia. See keskendub organisatsiooni kultuuri loomisele, kus iga liige on kaasatud väikeste, kuid järjepidevate parenduste tegemisse. See aitab tõsta tootmise efektiivsust ja kvaliteeti, pakkudes samal ajal võimalusi innovatsiooniks ja paindlikkuse suurendamiseks.

2 SITUATSIOONI ANALÜÜS JA PROBLEEMI MÄÄRATLEMINE

Selles peatükis antakse ülevaade ettevõttest X, kirjeldatakse hoovaldamisprotsessi, tutvustatakse varasema hoovalpingi probleeme ja uut tööpinki ning autori panust meeskonnatöösse. Lisaks analüüsitakse autori poolt tööprotsessi efektiivsust, esitatakse hoovalduspingi *OEE* ja planeerimata seisakute analüüs. Algsete andmete uurimise käigus tuvastatakse probleem, millele tuuakse lahendusi, mis aitavad saavutada püstitatud eesmärgi. Uurimise ja lahenduste genereerimise protsessis rakendatakse *Lean Six Sigma DMAIC*-mudeli kolme esimest etappi, mis hõlmab defineerimise, mõõtmise ja analüüsimise etappe.

2.1 Ettevõtte X tutvustus

Lõputöö empiirilise uurimuse viiakse läbi täispuidust uste tootmisega tegelevas ettevõttes, kus toodetakse männi-, kuuse-, tamme- ja *hemlock* puidust valmistatud välis- ja siseuksi. Peamiselt toodetakse laudisuksi, täispuidust paneeluksi ja puitlaastplaat- või puitlamellisuga tahveluksi. Hetkeseisuga on toodete nomenklatuuris 30 erinevat toodet, millele lisandub hulgaliselt erinevaid variante ehk alamtooteid.

Uksetehas asub Viljandi tööstuspiirkonnas, asudes lähedal tähtsamatele maanteedele. Tootmispinda on hetkel 4250 m² ja laopinda 2500 m².

Tootmismahut ühe vahetusega on võimeline tootma kuni 18000 ust kuus ja 100% toodangust eksporditakse.

Osakondade kaupa toimub jagunemine kolmeks:

1. Komponendi osakond – toodetakse peaaegu kõik ukse komponendid, mida kasutatakse uste valmistamiseks. Osakonnas rakendatakse mitmesuguseid puidutöötlemise operatsioone sealhulgas järkamist, hoovaldamist, liimimist, lamineerimist, freesimist, puurimist, tüübeldamist ja *CNC*-põhist töötlemist. Osakonna tööd organiseerib meister, kes koordineerib 24 töötaja tegevust.
2. Tootmise osakond – toimub uste lõplik koostamine, kus komponendid ühendatakse kas pressimis- ja/või naelutamismeetodil. Lisaks viiakse läbi uste mõõtu lõikamine ja/või lihvimine, et tagada toodete vastavus nõutud mõõtmetele ja viimistlusstandarditele.
3. Pakkimise osakond – uste viimistlusprotsessid, sealhulgas parandamine, klaasimine ja/või värvimine. Samuti teostatakse visuaalset kvaliteedikontrolli, mille käigus defektsed tooted identifitseeritakse ja eraldatakse. Uste kiletamine toimub

termotunnelis, pärast mida suunatakse pakitud tooted ladustamiseks. Uste tootmise ja pakkimise osakondi haldab meister, kes juhendab 16 töötaja tööd.

Ettevõttes on kokku 54 töötajat, kellest 40 täidavad tootmisülesandeid. Tootmismahtude suurenemisel on ettevõtte personali arvu ajutiselt suurendatud kuni 60 tootmistöötajani ja lisades ühe tootmismeistri, et tagada töökorraldus kahe vahetuse süsteemis.

Tööprotsesside planeerimist viivad läbi kaks planeerijat, kes vastutavad töökäskude koostamise ja tööde järjestamise eest. Nende esmane siht on tootmisprotsessi efektiivsuse suurendamine, grupeerides identsed mõõtmatega tooted ja komponendid erinevatest tellimustest ühisesse partiisse, eesmärgiga vähendada masinate seadistamisele kuluvat aega. Tootmismeistrid edastavad töökäskud töötajatele, juhivad tootmistegevusi ning koordineerivad logistikat. Komponendi osakonna töökäske on rohkem ning need on eelnevalt koostatud ning paigutatud õiges järjekorras tootmistahvli sahtlitesse kindlas järjekorras ja tööde järjekord visandatud tahvlile, tagamaks visuaalse jälgitavuse, mida töökäskude loomise tarkvara ei võimalda.

Kasutuse on *BOM (Bill Of Materials)*, *Woodware* ja *Global Reader* süsteemid tootmise korraldamiseks. *BOM* on andmebaas, mis sisaldab teavet kõigi toodete, nende komponentide ja aktiivsete klienditellimuste kohta. Selle kaudu sisestatakse klienditellimused koos soovitud tarneaja ja tootmise alustamise kuupäevaga. Igale komponendile on kindlaks määratud juhtaeg ning materjalivajadus. Toodetud ja pakitud uste arvu uuendatakse *BOM*'is igapäevaselt, võimaldades jälgida tellimuste täitmise progressi.

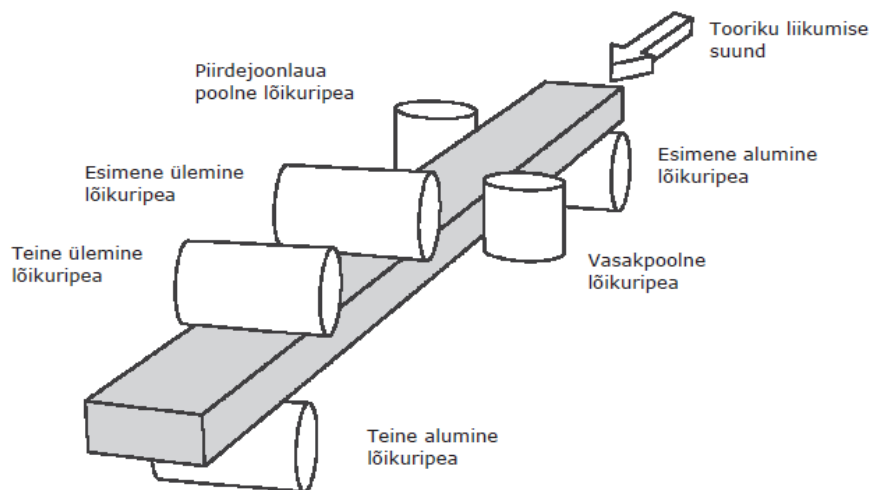
Laoseisu jälgimiseks ja töökäskude loomiseks on ettevõttes kasutusel programm *Woodware*, mis võimaldab näha missuguses tootmisetapis on tooted laos ning millises tööpingis tooted töödeldi. *Woodware* on ühilduv *Exceliga*, mis võimaldab andmete eksportimist ja töötlemist, tagades tootmistegevuse jälgitavuse ning võimaldades tuvastada lõpptoote valmistamisel kasutatud materjali partiid.

Puidutöötlemise masinate tööseisakute ja efektiivsuse seireks on olulisematele seadmetele paigaldatud *Global Reader* andurid. Need andurid võimaldavad jälgida masinate toimivust kaugelt ning tuvastada tootmisprotsessis esinevaid seisakuid. Programm võimaldab tootmise efektiivsust analüüsida, eriti pärast parendusmeetmete rakendamist, pakkudes olulist teavet tootmisprotsesside optimeerimiseks.

2.2 Hõõveldamise protsessi kirjeldus

Puidu tooriku töötlemist erinevatel masinatel nimetatakse tootmisprotsessiks. Üksik operatsioon, mida tehakse ühes töökohas, nimetatakse tehnoloogiliseks operatsiooniks. See operatsioon hõlmab materjali kvaliteedi, omaduste, kuju ja mõõtmete muutmist. Hõõveldamise tehnoloogilise masintöötlemise operatsiooni iseärasuseks on puidu mehhaaniline töötlemine laastu eraldumisega, mille teostamisel töödeldav toorik liigub pingis ja seda töödeldakse korraga neljast küljest. [20]

Hõõvelpingil, milles on rohkem kui neli võlli (Joonis 3), on võimalik töödelda materjali neljast kandist ette antud mõõtude järgi. Iga üksiku profiili jaoks saab kasutada sobivalt kujundatud lõiketerasid lõikuripeades, muutes tooraine ühe läbimisega soovitud profiiliga valmistooteks. [20]



Joonis 3. Neljakülgsel hõõvelpingil lõikuripeade asetus töödeldava tooriku suhtes [20]

Tööpinki teenindab põhitööline ehk operaator ja üks või mitu abitöölist. Operaatori ülesandeks on pingi reguleerimine, toorikute masinasse söötmine ja töö jälgimine. Abitöölise ülesandeks on töödeldud toorikute vastuvõtmine, sorteerimine ja virnastamine. Toorikute masinasse söötmine ehk eendamine toimub ots otsa vastu. [20]

Töötlemisvaru on vajalik, et tagada vormilised muudatused töötlemisel. Üldiselt võib öelda, et 12% tootele kuluvast puidust on vaja arvestada töötlemisvaruna. Näiteks, kui töödeldava puutooriku pikkus on 1600 kuni 2400 mm ning paksus ja laius vastavalt 30 kuni 95 mm, siis hõõveldamisel tuleks arvestada umbes 6,0 kuni 6,5 mm töötlemisvaruga. [20]

Materjali liikumine masinas valitakse vastavalt puuliigile, kvaliteedile ja mõõtudele. Okaspuidu puhul on antud vahemik 8 kuni 24 meetrit minutis. [20]

Profiili muutmisel ühelt teisele on vajalikud uued lõiketerad, mis on spetsiaalselt valmistatud vastava profiili töötlemiseks. Terade vahetusele järgneb lõikuripea tasakaalustamine ja masina seadistamine, mis on tootmise jätkamise eeltingimuseks. Massitootmise kontekstis suudavad puiduhööveldus seadmete suur tootmisvõimekus hüvitada lõikurite valmistamise, paigaldamise ja hooldusega seotud kulud ning masina seadistamiseks vajaliku seisakuaja. Kui aga on vaja toota ainult lühikesi seeriaid kindlat tüüpi liistusid või mõned meetrid unikaalset eritoodet, siis ei ole võimalik eelpool mainitud kulusid kompenseerida. [21]

Leidmaks töödeldavate toorikute arvu vahetuses, toimub tootlikkuse arvutamine valemi (5) põhjal [20]:

$$A = \frac{T_{vah} \times K_t \times K_m \times K \times u \times a \times b}{L}, \quad (5)$$

kus T_{vah} – vahetuse kestsus, min;
 K_t – tööaja kasutamise koefitsient, 0,9;
 K_m – sõltuvalt tooriku pikkusest, 0,9 – 0,95;
 K – libisemist arvestav tegur, 0,9;
 u – eendekiirus, m/min;
 a – kordsus pikkuses;
 b – kordsus laiuses;
 L – tooriku pikkus, m.

2.3 Varasem hõövelduspink

Ettevõttes X oli varasemalt kasutuses *GauJing GL*-seeria üheksa spindliline hõöveldusmasin koondimetusega *GauJing GL-930*. *GauJing* on Taiwani (Hiina Vabariik) puiduhööveldus masinate tootja.

Lõputöö raames analüüsiti antud hõöveldusmasina operatiivseid omadusi ja kasutuskogemusi. Masina peamisteks eelisteks tuuakse välja selle võime töödelda kuni 300 mm laiusega puitmaterjali, samuti varustatus üheksa spindliga, mis võimaldab keerukate profiilide hõöveldamist. Hoolimata arvutipõhisest asendikontrolli tehnoloogiast, mis peaks tagama masina seadistuste ja spindlite asendite täpse reguleerimise arvuti abil, ilmnes praktikas mitmeid funktsionaalsusega seotud probleeme. Need probleemid hõlmasid süsteemi ebakorrektni töötamist ja erinevaid rikkeid, mis viis operatsioonide ebakõlade ja probleemideni.

Masina seadistamise keerukus ja ajamahukus osutusid olulisteks puudusteks. Hõöveldusosakonna juhataja oli ainuke isik, kes valdas masina seadistamist põhjalikult, teostades enamiku seadistustöödest. Kuigi hõövlioperaatorid assisteerisid väiksemate abitöödega, ületas masina täielik seadistamine nende oskusi ja kogemusi. Eriti

märgatavaks muutus masina keerukusest tingitud ajakadu kahes vahetuses toimunud tootmisprotsessis, kus osakonna juhataja pidi õhtu jooksul korduvalt tagasi tulema, et lahendada rikkeid või teostada ümberseadistusi.

Ajapikku, kuigi masin saavutas töökindluse ja andis häid tulemusi, viisid eelmainitud probleemid Lõputöö autori poolt ettepanekuni otsida ettevõttele uus, kaasaegsem hõõvelduspink. Selline, mille õppimine ei nõuaks sama palju aega, oleks kasutajasõbralikum ja tehniliselt usaldusväärsem. Vajalikuks peeti masinat, mille seadistamine oleks loogilisem, vähem aeganõudev, võimaldades lõikuripeade vahetust kiirelt ja hõlpsalt, ilma et see ohustaks tööprotsessi sujuvust. Lisaks oli oluline, et uus masin oleks varustatud selgema ja arusaadavama funktsionaalsusega, tagades seeläbi parema töökindluse ja vähendades rikete esinemissagedust. Autor rõhutab, et sellise masina soetamine ei ole mitte ainult investering ettevõtte tulevikku, vaid ka samm töötajate töötingimuste parandamise suunas. See muudab nende igapäevased ülesanded vähem keerukaks ja aeganõudvaks.

Järgnevalt esitatud tabel annab ülevaate hõõvelduspingi tehnilistest näitajatest, kus on kategoriseeritud mitmed olulised masina parameetrid (Tabel 1).

Tabel 1. Hõõvelduspingi *GauJing GL-930* põhiaandmete loetelu [22]

Parameetri tüüp	Nimiväärtus ja mõõtühik	Vahemik
Maht	Hõõveldatava materjali laius, mm	10–300
	Hõõveldatava materjali paksus, mm	7–160
	Etteande kiirus, m/min	6–36
	Miinimum töödeldava materjali pikkus, mm	230
Spindlid	Spindli kiirus, p/min	6000
	Spindli diameeter, mm	50
	Vertikaalspindli seadistatavus, mm	60
	Horisontaalspindli seadistatavus, mm	20
Lõikebloki diameeter	Esimene alumine spindel, min/maks., mm	125–160
	Vertikaalspindlid, min/maks., mm	100–200
	Horisontaalspindlid, min/maks., mm	100–200
	Viimane alumine spindel, min/maks., mm	100–250
Mootori võimsus	Spindlite mootorid, kW	7,5, 11
	Etteande mootor, kW	7,5
Muu	Etteandelaua pikkus, mm	1800
	Masina mõõdud (pikkus×laius×kõrgus), mm	5900×2170×2120
	Netokaal, kg	8500

2.4 Praegune hõõvelduspink

Lisaks Lõputöö autori esitatud ettepanekule, oli juhtkonnale varasemalt ning hiljem ka jõudnud informatsioon probleemide kohta. Edastatud teabe põhjal tekkis visioon, et masina väljavahetamine toob kaasa olulisi eeliseid: masin peaks lihtsamini õpitav, kaasaegsem, kiiremini seadistatav ja tagab täpsema töötlemistulemuse.

