

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Tehnoloogia instituut

Mihkel Erich Nigul

LEAN METOODIKA RAKENDAMINE AKTSIASELTS CHEMI-PHARM TOOTMISES

Magistritöö (30 EAP)

Arvutitehnika ja robotika eriala

Juhendajad:
PhD Alvo Aabloo
MSc Andres Oltjer

Tartu, 2023

Resümee / Abstract

LEAN METOODIKA RAKENDAMINE AKTSIASELTS CHEMI-PHARM TOOTMISES

LEAN metoodika baseerub Toyota tootmissüsteemil, mis loodi 20. sajandil Jaapani töötusinsener ja ettevõtja Taiichi Ohno poolt. Taiichi Ohno poolt loodud süsteem oli revolutsioon masstootmises, sest see võimaldas tõsta märkimisväärselt tootmise efektiivsust ja vähendada praaktoodete arvu.

Toyota tootmissüsteem on tänaseni ajakohane, mistõttu on ka käesoleva lõputöö eesmärk Taiichi Ohno meetodite rakendamine kaasaegses tootmisettevõttes. Käesolevas lõputöös uuriti ja rakendati LEAN metoodika tööpõhimõtteid ja automatiseeriti ebaefektiivsed tootmisprotsessid.

Lõputöö praktilises osas teostati villimisliinile parendustöid, kasutades PDCA probleemi lahendamise tsükli. Kõigepealt fikseeriti algseis, uuriti villimisliini tööd ja kaardistati kitsaskohad, leiti probleemide juurpõhjused ja pakuti välja võimalikud lahendused.

Seejärel viidi ettepanekud ellu, analüüsiti parendustööde kasu ettevõttele ja standardiseeriti lõputöö käigus lõputöö praktilises osas arendatud parendused.

CERCS: T125 automatiseerimine, robotika, juhtimistehnika;
T130 tootmistehnoloogia

Märksõnad: LEAN metoodika, protsessid, kulutõhusus, automatiseerimine,
Toyota tootmissüsteem

IMPLEMENTING LEAN METHODOLOGY AT AKTSIASELTS CHEMI-PHARM PRODUCTION FACILITY

The LEAN methodology is based on the Toyota Production System, which was developed in the 20th century by the Japanese industrial engineer and entrepreneur Taiichi Ohno. The new production system enabled to increase the efficiency in the production and reduce defective products multiple times.

Toyota Production System is still up-to-date, and the aim of this thesis is to implement Taiichi Ohno's methods in a modern production company. In this thesis, the working principles of LEAN methodology were investigated and implemented. Also, redundant processes were automatized.

In the practical part of the thesis, improvements were carried out on the filling line based on the PDCA problem-solving cycle. The initial state of the filling line was documented allowing for an in-depth analysis of its operations, identification of bottlenecks, the root causes of the problem and improvement suggestions were formulated.

The suggestions were implemented, the impact of the improvements was analysed and the developed improvements were standardized.

CERCS: T125 Automation, robotics, control engineering;
T130 Production technology

Keywords: LEAN methodology, processes, cost efficiency, automatization, Toyota Production System

Sisukord

Resümee / Abstract.....	2
Sisukord	4
Jooniste loetelu	6
Tabelite loetelu	7
Lühendid	8
1. Sissejuhatus.....	9
1.1. Lõputöö eesmärgid.....	10
1.1.1. Olemasolevate protsesside analüüs	10
1.1.2. Lahenduste ellu viimine	10
1.1.3. Tulemuste analüüsimine	11
1.1.4. Standardiseerimine	11
2. LEAN metoodika.....	12
2.1. LEAN metoodika ajalugu	12
2.1.1. Toyota Tootmissüsteem.....	13
2.2. LEAN metoodika tööriistad	14
2.2.1. Seadme üldine efektiivsus (OEE).....	14
2.2.2. SMED protsessianalüüs.....	15
2.3. Probleemide lahendamine LEAN tootmises.....	17
2.3.1. <i>Plan-Do-Check-Act</i> probleemi lahendamise tsükkel (PDCA)	17
2.3.2. „Viis miksi“.....	18
2.4. Standardiseeritud töö	19
2.4.1. Standardiseeritud töö kaart.....	20
3. LEAN metoodika rakendamine Chemi-Pharmi tootmises	22

3.1.	Algseisu fikseerimine	22
3.1.1.	Asendiplaani joonise loomine	22
3.1.2.	Tootluse leidmine	23
3.1.3.	Kitsaskohtade analüüs	25
3.2.	Lahenduste rakendamine	26
3.2.1.	Villimisliinile uue asendiplaani loomine ja liini liigutamine	27
3.2.2.	Pöördlaua lisamine tootmisliinile, etiketturi ette	28
3.2.3.	Lükkaja ehitamine	29
3.2.4.	Pakendite söötur	33
3.2.5.	Tühja konteineri indikaatorlambi ehitamine	34
3.2.6.	Kaalule koha leidmine	36
3.2.7.	Põrandate joonimine	37
3.3.	Tulemuste valideerimine	37
3.3.1.	Tootlus peale parendustöid	37
3.3.2.	Parendustööde kasu analüüs	38
3.3.3.	Positiivne mõju keskkonnale	39
3.4.	Standardiseerimine	41
3.5.	LEAN metoodika praktilised kogemused ja õppetunnid	43
4.	Kokkuvõte	44
4.1.	Tuleviku väljavaated	45
	Tänuavaldused	46
	Viited	47
	Lihtlitsents	49

Jooniste loetelu

Joonis 1.	Standardiseeritud töö kaardi näidis [20]	21
Joonis 2.	Villimisliini algne asendiplaan	23
Joonis 3.	Teineteisele ette jäävad konveierite mootorid	26
Joonis 4.	Villimisliini uus asendiplaan.....	28
Joonis 5.	Lükkaja pneumaatika- ja elektroonikaskeem.....	30
Joonis 6.	Lükkaja tööpõhimõte	31
Joonis 7.	Lükkaja eestvaates	32
Joonis 8.	Lükkaja pealtvaates	32
Joonis 9.	Pakendite söötmisratas	33
Joonis 10.	Pakendite sööturi tööpõhimõte.....	34
Joonis 11.	Tühja konteineri indikaatorlambi elektriskeem	35
Joonis 12.	Tühja konteineri indikaatorlamp.....	35
Joonis 13.	Kaal tootmisliini peal	36
Joonis 14.	Joonitud alusekoha näidis	37
Joonis 15.	Villimisliini standardiseeritud töö kaart.....	42

Tabelite loetelu

Tabel 1.	Esialgse viiepäevase keskmine tootluse leidmine	24
Tabel 2.	Enim aega võtvad tegevused esimeses SMED analüüsi etapis....	25
Tabel 3.	Peale parendustöid viiepäevase keskmine tootluse leidmine	38
Tabel 4.	Enim aega võtvad tegevused neljandas SMED analüüsi etapis. ...	38
Tabel 5.	Tootluse ja enim aega võtvate tegevuste algseisu ja peale parendustöid võrdlus.....	38

Lühendid

GDPR	Isikuandmete kaitse üldmäärus
IMVP	Rahvusvaheline sõidukite tootmise programm
JIT	Täppisajastatud tootmine
OEE	Seadme üldine efektiivsus
PDCA	<i>PLAN-DO-CHECK-ACT</i> probleemi lahendamise tsükkel
THI	Tarbijahinnaindeks

1. Sissejuhatus

Viimased aastad on Euroopas olnud turbulentsed; sõda Ukrainas, COVID-19 pandeemia ja kõrge inflatsioon on mõjutanud pea igat eurooplast ja kuivõrd Euroopa riigid soovivad kaitsta oma kodanikke, on riigid rakendanud erinevaid meetmeid oma majanduse tugevdamiseks.

Riigid on asunud ettevõtlust rahaliselt toetama, kuid mullused majanduspoliitilised sõnumid on rõhunud Eesti Vabariigi presidendi Alar Karise hinnangul liiga palju hindade reguleerimisele ja liiga vähe konkurentsi tugevdamisele.

Eelkirjeldatud ebavõrdset konkurentsi olukorda teeb veelgi keerulisemaks asjaolu, et masstootmisel võimendatakse ressursse kulutada ebaefektiivsetele tootearendusele, tootmisprotsessidele ja kallile masinapargile. [1] Rahaliste vahendite paigutamine ebatõhusate arenduste, protsesside ja seadmete alla on käesolevaks ajaks toonud tagajärjena juba kaasa kõrge inflatsiooni.

Eesti on olnud teisel kursil ja üks Eesti edu alus on olnud majandusvabadus. Meie kurss on viinud meid ajutiselt raskesse olukorda, sest ajal, kus meie välispartnerid subsideerivad oma majandust hindade all hoidmiseks, kasvavad Eestis hinnad inflatsiooni tõttu. Inflatsiooni mõõdetakse tarbijahinnaindeksiga (THI) ja aastal 2022 oli keskmine THI Euroopa Liidus 9,2% ja Eestis 19,4%. [2]

Võrreldes Eesti inflatsiooni Euroopa Liidu keskmisega on Eestis inflatsioon enam kui 10% võrra kõrgem. Kõrge inflatsiooni tõttu tõusevad tootmiskulud ja Eesti ettevõtted langevad kulude suurenemise tõttu konkurentsist välja.

Käesoleva lõputöö praktiline osa viidi läbi puhastus- ja desinfektsioonivahendeid tootvas Eesti ettevõttes Aktsiaselts CHEMI-PHARM (edaspidi: Chemi-Pharm). 2021. aastal tunnustati ettevõtet aasta innovaatori

tiitliga ja seetõttu on ettevõttel suur soov leida värskeid lahendusi kriisides edukaks toimetulekuks.

Chemi-Pharmi juhtkond on inspireeritud Taiichi Ohno Toyota tootmissüsteemist, mille eesmärk on pidevalt täiustada tootmisprotsesse ja tõsta järjekindlalt tootmiseefektiivsust ja -kvaliteeti. Tulenevalt sellest, et Toyota tootmissüsteem on osa LEAN metoodikast, oli Chemi-Pharm huvitatud LEAN metoodika rakendamisest ka oma tootmises.

Üheks LEAN metoodika põhimõtteks on jaotada kõik protsessid väikesteks sammudeks. See põhimõte muudab automatiseerimise lihtsamaks, sest mida lihtsam on protsess, seda lihtsam on seda protsessi ka automatiseerida. Seetõttu käib LEAN metoodika käsikäes automatiseerimise ja robotikaga.

1.1. Lõputöö eesmärgid

Lõputöö eesmärk oli tõsta efektiivsust Chemi-Pharmi tootmises rakendades LEAN metoodika põhimõtteid arendades efektiivsemaid protsesse, automatiseeritud lahendusi ja parendades töökeskkonda. Lõputöö eesmärgid on jaotatud neljaks alljärgnevalt.

1.1.1. Olemasolevate protsesside analüüs

LEAN metoodika eduka rakendamise ja tulemuste valideerimise eelduseks on algseisu analüüs ja kaardistamine. Selles etapis teostatakse ka juurpõhjuste analüüs ja lahenduste välja töötamine.

1.1.2. Lahenduste ellu viimine

Peale algseisu hindamist alustatakse eelmises etapis leitud lahenduste ellu viimisega. Iga pilootprojekti elluviimisel tuleb arvestada ettenägematute probleemidega ja lahenduste elluviimise etapis leitakse lahendus kõikidele avastatud probleemidele.

1.1.3. Tulemuste analüüsimine

Kolmandas etapis teostatakse parendustöödele analüüs ja võrreldakse tulemusi esialgse seisuga. Tutvustatakse, kas ja millist kasu sai ettevõtte parendustöödest.

1.1.4. Standardiseerimine

Viimases etapis standardiseeriti uued protsessid ja koostati standardiseeritud töö kaart. Protsesse standardiseeritakse, uute harjumuste kinnistamiseks ja püsima jäämiseks.

2. LEAN metoodika

2.1. LEAN metoodika ajalugu

Peale II maailmasõda alustasid Eiji Toyota ja Taiichi Ohno LEAN metoodika kontseptsiooni rakendamist Toyota autotööstusettevõttes. [1] Uus metoodika osutus ettevõttele äärmiselt kasulikuks, võimaldades Toyotal kasvada maailma kõige töökindlamaks autobrandiks. [3]

LEAN metoodika teerajajaks peetakse Taiichi Ohnot, kes lõi Toyota tootmissüsteemi. Toyota tootmissüsteemi kõige olulisemaks põhimõtteks peetakse raiskamiste täieliku elimineerimist, saavutades ülimalt efektiivsed protsessid. [4]

Toyota tootmissüsteemi kutsuti ka täppisajastatud tootmiseks (JIT), mille eesmärk oli täita kliendi tellimusi vähima võimaliku ajaga, tootes sõidukeid võimalikult efektiivselt, kulutades tootmises minimaalselt aega. JIT järgis järgnevaid põhimõtteid:

1. peale tellimuse sisestamist pidi töökäsk jõudma tootmisliini algusesse nii kiiresti kui võimalik;
2. kõik sõiduki kokkupanemiseks vajalikud komponendid peavad asetsema koosteliini vahetusläheduses;
3. sõidukikomponentide juurde tootmine ja tarnimine koosteliini juurde peab toimuma sama kiiresti kui sõiduki kokkupanemine;
4. uusi sõidukikomponente ei toodeta ette suurtes kogustes vaid ainult nii palju, kui neid läheb järgmises protsessis vaja. [4]

Massachusettsi tehnoloogiainstituut käivitas 1985. aastal rahvusvahelise sõidukite tootmise programmi (IMVP), mille eesmärk oli tavapärasest teadustööst sügavamale minemine, saamaks täielikult aru tööstuses toimuvatest muutustest. IMVP programmis osales 90 sõiduki koostetehast

viieteistkümnest erinevast riigist. Projekti juhtinud teadlasi vaimustas Jaapani sõidukikoostetehaste erakordne efektiivsus. [1]

2.1.1. Toyota Tootmissüsteem

Toyota tootmissüsteem on tootmise organiseerimise ja juhtimise mõttelaad, mis koosneb põhimõtete kogumist. See mõttelaad aitab ettevõttel end siduda pideva õppe ja arenduse tsükliga. [5]

Tootmissüsteemi eesmärk on eemaldada tootmissüsteemist võimalikult palju raiskamist, mis on kategoriseeritud kolmeks erinevaks tüübiks:

Muda

Muda tähendab raiskamist ja mõttetust, mis on jagatud seitsmeks: [6]

1. ületootmine;
2. ootamine;
3. üleliigsed varud;
4. puudused ja eksimused;
5. transport;
6. liikumine;
7. ülemäärane töötlemine.

Muri

Muri iseloomustab ülekoormatust ja ebamõistlikkust. See iseloomustab seadmete, hoone ja/või inimeste ülekoormamist. Ülekoormus põhjustab töötajatele ja seadmetele üleliigset stressi, vähendades nende võimet tööd teha. [6]

Mura

Mura iseloomustab variatsiooni ja reeglipäratust. See on seotud raiskamisega, mis tekitab ebaühtlust tootmisprotsessides ja *Mura* võib esineda järgmistel kujudel: [6]

- variatsioon tootmise planeerimisel ja
- ebaühtlane töökoormus ja töökiirus.

2.2. LEAN metoodika tööriistad

LEAN metoodika põhineb kliendile väärtust mitteloovate protsesside tuvastamises, elimineerimises ja pidevas parenduste otsimises. Edusammude mõõtmiseks kasutatakse kindlaid mõõdikuid ja tööriistu, millega saab hinnata tootmisesse lisatud väärtust.

2.2.1. Seadme üldine efektiivsus (OEE)

OEE on tootmise efektiivsuse mõõdik, mis näitab mitu protsenti ajast on tootmine ka päriselt tootlik. Kõige parem OEE on 100%, mis tähendab, et tootmises toodetakse ainult kvaliteetseid tooteid, maksimaalsel kiirusel ja ilma seisakuteta. [7]

Kasutatavus, tootlus ja kvaliteet – nendest mõõdikutest koosneb OEE, mis leitakse järgmise valemiga:

$$\text{OEE} = \text{kasutatavus} * \text{tootlus} * \text{kvaliteet} \text{ [8]}$$

Kasutatavus

Kasutatavus näitab tegeliku tööaja ja planeeritud tootmisaja suhet:

$$\text{kasutatavus} = \text{tegelik tööaeg} / \text{planeeritud tootmisaeg},$$

kus planeeritud tootmisaeg on tööaeg, kui seade on tootmisplaani järgi sisse lülitatud ja tööaeg on tootmisaeg, millest on maha arvatud kulutatud aeg riketele ja formaadivahetusele.

Tootlus

Tootlus on tegelikult toodetud toodete ja maksimaalse võimaliku toodangu vaheline suhe ajaühikus, mis leitakse järgmise valemiga:

$$\text{tootlus} = \text{tegelikult toodetud tooted} / \text{maksimaalne võimalik toodang}$$

Kvaliteet

Kvaliteet on kvaliteetsete toodangute hulga ja kogutoodangu hulga suhe, mis leitakse järgmise valemiga:

$$\text{kvaliteet} = \text{kvaliteetse toodangu hulk} / \text{kogutoodangu hulk}$$

2.2.2. SMED protsessianalüüs

SMED on Shingo poolt loodud tööriist, mis aitas Toyota tootmises vähendada kitsaskohti stantsimisel. SMED analüüsi loomise ajal ei kasutatud seadmete täit potentsiaali ja seetõttu ei toonud seadmed oodatud kasu. [9]

Kuna LEAN tootmises peetakse raiskamiseks kõiki kulutusi, mis ei loo kliendile väärtust, siis on LEAN metoodika eesmärk raiskamiste vähendamine. SMED analüüs loodi leidmaks kiiremaid viise, kuidas seadistada seadmed kiiremini ühelt tootelt teisele ehk formaadivahetuste kiirendamiseks. Kiiremate formaadivahetusega saab toota efektiivselt väiksemaid partiikoguseid ja seeläbi vähendada laovarusid, mis läbi saavutatakse efektiivsem tootmine. [10]

Peale formaadivahetuse SMED analüüsi jaotatakse formaadivahetuse tegevused sisemisteks ja välisteks tegevusteks. Mõnda tegevust saab teha

ainult seadme töötamise ajal, kuid mõnda tegevust on võimalik teha juba enne seadme seiskamist. Sisemisteks tegevusteks kutsutakse selliseid protsesse, mida saab teha ainult siis, kui seade seisab. Välimisteks tegevusteks kutsutakse protsesse, mida saab teha seadme töötamise ajal. [11]

SMED analüüs koosneb kuuest etapist: [12]

1. Mõõda kogu töö kestus ja leia, kui palju aega kulutati igale tööoperatsioonile.
2. Tuvasta iga tööoperatsiooni juures, kas tegu oli välimise või sisemise tegevusega
3. Muuda sisemised tegevused välimisteks.
4. Vähenda raiskamist sisemistel tegevustel.
5. Vähenda raiskamist välimistel tegevustel.
6. Standardiseeri protsess.

Protsesside analüüsimiseks kasutatakse videokaamerat ja video põhjal teostatakse SMED analüüsi esimene etapp. [10] Euroopa Liit on vastu võtnud isikuandmete kaitse üldmääruse (GDPR) ja seetõttu tuleb enne filmimise alustamist veenduda, et tegevus vastab GDPR määrusele. Isikuid, kes töötavad videokaamera vaateväljas, tuleb filmimisest teavitada ning nendelt tuleb küsida selleks nõusolek. [13]

Kuigi SMED analüüsi kasutatakse formaadivahetuste analüüsimiseks, siis käesoleva lõputöö autor leidis, et SMED analüüsi põhimõtteid on võimalik kasutada laiemalt ka protsessianalüüsis. Toodet tootva tootmisliini ja formaadivahetuse vahe on, et tootmise ajal ei saa rakendada välimiste tegevuste põhimõtet. Seetõttu kasutati antud lõputöös SMED analüüsi, mida on korrigeeritud tootva tootmisliini analüüsimiseks.

Korrigeeritud SMED analüüs

Korrigeeritud SMED analüüs koosneb järgnevatest etappidest:

1. Mõõda kogu töö kestus ja tuvasta, kui palju aega kulutati igale eraldiseisvale tööoperatsioonile.
2. Teosta tööoperatsioonide analüüs.
3. Vähenda ajakulu ebavajalikele protsessidele.
4. Mõõda kogu töö kestus uuesti peale parenduste rakendamist ja tuvasta, kui palju kulutati aega igale eraldiseisvale tööoperatsioonile.
5. Valideeri tulemused.
6. Standardiseeri protsess.

2.3. Probleemide lahendamine LEAN tootmises

LEAN metoodika üks tähtsamaid põhimõtteid on *Kaizen*, mis tähendab pidevat võimaluste otsimist arenemiseks ja protsesside parendamiseks. Inimesed, kes otsivad pidevalt uusi viise protsesside parendamiseks peavad teadma, kuidas viia ellu muudatusi. Muudatuste elluviimise õpetusele pannakse Toyota koolitusprogrammis erilist rõhku. [14]

Pidevalt uusi võimalusi otsides ja parendustöid ellu viies on oluline osata avastada vigu ja leida nende vigade juurpõhjuseid. Toyota rakendab erinevaid tüüpi probleemi lahendamise meetodeid oma tootmises.