Lõputöö autor andis oma panuse meeskonna töösse, otsides internetist teavet erinevate masinate kohta, mis võiksid vastata ettevõtte vajadustele. Autor tegi oma valikud ja esitas need juhtkonnale. Edasi toimusid tegevused juhtkonna organiseerimisel, kuni sobiv masin leiti ja sooritati ost. Oktoobri alguses viidi tootmises läbi masinate vahetus.

Uueks hõõvelpingiks valiti Saksamaa puidutööstusseadmete tootja *Weinig* masin *Powermat 400*.

Suhtluses lõputööd läbiviiva ettevõtte tegevjuhi ja tootmisjuhiga selgus, et antud masinamudelit hinnatakse kõrgelt täpse tootmiskvaliteedi, tööohutuse ning modulaarse disaini poolest. Anud masinat saab konfigureerida vastavalt konkreetse tootmisülesande nõuetele, võimaldades kasutajatel valida erinevaid spindlite järjestusi, töötlemisvõimekusi ja juhtimissüsteeme. Lisaks soodustab see ka hoolduse ja remondi lihtsust, kuna defektse või vananenud masinakomponendi saab kiiresti ja lihtsalt välja vahetada, vähendades seisuaegu.

Uuendusena on *powerlock* spindlid, mis lihtsustavad ja kiirendavad märkimisväärselt lõikuripeade vahetamist, kuna *powerlock* spindlid võimaldavad tööriistu vahetada sekunditega ilma tööriistade vajaduseta. Lisaks võimaldab uus hõõvelpink töödeldavate profiilide andmete salvestamist mälusüsteemi, mis teeb võimalikuks kiire ülemineku ühelt töökäsult teisele, kasutades selleks puutetundlikku ekraani.

Antud masina töövõimekus, võrreldes varasema seadmega, lubab töödelda veidi kitsamaid ja õhemaid materjale, kuna selle hõõveldusvõimekus piirdub väiksemate mõõtmetega. Lisaks on masina etteande kiirus madalam ning spindlite arv väiksem, mis võib mõjutada tootlikkust ja materjalide mitmekesisust.

Uue masina analüüs näitab, et selle kaasaegsed omadused võimaldavad kiiremat ja lihtsamat seadistamist, kaasates protsessi rohkem kasutajaid. See hõlmab vähendatud aega lõikuripeade vahetamiseks ja profiilide kiiret muutmist, parandades seeläbi efektiivsust, kuigi masina võimekus on keskendunud veidi kitsamate ja õhemate materjalide töötlemisele.

Järgnevalt esitatud tabel annab ülevaate hõõvelduspingi tehnilistest näitajatest, kus on kategoriseeritud mitmed olulised masina parameetrid (Tabel 2).

Tabel 2. Hõõvelduspingi *Weinig Powermat 400* põhiaandmete loetelu [23]

Parameetri tüüp	Nimiväärtus ja mõõtühik	Vahemik
Maht	Hõõveldatava materjali laius, mm	20–230
	Hõõveldatava materjali paksus, mm	8–120
	Etteande kiirus, m/min	5–30
Spindlid	Spindli kiirus, p/min	6000–8000
	Spindli maksimaalne diameeter, mm	40
	Spindlite arv, tk	6
Lõikuriipa diameeter	Horisontaalne, mm	200
	Vertikaalne, mm	200
Mootori võimsus	Vertikaalse spindlite mootorid, kW	5,5–15
	Horisontaal spindlite mootorid, kW	5,5–37
Muu	Etteandelaua pikkus, mm	2500
	Masina mõõdud (pikkus×laius×kõrgus), mm	4450×2500×2300
	Netokaal, kg	3000

2.5 Hõõvelduspingi kasutamise efektiivsuse ja planeerimata seisakute analüüs

Kvantitatiivne analüüs puidu hõõvelduspingi töö kohta, perioodidel november-detsember 2022 ja november-detsember 2023, on võimaldanud analüüsida protsessi mustreid ning võrrelda andmeid ja tulemusi erinevatel aastatel samal perioodil. Metoodika töötas välja ja andmete sisestamise viis läbi iseseisvalt siinse töö autor.

Kvantitatiivseid tulemusi esitatakse konkreetsete numbriliste andmetena, kasutades selleks tabeleid, diagramme ja muid sarnaseid vorminguid [4].

Olemusnäitajad on kvantitatiivsed näitajad. Need näitajad aitavad hinnata tootmissüsteemi üldist võimekust ja tulemuslikkust, andes numbrilise ülevaate, kas süsteem vastab ootustele. *OEE* kuulub olulisemate näitajate hulka. [4]

Global Reader programmi abil analüüsiti varasemalt saavutatud tulemusi, et hinnata hõõvelduspingi *OEE* näitajaid ja planeerimata seisakute mõju. Efektiivsuse hindamisel arvestati tootlikkust, masina saadavust ning toodangu kvaliteeti. Ettevõttes X peetakse

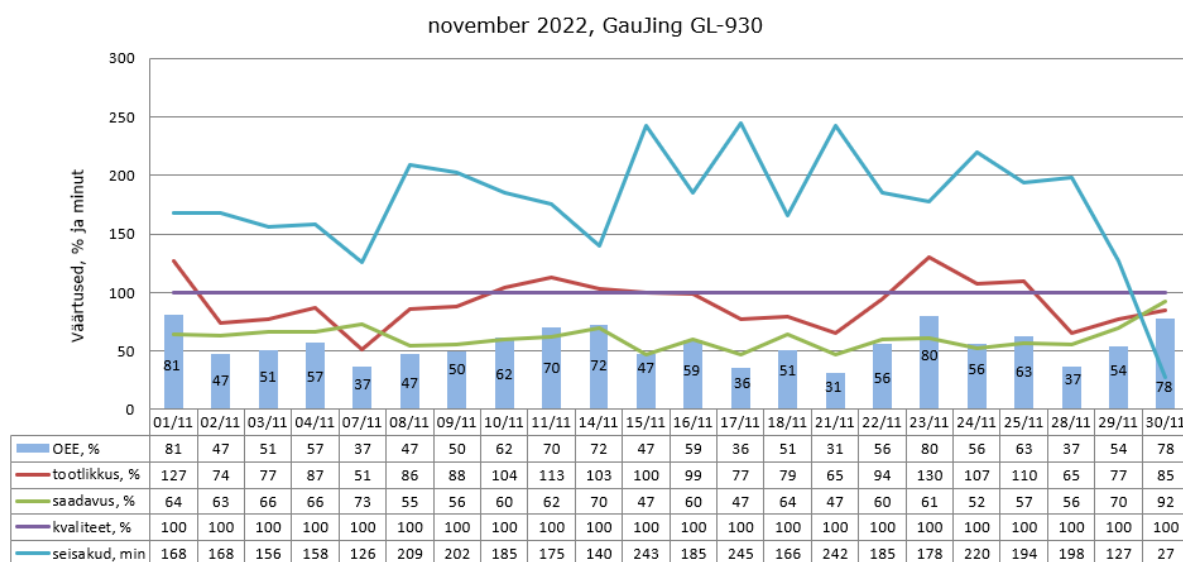
kvaliteedi osakaaluks kokkuleppeliselt 100%, kuna materjali kvaliteedikontroll toimub järgnevates tööpinkides, mitte otse materjali hõõveldamise käigus.

Hõõvelduspingi *GauJing GL-930 OEE* ja planeerimata seisakute analüüsi läbiviidud perioodil, mis hõlmas 2022. aasta novembri ja detsembri kuid, täheldati olulisi erinevusi kahe kuu vahel (Tabel 3). Novembris, 22 tööpäeva jooksul, oli *OEE* keskmiselt 56%, planeerimata seisakute aeg ulatus keskmiselt 177 minutini päevas, viidates 39% ajast seisakutele ja 61% efektiivsele tööajale. Detsembris tõusis *OEE* keskmiselt 63%-ni 11 tööpäeva jooksul, seisakute aeg vähenes keskmiselt 108 minutile päevas, mis parandas kasulikult töötatud aja osakaalu 76%-ni.

Tabel 3. Hõõvelduspingi *GauJing GL-930* tootlikkuse ja seisakute protsentuaalne võrdlus, november ja detsember 2022

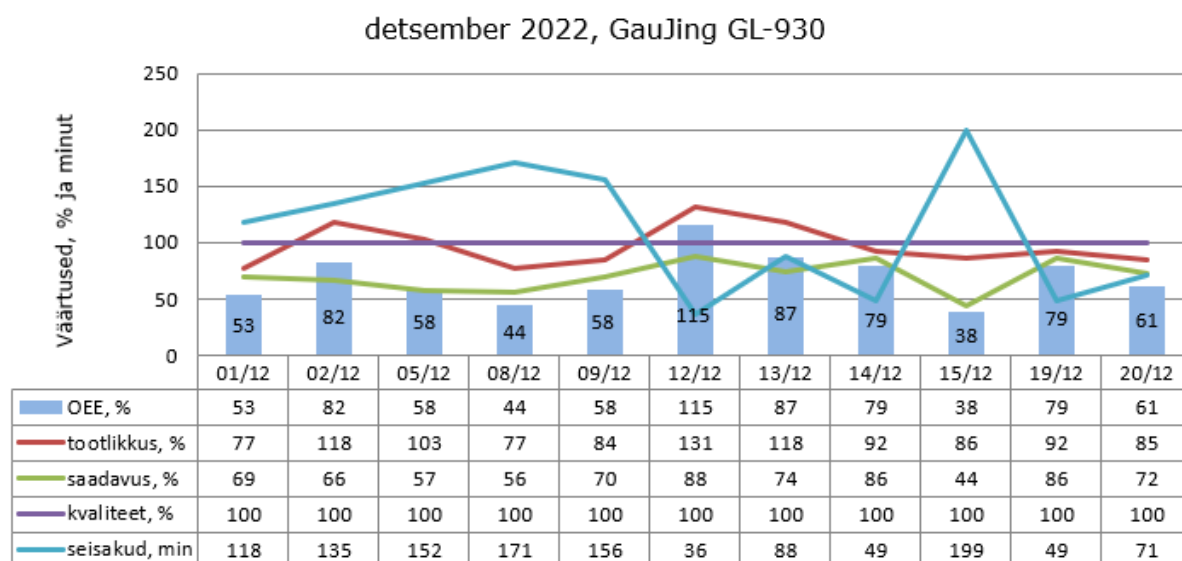
Kuu	Tootlikkus, %	Saadavus, %	Kvaliteet, %	OEE, %	Seisakud, %
november	91	61	100	56	39
detsember	82	64	100	63	24

Järgnev graafik (Joonis 4) kujutab hõõvelpingi *GauJing GL-930 OEE* näitajat ja sellega seotud mõõdikuid novembrikuu töötatud päevade jooksul. Graafik illustreerib lisaks tootlikkuse, saadavuse ja kvaliteedi protsendilisi väärtusi ning tööseisakute kestust minutites. Näitude varieeruvus analüüsitud perioodil peegeldab tootmisprotsessi dünaamilisust.



Joonis 4. *GauJing GL-930* dünaamika, november 2022 [koostatud autori poolt]

Detsembrikuu andmete põhjal (Joonis 5) näitab analüüs, et on olemas otsene seos *OEE* ja seisakute kestuse vahel. Nimelt, *OEE* paraneb oluliselt päevadel, mil seisakute kestus on lühem.



Joonis 5. *GauJing GL-930* dünaamika, detsember 2022 [koostatud autori poolt]

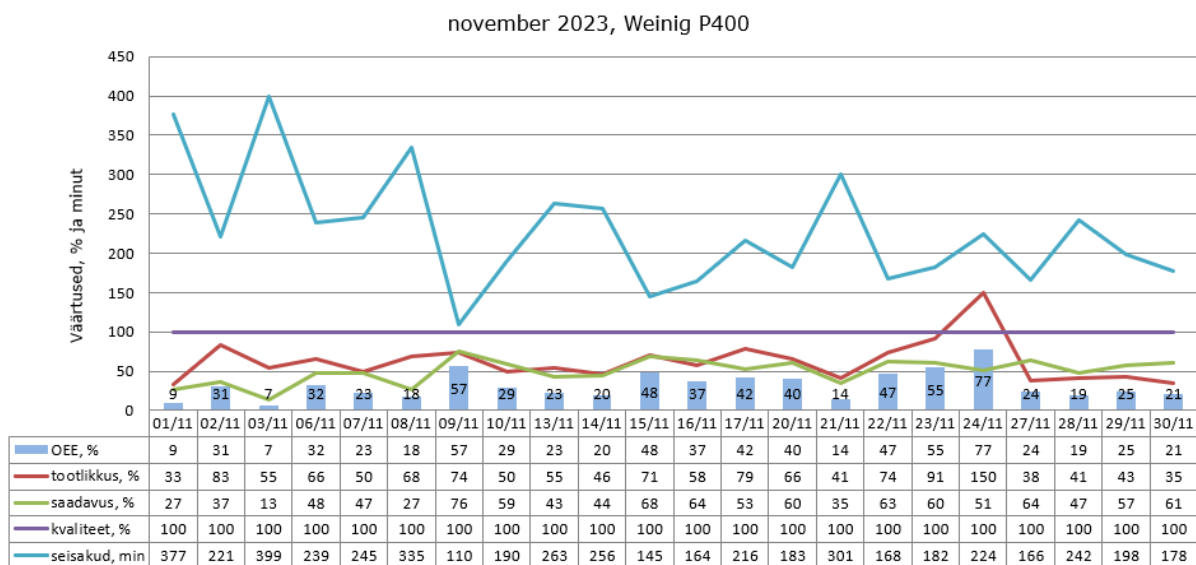
Analüüs, mis hõlmab 2023. aasta novembri ja detsembri kuud (Tabel 4), järgnes vahetult seadmepargi uuendusele, kus oktoobrikuu alguses asendati vana hõõvelpink uue *Weinig Powermat 400* pingiga. Arvestades, et uus seade oli antud perioodi alguses olnud töös vaid ühe kuu, võib eeldada, et masina seadistamine, töötajate kohanemine ja väljaõpe olid veel lõpule viimata. Selle üleminekuperioodi mõjusid peegeldavad madalamad tõhususnäitajad, mis on kooskõlas ootustega õppimis- ja kohanemisfaasi suhtes.

Antud perioodil oli registreeritud 35 tööpäeva. Novembris, 22 tööpäeva jooksul, oli hõõvelduspingi *Weinig P400* *OEE* 32%. Planeerimata seisakute keskmine aeg oli 266 minutit päevas, moodustades kuu kokkuvõttes 49% tööajast. See tähendab, et produktiivse tööaja osakaal oli 51%. Detsembris, 13 tööpäeva jooksul, paranes *OEE* keskmiselt 39%-ni ning planeerimata seisakuid esines keskmiselt 171 minutit päevas, mis viitab 37% ajast seisakutele, andes 63% ajast efektiivseks tööks.