2.3.1. *Plan-Do-Check-Act* probleemi lahendamise tsükkel (PDCA)

PDCA on probleemi lahendamise tsükkel, mida kasutatakse pideva arengu tagamiseks. Antud tööriist on tulevikule orienteeritud, paindlik, loogiline ja mõistlik. PDCA sisaldab detailset kirjeldust igast probleemilahenduse käigus tekkinud elemendist. [15]

PDCA tsükkel koosneb neljast astmest ja järgnevalt on toodud välja ühe probleemi lahenduse näide ühest tootmisettevõttest:

1. **Planeeri** – avasta probleem! Üks seade tootmisliinil seiskub, mistõttu peatub terve tootmine. Seade on oluline komponent tootmisprotsessis, mistõttu on probleem tõsine.
 - **Analüüsi probleemi.** Miks seade seiskus? Seadmest tuli välja musta suitsu ja peale seda seade seiskus. Leiti, et seadet ei olnud ettenähtud ajal hooldatud ja lahenduseks pakuti seadme vahetus uue vastu.
2. **Lahenduste rakendamine** – lahenda probleem! Seade asendatakse uue seadme vastu.
3. **Kontroll! Kas probleem lahendati?** – Pärast seadme vahetamist saadi tootmisliin töökorras.
- **Kas probleem sai soovitud lahenduse?** Olukorras, kus probleem ei saanud soovitud lahendust, minnakse tagasi planeerimise faasi. Näite lahenduses saadi olukorrale lahendus ja minnakse edasi standardiseerimise faasi.
4. **Tegutse** - standardiseeri lahendus! Seadmele luuakse hooldusjuhend ja hooldustähtaeg lisatakse tehniku hoolduskalendrisse. [16]

2.3.2. „Viis miksi“

Erinevate ebaefektiivsuste ja kadude likvideerimiseks on oluline süsteemne probleemi lahendamine ja probleemi juurpõhjuse tuvastamine esmajärgus. Juurpõhjuse lahendamine on ainuke viis leida probleemile lõplik lahendus, sest juurpõhjuse lahendamata jätmisel leevendatakse ainult probleemi sümptomeid ning selle tegelik põhjus jääb alles. Eeltoodust tulenevalt on oluline kasutada standardiseeritud probleemi lahendamise võtteid juurpõhjuste tuvastamiseks ja lahendamiseks. Üheks juurpõhjuse tuvastamise tööriistaks on nn „viis miksi“. [17]

„Viis miksi“ tööriista on lihtne kasutada. Korduv probleemi põhjuste analüüs küsimuse „Miks see probleem esineb?“ esitamisel peale probleemi tuvastamist, võimaldab selgitada välja probleemi juurpõhjuse. Mõnikord võib probleemi olemus tunduda juba selle avastamisel ilmselge, kuid säärased oletused võivad olla ennatlikud ja antud tööriist võimaldab probleemi analüüsida süvitsi ja anda kinnitust probleemi tegelikus olemuses. [18]

Probleemi lahendamise ajal küsitakse „Miks?“. Peale esialgsele küsimusele põhjenduse saamist, küsitakse esialgse probleemi põhjenduse kohta „Miks see esineb?“. Jätkates korduvalt küsimist leiame probleemi juurpõhjuse.

„Viis miksi“ kasutamise näide Toyota tootmistehase näitel:

Probleem: Sõiduki väljalaskesüsteemi logiseb

1. Miks? (Miks logiseb sõiduki väljalaske süsteem?)
Sest sõiduki summuti vibreerib.
2. Miks? (Miks sõiduki summuti vibreerib?)
Sest summuti kinnituspuks ei ole korralikult klambri peale paigaldatud.
3. Miks? (Miks ei ole kinnituspuks korralikult klambri peale paigaldatud?)
Sest töötaja tootmisliinil paigaldas kinnituspuksi selliselt.
4. Miks? (Miks ei paigaldanud töötaja klambrit korralikult?)
Sest puudub protsessijuhend kinnituspuksi paigaldamiseks.
5. Miks?
Põhjus teadmata. [18]

2.4. Standardiseeritud töö

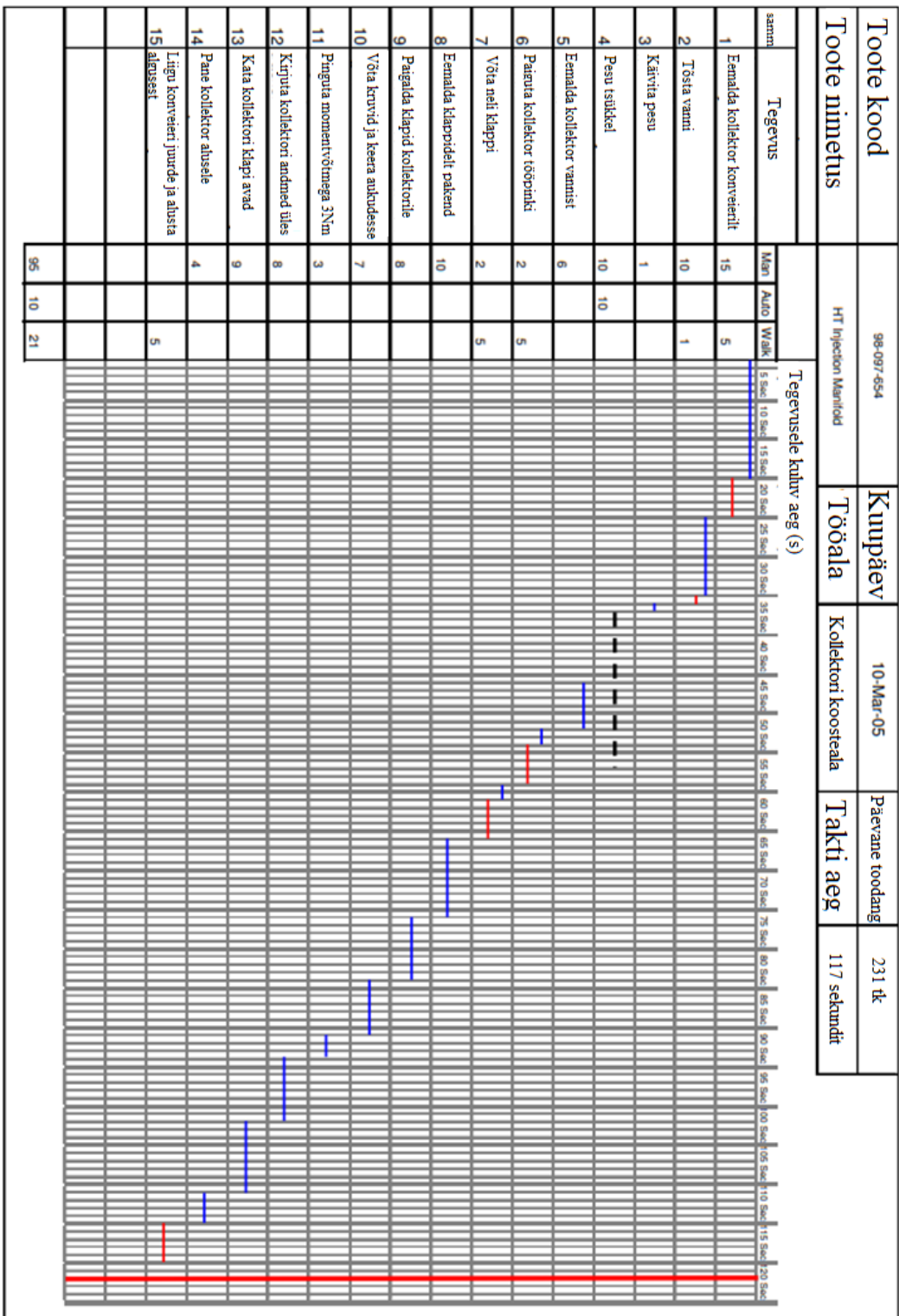
Standardiseeritud töö on oluline osa Toyota tootmissüsteemist, mis motiveerib ettevõtte töötajad töötama efektiivsemalt ja mis aitab tõsta kvaliteeti tootmises ja vähendada kulusid. [19]

2.4.1. Standardiseeritud töö kaart

Standardiseeritud töö kaart kombineerib erinevad LEAN tööriistad üheks tervikuks. See on detailselt koostatud kaart, mis määratleb konkreetsed tööprotsessid, et tagada järjepidevus, efektiivsus ja kvaliteet.

Standardiseeritud töö kaart koosneb graafilisest osast, mis visualiseerib protsesse ja tegevuste jada. Kaardi päises on kuvatud tootmiseks vajalik info: aeg, töökoht, standard tootmiskogus, protsessid ja toodetav toode. Töö kaardi kõige olulisem osa on tegevuste jada, mis kirjeldab igat tegevust. Iga tegevuse juurde on kirjutatud tegevusele kuluv aeg. [20]

Töö kaardile kujutatakse ka visuaalseid skeeme või jooniseid, mis aitavad töötajatel paremini mõista ja jälgida protsesse. Uute töötajate koolitamisel on võimalik õpetamisel visuaalidega töö kaarte tutvustada, mis hõlbustab koolitamisprotsessi.



Joonis 1. Standardiseeritud töö kaardi näidis [20]

3. LEAN metoodika rakendamine Chemi-Pharmi tootmises

Käesoleva lõputöö praktilise osa eesmärk oli rakendada LEAN metoodikat Chemi-Pharmi tootmises. Ettevõtte tootmises on üks tootmisliin, millel toodetav toodang moodustab suure osa ettevõtte käibest. Kuivõrd oli teada hüpotees, et tootmisliini tööd on võimalik oluliselt efektiivsemaks muuta, siis on käesoleva lõputöö eesmärk teha antud tootmisliinile parendusi kasutades LEAN metoodika põhimõtteid. Parendustöid viiakse läbi PDCA tsüklit kasutades.

3.1. Algseisu fikseerimine

Peatükk 3.1. käsitleb planeeri faasi PDCA tsüklis. Algseisu fikseerimine on üks olulisemaid samme parendustöid läbi viies. Peale parendustöid teostatakse uus analüüs ja sellest tekib võimalus parendustööde kasu analüüsida ja hinnata, kas tehtud tööd õnnestusid.

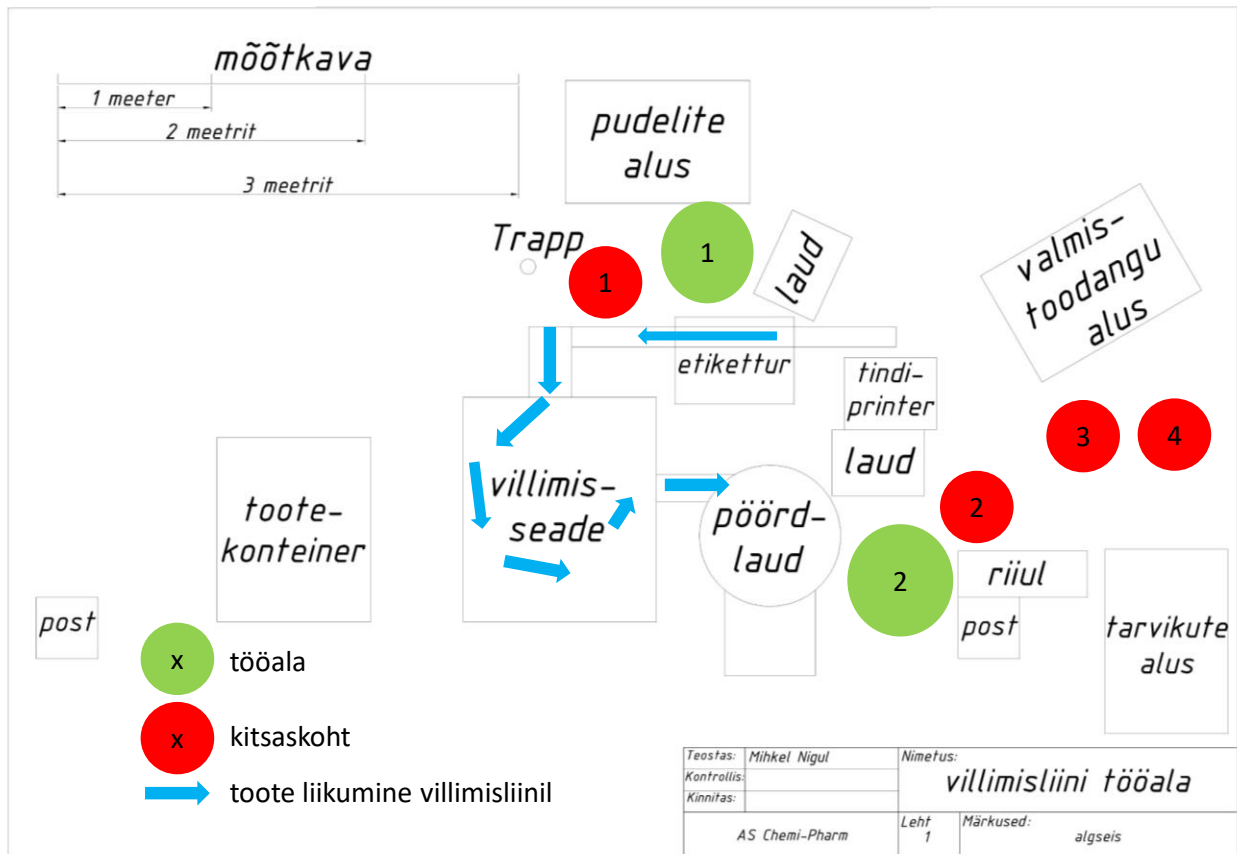
3.1.1. Asendiplaani joonise loomine

Kõigepealt tehti tootmisliini asendiplaani joonis kuhu märgiti liinioperaatori tööalad ja teadaolevad kitsaskohad. Esialgu koosnes tootmisliin pöördlauast, etiketturist printeriga ja villimisseadmest.

Tootmisliini parendustööde alguses oli teada järgmised kitsaskohad:

1. Esimest tööala ei ole võimalik teisele tööalale lähemale tuua, sest tootmisliini operaator peab pudeleid käsitsi lükkama etiketturi konveierilt villimisseadme konveierile.
2. Tootmisliini asetuses on kitsaid vahekäike, kust ei mahu tootmisliini operaator mugavalt läbi käima.

3. Erinevate aluste asukoht ei ole optimaalne; tootmiseks vajalikud alused asuvad tootmisliinist ebamõistlikult kaugel ning operaator peab nende juurde kõndima.
4. Laotöötajal oli keeruline teenindada tootmisliini, sest alused ei paiknenud teeninduskoridoride vahetusläheduses.



Joonis 2. Villimisliini algne asendiplaan

3.1.2. Tootluse leidmine

Tootmisliini tootluse tuvastamiseks paigaldati tootmisliinile seade, mis registreerib automaatselt tootmisliini OEE. Kuna OEE koosneb tootmisliini kasutatavuse, tootluse ja kvaliteedi korrutisest, siis oli antud seadme poolt registreeritud andmed lõputöös kasutamiseks sobilikud.

Käesoleva lõputöö praktilise osa eesmärk on parendada tootmisliinil toimuvaid protsesse, mis toimuvad tootmise ajal ja seetõttu võetakse tulemuste hindamisel aluseks tootmisliini tootlus.

Lisaks võeti käesolevas lõputöös võrdluse aluseks ühe töönädala (s.o viie tööpäeva) keskmine tootlus. Pikema perioodi valimine ei osutunud võimalikuks, sest tootmisliinile teostati pidevalt parendusi ja pikema perioodi kasutamise korral ei oleks mõõtmistulemusest välja tulnud värskete parenduste mõju. Lühema perioodi kasutamise korral oleks tekkinud variatsioon päevade lõikes, mis oleks võinud moonutada lõpptulemust.

Toodetud kogus	7595 tk
Tootmiseks kulunud aeg	1516 min
Tegelikult toodetud tooted	$\text{toodetud kogus} / \text{aeg} = 5,01 \text{ tk/min}$
Maksimaalne võimalik toodang	8,00 tk/min
Tootlus	$\text{tegelik} / \text{maksimaalne} = 62,63\%$

Tabel 1. Esialgse viiepäevase keskmine tootluse leidmine

Tootmisliini tootluse tuvastamise järel viidi tootmisliinil läbi SMED analüüsi esimene etapp. Kuna SMED analüüsi läbiviimiseks filmiti tootmisliini kaameraga, loodi filmimisest teavitavad infosildid, mis paigaldati tootmisesse üles. Seejärel loodi teavitusleht, mida tutvustati tootmisliinil töötavatele töötajatele. Alles seejärel paigaldati lakke kaamera, mis filmis tootmisliini tööd.

Seejärel teostati video põhjal tootmisliinil tehtud protsesside kohta analüüs. Videol hinnati ühe aluse tootmisel tehtud tegevusi ja leiti igale tegevusele kulunud aeg.

Tegevus	Kulunud aeg(min)
Tühjade pudelite liinile panek	34,68
Valmistoodangu pöördlaualt kasti pakkimine	21,88
Operaatoripoolne ringi kõndimine	6,38

Tabel 2. Enim aega võtavad tegevused esimeses SMED analüüsi etapis

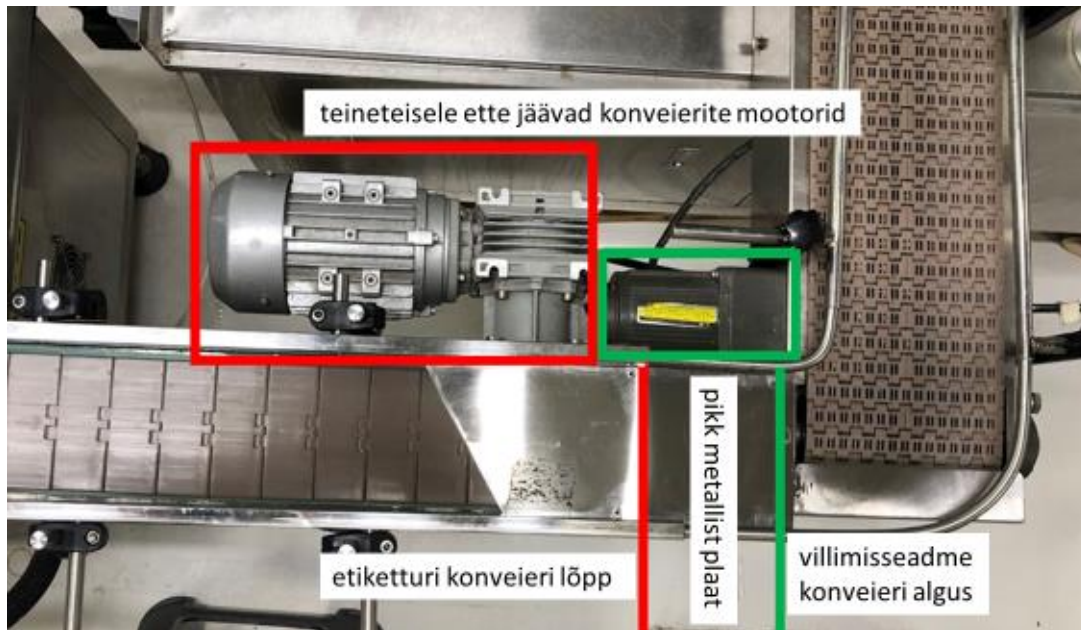
3.1.3. Kitsaskohtade analüüs

Käesolevas peatükis leitakse kitsaskohtadele juurpõhjused ja pakutakse välja sobivad lahendused. Parendustöid alustades leiti tootmisliinil kitsaskohad.

Esimene kitsaskoht lahendati „viis miksi“ tööriistaga:

1. Miks lükkab liinioperaator pudeleid käsitsi edasi?
Sest pudelid moodustavad tropi ja hakkavad etiketturi tööd segama.
2. Miks tekib pudelitest tropp?
Sest kahe konveieri vahel on pikk metallist plaat ja etiketturi konveier ei ole võimeline pudeleid sellest üle lükkama.
3. Miks on konveierite vahel olev metallist plaat pikk?
Sest konveierid ei ole kõrvuti ja neid ei ole võimalik teineteisele lähemale lükata.
4. Miks ei ole võimalik konveiereid teineteisele lähemale lükata?
Sest konveierite mootorid jäävad teineteisele ette.

Selgus, et pudelite käsitsi edasi lükkamise juurpõhjuseks on teineteisele ette jäävad konveierite mootorid.



Joonis 3. Teineteisele ette jäävad konveierite mootorid

Seejärel hinnati järgmiseid kitsaskohti ja leiti, et teine, kolmas ja neljas kitsaskoht on seotud tootmisliini asetusega. Kuna tootmisliini asetusest loodi joonestustarkvaras mõõtkavas joonis, siis leiti, et nende kitsaskohtade lahendamiseks piisab joonestustarkvaras katse-eksituse meetodil erinevate asetuste läbi proovimisest.

3.2. Lahenduste rakendamine

Käesolevas peatükis 3.2 liiguti PDCA tsükli teise faasi, kus viiakse eelmises peatükis leitud ideed pilootprojektina ellu. Ideid ellu viies analüüsitakse pidevalt muudatuste mõju tootmisele. Peale muudatuse elluviimist võib tekkida uus probleem, mis vajab lahendamist. Käesolevas peatükis rakendatakse kõik eelmises peatükis leitud ideed ja nende ideede rakendamisel tekkinud probleemid.

3.2.1. Villimisliinile uue asendiplaani loomine ja liini liigutamine

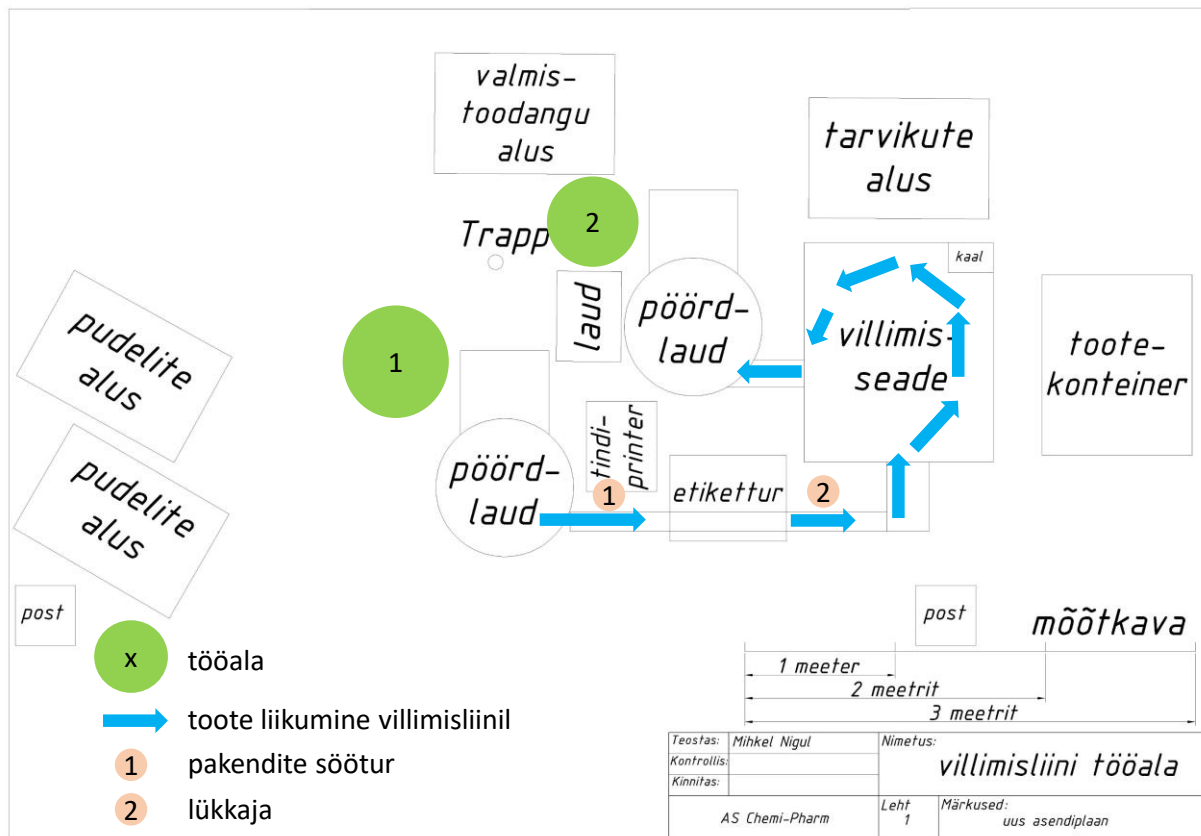
Algseisu fikseerimisel joonestati villimisliini algne asendiplaan joonestustarkvaras. Joonis tehti mõõtkavas ja sinna lisati majakonstruktsioonid ja kommunikatsioonid. Uue villimisliini paiknemise leidmiseks liigutati villimisliini joonestustarkvaras katse-eksituse meetodil ringi.