Tabel 4. Hõõvelduspingi *Weinig Powermat 400* tootlikkuse ja seisakute protsentuaalne võrdlus, november ja detsember 2023

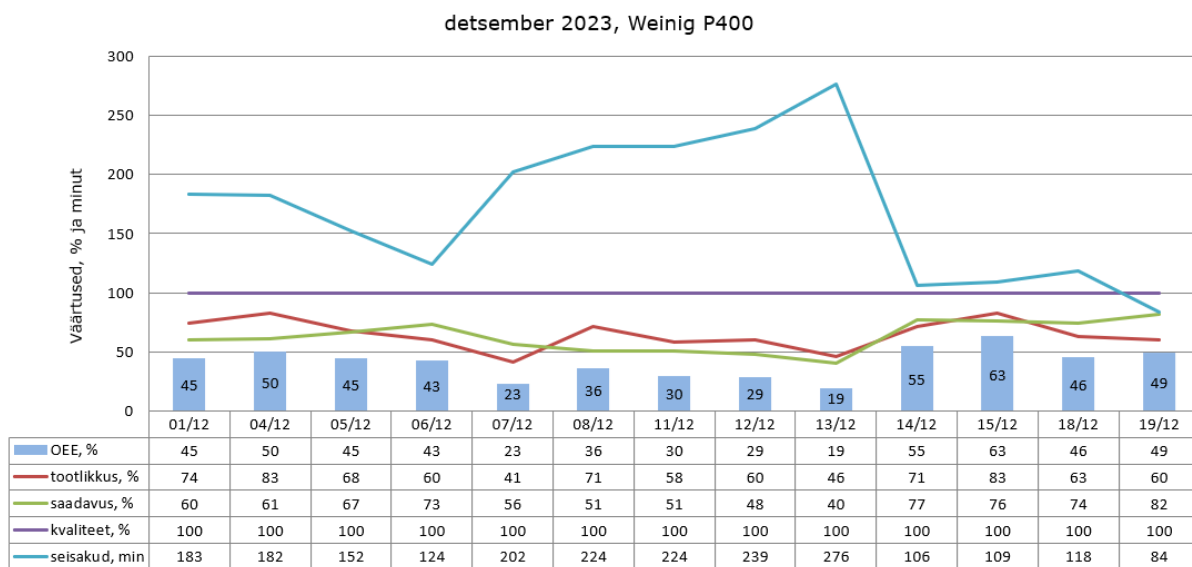
Kuu	Tootlikkus, %	Saadavus, %	Kvaliteet, %	OEE, %	Seisakud, %
november	62	50	100	32	49
detsember	60	58	100	39	37

Novembrikuu tootmisgraafiku (Joonis 6) analüüs näitab pikki seisakuid ja madalaid *OEE* näitajaid, mis viitab sellele, et töötajad on alles kohanemisjärgus uue masinaga.



Joonis 6. Weinig P400 dünaamika, november 2023 [koostatud autori poolt]

Detsembrikuu tootmisandmete analüüs (Joonis 7) näitab, et tootmisprotsesside seisakute kestused on eelmise kuu andmetega võrreldes vähenenud ja OEE näitajate kasvu. Need muutused viitavad sellele, et töötajate kohanemis- ja õppimisprotsess uue seadmega on toimunud tõusvas trendis.



Joonis 7. Weinig P400 dünaamika, detsember 2023 [koostatud autori poolt]

2.6 Probleemi määratlemine

Probleemi määratlemise ajatelje esimene aste hõlmab eelnevat hõõvelduspinkki *GauJing GL-930*, mida iseloomustasid selle keerukus ja seadistamiseks kuluv aeg. Ettevõtte arengustrateegiana leiti lahendus uue hõõvelduspinki soetamise näol. See kujutab endast mitte üksnes investeringut ettevõtte tulevikku, vaid ka töötajate töötingimuste

parandamise suunal, lihtsustades nende igapäevaseid ülesandeid ja vähendades nende ajanõudlikkust.

Teisel ajatelje astmel kerkib esile, nii varasema kui ka praeguse hõõvelduspingi, madal *OEE* ja planeerimata seisakute põhjuste ebaselgus. Seisakute põhjuste tuvastamine on keeruline, kuna *Global Reader* programmi andmed on puudulikud, jättes seisakute täpsed põhjused teadmata. Tööpäeva jooksul sisestatud tehtud tööde sissekannetest ilmneb vaid, kas seisakud on seotud tööpingi seadistamisega, kuid iga tegevuse täpne ajakulu jääb määramata.

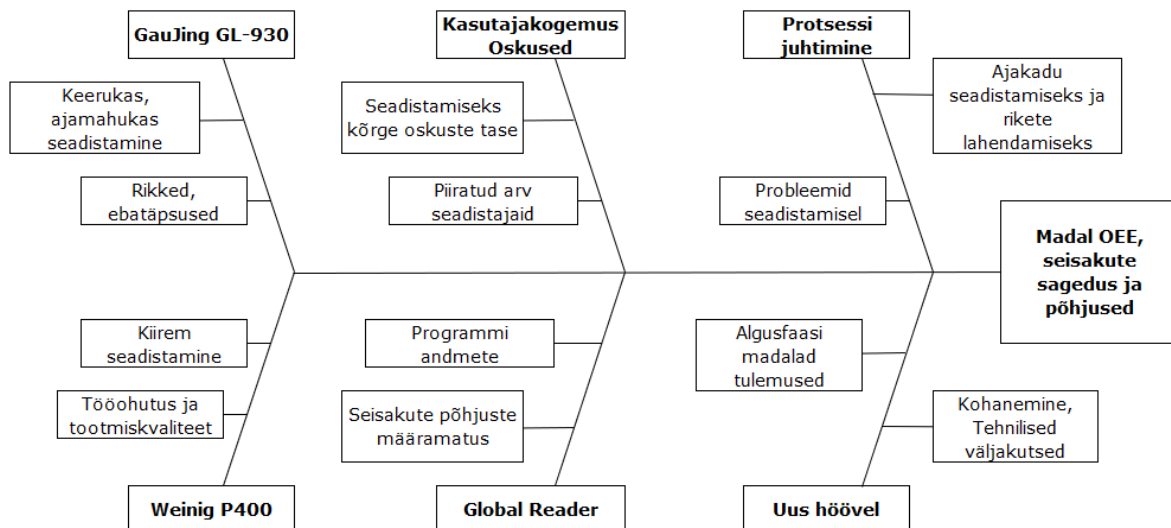
Kolmandaks probleemiks, mis osaliselt kattub eelmisega, on ettevõtte tegevjuhi seatud eesmärk saavutada hõõvelduspingi kasutamise efektiivsuse stabiilne näitaja 70% tasemel. See tähendab, et ülejäänud 30% tööpäevast (460 minutist) on ette nähtud seadistusele, logistikale, koristamisele, sissekannete tegemisele ja muule. Eelnevast analüüsist selgus, et hetkel saavutatud *OEE* näitajad jäävad vahemikku 32–39%. On oluline märkida, et 2023. aastal täheldatud madalamad tulemused peegeldavad uue masina kasutuselevõtu algfaasi, millega kaasnesid kohanemiskõhnad ja tehnilised väljakutsed.

2.7 Põhjus–tagajärg diagramm

Antud alapeatüki eesmärk on andmete analüüsi kaudu tuvastada probleemid, mille lahendamine aitab saavutada lõputöö eesmärki.

Põhjus–tagajärg diagrammi kasutamise valik selles uurimuses on teadlik ja strateegiline. Autor lähtus asjaolust, et see meetod on teoorias tuntud oma võime poolest aidata visualiseerida ja süstematiseerida probleeme ning nende juurpõhjust. Lisaks on antud diagrammi kasutamine kooskõlas *Lean Six Sigma*–meetodiga, mis keskendub pidevale parendamisele ja efektiivsuse suurendamisele, tuvastades ja kõrvaldades raiskamise ning parandades protsessi.

Autori arendatud visuaalne struktuur (Joonis 8) aitab saavutada sügavama arusaamise probleemidest ja nende juurpõhjustest, mis on mõjutanud tootmise efektiivsuse näitajaid ja seisakuid.



Joonis 8. Põhjus–tagajärg diagramm [koostatud autori poolt]

Diagrammi ülemise osa probleemiallikele leiti lahendused. Autor keskendub edasises töös kahele olulisele probleemiallikale, mis on tuvastatud diagrammi alumises osas. Esiteks viib ta läbi põhjaliku analüüsi *Weinig P400* seisakute põhjuste kohta, et mõista nende juurpõhjusti ja leida võimalikke lahendusi. Teiseks plaanib autor *Global Reader* programmi täiendada, eesmärgiga parandada andmete täpsust ja usaldusväärsust.

3 TIMMITUD TOOTMISE TEOORIA RAKENDAMISE VÕIMALUSED ETTEVÕTTE X HÖÖVELDAMISE PROTSESSI EFEKTIIVSEMAKS MUUTMISEL

Selle peatüki eesmärk seisneb uurimismetoodikate selgitamises ja vaatlustulemuste analüüsil. Analüüsitakse vaatlusest saadud tulemusi senise tööprotsessi tulemuslikkust ning tuuakse esile hõõveldamisprotsessi kitsaskohad. Autori poolt antakse soovitusi parendustegevuste kohta, milleks kasutatakse timmitud tootmise tööriistu. Tulemuste analüüsil, parenduste väljatöötamise ja nende kontrolli käigus rakendatakse autori poolt *DMAIC*- mudelit.

3.1 Materjal ja metoodika

Lõputöö raames rakendatakse andmete kogumiseks ja analüüsiks nii kvalitatiivset kui ka kvantitatiivset uurimismetoodikat. Juhtumianalüüsi raames rakendatakse autori poolt andmeanalüüsi, et uurida minevikus toimunud sündmusi, ning vaatlusmeetodit, mis keskendub olevikus aset leidvatele protsessidele ja käitumisele. Uurimus keskendub puiduhõõveldamise tööprotsessi analüüsimisel, käsitledes seadme *OEE* taseme mõõtmist ja planeerimata seisakute ajalist analüüsi. Tuginedes vaatluste tulemustele, viib lõputöö autor läbi põhjaliku analüüsi ja formuleerib ettepanekud, kuidas parendada puiduhõõveldamise efektiivsust ettevõttes X.

Juhtumiuuringud (*Case Study*) võivad toetuda nii kvalitatiivsete kui ka kvantitatiivsete andmete analüüsile ning sageli ühendavad mõlema andmetüübi tugevusi ühes uurimuses. See on uurimisstrateegia, mis võimaldab põhjalikult analüüsida konkreetseid sündmusi, isikuid, programme või tegevusi, hõlmates nende täielikku konteksti ja olulisi omadusi. Selline uurimus kogub ajaliselt piiratud nähtuste kohta põhjalikku teavet, kasutades erinevaid andmekogumise viise. See on lähenemine, mis eeldab uuritava fenomeni vaatlemist selle loomulikus kontekstis ja aitab mõista selle sisemisi protsesse. [24]

Kvalitatiivne uurimismeetod rakendab andmete analüüsimisel induktiivset lähenemist, mis hõlmab eripäraste vaatlusandmete põhjal tekkivate üldistuste, mustrite või teooriate kujundamist. Teisisõnu, uurija lähtub konkreetsetest andmetest, et jõuda üldisemate järeldusteni. Kvantitatiivne analüüs eristub selle poolest, et tugineb deduktiivsele strateegiale, testides kindlaksmääratud hüpoteese vastu objektiivseid, numbrilisi andmeid, eesmärgiga teooriaid kinnitada või ümber lükata. [24]

Töökoha vaatlus, nii otsene kui ka kaudne, viitab tööprotsessi põhjalikule analüüsimisele, kus dokumenteeritakse olulised tegevused, kasutatavad vahendid ja kulunud aeg. Selline

lähenemine sobib eelkõige lühiajaliste ja korduvate töötsükklitega ametite puhul. Vaatlus võib toimuda, seistes tööprotsessi kõrval ja jälgides seda otse või kasutades kaamerat, ilma otsekontakti töötajaga. [4]

Osaleva vaatluse kontekstis paigutatakse uurija unikaalsesse positsiooni, kus ta tegutseb korraga nii vaadeldava grupi aktiivse liikmena kui ka analüütikuna. Selle lähenemisviisi puhul ei pruugi uurija täielikult integreeruda grupi igapäevaelu ja suhtlusse, ent tal on siiski võimalus grupi tegevustes osaleda. [25]

Lõputöö raames teostatud hõõveldusprotsessi analüüs toimus vaadeldava ettevõtte tavapärasel töökeskkonnas. Uurimistöö autor osales vaatlustes isiklikult, täites ettevõtte paralleelselt ka igapäevaseid ametikoha ülesandeid, nagu näidiste valmistamine ja tööpinkide seadistamine ning nende kasutamise õpetamine. Oluline on rõhutada, et kuigi vaatluse all olnud tööpink ei kuulunud otseselt autori igapäevaste tööülesannete hulka, oli tal võimalus aktiivselt suhelda nii antud masina operaatorite kui ka hõõvliosakonna juhatajaga. See võimaldas saada sügavamaid teadmisi ja arusaamu tööpingi kasutamisest ja sellega seotud väljakutsetest, ilma et autor oleks sekkunud selle seadistamisse või juhtimisse.

Vaatlused viidi läbi juhuslikkuse alusel neil hetkedel, mil autoril avanes võimalus viibida oma tööülesannete täitmise kõrvalt samas osakonnas. Iga vaatlus sisaldas kogu tööpäeva sees toimuvat ja kokku oli neid kolm, mille peamine eesmärk oli tuvastada planeerimata seisakute põhjused. Autor registreeris vaadeldud protsessid esmalt käsikirjaliste märkmetena, seejärel digitaliseeris need ning viis läbi andmeanalüüsi, lisades omapoolsed tõlgendused. Saadud informatsiooni põhjal toob autor välja parendusettepanekud, mille eesmärk on vähendada raiskamist ja tõsta hõõveldusprotsessi efektiivsust.

3.2 Tööaja vaatluse tulemused

Tuginedes kolmele vaatluspäevale, kus jälgiti hõõveldamise tööprotsessi, avaneb võimalus tuvastada ja analüüsida seisakute sagedust, kestust ning nende põhjuseid. Autori poolt koostatud vaatluste protokollid on väljatoodud lisades (Lisa 1), (Lisa 2) ja (Lisa 3). Sel viisil saab mitte ainult identifitseerida protsessis esinevaid kitsaskohti, vaid ka pakkuda välja konkreetseid meetmeid, mille abil on võimalik tõsta tööprotsessi üldist efektiivsust ja vähendada ajakulu, mis ei too lisaväärtust.