Esialguses positsioonis jäi villimisliini tööaladele ette betoonist post, mis piiras liinioperaatori tööd. Lisaks sooviti villimisliini etiketturi ette lisada pöördlaud, mis söödaks pudeleid automaatselt etiketturile, kuid ruumi puuduse tõttu ei olnud võimalik pöördlauda lisada tootmisliinile esialgses positsioonis.

Tootmisliin keerati plaani peal 180 kraadi, mis tekitas liini tööaladesse ruumi juurde ja lisaks lisati etiketturi ette pöördlaud. Seejärel mõeldi detailselt läbi aluste asukohad. Aluste paiknemisel oli oluline, et kaubaalused ei paikneks liinioperaatori tööpositsioonist kaugel ja kaubaaluse transport aluse paiknemiskohta oleks mugav.

Aluste asukohad märgiti umbes kahe sammu kaugusele liinioperaatori tööpositsioonist. Esiteks leiti, et liinioperaatorile võib tekitada ebamugavust, kui valmistoodangualus paikneks täpselt tema kõrval ja teiseks on oluline planeerida töökoht selliselt, et liinioperaator ei peaks pikka aega ühe koha peal paigal seisma, sest see oleks füüsiliselt väsitav.

Toorainealuste kõrvale jääb betoonist post. Aluse optimaalseks paigutamiseks alusekohale paigutati alusekohad nurga alla, mis vähendab tehtavate manöövrite arvu aluste transpordil siirdajaga.



Joonis 4. Villimisliini uus asendiplaan

Seejärel liigutati tootmisliini plaani järgi uude positsiooni kasutades käsikahveltõstukeid. Peale tootmisliini liigutamist ühendati tootmisliin elektriga, suruõhuga, tarbeveega ja rajati ühendus kanalisatsiooniga. Kanalisatsiooni kasutatakse tootmisliini pesemise ajal vee äravooluks ja kanalisatsiooniks paigaldati tootmisliini alla PVC toru, mille lõpp-punkt oli teise tööala pöördlaua all. PVC toru otsa paigaldati kummivoolik, mis tavaolekus keeratakse pöördlaua alla peitu. Tootmisliini pesemise ajal keeratakse kummivoolik pöördlaua alt välja ja kummivooliku ots ühendatakse kanalisatsioonitoruga.

3.2.2. Pöördlaua lisamine tootmisliinile, etiketturi ette

Algselt pandi pudeleid ükshaaval tootmisliinile, kuid uut asendiplaani koostades leiti, et etiketturi ette on mõistlik paigaldada pöördlaud. See seade

koosneb ringikujulisest plaadist, mis pöörleb oma telje. Pöördlaua funktsiooniks etiketturi ees on automaatne pudelite ettesöötmine etiketturi peale. Kuna pöördlauale mahub üle kahekümne pudeli, siis on pöördlaud hea alternatiiv pudelite ühekaupa etiketturile panemisele.

Etiketturi ette leiti kasutatud pöördlaud, mille elektrimootori inverter oli läbi põlenud. Kõigepealt asendati inverter uue vastu ja seejärel testiti pöördlauda antud positsioonil. Testimisel leiti, et pöördlaua pöörlemise kiirus on liiga kõrge, kuid pöördlaua pöörlemise kiirust ei ole võimalik alandada, sest väiksema kiiruse väheneb elektrimootori ventilaatori efektiivsus ja elektrimootor kuumeneb üle.

Ettevõtte oli soetanud endale uue seadme, mis sisaldas endas samuti pöördlauda. Uus seade saabus ettevõttesse juhuslikult kasutatud pöördlaua testimise ajal ning testimise käigus vahetati kasutatud pöördlaud ja uue seadme pöördlaud omavahel ära ja leiti, et mõlemad pöördlauad sobivad töötama uues positsioonis paremini kui algses positsioonis ning etiketturi ette paigaldati uue seadmega kaasa tulnud pöördlaud.

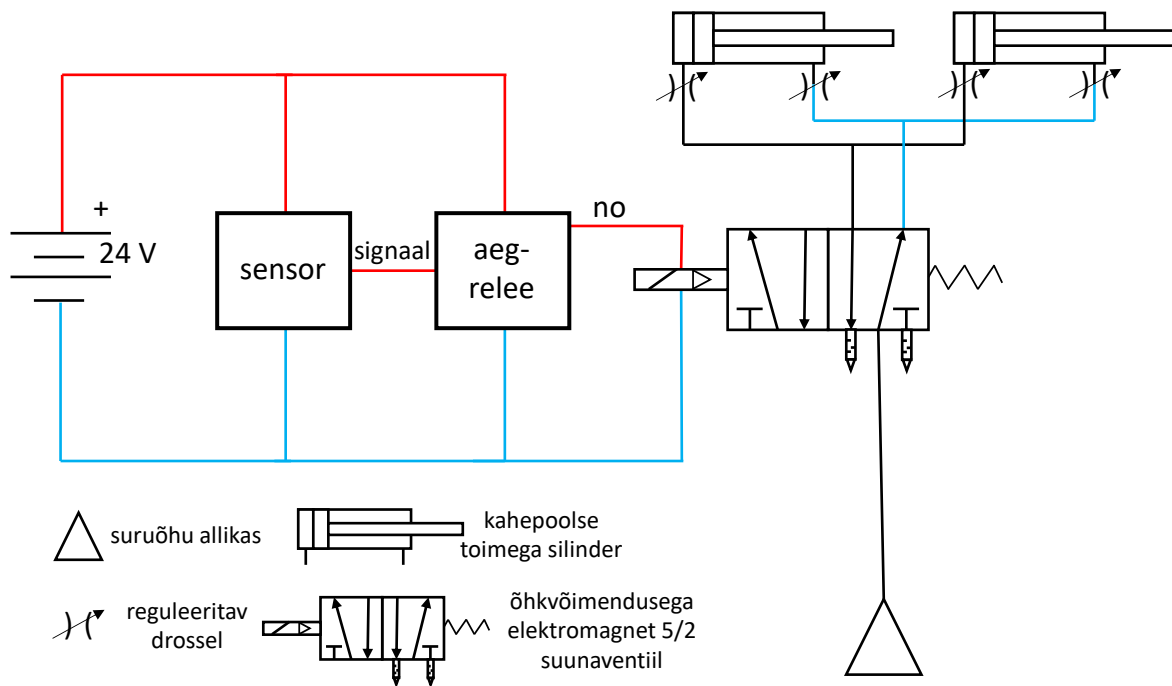
3.2.3. Lükkaja ehitamine

Esialgses kitsaskohtade analüüsis leiti, et tootmisliini operaator peab pudeleid käsitsi etiketturi konveierilt tootmisliini konveierile lükkama, sest konveierite vahel on pikk metallist plaat.

Konveierite vahele oli pandud pikk metallist plaat, sest konveierite mootorite asukoht ei võimaldanud konveiereid teineteisele lähemale lükata. Esialgu plaaniti muuta konveierite mootorite asukohti, kuid planeerimise käigus selgus, et mootorite asukoha muutmine on ajaliselt pikk töö ja tootmisliini väljalülitamine paariks päevaks ei olnud võimalik.

Vältimaks ebaratsionaalseid tootmisseisakuid, otsustati ehitada etiketturi peale seade, mis lükkab pudelit etiketturi konveierilt villimisseadme

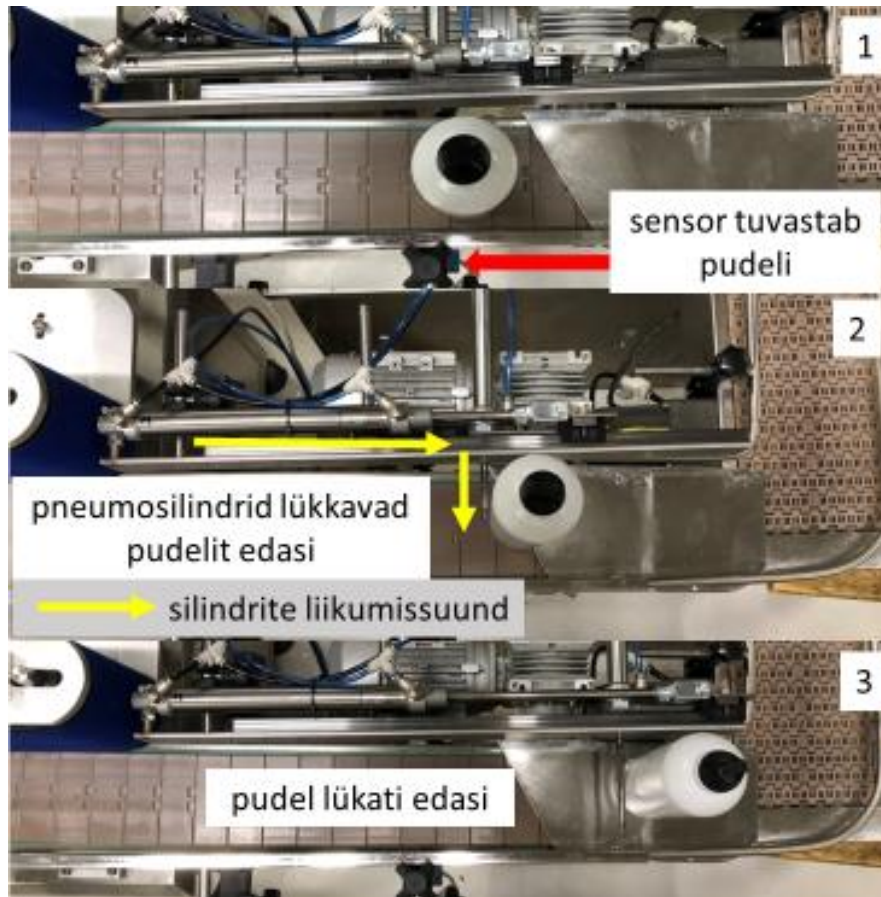
konveierile ehk „lukkaja“. Lukkaja pidi koosnema elektroonikast ja pneumaatikast ning paremaks tööpõhimõtte selgitamiseks koostati seadme skeem.



Joonis 5. Lukkaja pneumaatika- ja elektroonikaskeem

Seadme tööpõhimõtte oli järgnev:

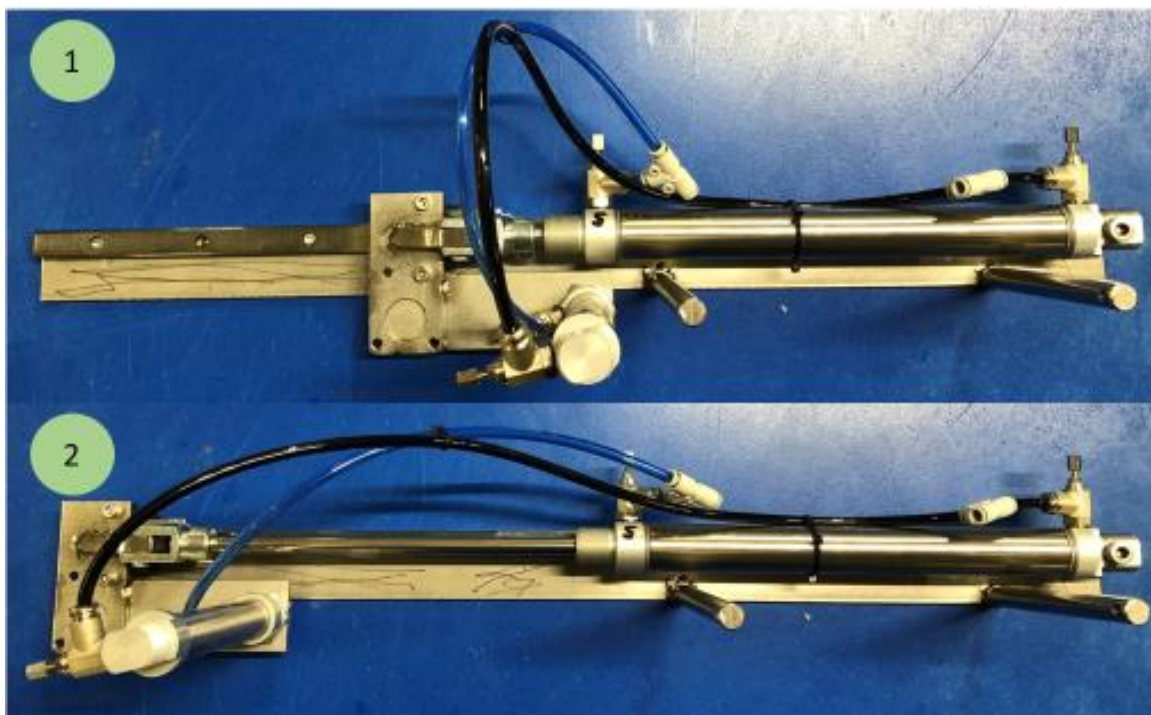
1. etiketturi konveieril olev pudel liikus sensori eest läbi, mis saatis signaali aegreleesse;
2. aegreleest saadeti signaal 5/2 suunaventiili;
3. pneumosilindrid liikusid väljalükatud asendisse;
4. aegreleest tulev signaal katkes;
5. pneumosilindrid liikusid tagasi algasendisse.



Joonis 6. Lükkaja tööpõhimõte

Lükkaja ehitati metallist liistule ja ehitamise protsess nägi välja järgnev:

1. metall-liist lõigati õigesse pikkusesse;
2. lineaarjuhiku paigaldamiseks puuriti liistu sisse avad, mis keermestati;
3. suurema silindri kinnitusmutter keevitati metallist liistule;
4. ehitati klamber, mis kruviti lineaarjuhiku kelgu külge ja kinnitati suurema silindri otsa;
5. väiksema silindri kinnitamiseks ehitati silindrile eraldi klamber;
6. metallist liistu külge keevitati kinnituspulgad, millega kinnitatakse liist etiketturi külge;
7. pandi paika elektroonika ja 5/2 suunaventiili;
8. metallist liist kinnitati etiketturi külge;
9. tehti pneumosilindritele pneumoühendused.



Joonis 7. Lükkaja eestvaates



Joonis 8. Lükkaja pealtvaates

3.2.4. Pakendite söötur

Etikettur suudab etikettida ainult ühte pakendit korraga ja seetõttu söödetakse etiketturile pakendeid etikettimiseks kindla intervalli järel. Etiketturi ette paigaldati pöördlaud, millel puudub funktsionaalsus pakendeid ühe kaupa sööta ja käesolevas peatükis lahendatakse eelmainitud probleemi.

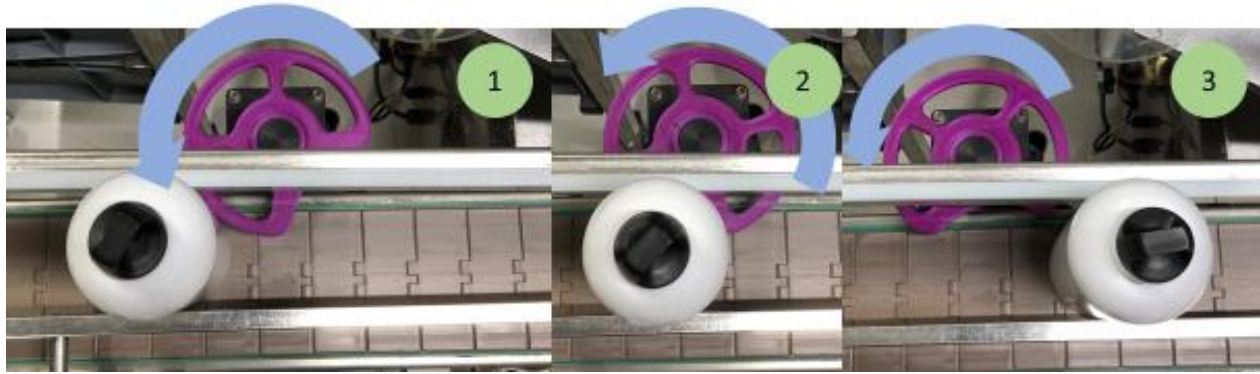
Seadme tootja oli paigaldanud etiketturi konveierile ühe mootori, mis paiknes etikettimispea ja pöördlaua vahel. Mootor oli mõeldud pudelite eraldamiseks, kuid mootori võllil puudus pakendite söotmisratas.

Uue söotmisratta loomiseks disainiti uus pakendite söotmisratas 3D-modelleerimistarkvaras. Modelleerimiseks mõõdeti mootori võlli diameeter, võlli kaugus konveierist ja pakendi diameeter. Peale 3D mudeli valmimist prinditi detail kasutades 3D printerit ja pakendite söotmisratas paigaldati mootori võllile.



Joonis 9. Pakendite söotmisratas

Mootori pöörlemiskiiruse reguleerimiseks oli seadme tootja paigaldanud sagedusmuunduri. Pakendite söötmise intervalli muudetakse mootori pöörlemiskiiruse reguleerimisega.



Joonis 10. Pakendite sööturi tööpõhimõte

3.2.5. Tühja konteineri indikaatorlambi ehitamine

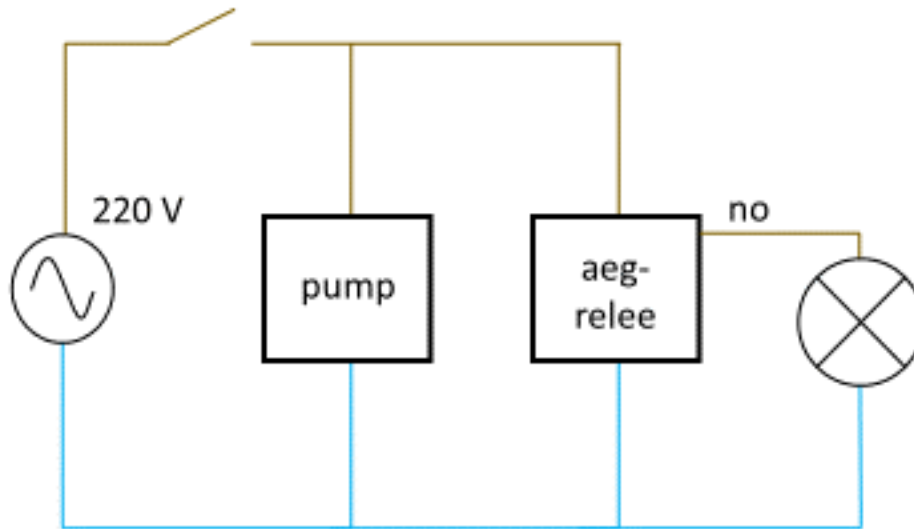
Uue villimisliini asendist tekkis ootamatu probleem, mis seisnes selles, et kuna villitava toodangu konteiner oli tootmisliini operaatori nägemisulatuses väljas, võis konteiner tühjeneda operaatori teadmata.

Esialgu plaaniti kasutada konteineris nivooandurit, kuid testimise käigus leiti, et nivooanduri kasutamine on ebaotstarbekas, sest tootekonteinerid pidevalt vahetuvad ja osa tooteid on plahvatusohtlikud.

Villimisliinil on väike paak, kuhu pumbatakse villimisprotsessi ajal konteinerist vedelik villimisliini paaki. Paagi tühjenemise korral käivitub automaatselt pump, mis pumpab vedeliku paaki ja paagi täitumisel jääb pump seisma. Testimise käigus tuvastati, et paagi täitmiseks kulub 15 sekundit ja kui pump töötab kauem kui 15 sekundit, siis töötab pump tühjalt, mis viitab, et tootekonteiner on tühjaks saanud.

Probleemi lahendamiseks ühendati paralleelselt pumba toiteallikaga aegrelee, mis aktiveeris signaallambi. Pumba sisse lülitamise järel lülitus aegrelee sisse ning 15 sekundi möödumisel süttis signaallamp, mille eesmärk on teavitada operaatorit konteineri tühjenemisest.

Peale konteineri vahetamist pumbatakse villimisliini paak uuesti toodangut täis, misjärel automaatika lülitab pumba toiteallika välja ja signaallamp kustub.



Joonis 11. Tühja konteineri indikaatorlampi elektriskeem



Joonis 12. Tühja konteineri indikaatorlamp

3.2.6. Kaalule koha leidmine

Tootmisliini parendustööde ajal kaotati tootmisliini ümber kõik üleliigsed pinnad, et vältida üleliigsete asjade kogunemist tootmisliini ümber. Selgus, et tootmisliini ümber kaotati ka kontrollkaalu esialgne koht, millega kontrollitakse villitava tootekoguse vastavust.

Kaalule kohta otsides leiti esialgu, et tootmisliini pealne on kaalule optimaalseim koht, kuid kaalu tootmisliini peale panemine ei olnud võimalik, sest tootmisliini kommunikatsioonid jäid ette. Lahenduseks sai pisikese laua ehitamine, mis asetati tootmisliini peale võimaldamaks tõsta kaalu kommuniaktsioonidest kõrgemale. Laud disainiti selliselt, et laua alla on võimalik hoiustada tarvikuid toote kaalumiseks.



Joonis 13. Kaal tootmisliini peal

3.2.7. Põrandate joonimine

Tootmisruumi põrandale märgitakse kõikide aluste ja seadmete asukohad, et iga ettevõtte töötaja saaks üheselt aru, kuidas peavad kaubaalused ja seadmed tootmises paiknema.

Uut asendiplaani luues leiti alustele parimad kohad, kuid arvati, et töö käigus võib tekkida väikseid muudatusi ja seetõttu jäeti põrandate joonimine parendustööde nimekirja lõppu.



Joonis 14. Joonitud alusekoha näidis

3.3. Tulemuste valideerimine

Käesolev peatükk käsitleb kontrolli faasi PDCA tsüklis. Selles peatükis leitakse millist mõju on avaldanud parendustööd tootmisele.