3.2.1 Protsessi osalised ja etapid

Esimesena loetleb autor vaadeldava protsessi osalised ja etapid:

1. Hõõveldusosakonna juhataja saab töökäsu vahetusemeistrilt.

2. Vastavuses töökäsuga, koordineerib hõõveldusosakonna juhataja või tema assistent lõikuripeade ettevalmistustööd teraruumis.
3. Kui puitmaterjali logistika hõlmab õue ladustamisala, annab vahetusemeister töökäsu tõstukijuhile, eesmärgiga korraldada materjali transpordi hõõvlile lähimasse puhvertsooni.
4. Siselogistika korraldus, mis hõlmab materjali transpordi eest hoolitsemist puhvertsoonist töötlemiskohta, on antud hõõvlioperaatori, tema assistendi või vahetusemeistri vastutusalasse.
5. Hõõvli seadistamine töökäsu nõuete kohaselt.
6. Materjali töötlemise etapp vastavalt etteantud spetsifikatsioonidele, mis on määratud töökäsus.
7. Valmistoodangu märgistamine (pakilehe täitmine) ja kiletamine. Seejärel logistika korraldamine ettenähtud laotalasse ja registreerimine arvutis on viimased sammud protsessis.

3.2.2 Protsessi osad

Protsessi osade analüüs võimaldab paremini mõista, kuidas sisendid transformeeritakse komponentideks. Järgnevalt toob autor välja tootmisprotsessi kolm põhilist osa:

1. Sisendid – toormaterjal (puitmaterjal), ressursid (elektrienergia) ja informatsioon (töökäsk) , mis on vajalikud protsessi alustamiseks.
2. Hõõveldamine – töötlemiseoperatsioon, mis muudab sisendi komponentideks.
3. Väljundid – komponendid, mis tulenevad töötlemisprotsessist ja on järgmise protsessi sisendiks.

3.2.3 Väärtuslisavad lisavad tegevused

Tootmisprotsessis on oluline eristada tegevusi, mis lisavad tootele otseselt väärtust, kuna just need etapid määravad lõpptoodangu väärtuse ja kvaliteedi klientide silmis. Järgnevalt loetleb autor konkreetseid tegevusi, mis on suunatud väärtuse lisamisele puitmaterjali töötlemise protsessis:

1. Puitmaterjali hõõveldamine – hõõveldamine vastavalt tellimusele on otsene väärtus klientidele.
2. Markeerimine – toote markeerimine vastavalt kliendi nõuetele, mis aitab tuvastada ja jälgida iga toodet.
3. Logistika ettenähtud laotalasse - õigeaegne ja täpne toodangu (hõõveldatud puit) transport ladustamisalasse, et saaks tagada toote kättesaadavuse ja jõudluse.

3.2.4 Väärtust mitte lisavad tegevused

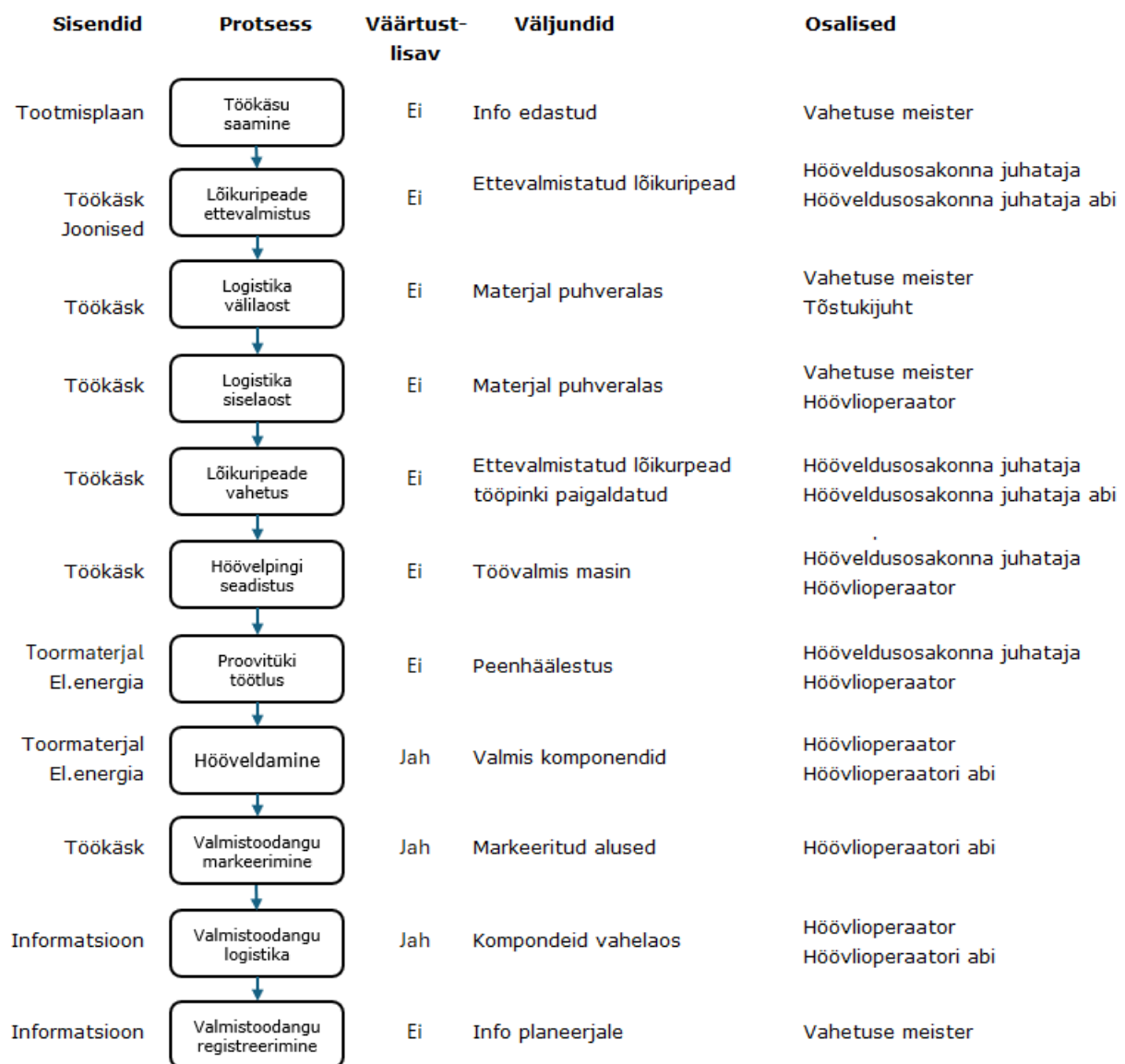
Alljärgnevalt toob autor välja tegevused, mis ei lisa otseselt väärtust, kuid on siiski osa tootmisprotsessist:

1. Töökäsu saamine – tootmisprotsessi ettevalmistava faasi oluline osa. Ehkki töökäsu saamine on fundamentaalne samm tootmisprotsessi alustamiseks, ei lisandu selles etapis veel tootele otsene väärtus.
2. Materjali logistika tööpingini – hõõveldatava materjali (toormaterjal) transportimine ladustamisalast hõõvelpingini on protsessi logistiline samm. See on vajalik tootmiseks, kuid ei lisanda selle tegevuse käigus veel tootele otsest väärtust.
3. Lõikuri peade ettevalmistamine ja hõõvli seadistamine vastavalt töökäsule – ettevalmistus ja seadistamine on eeltingimus tootmise alustamiseks, kuid sellel etapil ei toimu veel toote väärtuse suurenemist.
4. Toodangu registreerimine arvutis – dokumenteerimine ja registreerimine on oluline jälgitavuse ja kvaliteedikontrolli seisukohast, kuid see administratiivne tegevus ei suurenda otseselt toote väärtust.

3.2.5 Protsessi skeem

Lean-tootmise põhimõtete rakendamine hõõveldamise protsessi kaardistamisel, *DMAIC*-mudeli analüüsi etapis, aitab tuvastada ja kõrvaldada raiskamist, optimeerides seeläbi kogu tootmisprotsessi.

Järgnevalt esitleb autor, vastavalt vaatluste tulemusena, enda poolt koostatud hõõveldamise protsessiskeemi (Joonis 9). See koosneb eelnevatest alapeatükkides käsitletud protsessi etappidest ja osalistest, jagades tegevused väärtuslisavateks ja mitte väärtuslisavateks ning sisenditeks ja väljunditeks. Skeemi visuaalne väärtus võimaldab mõista kogu protsessi ning selle komponentide vastastikust mõju ja tähtsust tootmisahelas.



Joonis 9. Hööveldamise protsessiskeem [koostatud autori poolt]

3.2.6 Seisakute kategoriseerimine

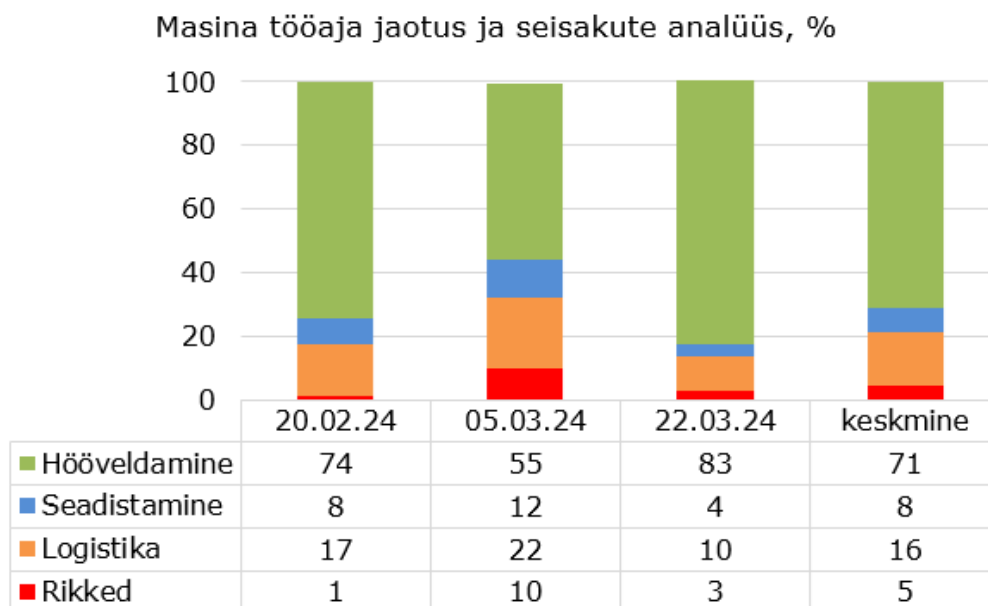
Keskendudes puiduhööveldamise protsessile, on oluline tegevusi täpselt klassifitseerida, et mõista nende mõju protsessi tõhususele. Autor jagab tegevuste kategooriad kolmeks, et need oleksid selgemalt mõistetavad. Järgnevalt tuuakse välja tegevuste jaotus, et eristada hööveldamise protsessi jooksul esinevaid tavapäraseid ja erakorralisi tegevusi:

1. Peamine tegevus – hööveldamine.
2. Toetav tegevus – höövelpingi seadistamine, materjali logistika, komponentide markeerimine ja kiletamine, höövelpingi hooldus.
3. Erakorraline tegevus – höövelpingi rikete parandamine, muu tehnika tõrke parandus.

Protsessi analüüsi käigus tuvastas autor konkreetsed seisakute põhjused, mida saab kategoriseerida järgmiselt:

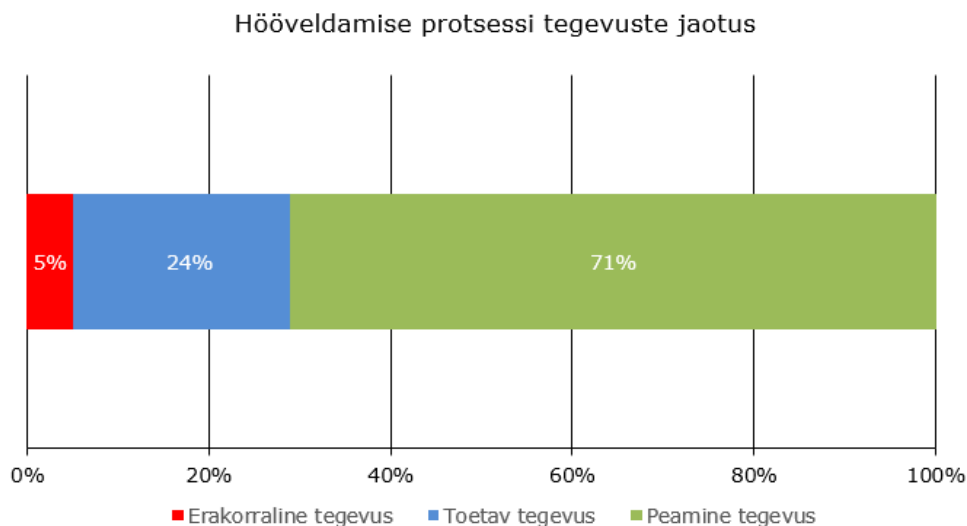
- Hooüvellingi seadistus – toetav tegevus;
- Komponentide hooüveldamine – peamine tegevus;
- Rikked/seisakud – erakorraline tegevus;
- Materjali logistika (k.a selle otsimine) – toetav tegevus.

Järgnev graafik (Joonis 10) kujutab hooüvellingi protsentuaalset tööaja jaotust ja seisakute põhjuseid kolmel erineval vaatluse kuupäeval: 20. veebruar, 5. märts ja 22. märts. Esitatud on keskmised väärtused kõikide vaatluspäevade kohta. Hooüvellingi tööaja jaotus ja seisakute põhjused on jagatud neljaks kategooriaks: hooüveldamine, seadistamine, logistika ja rikked.



Joonis 10. Hooüvellingi tööaja jaotust ja seisakute põhjuseid [koostatud autori poolt]

Järgmisena on esitatud analüüs, mis kategoriseerib kolme vaatluse käigus täheldatud tegevusi nende kuulumise järgi hooüveldamise protsessi peamiseks, toetavaks ja erakorraliseks tegevuseks. See jaotus aitab mõista, kuidas erinevad tegevused mõjutavad üldist tootmiserfektiivsust ja ressursikasutust. Tegevuste osakaalu võrdlev protsentuaalne jaotus on visualiseeritud graafikul, kasutades nende osakaalu arvutamiseks aritmeetilist keskmist (Joonis 11).



Joonis 11. Tegevuste osakaalu võrdlev jaotus [koostatud autori poolt]

Puiduhööveldamise protsessi uurimine *Lean*-tootmise perspektiivist nõuab iga tegevuse rolli ja nende liigitamise sügavuti mõistmist. On oluline eristada, kas tegemist on peamise tegevusega, toetava tegevusega või erakorralise tegevusega. See diferentseeritud lähenemine edendab protsessi efektiivsuse kasvu läbi raiskamise minimeerimise. Lisaks pakub see detailse ülevaate tegevustest, mille optimeerimine annab olulise panuse tootlikkuse ja kvaliteedi parandamisse.

3.3 Timmitud tootmise rakendamise ajendid

Alampeatükist 3.2.6 selgus, et erilist märkimist väärivad rikked ja logistika, kus vaatluspäevadel toimunud etappide kestvused varieeruvad eri päevadel, viidates protsessi ebajärjekindlusele ja parendamise vajadusele. Autor toob välja vaatlusel ilmnenud logistika probleemide põhused:

- Materjali ladustamine on korraldatud viisil, mis nõuab töötajatel läbida ligikaudu 200 meetrit edasi-tagasi liikumist materjali saamiseks, mis on asub teise tootmisüksuse osakonnas.
- Materjali leidmisel ilmneb täiendav raskusaste, kuna vajalikud materjalialused on sageli varjatud teiste aluste taha, mis takistab kohest juurdepääsu ning pikendab otsinguaega.