3.3.1. Tootlus peale parendustöid

Kõigepealt leiti tootmisliini viie päeva keskmine tootlus peale parendustöid kasutades OEE mõõtmisseadet.

Toodetud kogus	7992 tk
Tootmiseks kulunud aeg	1415 min
Tegelikult toodetud tooted	toodetud kogus / aeg = 5,65 tk/min
Maksimaalne võimalik toodang	8,00 tk/min
Tootlus	tegelik / maksimaalne = 70,63%

Tabel 3. Peale parendustööd viiepäevase keskmine tootluse leidmine

Seejärel teostati korrigeeritud SMED analüüsi neljas etapp, kus filmiti uuesti tootmisliini tööd ja teostati tootmisliinil toimunud protsessidele videoanalüüs.

Tegevus	Kulunud aeg (min)
Tühjade pudelite liinile panek	24,73
Valmistoodangu pöördlaualt kasti pakkimine	30,63
Operaatoripoolne ringikõndimine	2,60

Tabel 4. Enim aega võtvad tegevused neljandas SMED analüüsi etapis.

3.3.2. Parendustööde kasu analüüs

Hindamiseks parendustööde kasu ettevõtte võrreldi algseisu ja seisuga peale parendustööd. Esimesena võrreldi tootlust ja kulunud aega enim aega võtvatele tegevustele.

	Esialgne	Peale parendusi	Erinevus
Keskmine viiepäevane tootlus	62,63%	70,63%	+8,00%
Tühjade pudelite liinile panek	34,68 min	27,73 min	-20,04%
Valmistoodangu pöördlaualt kasti pakkimine	21,88 min	30,63 min	+39,99%
Operaatoripoolne ringi kõndimine	6,38 min	2,60 min	-59,25%

Tabel 5. Tootluse ja enim aega võtvate tegevuste algseisu ja peale parendustööd võrdlus

Selgus, et parendustööd on täitnud eesmärgi ja keskmine viiepäevane tootlus tõusis 8%. Võrdlusest selgus, et valmistoodangu pakkimine kasti võtab

rohkem aega kui enne. Valmistoodangu kasti pakkimise ajakulu hakati analüüsima.

Analüüsi käigus selgus, et plaat, millel toode villimisseadme peal liigub, on tehtud alumiiniumist ja plaadi lakikiht oli maha kulunud, mistõttu võisid tooted määrduda. Seadme operaator teostas põhjaliku kontrolli igale tootele, vajadusel eemaldas puudused ja seetõttu kulutas toote pakkimisele rohkem aega.

Probleemi kiireks lahendamiseks võeti ühendust ettevõttega, kes paigaldab sõidukitele kaitsekilesid. Chemi-Pharm soetas ettevõttelt autokile jääke, millega kaeti tootmisseadme alumiiniumist plaat. Pikemas plaanis on Chemi-Pharmil soov asendada kile roostevabast terasest tehtud plaadiga.

Kuivõrd sai valmistoodangu kasti pakkimise probleem lahendatud, on eeldatav tootus veelgi suurem ja kuna ühe rea tõttu ei ole mõistlik teostada uusi mõõtmisi, lähtume eeldusest, et tootluse kasv on vähemalt 8%.

Seejärel hinnati tootluse kasvu mõju ettevõtte käibe, mis arvutati järgmise valemiga:

$$\begin{aligned} \text{võimalik aastase käibe kasv} &= \\ &= \text{keskmise nädala toodang} * \text{toote hind} * \text{nädalad} * \text{tootluse kasv} \end{aligned}$$

Leiti, et tootmisliini peal toodetava toote hind on 15€ ja keskmiselt toodetakse nädalas 7794 toodet. Seega on ettevõttel võimalik tõsta aastast käivet:

$$\text{võimalik aastase käibe kasv} = 7794 \text{ tk} * 15\text{€} * 52 \text{ nädalat} * 8\% = 486\,346\text{€}$$

3.3.3. Positiivne mõju keskkonnale

Peale parendustöid leiti, et tootluse kasv võimaldab toota 8% rohkem tooteid sama energiakuluga. Tootmisliini energiaallikaks kasutatakse elektrienergiat ja suruõhku. Eestis toodetakse suur osa elektrienergiast fossiilsetest kütustest ja seeläbi on võimalik leida projekti mõju CO₂ emissiooni vähendamisele.

Kõigepealt leitakse villimisliini elektrienergiakulu enne projekti algust ja seda tehakse järgmise valemiga:

$$E = TP * TT * PS * KT$$

kus E = aastas tarbitav elektrienergia,

TP = tööpäevade arv aastas

TT = töötundide arv tööpäevas

PS = seadme võimsus (kW)

KT = kasutustegur, mis arvestab seadme kasutust tööpäeva jooksul.

Leiti, et villimisliini aastane tarbitav elektrienergia kogus on:

$$E_{tootmisliin} = 360 \text{ päeva} * 11,5 \text{ h} * 3,4 \text{ kWh} * 0,4 = 5630,4 \text{ kWh}$$

Villimisliin kasutab tööks ka suruõhku, mille tootmiseks kulutatakse elektrienergiat. Aasta jooksul tarbiti tootmisliinil suruõhku, mille tootmiseks kulutati:

$$E_{suruõhk} = 360 \text{ päeva} * 11,5 \text{ h} * 15 \text{ kWh} * 0,03 = 1863,0 \text{ kWh}$$

Tootmisliini aasta jooksul kasutatav elektrienergia hulk leitakse alljärgnevalt:

$$E_{kogu} = E_{tootmisliin} + E_{suruõhk} = 5630,4 \text{ kWh} + 1863,0 \text{ kWh} = 7493,4 \text{ kWh}$$

Seejärel leiti elektrienergia kogus, mis hoiti peale parendustöid kokku:

$$E_{kokkuhoid} = E_{kogu} * \text{tootluse kasv} = 7493,4 \text{ kWh} * 8\% = 599,5 \text{ kWh}$$

Aastal 2021 oli Eesti elektrienergia võrgus oleva keskmise kWh eriheite tegur $q = 0,6385 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$ [21]. Nüüd leitakse tootluse kasvu mõju aastasessse CO₂ emissiooni vähenemisse:

$$Em_{CO_2} = q * E_{kokkuhoid} = 0,6385 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} * 599,5 \text{ kWh} = 382,78 \text{ kgCO}_2$$

Võttes võrdluseks, et ühe liitri bensiini põletamisel tekitatakse $q_{bensiin} = 2,3035 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{l}}$, [22]. Arvestati, et Eestis on üks enim müüdud sõiduk Toyota

RAV4, mille keskmine kütusekulu on $WLTP = 6,6 \frac{l}{100 km}$ ja leiti mitu kilomeetrit oleks võimalik sõita Toyota RAV4 mudeliga, mille emissioon oleks võrdeline parendustöödest kokkuhoitud emissiooniga. See leiti järgnevalt:

$$vahemaa = \frac{EmCO_2 * 100km}{q_{bensiin} * WLTP} = \frac{382,78 kgCO_2 * 100 km}{2,3035 kgCO_2 * 6,6 \frac{l}{100km}} = 2517,78 km$$

3.4. Standardiseerimine

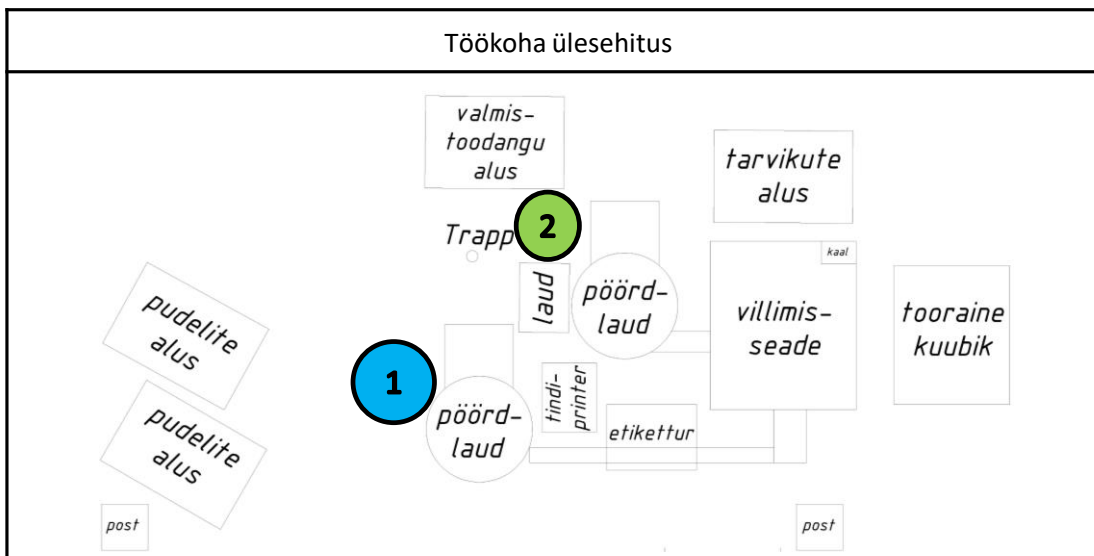
Peale parendustööde elluviimist jõuti PDCA tsükli viimasesse etappi ehk standardiseerimise juurde. Peale parendustöid koostati standardiseeritud töö kaart.

Lõputöö teoreetilises osas oli välja toodud standardiseeritud töö kaardi näidis (Joonis 1), kuid näidises olevast töö kaardist oli keeruline vajaliku infot välja lugeda ja sellest tulenevalt muudeti töö kaarti Chemi-Pharmi vajadustest lähtuvalt.

Standardiseeritud töö kaardi loomine nägi välja järgnev:

1. standardiseeritud töö kaardilt kaotati väljad, millest oli raske aru saada;
2. standardiseeritud töö kaardile märgiti järjest tegevused, mida tootmisliini operaator peab liini opereerimisel tegema;
3. kaardilt eemaldati ajaväljad „automaatne“ ja „kõndimine“ ja asendati ühe tulbaga, mis annab operaatorile ülevaate, kui palju on igale tegevusele aega ette nähtud;
4. töö kaart anti tootmisjuhile ja liinioperaatorile tutvumiseks ja tagasiside saamiseks;
5. standardiseeritud töö kaardist sai uus standard.

Standardiseeritud töö kaart		
Töökoht: Villimisliin	Standardkogus: üks alus	Kuupäev: 20.05.2023
Toode: toode A		Koostanud: Mihkel Nigul



#	Töö ülesehitus	Tööoperatsiooni aeg
		(s)
1	Aseta tühjade pudelite kast lauale	6
1	Ava kast noaga, eemalda kummipael ja voldi kile kasti suust eemale	12
1	Tõsta pudelid pöördlauale	2
1	Peale kasti tühjendamist, kleebi kastile etikett ja pane kast valmistoodangu alasse	10
1	Enne järgmisesse töökohta liikumist korraldage esimese töökohta tegevusi veel kaks korda (ehk kokku 3 korda)	60
kõnd	Teise töökohta	5
2	Pane tühi kast lauale	2
2	Võta valmistoodangu pöördlaualt kaks pudelit. Veendu, et pudelid vastab standardile ja pane pudelid kasti	4
2	Korrata eelmist punkti kuni kast saab täis	20
2	Kasti täitumisel sulge kast, teibi kast kinni ja löö kastile tempel	6
2	Tõsta kast valmistoodangu alusele	8
2	Enne esimesse töökohta tagasi liikumist korda tegevust teise töökohta tegevusi kaks korda	76
kõnd	Esimesse töökohta	5

Joonis 15. Villimisliini standardiseeritud töö kaart

3.5. LEAN metoodika praktilised kogemused ja õppetunnid

Käesolevas peatükis keskendutakse kogemustele ja õppetundidele, mida omandati LEAN metoodika rakendamisel Chemi-Pharmi tootmises. Kogemuste analüüsimine võimaldab tulevikus LEAN metoodikat efektiivsemalt rakendada.

Lõputöö praktilises osas rakendati palju erinevaid tööriistu ja peale tööriistade katsetamist leiti, et mõne tööriista kasutamist on võimalik optimeerida. Lõputöö raames koostati SMED analüüsid ja nende analüüside teostamine oli ajamahukas. Analüüse koostati tarkvaras *Microsoft Excel* ja andmete sisestamiseks kuluva aja vähendamiseks tuli luua mall, mis kiirendaks andmete sisestamise protsessi.

SMED analüüsi tegemist alustatakse tootmisprotsesside üles filmimisega, mille põhjal koostatakse analüüs. Enne lõputöö praktilise osa tegemist arvati, et tootmisprotsesse tuleb filmida võimalikult ootamatult, et saada võimalikult täpne ülevaade tegelikest tegevustest ja protsessidest, kuid analüüse tehes leiti, et see ei ole mõistlik. SMED analüüsi koostamine on ajamahukas tegevus ja seetõttu koostatakse analüüse nii vähe kui vajalik. Lõputööd kirjutades selgus, et SMED analüüside koostamisel erinevates projekti faasides, kasutades erinevaid operaatoreid, võib muuta oluliselt parendustöö tulemusi, sest operaatorite pädevus erineb ja võrreldes erineva pädevusega operaatorite tööd erinevatel ajahetkedel, võib anda vale hinnangu parendustööde kulminatsioonist.

Lõputöö raames hinnati villimisliini tootluse kasvu viie päeva keskmise tootluse võrdlemisel, mis on hea mõõdik pikemaajalise muutuse nägemisel. Seetõttu ei ole SMED analüüsi tehes mõistlik analüüsida kõikide operaatorite tööd ja hinnata iga operaatori tegevusi vaid SMED analüüsiks tuleb välja valida pädevamad operaatorid, korrastada nende põhjal protsessid ja koolitada uusi operaatoreid kasutades pädevate operaatorite kompetentsi.

4. Kokkuvõte

Käesoleva lõputöö eesmärk oli tõsta efektiivsust Chemi-Pharmi tootmises rakendades LEAN metoodika põhimõtteid arendades efektiivsemaid protsesse, automatiseeritud lahendusi ja parandades töökeskkonda.

Lõputöö esimeseks alameesmärgiks oli algseisu analüüs ja kaardistamine. Selle käigus joonestati villimisliini asendiplaan joonestustarkvaras, kuhu märgiti teadaolevad kitsaskohad. Seejärel leiti villimisliini viie päeva keskmine tootlus ja viidi läbi SMED analüüs. Viimaks viidi läbi kitsaskohtade juurpõhjuse analüüs ja pakuti välja lahendused.

Järgmiseks alameesmärgiks oli välja pakutud lahenduste ellu viimine. Kõigepealt leiti villimisliinile uus asukoht ja liigutati villimisliin uude asukohta. Uue asukoha leidmisel pakuti välja ühe pöördlaua lisamist villimisliinile, misjärel viidi see ellu. Üheks esialgseks tuvastatud kitsaskohaks oli etiketturi ja villimisseadme vahele jääv ala, kust ei saanud pudelid üle ja liini operaator pidi pudeleid käega edasi lükkama. Selle probleemi likvideerimiseks ehitati automaatne pudelite lükkaja. Peale välja pakutud lahenduste elluviimist tuvastati veel probleeme, mis lahendati antud lõputöö praktilise osa käigus. Täiendavalt teostati villimisliini peal järgmised tegevused: pakendite sööturi ehitamine, tühja konteineri indikaatorlambi ehitamine, kaalule koha leidmine ja tsehipõranda joonimine.

Kolmandaks alameesmärgiks oli parendustööde kasu analüüsimine ettevõttele. Leiti uuesti villimisliini viiepäevane tootlus, viidi läbi uus SMED analüüs ja seejärel võrreldi tulemusi. Leiti, et villimisliini tootlus tõusis vähemalt 8%, mis võimaldab ettevõttel tõsta aastast käivet omakorda vähemalt 486 346€ võrra. Lisaks leiti parendustööde mõju keskkonnale ja leiti, et aastas väheneb CO₂ emissioon 387,78 kg võrra. Emissiooni kokkuhoidu võrreldi sõiduauto emissiooniga ja leiti, et parendustöödest vähendatud

emissiooni absoluutväärtus on võrdeline sõidukiga Toyota RAV4 2517,78 km läbimisel tekkiva emissiooniga.

Viimane alameesmärk oli uute protsesside standardiseerimine ja standardiseeritud töökaardi loomine. Ettevõttele koostati ettevõtte vajadustes lähtuvalt standardiseeritud töö kaardi mall, mille põhjal loodi villimisliinile standardiseeritud töö kaart.

Kõik lõputöös püstitatud täideti edukalt, aidates parandada ettevõtte tootmisprotsesse ja efektiivsust. Käesolev lõputöö andis ettevõttele väärtuslikke teadmisi ja kogemusi LEAN metoodika rakendamise kohta, mida juba rakendatakse järgmiste tootmistehnoloogiliste lahenduste välja töötamisel.

4.1. Tuleviku väljavaated

Üks tähtsamaid LEAN metoodika põhimõtteid on *kaizen*: tahe pidevalt otsida uusi võimalusi arenemiseks ja pidevalt parendusi läbi viies. Seetõttu kaasneb LEAN metoodika rakendamisega positiivne pikaaegne mõju, kus otsitakse pidevalt uusi parendusi ettevõtte protsessides.

Villimisliini parendustööd ei lõppenud peale lõputöö praktilise osa valmimist. Lõputöö esitamise ajaks oli villimisliinile tehtud uusi täiendusi ja mõnda lõputöö raames rakendatud parendust oli täiustatud. Näiteks töötati välja uus pakendite söötur ja arendati rakendust, millega saab villimisliini operaator saata laotöötajatele märguande tarvikute otsa lõppemise korral.

Tänuavaldused

Käesoleva lõputöö autor soovib tänada Riivo Pilvikut, kelle nõuanded ja teadmised pakkusid lõputöö autorile lõputöö kirjutamisel hindamatut väärtust.

Samuti soovib autor tänada ettevõtte AS Chemi-Pharmi juhatust võimaluse eest teostada lõputöö ettevõttes. Võimalus teostada magistritöö Chemi-Pharmis võimaldas lõputöö autoril panna tema akadeemilised teadmised proovile praktilises keskkonnas.

Lõputöö autor tänab Gretta Oltjer-Timbergit toimetustöö eest. Gretta põhjalikus ja professionaalsus aitasid kaasa selle töö selgusele ja kvaliteedile.



Mihkel Erich Nigul

20.05.2023

Viited

- [1] J. P. Womack, D. T. Jones, D. Roos, "The Machine That Changed the World", Massachusetts Institute of Technology, 1990.
- [2] Organisation for Economic Co-operation and Development – "Inflation (CPI)" <https://data.oecd.org/price/inflation-cpi.htm> 11.03.2023 18:08 (GMT +2)
- [3] Statista, Consumer Data 2022. - "The Most and Least Reliable Cars in America" <https://www.statista.com/chart/23586/average-reliability-scores-for-new-cars/> 01.03.2023 01:18 (GMT +2)
- [4] Toyota, Company information. – "Toyota Production System" <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/> 01.03.2023 01:32 (GMT +2)
- [5] E. Lander, J. K. Liker, "The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way", International Journal of Production Research, **Volume 45**, 2007, pages 3681 – 3698, DOI: 10.1080/002075407012235
- [6] M. Pieńkowski, "Waste Measurement Techniques for Lean Companies", International Journal of Lean Thinking, **Volume 5**, 2014
- [7] Overall Equipment Effectiveness – "What is OEE?" <https://www.oee.com/> 26.03.2023 15:39 (GMT +3)
- [8] P. M. Gibbons, S.C. Burgess "Introducing OEE as a measure of lean Six Sigma capability", International Journal of Lean Six Sigma, **Volume 1**, 2010, pages 134 – 156, DOI: 10.1108/20401461011049511
- [9] D. Sabadka, V. Molnar, G. Fedorko "The Use of Lean Manufacturing Techniques – SMED Analysis to Optimization of the Production Process", Advances in Science and Technology Research Journal, **Volume 11**, 2017, pages 187 - 195, DOI: 10.12913/22998624/76067
- [10] B. Ulutas, "An application of SMED Methodology", International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, **Volume 5**, 2011, pages 1194 – 1197
- [11] SMED – "What are Internal and External Setup Activities?" <https://setupreductiononline.com/smed-seperating-external-and-internal-activities/> 09.04.2023 23:40 (GMT +3)
- [12] „LEAN käsiraamat", Leanway OÜ, 2022
- [13] film haus – "How to be GDPR Compliant whilst Filming and Photographing" https://www.filmhaus.co.uk/post/video_gdpr 09.04.2023 23:52 (GMT +3)
- [14] S. J. Spear, "Decoding the DNA of the Toyota Production System", Harvard Business Review, **Volume 77**, 1999, pages 97 - 106
- [15] S. Isniah, H. Hardi Purba, F. Debora, "Plan do check action (PDCA) method: literature review and research issues", Jurnal Sistem dan Manajemen Industri, **Volume 4**, 2020, pages 78 – 81, DOI: 10.30656/jsmi.v4i1.2186
- [16] C.N. Johnson, "The Benefits of PDCA", Quality Progress, **Volume 35**, 2002, page 120
- [17] U. Murugaiah, S. Jebaraj Benjamin, M. Srikamaladevi Marathamuthu, S. Muthaiyah, "Scrap loss reduction using the 5-whys analysis", International Journal of Quality & Reliability, **Volume 27**, 2010, pages 527 – 540, DOI: 10.1108/02656711011043517

- [18] P. Gangidi, "A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique", International Journal of Lean Six Sigma, **Volume 10**, 2019, pages 295 – 310, DOI: 10.1108/IJLSS-10-2017-0114
- [19] P.E.C. Johansson, T. Lezama, L. Malmsköld, B. Sjögren, L.M. Ahlström, "Current State of Standardized Work in Automotive Industry in Sweden", Procedia CIRP, **Volume 7**, 2013, pages 151 – 161, DOI: 10.1016/j.procir.2013.05.026
- [20] B. D. Kirchbaum, "Standardized Work: The Power of Consistency", Process Coaching Incorporated, Michigan, 2008,
<http://www.processcoachinginc.com/images/Standardized%20Work.pdf>
- [21] Elering – "Residual mix" <https://elering.ee/en/residual-mix> 07.04.2023 00:18 (GMT+3)
- [22] Comcar – "Kg CO₂ per litre of petrol vehicles" <https://comcar.co.uk/emissions/co2litre/> 14.05.2023 14:31 (GMT +3)

Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Mihkel Erich Nigul,

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

LEAN METOODIKA RAKENDAMINE AKTSIASELTS CHEMI-PHARM TOOTMISES,

mille juhendajateks on Alvo Aabloo ja Andres Oltjer, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

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

Mihkel Erich Nigul

20.05.2023