Lisaks tugineb autor oma pikaajalisele töökogemusele ettevõttes X, kinnitamaks, et logistika võib olla problemaatiline, eriti kui hõõvliste minev materjal asub väliangaris. Ta toob välja järgmised probleemid:

- Materjalialuste ebasoodsa paigutuse tõttu angaris kulub nende kättesaamisele märkimisväärselt rohkem aega.

- Tõstukijuht, kes vastutab nii tootmispindade materjaliga varustamise kui ka valmis toodangu laadimise eest, on sageli hõivatud viimase ülesandega, mis võib põhjustada viivitusi tootmismaterjali kohaletoimetamisel.
- Vahetusemeister, kes omab nii tõstukijuhilube kui ka vastavat kogemust, oleks teoreetiliselt võimalik materjali tooma minna ajal, kui tõstukijuht on koorma laadimisega hõivatud. Praktikas see aga ei õnnestu, kuna teine, väiksem tõstuk on samuti kasutuses ja suurema tõstukiga ei ole võimalik angaari kitsastes oludes manööverdada.

Vaadeldud perioodil registreeritud rikete hulgas oli kaks peamist põhjust, milledeks olid ettevõtte X puruärastussüsteemi funktsioneerimise häired ning välilaos liigse niiskusega kokku puutunud materjal. Puruärastussüsteemi häireid esineb üldjuhul harva ning need on enamasti lühiajalised, kuuludes ettevõtte mehhaaniku vastutusalasse. Teisalt on niiskuse tõttu mõjutatud puitmaterjali probleemid seotud sellega, et materjal kiilub hõõveldamise protsessis masinasse kinni, mida soodustavad nii materjali paisumine kui ka vähenenud libisemisomadused.

Seadistuse protsent jääb suhteliselt stabiilseks, kuid siiski on see üks ala, kus *Lean*-põhimõtete rakendamine võib protsessi efektiivsust suurendada. Timmitud tootmise keskmes on pidev parendamine ja raiskamise minimeerimine, mistõttu seadistusaja lühendamine ja seadistusprotsesside optimeerimine võivad kaasa tuua olulisi ajalisi kokkuhoiuvõimalusi. Fookusesse võttes seadistuste planeerimise ja standardiseerimise, on võimalik vähendada seisakuaegu ning suurendada masinate tööaega ja tootmisvõimsust.

Autori nägemuse kohaselt võib eelneva analüüsi kokkuvõttel tuvastada, et timmitud tootmise rakendamise peamised ajendid on logistiliste protsesside optimeerimise ning seadistusprotsesside standardiseerimise ja efektiivsuse parandamise vajadus. Logistikaga seotud probleemide esile kerkides ilmneb selge vajadus süsteemsete parenduste järele, et tagada materjalivoogude sujuvus ja tõhusus. Seadistusprotsesside optimeerimine ja standardiseerimine on üliolulised tootmisprotsessi üldise tõhususe parandamisel. Autori arvates on mõistlik rakendada neid meetmeid, eriti timmitud tootmise edukaks ja jätkusuutlikuks rakendamiseks.

3.4 Global Reader

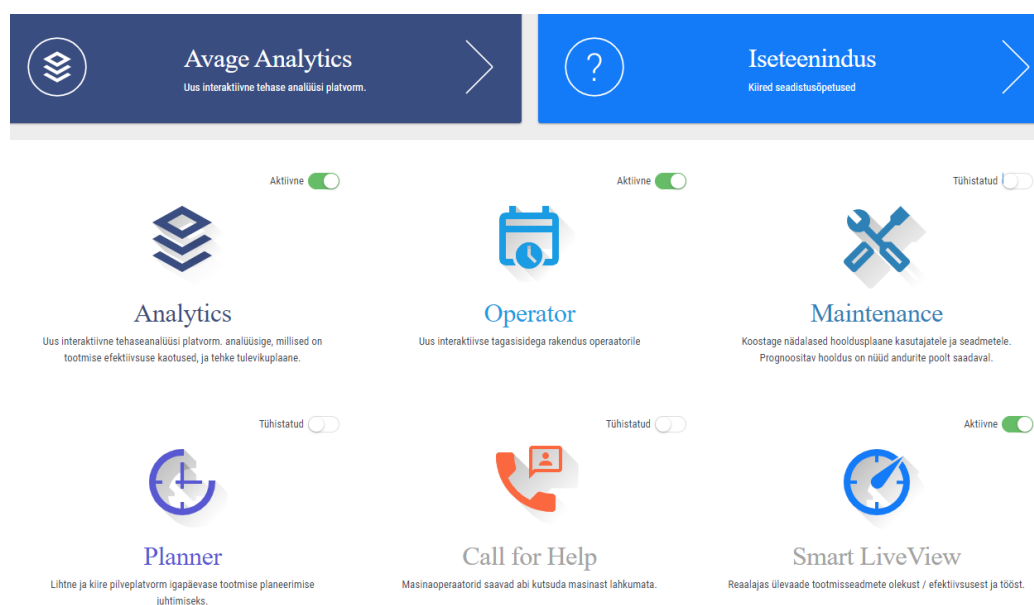
Ettevõttes X on kasutuses tootmislahenduste tarkvara *Global Reader*, mis kogub tootmisprotsesside kohta andmeid, andes ülevaatlikuma arusaama tootmises toimivast. Antud tarkvara andurid on ühendatud kuue olulisema tootmises asuva tööpingiga, mis on antud ettevõtte tootmise selgrooks. Nende masinate toodangu maht on oluline näitaja

kogu tootmisplaani täitmise juures ning edasiste tootmisprotsesside fundamentaalseteks alustaladeks.

3.4.1 Ettevõttes kasutatava programmi tutvustus ja võimalused

Tarkvaralahenduse võtmekomponendiks on andmete kogumine tootmisest, mis võimaldab saada sügavama arusaama sellest, kuidas tegelik tootmisjõudlus erineb planeeritust. Andmeanalüüsil on oluline roll, võimaldades süsteemselt analüüsida nii reaajas kui ka ajaloolisi andmeid. See on kriitilise tähtsusega tootmisprotsesside efektiivsuse ja optimeerimise seisukohalt.

Antud programmis on kuus sektsiooni (Joonis 12), millest Ettevõttes X kasutatakse kolme, milledeks on Analüüs, Operaator ja Realaja andmed (*Smart Live View*). Autori poolt läbiviidud andmete põhjalikul analüüsimisel ja vaatlusel ilmnes, et kuigi Operaatori sektsiooni ei kasutata, on selle potentsiaal väärtuslik. Kui seda sektsiooni rakendada, avarduks võimalus detailsema ülevaate saamiseks tootmisprotsessi eri etappidest ning selle käigus tehtud tegevustest. Lisaks võimaldaks see tuvastada ja dokumenteerida tootmisprotsessi konkreetseid sündmusi, nagu masina seadistamist, logistikat või rikkeid, mis võiks olla hiljem järelpäringute aluseks. Eelkonfigureeritud valikud, mille võib tootmisjuht või vastutav isik süsteemi sisestada, annavad võimaluse jälgida igat protsessi etappi ja mõõta nende kestusi.



Joonis 12. *Global Reader* programmi sektsioonide jaotus [kuvatõmmis programmist]

Realaja andmete (*Smart Live View*) sektsioon võimaldab saada reaajas ülevaade tootmisseadmete efektiivsusest ja tööst läbi nutiseadme. Ettevõttes X on loodud nutiteleri

ühendus meistrite toa seinale, et planeerijatel, tootmisjuhil ning sel hetkel toas viibivatel osakonna meistritel oleks reaajas ülevaade tootmises toimuvast.

Analüüsi sektsioon pakub võimalust jälgida seadme *OEE* taset, vaadelda katkestuste andmeid, tootmisstatistikat ja vahetuste andmeid. Tõhus ja kiire andmekogumise protsess lubab andmeanalüüsi kaudu tuvastada tootmisprotsessi kitsaskohti, mille lahendamine aitab kulutusi vähendada ning tootlikkust ja kasumlikkust suurendada.

Lisaks on võimalus tarkvarasüsteemi halduri poolt seadistada konkreetse masina töödeldavate komponentide standardkiirused, mida mõõdetakse jooksva meetri minuti (jm/min) kohta. See tagab täpsema tootmise jälgimise, kui operaator valib süsteemis töökäsu alusel vastava toote töötlemisprofiili, sest igal profiilil on määratud kiirused, mis on vastavuses puiduliigi ja profiili keerukusastmega.

3.4.2 Programmi täiendamine ja potentsiaal

Lõputöö raames avanes autoril võimalus suhelda tarkvaraprogrammi pakkuva ettevõttega, mis haldab reaajas ühendust klientidega, kes kasutavad nende teenuseid. Koostöös tarkvarafirmaga sai autor esialgse väljaõppe programmi kasutamiseks ja haldamiseks, omandades elementaarsed oskused kohandada süsteemi vastavalt ettevõtte spetsiifilistele eesmärkidele ja vajadustele.

Lõputöös kajastatud analüüsi põhjal korrigeeris autor hõõveldamise protsessi, sisestades tööpingi jaoks programmis kõikidele töötlemisprofiilidele vastavad normkiirused. Autor täpsustas samuti vahetuste algus- ja lõpuajad, tagamaks tegevuste õigeaegse mõõtmise. Varasemad seaded olid osutunud ebatäpseks, millele ei olnud eelnevate tootmise muudatuste käigus tähelepanu pööratud. Sellest tulenevalt esines hõõveldamise protsessi andmetes vigasid. Näiteks olukordades, kus programmi andur alustas lugemist kell 6 hommikul, kuid tegelik tööpäev algas kell 8, tekkis kahe tunni võrra vähem andmeid. Samuti lõppes loendamine kaks tundi enne tegeliku tööpäeva lõppu, mis põhjustas programmi aruannetes töödeldud materjali koguse alahindamise võrreldes tegelikkusega. Selliste täpsustuste tegemine on vajalik hõõveldamise protsessi efektiivsuse adekvaatseks hindamiseks ja parenduste edukaks rakendamiseks.

Ühe vaatluspäeva, 22.03.2024, jooksul kogutud andmete näitel tegi autor programmis sissekanded, et esitleda kogutud teabe ulatust ja programmi potentsiaali. Nendeks andmeteks olid korrektne töötlemiskiirus, seisakute põhjused ning nende kestus. Andmete dokumenteerimine programmis võimaldab anda usaldusväärset teavet tootmisprotsessi hetkeseisundi kohta ning toetab *Lean*-tootmise filosoofiat, mille eesmärk on töövoogude pidev parendamine ja raiskamise minimeerimine.

Programmis täidetud seisakute põhjused ja kommentaarid (Lisa 5) on hea näide olukorrast, kuidas operaator peaks antud sektsiooni täitma, et saada täpsem ülevaade seisakute põhjustest ning kommenteerimine annab võimaluse neid täpsustada. Tänu operaatori poolt täidetud informatsioonile moodustub ülevaatlik histogramm, mis esitab erinevate katkestuste kestused minutites. Graafikul on kujutatud kategooriad, mis iseloomustavad tööpäeva jooksul esinevaid katkestusi (Lisa 6).

Järgnev graafik (Lisa 7) annab visuaalse ülevaate hõõveldamisprotsessi jälgimisest tööpäeva lõikes, kujutades tootlikkuse ja saadavuse protsente, mis mõlemad aitavad kujundada seadme OEE taset. On oluline märkida, et kvaliteedi näitaja on automaatselt määratud sajabrotsendiliseks, arvestades, et materjali kvaliteedisorteerimine toimub tootmisahela järgmistes etappides. Samuti on näha seisakud ja töövood konkreetsetel ajaperioodidel. Tootlikkuse indikaatoriks on toote läbimiskiirusena fikseeritud 10 jm/min.

Autori näide programmi täiendamisel, tuginedes kuvatõmmistelt nähtud andmetele, kajastub mitme olulise uuenduse rakendamises, mis on kooskõlas *Lean*-tootmise põhimõtetega. Suurenes tootlikkus, korrigeeriti töötlemiskiirust ja sisestati seisakute kestused. Sellised täpsustused parandavad tootmisprotsessi jälgitavust ja aitavad selgemalt määratleda tööaja kasutust, mis on oluline tootmise tõhususe hindamisel ja edasiseks parenduseks.

Sellel on osaliselt lahendatud üks kahest alapeatükis 2.6 defineeritud probleemist, mis seisnes *Global Reader* programmi täiendamises, eesmärgiga tagada kogutavate andmete suurem täpsus ja usaldusväärsus. Järgnevate meetmete ja soovitude osas, antud programmi rakendamise kohta, annab autor ülevaate alapeatükis 3.6.

3.5 Timmitud tootmise rakendamise tulemused ja analüüs

Alapeatükis 3.3 selgus, et timmitud tootmise peamised ajendid rajanevad kahele mõjutajale, milleks on logistiliste protsesside optimeerimine ning seadistusprotsesside standardiseerimine ja efektiivsuse parandamine.

Selles alapeatükis analüüsib autor, kuidas logistika ja seadistuse optimeerimine on aidanud ettevõtetel parendada hõõveldamisprotsessi üldist tõhusust. Samuti analüüsitakse, millised on olnud peamised väljakutsed ja õppetunnid timmitud tootmise rakendamisel. Eesmärk on mõista, millised on timmitud tootmise rakendamise peamised tulemused. Läbi selle analüüsi loob autor aluse edasisteks soovitusteks ja strateegiateks timmitud tootmise põhimõtete tõhusaks rakendamiseks.

3.5.1 Rakendatud parendusmeetmed hõõvli seadistuse timmimiseks

Hõõveldamise protsessis viidi sisse hõõveldamisingi seadistuskaartide süsteem (Joonis 13). Antud süsteem esindab märkimisväärset sammu efektiivsuse suunas, pakkudes kohandatud seadistuskaarte iga töödeldava profiili jaoks. Nimetatud seadistuskaardid sisaldavad olulisi andmeid hõõvelduspingi optimaalseks seadistamiseks, sealhulgas profiili ja joonise nimetust, etteande kiirust ning lõikuripeade spindlite unikaalseid koode.

Weinig						
Profiilnimi						
Joonis						
		Etteanne: 18-22 m/min				
laud	alumine spindel	ülemine spindel	ülemine spindel	vasak spindel	parem spindel	alumine spindel
						
Üleval	S-230	S-202	S-243	P-4	P-3	S-258
	S-257 S-255	S-256 S-244	S-249	P-28	P-35	

Joonis 13. Hõõvelduspingi seadistuskaart [koostatud autori poolt]

Lisaks on spindlite koodid ja vastavad lõikuripea väärtused visuaalselt markeeritud lõikuripeadele (Joonis 14). Spindlite koodid on suuniseks lõikuripea paigaldamiseks hõõvli vastavatesse spindlisse ja väärtused on võrdsed konkreetse lõikuripea parameetriga programmis, mis annab aluse proovidetaili töötlemiseks. Sellise süsteemi rakendamine võimaldab kiiremat ja täpsemat ülevaadet konkreetse toote valmistamiseks kasutatavatest lõikuripeadest, minimeerides eksimuse riski, mis tuleneb vale lõikuripea paigaldamisest ebasobivasse spindlisse. Selline lähenemine mitte ainult ei tõhusta tootmisprotsessi, vaid ka toetab jätkuvat kvaliteedi parandamist ja protsessi optimeerimist. Autori arvates on sellise süsteemi rakendamine tõhusaim viis tootmise kvaliteedi ja efektiivsuse parendamiseks. See võimaldab kiireid ja täpseid seadistusi, mis on fundamentaalselt tähtsad vigade minimeerimiseks ja operatsioonide sujuvamaks muutmiseks.



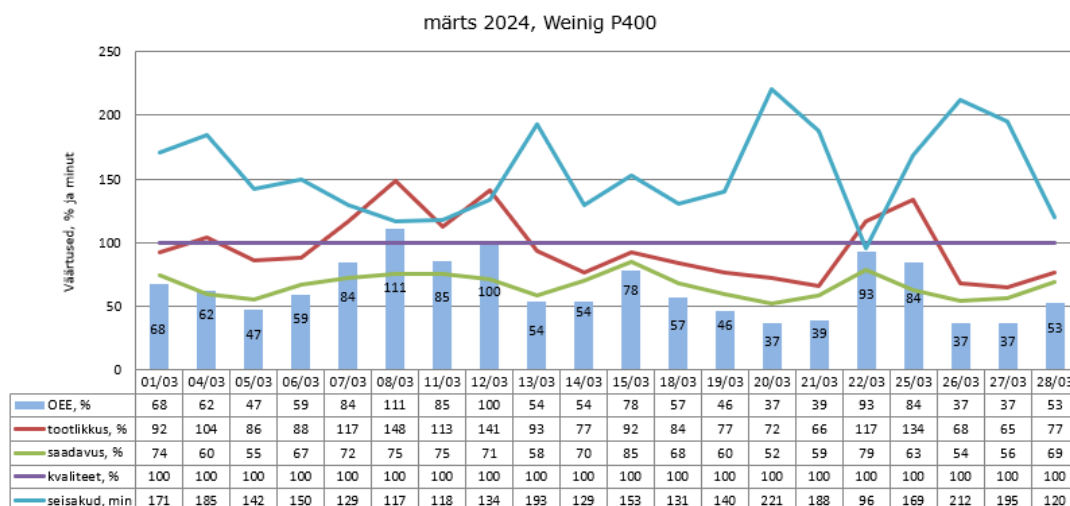
Joonis 14. Hõõvelduspingi markeeritud lõikuripea [koostatud autori poolt]

Antud lahendus on juba edukalt kasutusele võetud ja seda täiendatakse pidevalt, et vastata tootmise järjest kasvavatele nõudmistele ja keerukusele.

3.5.2 Andmete analüüs ja tulemused

Autor viis lõputöö viimaseks etapiks läbi praktikas rakendatavate protseduuriliste uuenduste hindamise, mille ta oli välja töötanud pärast põhjalikku analüüsi ja parenduste sisseviimist. Tagamaks tingimuste ühtsust, viis autor andmeanalüüsi läbi terve märtsikuu vältel, mis järgnes kahe kuu möödumisele eelmisest analüüsist.

Märtsi kuu graafik (Joonis 15) esitab andmeid, mis annavad ülevaate seadme igapäevasest tootlikkusest. Tulemuste varieeruvus aitab mõista tööpäevade eripärasid. Peamised mõjutajad on töökäsu mahukus ja materjalide käsitlemise keerukus.



Joonis 15. *Weinig P400* dünaamika, märts 2024 [koostatud autori poolt]

Tabelist (Tabel 5) on näha seadme *OEE* taseme näitajaid. Võrreldes eelnevalt analüüsitud kuude põhjal novembris ja detsembris, tõusis enim tootlikkuse näitaja, mida on soodustanud mitmed parendustegurid. Üheks oluliseks teguriks oli *Global Reader* programmi täiendamine, mille käigus vähendati algselt seadistatud masina jõudlust (jm/min), arvestades, et uue tööpingi töökiirused on madalamad võrreldes eelmisega. Teiseks, algfaasis toimus hoovaldamine madalamatel kiirustel, kuid järk-järgult on töötajate enesekindlus suurenenud, mis on võimaldanud masina töökiirust vastavalt tõsta. Kolmandaks oluliseks mõjuriks on seisakute kestus, mida lühemad on seisakud, seda parem on tootlikkuse näitaja, mis omakorda tõstab ka saadavuse näitajat, kuna lühemate seisakute korral on hooval pikemalt töös. *OEE* on tõusnud 39% pealt 64%-ni, mis kajastab 25% suurenemist, rõhutades seeläbi protsessi efektiivsuse ja tootlikkuse olulist paranemist. Samamoodi on näha eraldi väljatoodud seisakute langust 3% võrra.

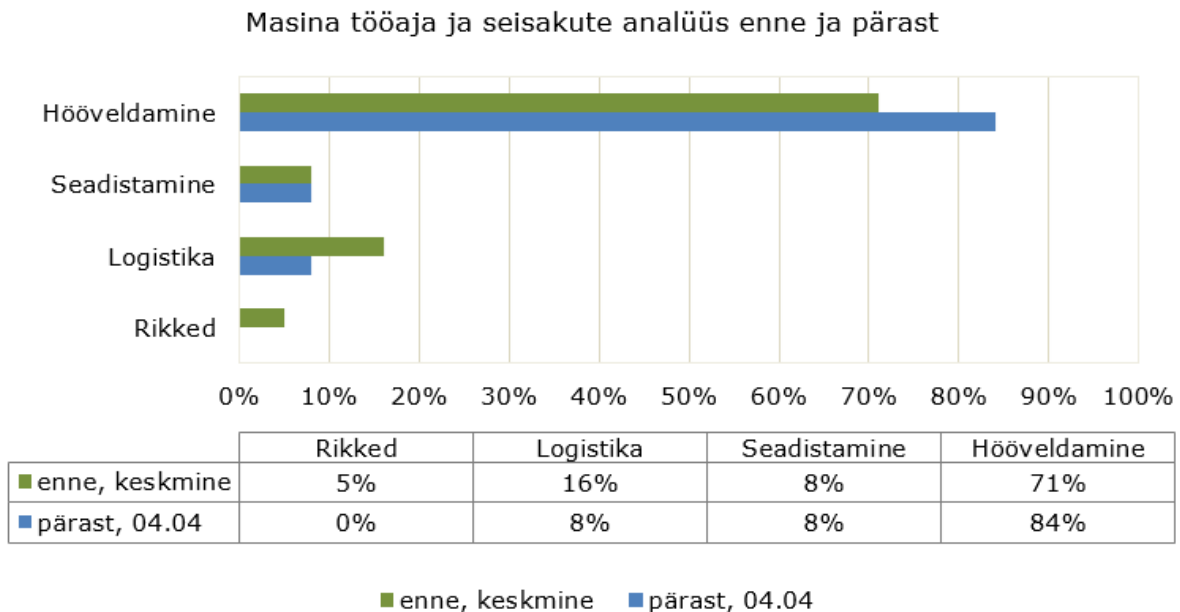
Tabel 5. Hoovalduspingi *Weinig Powermat 400* tootlikkuse ja seisakute protsentuaalne võrdlus, november, detsember 2023 ja märts 2024

Kuu, aasta	Tootlikkus, %	Saadavus, %	Kvaliteet, %	OEE, %	Seisakud, %
november, 2023	62	50	100	32	49
detsember, 2023	60	58	100	39	37
märts, 2024	96	66	100	64	34

3.5.3 Vaatluse tulemused

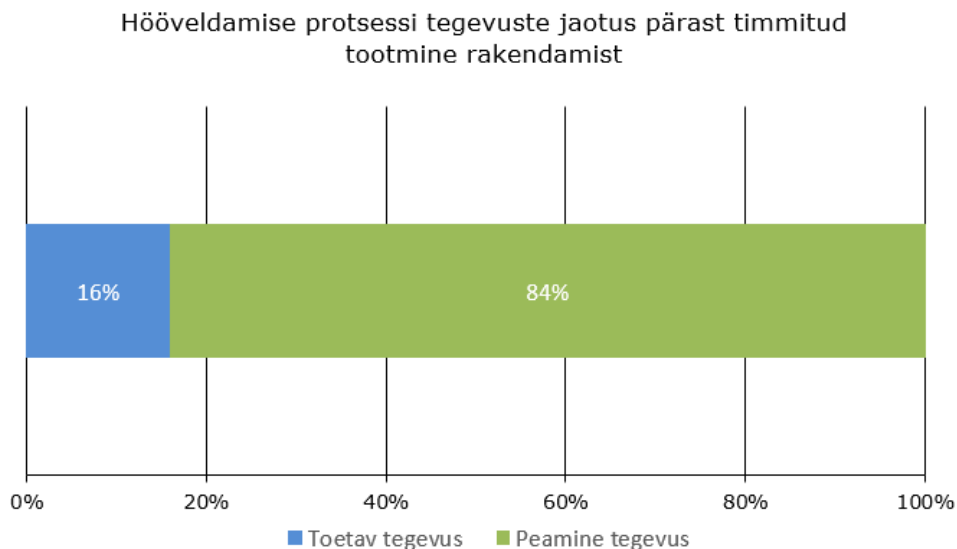
Uuesti läbiviidud tööajavaatluse tingimuseks oli luua lisaks eelnevatele veel üks parendus, milleks oli logistika timmimine, et vähendada ootamisele, otsimisele ja pikematele

vahemaadele sõitmiseks kuluvat aega. Vaatluse protokoll on väljatoodud lisades (Lisa 4). Antud päev sisaldas eelneva töökäsu jätkamist ja uue alustamist. Lahendusena toodi töökäsu põhiselt väliangaarist töötlemiseks vajaminev materjal sisse ladustamisalasse ning järgmise töökäsu põhiselt teisest osakonnast materjalialused hõövli puhveralasse. Tegevuste jaotuses (Joonis 16) on näha parenemist, kui eelneva kolme vaatluse keskmine hõöveldamisele kuluv aeg moodustas kogu tööajast 71% ja logistika 16%, siis seekord olid tulemuselt vastavalt hõöveldamisele kuluv aeg 84% ja logistika 8%.



Joonis 16. Hõövelpingi tööaja jaotus ja seisakute põhjuseid enne ja pärast timmitud tootmise rakendamisel [koostatud autori poolt]

Lean-tootmise filosoofia, mis keskendub raiskamiste minimeerimisele ja protsesside efektiivsuse maksimeerimisele, on suunatud tootmisvõimsuse optimeerimisele ning seisakute ja mitteväärtust lisavate tegevuste vähendamisele. Vaatluspäeval viidi läbi materjali logistika operatsioonid paralleelselt masina töötamisega, kohaldades timmitud tootmise põhimõtteid väliste tegevuste efektiivseks juhtimiseks masina aktiivse töö ajal. Samuti ei tulnud ette ka rikkeid, mis tekitaks seisakut. Tulemuseks oli hõöveldamise protsessi väliste tegevuste osakaalu langus 29%-lt 16%-le ning sisemiste, väärtust lisavate tegevuste, osakaalu kasv 71%-lt 84%-le. Seega timmitud tootmise rakendamise tulemusena tegi hõövel 13% pikemalt tööd, teisisõnu raiskamist oli 13% vähem (Joonis 17).



Joonis 17. Tegevuste osakaalu võrdlev jaotus timmitud tootmise rakendamisel [koostatud autori poolt]

3.6 Järeldused ja autori ettepanekud edaspidiseks

Järeldusena saab eelnevast kokkuvõtlikult öelda, et olulised on: tagasiside olemasolu, peamiste tegevuste paralleelne toimimine toetavate tegevustega ning hõõvli seadistamise lihtsustamine ja kiirendamine. Käesoleva lõputöö analüüs, mille metoodika töötas välja siinse töö autor, kinnitab, et süsteemne fookus nii tagasiside mehhanismidele, protsesside integreerimisele kui ka tehnoloogiliste protsesside parendamisele on fundamentaalne, et saavutada paremaid tulemusi ning edendada ettevõtte kasvu ja arengut.

Antud lõputöö uurimus tõi esile mitmeid logistikaga seotud probleeme ettevõttes X, mille hulka kuulusid materjali kättesaadavuse viivitused, tööprotsesside ebaefektiivsus ning materjali liikumisega seotud suured vahemaad. Vaatlused näitasid selget vajadust optimeerida logistikat, et tõsta tootmise tõhusust ja vähendada tarbetut ajakulu.

Autor alustab ettepanekud edaspidiseks *Global Reader* programmist. Analüüsi tõhustamiseks soovib autor hakata kasutama Operaatori vaadet, mis võimaldab näha, kes töötab ja millist toodet toodeti. Operaatori vaates tuleks ka hakata katkestuste põhjuseid sisestama, et tuvastada ja mõista tootmise ebaefektiivsuse momente. Lisaks tuleks igale katkestusele, olgu see planeeritud või planeerimata, määrata kas kohustuslik kommentaar või piirata katkestuse kestust ajaliselt. Selle muudatuse eduka rakendamise eelduseks on asjakohane koolitus, mida peaks korraldama programmi haldav ettevõtte. Koolituse käigus tuleb operaatoritele ja nende abilistele tutvustada programmi põhifunktsioone ja põhimõtteid, kasutades selleks praktilisi ülesandeid. Lisaks peaks ettevõtte X esindaja rõhutama programmi kasutamise olulisust ja selle potentsiaali ettevõtte arengusse panustamisel. Selline lähenemine on kooskõlas *Kaizen*-filosoofiaga,

mis tähendab pidevat parendamist ja kõigi organisatsiooni liikmete kaasatust aidates kaasa tootmise efektiivsuse ja kvaliteedi tõstmisele.

Järgneva ettepanekuna esitab autor alustada 5S meetodi rakendamist, keskendudes esialgu hõõvelduspingi ümbrusele ja teraruumile. *Lean*-juhtimise ühe levinuima meetodi järkjärguline juurutamine nimetatud piirkondades võimaldab vältida töötajatele tekkivat keerukust ja stressi, mis kaasneks selle meetodi ettevõtteülese rakendamisega. Enne 5S meetodi implementeerimist on kriitilise tähtsusega korraldada sihtrühmadele suunatud koolitused, mille eesmärgiks on tutvustada *Lean*-tootmise põhimõtteid ja filosoofiat. Koolituse käigus tuleb rõhutada, et iga töötaja panus parendusprotsessi mitte ainult ei suurenda tootmise efektiivsust ja kvaliteeti, vaid samuti tõstab töötaja enda professionaalset väärtust. Lisaks, töötamine puhtamas ja paremini organiseeritud keskkonnas parandab üldist tööõhkkonda, muutes selle töötajate jaoks meeldivamaks ja produktiivsemaks.

Kolmanda parendusena pakub autor välja ennetava meetme seadmete seisakute, konkreetset hõõvli, vältimise või nende lühendamise. Selle saavutamiseks rõhutatakse masinate efektiivse hooldussüsteemi (*TPM*) väljaarendamise tähtsust, mis hõlmab regulaarset remonti ja hooldust ning masinate seisukorra järjepidevat jälgimist. Nimetatud strateegia eesmärk on proaktiivselt tuvastada ja ennetada võimalikke rikkeid, tagades seeläbi seadmete sujuva toimimise. Hooldusprotsessi võtmelemendiks on operaatori kohustus toetada rutiinset hooldust, mis hõlmab masina süstemaatilist inspekteerimist ja puhastamist. Lisaks soovitatakse välja töötada kindlaksmääratud hooldusgraafik, mis põhineb masina tehnilistel andmetel ja tootja soovitusel. Selle graafiku alusel viiakse läbi mehaaniku poolt perioodilised ülevaatused ja hooldused, et tagada seadme optimaalne töökindlus ja pikendada selle eluiga, vastavalt masina tehnilistele andmetele ja soovitudele masinatootja poolt.

Lean-tootmise põhimõtete kohaselt keskendutakse väärtust mitte lisavate tegevuste, nagu ootamine ja tarbetu liikumine, elimineerimisele. Töö käigus ilmnes, et siselogistilised takistused, näiteks materjalide otsimine ja pikkade vahemaade läbimine, on märkimisväärselt mõjutanud tööefektiivsust. Sellest tulenevalt pakub autor välja siselogistiku ametikoha loomise. See ametikoht hõlmaks logistiliste protsesside juhtimist, tööpõhise materjalivoo optimeerimist ja materjali ettevalmistuse koordineerimist tööpinkide teenindamiseks. Siselogistiku spetsialisti ametikoha loomine võimaldaks paremat materjalivoo korraldust, tõhustaks koordinatsiooni ja suhtlust erinevate osakondade vahel ning suurendaks tootlikkust. Materjali logistikaga seotud ajakao minimeerimine aitaks suurendada tootmisprotsessi kiirust ja efektiivsust.

Lõpetuseks teeb autor ettepaneku pöörata tähelepanu hõõveldusseadme seadistamise täiustamisele, mis kujutab endast loogilist, ent töömahukat jätku käesolevale lõputööle. Töö käigus tehtud parenduste alusel on võimalik edasi liikuda seadistusaegade optimeerimisele, protseduure standardiseerides ja lihtsustades. Sellises etapis on võimalik kaasata protsessi ka abitegevused, mis toetavad järgmist seadistusetappi, näiteks lõikuripeade ettevalmistamine ja nende transportimine tööpingi juurde vahetult enne töö lõpetamist, minimeerides seeläbi ajakulu liikumistele. Selline lähenemine on osa tuntud *SMED (Single-Minute Exchange of Die)*-metoodikast, mis on üks paljudest *Lean*-tootmise efektiivsust suurendavatest tööriistadest. Lisaks hõlmab antud parendus ka investeeringuvajadust, mis seisneb uute terade ja lõikurpeade soetamises, et toetada kiiremat ja paindlikumat seadistusprotsessi. Praegu kasutatava süsteemi piirang seisneb selles, et kuigi sama lõikurpead võib kasutada mitmes töövoos, nõuab profiili muutus terade väljavahetamist, mis omakorda toob kaasa aja- ja ressursikulu.

KOKKUVÕTE

Lõputöö oli ajendatud vajadusest uurida ja lahendada planeerimata seisakute põhjused puidu hõõveldamise protsessis, et tõsta seeläbi hõõvelduspingi *OEE* taset. Autor kogus andmeid, analüüsis protsesside kitsaskohti ja töötas välja parandusmeetmed, et tõsta protsessi efektiivsust ja vähendada raiskamist, tuginedes *Lean*-filosoofia põhimõtetele.

Kvantitatiivne analüüs, mis viidi läbi ettevõtte X hõõvelduspinkide puhul, tuvastas perioodiliselt madalad seadme kasutamise efektiivsuse näitajad ja pikad seisakute ajad. Lisaks tuvastati *Global Reader* programmis seisakute dokumenteerimata jätmine.

Vaatluste ja analüüsi käigus identifitseeriti peamised takistused efektiivsuses, milleks olid raiskamised logistikale ning uue seadme õppimisele kuluv aeg. Autori poolt rakendatud parandusmeetmete hulka kuulusid *Global Reader* programmi andmete täiendamine, seadistuskaartide kasutuselevõtt ja lõikuripeade märgistamine.

Kontrollfaasis rakendati logistika efektiivsuse tõstmiseks *Lean*-tootmise põhimõtteid, kus hõõveldamisega samal ajal transporditi töötlemisse minev materjal puhvertsooni. Tulemuseks oli, et kontrollfaasi vaatluste järgselt suudeti saavutada 13% parem töötulemus võrreldes eelnevaga, näidates seeläbi hõõvli töömahtude suurenemist.

Kokkuvõttes tõestas autor, et süsteemsete parandusmeetmete ja *Lean*-tootmise põhimõtete rakendamine on suurendanud *OEE* tulemust märkimisväärselt 25%, vähendades samas seisakute arvu 3%. *OEE* näitaja tõus 39%-lt 64%-le on märgatav paranemine. Kuid *Lean*-filosoofia järgi on pidev areng oluline. Seetõttu tegi autor ettepanekuid protsessi edasiseks parendamiseks. Eesmärk on saavutada ja ületada 70% stabiilne *OEE* tase:

- *Global Reader* programmi täiendamine Operaatori vaatega, mis tagab tööprotsesside täpsema jälgimise ja katkestuste analüüsi.
- Rakendada *5S* meetodit, alustades hõõvelduspingi ümbrusest ja teraruumist, aidates luua paremini organiseeritud töökeskkonda, mis tõstab nii tootmise kvaliteeti kui ka töötajate rahulolu.
- Tõhustatud masinate efektiivse hooldussüsteemi (*TPM*) ja kindlaksmääratud hooldusgraafiku väljatöötamine, mis ennetab seisakuid ja pikendab seadmete tööiga.
- Siselogistiku ametikoha loomine, et hallata ja optimeerida materjalivoo protsesse, mis tagavad vajalike materjalide kiire ja õigeaegse kättesaadavuse kõigil tööpinkidel. See roll keskendub materjalide sujuvale ja tõhusale liikumisele läbi tootmisüksuste. Lisaks vähendab ooteaegu ning suurendab sellega tootmisüksuste jõudlust ja tulemuslikkust.

- Pöörata tähelepanu hõõveldusseadme seadistamise täiustamisele, mis kujutab endast loogilist, ent töömahukat jätku käesolevale lõputööle. Töö käigus tehtud parenduste alusel on võimalik edasi liikuda seadistusaegade optimeerimisele, protseduure standardiseerides ja lihtsustades läbi *SMED*–metoodika.

Toetudes *Six Sigma DMAIC*–modelile viis autor läbi eduka protsessiparenduse, kinnitades mudeli efektiivsust praktilises rakenduses, mis on tõestatud mudeli tõhusust ka varasemates akadeemilistes uurimustöodes. Antud lähenemisviis võimaldas süstemaatiliselt tuvastada ja kõrvaldada tootmise ebatõhususe põhjused, tõstes seeläbi protsessi üldist toimivust.

Autori arvates on *Six Sigma DMAIC*–mudeli kasutamine tootmisprotsesside parandamisel äärmiselt oluline ja rakendatav, sest see pakub tööstussektori spetsialistidele, kes soovivad protsesside efektiivsust tõsta, väärtuslikke teadmisi ja praktilisi lahendusi. Mudeli rakendamine võimaldab mitte ainult ebatõhususe põhjuste süsteemset tuvastamist ja kõrvaldamist, vaid ka protsesside jõudluse märkimisväärsel tõhustamist. Autor tõstab siiski esile, et mudeli tõhusus ei sõltu üksnes sellest endast. Mudeli edu määravad organisatsiooniline kultuur ja töötajate pühendumus. Pidevad parendustegevused on mudeli edukaks rakendamiseks kriitilised.

SUMMARY

The author chose the Bachelor thesis topic *Improving the Efficiency of Wood Planing: A Case Study of Company X*.

Today's wood industry faces several challenges that require improving efficiency and reducing environmental impact. One critical aspect that directly affects resource use and productivity is the efficiency of wood planing.

The choice of the thesis topic was driven by company X's need to enhance their planer machine's overall equipment effectiveness (*OEE*) to a consistent 70%. This need arises from the company's expanding product portfolio, which necessitates frequent resetting and adjustment for various products.

The company's general manager has set the *OEE* value at 70%, as this value will support the pursuit of flexibility and efficiency in production while accounting for the complexity and diversity of the processes. The remaining 30% of each workday will be reserved for other stages of the wood planing process, which are critical for the smoothness of the production.

The author has focused on two research questions:

- What are the main reasons for unplanned production stops, and how have these affected the low *OEE* in the wood planing process?
- Which incisive remedies are available for the planer machine's planer to improve its setup and effectiveness?

The data analysis conducted by the author has shown:

- The low value of *OEE* and the reasons for unplanned production stops are unclear. The identification of the stops is complicated, as the data from the program *Global Reader* is inconsistent; thus, the exact reasons for the stops remain unknown.
- The *OEE* values from November and December in 2023 fall between 32–39%. It should be noted that the low values in 2023 reflect the beginning of the utilisation of the new machine – the observed lowered values indicate the difficulties of adjusting and technical challenges. The previous planer machine was characterised by its complexity and the time needed for adjustments. As a development strategy, the company purchased a new modern planer machine that is easier to learn, takes less time to reset and adjust, and assures a more precise processing.

The author created an *Ishikawa* (a cause and effect) diagram, and its analysis resulted in focusing on two main problems:

1. The in-depth analysis of the production stops on the *Weinig P400* planer machine.
2. Improvement of the program *Global Reader* to ensure a higher accuracy and reliability of the data.

The author conducted on-site observations on three different days, gathering arithmetic values, which enabled categorising the distribution of the machine's worktime and production stops into four distinct categories: wood planing 71%, setup 8%, logistics 16%, break-downs 5%.

The primary activity of the wood planing process is the planing itself, accounting for 71% of the activities. The supporting activities constitute 24%, and emergency activities make up the remaining 5%. While recapping the analysis, the main incentives for *Lean*-production were optimising logistical processes, standardising the setup and adjustment, and increasing efficiency.

One remedy the author used was supplementing the data in *Global Reader*. Using the data collected during one day of on-site observations, the author added entries to the program to present the scope of the collected data and the program's potential. These entries also gave answers as visual representations of the questions from the data analysis regarding the reasons for production stops and which information needs to be provided by the machine's operator in the program's field.

The author also introduced setting cards, which include essential data for the optimal setup of the planer machine, including the names of the profile and figure, feed rate, and the unique codes of the cutter head spindles. The spindle codes and concurring cutter head values are also visible on the cutter heads. The spindle codes are guidelines for installing the cutter head on the concurring spindles of the planer machine. The values equal the parameters of the cutter head in the planer machine's program, providing the basis for processing the sample piece.

Analysis of the new data from March gave the *OEE* value of 64%, an upward trend of improvements compared to the previous 32-39%.

Then, the author conducted the last on-site observation, during which 84% of the time was spent on wood planing, 8% on setup, and 8% on logistics. Thus, the primary activity of the wood planing process is the planing itself, accounting for 84% of the activities. The supporting activities make up the remaining 16%. The previous results were wood planing 71% and the remaining 29%.

Although the obtained rise of *OEE* from 39% to 64% indicates an improving trend, the *Lean*-philosophy emphasises the need for continued development. Thus, the author gave

additional suggestions for pursuing further development to achieve and exceed the stable 70% value of *OEE*:

- The program *Global Reader* requires complementing with the Operator view, enabling a better overview of the processes and analysis of production stops.
- Implementation of the 5S method, starting from the surroundings of the planer machine and the cutter head room, thus ensuring a well-organised work environment that will enhance production quality and employee satisfaction.
- Develop total productive maintenance (*TPM*) and a fixed maintenance schedule, as this will help prevent production stops and increase the lifetime of the machines.
- Creation of a logistics specialist position to manage and optimize material flow processes, ensuring quick and timely availability of necessary materials at all workstations. This role focuses on smooth and efficient movement of materials through production units, reducing waiting times, and thereby enhancing the performance and productivity of the production units.
- Turn more attention to improving the setup of the planer machine. This would be a logical yet labour-intensive continuation of this thesis. The improvements from the thesis would enable moving forward to optimising setup time by standardising the processes and simplifying using the SMED method (*Single Minute Exchange of Die*).

The author has successfully enhanced the process based on the *Six Sigma DMAIC*-model, confirming the model's efficiency in a practical application, as previous academic research has proven. This approach enabled the systematic identification and elimination of the reasons for inefficient production, thus increasing the efficiency of the whole process. The thesis supports the importance of the *Six Sigma DMAIC*-model and its applicability during the improvement of production processes, offering valuable knowledge and practical solutions for industry specialists who aim to increase the efficiency of the processes.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] J. Riives, „*Uuenduslik tootmine*”. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2011.
- [2] J. P. Womack, D. T. Jones, ja D. Roos, „*Masin, mis muutis maailma (kuidas timmitud tootmine tõi pöörde ülemaailmsetesse autosõdadesse)*”. Harjumaa: kirjastus „Külim”, 2010.
- [3] M. L. Emiliani ja P. J. Seymour, „*Frank George Woollard: forgotten pioneer of flow production*”, *J. Manag. Hist.*, kd 17, nr 1, lk 66–87, jaan 2011, doi: 10.1108/17511341111099538.
- [4] T. Otto, „*Nüüdistootmine*”. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2023.
- [5] A. L. Boyer, „*9 Wastes of Lean Manufacturing*”, Tulip. Vaadatud: 13. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://tulip.co/blog/9-wastes-of-lean-manufacturing/>
- [6] T. D. Jones ja J. P. Womack, „*Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation*”. Simon and Schuster, 2010.
- [7] Punam, „*History of Six Sigma : The Journey Towards Success in 2024*” [Updated], Henry Harvin Blog. Vaadatud: 13. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.henryharvin.com/blog/history-of-six-sigma/>
- [8] T. Pyzdek ja P. A. Keller, „*The Six Sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*”, 3rd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2010.
- [9] J. Musyoka, „*How General Electric saved billions using Six Sigma methodology*”. Vaadatud: 13. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/how-general-electric-saved-billions-using-six-sigma-john-musyoka>
- [10] M. L. George, „*Lean Six Sigma*”. Dallas TX 75240: George Group, 2002.
- [11] J. S. Oakland, „*Total Quality Management and Operational Excellence*”, 4th tr. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN. 711 Third Avenue, New York, NY 10017: Routledge, Taylor & Francis Group, 2014.
- [12] R. Warrier, „*12 Powerful Six sigma Tools for Streamlined Manufacturing*”, Henry Harvin Blog. Vaadatud: 3. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.henryharvin.com/blog/powerful-six-sigma-tools-for-streamlined-manufacturing/>
- [13] J. Riives ja J. Lavin, „*Tootmise korraldamine: õppematerjal kutsekoolidele*”. Tallinn: Innove, 2014.

- [14] P. Muchiri ja L. Pintelon, „*Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion*“, *Int. J. Prod. Res.*, kd 46, nr 13, lk 3517–3535, juuli 2008, doi: 10.1080/00207540601142645.
- [15] P. Jonsson ja M. Lesshammar, „*Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE*“, *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, kd 19, nr 1, lk 55–78, jaan 1999, doi: 10.1108/01443579910244223.
- [16] S. Shingo, „*A Revolution in Manufacturing: The SMED System*“.
- [17] E. Kalle, „*Tootlikkuse kasvu juhtimine ettevõttes*“. Tallinn: kirjastus Külim, 2007.
- [18] J. K. Likker, „*The Toyota Way. 14 management principles from the worlds greatest manufacturer*“. 2nd. McGraw-Hill Education, 2021.
- [19] M. Imai, „*Kaizen, the key to Japan's competitive success*“. Japan: The KAIZEN Institute, Ltd., 1986.
- [20] T. Tering ja Võrumaa Kutsehariduskeskus, Toim, „*Puittoodete tehnoloogia, loengukonspekt*“. Väimela: Võrumaa Kutsehariduskeskus, 2002.
- [21] Y. Tascioglu, „*Profile Independent Wood Moulding Machine*“, Loughborough University, 2006.
- [22] „*Catalogs | GAU JING MACHINERY INDUSTRIAL*“. Vaadatud: 25. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.gaujing.com/en/catalog>
- [23] „*WEINIG Moulder POWERMAT 400 buy second-hand*“. Vaadatud: 25. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.hoechsmann.com/8900>
- [24] L. Õunapuu, „*Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteaduses*“. Tartu Ülikool, 2014.
- [25] T. ühiskonnateaduste instituut, „*Vaatlus*“. Vaadatud: 3. märts 2024. [Online]. Available at: <https://samm.ut.ee/vaatlus>

Lisa 1. Esimene vaatlus

Vaatus, hõõvelpink Weining P400				
Kuupäev: 20.02.24				
Algusaeg: 08:00				
Lõppaeg: 16:30				
Kellaeg	Tegevus	Läbiviija	Kirjeldus	Märkused
08:00	Masina seadistus	Operaator	Üleminek uuele tootele, täielik ümber seadistus.	k.a. abitööline, terameister ja hõõvliosakonna juhataja.
08:35	Proovi detail	Operaator	Möödetakse vastavust joonisele	
08:37	Tootmine	Op. ja abi		
09:07	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
09:10	Tootmine	Op. ja abi		
09:15	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
09:18	Tootmine	Op. ja abi		
09:42	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
09:46	Tootmine	Op. ja abi		
10:00	Paus I			Esimene puhkusepaus, kestus 10 min
10:13	Tootmine	Op. ja abi		
10:17	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
10:19	Tootmine	Op. ja abi		
10:37	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
10:39	Tootmine	Op. ja abi		
10:56	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
10:59	Tootmine	Op. ja abi		
11:12	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
11:15	Tootmine	Op. ja abi		
11:38	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
11:41	Tootmine	Op. ja abi		
11:50	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
12:00	Lõuna			30 min.
12:30	Tootmine	Op. ja abi		
12:58	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
13:02	Tootmine	Op. ja abi		
13:04	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
13:07	Tootmine	Op. ja abi		
13:38	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
13:40	Tootmine	Op. ja abi		
13:43	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
13:46	Tootmine	Op. ja abi		
14:10	Seisak	Op. ja abi	Äratõmbe seisak.	
14:14	Tootmine	Op. ja abi		
14:19	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
14:30	Paus II	Op. ja abi		Teine puhkusepaus, kestus 10 min
14:40	Tootmine	Op. ja abi		
14:45	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
14:50	Tootmine	Op. ja abi		
15:10	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
15:18	Tootmine	Op. ja abi		
15:34	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
15:37	Tootmine	Op. ja abi		
15:51	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
15:56	Tootmine	Op. ja abi		
16:08	Lõpetamine	Op. ja abi	Koristamine, sissekanne arvutisse.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
16:30	Tööpäeva lõpp			

Lisa 2. Teine vaatlus

Vaatlus, hõõvelpink Weining P400				
Kuupäev: 05.03.24				
Algusaeg: 08:00				
Lõppaeg: 16:30				
Kellaeg	Tegevus	Läbiviija	Kirjeldus	Märkused
08:00	Kontrollimine	Operaator	Kontrollitakse proovitüki vastavust joonisele	Operaator
08:05	Tootmine	Op. ja abi		
08:30	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
08:33	Tootmine	Op. ja abi		
08:35	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
08:38	Tootmine	Op. ja abi		
09:54	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m. Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt. Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
10:00	Paus I			Esimene puhkusepaus, kestus 10 min
10:10	Seadistus	Op. ja abi	Profiil sama, materjali laius muutub	
10:43	Seisak	Operaator	Materjali defekt	Eemaldab defektsed toorikud.
10:55	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
10:55	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
11:16	Tootmine	Op. ja abi		
11:25	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m. Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 55m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt. Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
11:28	Otsimine	Op. ja abi	Materjali otsimine teisest osakonnast.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt. Majasisene log.
11:47	Tootmine	Op. ja abi		
12:00	Lõuna			30 min.
12:30	Tootmine	Op. ja abi		
12:48	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
12:50	Tootmine	Op. ja abi		
12:52	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m. Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
12:52	Seadistus	Op. ja abi	Profiil sama, materjali laius muutub	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
13:10	Tootmine	Op. ja abi		
13:17	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 55m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
13:17	Otsimine	Op. ja abi	Materjali otsimine teisest osakonnast.	
13:28	Tootmine	Op. ja abi		
13:42	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 15m. Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
13:48	Tootmine	Op. ja abi		
13:51	Seisak	Op. ja abi	Tera probleem, asendatakse terad	Lõikuriipa viimine teraruumi ja tagasi 60m, jalgsi.
14:11	Tootmine	Op. ja abi		
14:30	Paus II	Op. ja abi		Teine puhkusepaus, kestus 10 min
14:40	Tootmine	Op. ja abi		
14:45	Seisak	Op. ja abi	Korrigeeritakse masinas seadistust	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina.
15:00	Tootmine	Op. ja abi		
15:45	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m. Materjali loendamine vastavalt tööksule	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt, seiskavad masina. Väikesed kogused erinevaid detaile, jälgida tk'd.
16:15	Koristamine	Op. ja abi	Koristamine, sissekanne arvutisse.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
16:30	Tööpäeva lõpp			

Lisa 3. Kolmas vaatlus

Vaatlus, hõõvelpink Weining P400				
Kuupäev: 22.03.24				
Algusaeg: 06:00				
Lõppaeg: 14:30				
Kellaaeg	Tegevus	Läbiviija	Kirjeldus	Märkused
06:00	Masina seadistus	Operaator	Kontrollitakse proovitüki vastavust joonisele	
06:13	Tootmine	Op. ja abi		
06:28	Seisak	Operaator	Materjal liiga märg, kiilub masinasse kinni	Toorik eemaldatakse masinast, praagi kasti.
06:32	Tootmine	Op. ja abi		
06:40	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
06:42	Tootmine	Op. ja abi		
06:49	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
06:53	Tootmine	Op. ja abi		
07:00	Seisak	Operaator	Materjal liiga märg, kiilub masinasse kinni	
07:04	Tootmine	Op. ja abi		
07:26	Seisak	Operaator	Materjal liiga märg, kiilub masinasse kinni	
07:32	Tootmine	Op. ja abi		
08:00	Paus I			
08:10	Tootmine	Op. ja abi		
08:12	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
08:14	Tootmine	Op. ja abi		
08:41	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
08:45	Tootmine	Op. ja abi		
09:10	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
09:12	Tootmine	Op. ja abi		
09:18	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
09:22	Tootmine	Op. ja abi		
10:00	Paus II			
10:10	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
10:16	Tootmine	Op. ja abi		
10:54	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
11:00	Tootmine	Op. ja abi		
11:05	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
11:10	Tootmine	Op. ja abi		
12:00	Lõuna			
12:30	Kontroll	Op. ja abi	Mõõtude kontrollimine vastavalt joonisele.	
12:35	Tootmine	Op. ja abi		
12:53	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
12:58	Tootmine	Op. ja abi		
13:20	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
13:24	Tootmine	Op. ja abi		
13:47	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 10m.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
13:51	Tootmine	Op. ja abi		
14:06	Lõpetamine	Op. ja abi	Koristamine, sissekanne arvutisse.	Op.ja abi. tegutsevad paralleelselt.
14:30	Tööpäeva lõpp	Op. ja abi		

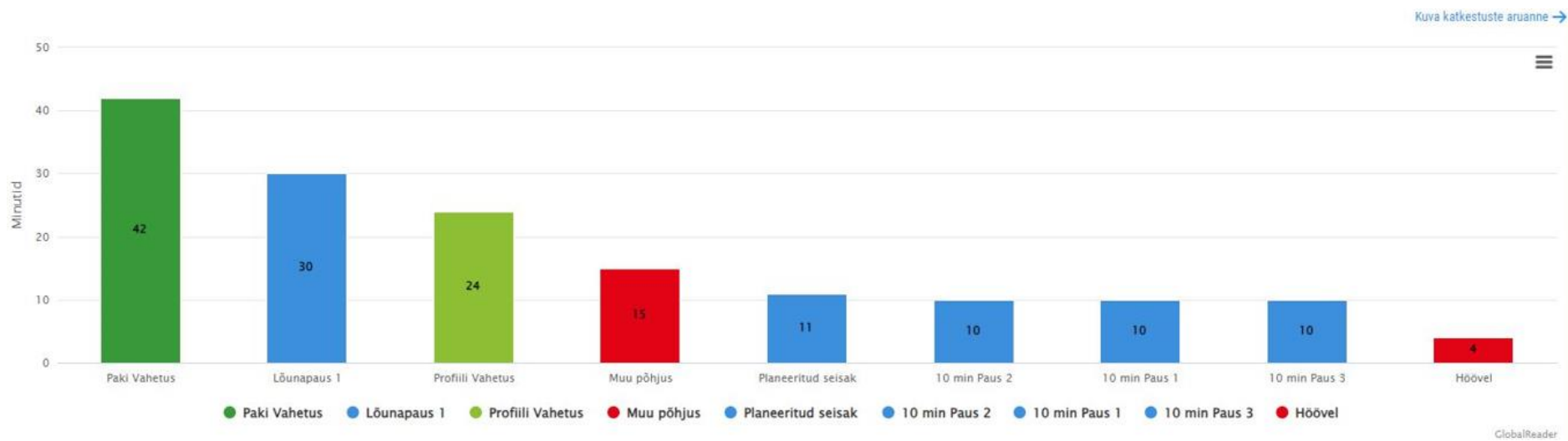
Lisa 4. Neljas vaatlus

Vaatlus, hõõvelpink Weining P400			
Kuupäev: 04.04.24			
Algusaeg: 08:00			
Lõppaeg: 16:30			
Kellaeg	Tegevus	Läbiviija	Märkused
08:00	Kontrollimine	Operaator	Kontrollitakse komponendi vastavust joonisele
08:04	Tootmine	Op. ja abi	
10:00	Paus I		Esimene puhkusepaus, kestus 10 min
10:25	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 25m.
		Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 5m.
10:35	Tootmine	Op. ja abi	
11:25	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 25m.
		Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 5m.
11:45	Tootmine	Op. ja abi	
12:00	Lõuna		30 min.
12:30	Tootmine	Op. ja abi	
13:05	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 25m.
			Valmis materjali pakkimine ja logistika 5m.
13:05	Seadistus	Op. ja abi	Osak. juh. ja op. seadistavad masinat. Osak.juh abi toob
		Osak. juh	lõikuripead. Op.abi teeb logistikat masina juurde.
13:35	Kontrollimine	Operaator	Kontrollitakse proovidetaili vastavust joonisele
13:38	Tootmine	Op. ja abi	
14:00	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 5m.
		Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 5m.
14:05	Tootmine	Op. ja abi	
14:30	Paus II	Op. ja abi	Teine puhkusepaus, kestus 10 min
14:40	Tootmine	Op. ja abi	
15:05	Aluse vahetus	Op. ja abi	Uus alus hõõveldatava materjaliga, logistika 5m.
		Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 5m.
15:11	Tootmine	Op. ja abi	
16:05	Aluse vahetus	Op. ja abi	Valmis materjali pakkimine ja logistika 5m.
			Töökäsk lõpetatud.
16:15	Koristamine	Op. ja abi	Koristamine. Sissekannet arvutisse meistri poolt.
16:30	Tööpäeva lõpp		

Lisa 5. Seisakute põhjused ja kommentaarid

Algus kuupäev	Lõpp	Algusaeg	Lõpuaeg	Põhjus	Tüüp	Kestus (min)	Andur	Kommentaariid	Operaator
22.03.2024	22.03.2024	06:00	06:11	Planeeritud seisak	Planeerimata	11 minutit	Jm	Mõõtude kontrollimine vastavalt joonisele	Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	06:28	06:32	Muu põhjus	Planeerimata	4 minutit	Jm	märg materjal kiilub kinni	Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	06:49	06:53	Paki Vahetus	Planeerimata	4 minutit	Jm	Valmis materjali markeerimine ja kiletamine	Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	07:00	07:04	Höövel	Planeerimata	4 minutit	Jm	Kaitse paigaldamine purupuhke tõttu operaatore kättele	Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	07:26	07:32	Muu põhjus	Planeerimata	6 minutit	Jm	Märg materjal kiilub kinni	Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	07:50	08:00	10 min Paus 1	Korduv	10 minutit	Jm		
22.03.2024	22.03.2024	08:00	08:04	Paki Vahetus	Planeerimata	4 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	08:41	08:45	Paki Vahetus	Planeerimata	4 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	09:18	09:22	Paki Vahetus	Planeerimata	4 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	09:56	10:00	Paki Vahetus	Planeerimata	4 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	10:00	10:10	10 min Paus 2	Korduv	10 minutit	Jm		
22.03.2024	22.03.2024	10:10	10:16	Paki Vahetus	Planeerimata	6 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	10:54	11:00	Paki Vahetus	Planeerimata	6 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	11:05	11:10	Paki Vahetus	Planeerimata	5 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	12:00	12:30	Lõunapaus 1	Korduv	30 minutit	Jm		
22.03.2024	22.03.2024	12:30	12:35	Muu põhjus	Planeerimata	5 minutit	Jm	Mõõtude kontrollimine vastavalt joonisele	Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	12:53	12:58	Paki Vahetus	Planeerimata	5 minutit	Jm		Jaanus Ruut
22.03.2024	22.03.2024	14:06	14:30	Profiili Vahetus	Planeerimata	24 minutit	Jm	paki lõpetamine, markeerimine ja kiletamine. uus töökäsk ja seadistus. profiil jääb samaks.	Jaanus Ruut

Lisa 6. Hõõveldamise protsessi seisakute kategoriseerimine ja ajalised kestused



Lisa 7. Hõõveldamise protsessi efektiivsuse dünaamika ja graafiline määratlus

