



Üllar Täht

Tootmise läbiminekuaja vähendamine Harmit OÜ näitel

Lõputöö

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut
Tootmise juhtimine- ja digitaliseerimine
Juhendaja: Andres Kase, *MBA*

Tallinn 2025

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Üllar Täht

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

Tootmise läbiminekuaja vähendamine Harmet OÜ näitel

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

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, Üllar Täht

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)

Juhendaja Andres Kase

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1 PROTSESSI KAARDISTAMINE	6
1.1 Ajapõhine protsessi kaardistamine	6
1.2 Vooskeem	7
1.3 Väärtusvoo kaardistamine	7
1.3.1 Väärtusvoo kaardi analüüs	9
1.3.2 Raiskamised tootmises	9
1.3.3 Väärtusvoo tuleviku kaart	10
1.4 Väärtusvoo kaardistamise eelised	11
1.5 Probleemi lahendamine (<i>DMAIC</i>)	11
1.5.1 <i>Lean six sigma</i>	12
2 ETTEVÕTTE JA EMPIIRILISE METOODIKA TUTVUSTUS	14
2.1 Ettevõtte struktuur	14
2.2 Uurimismetoodika	15
3 TOOTISLIINIDE KAARDISTAMINE JA MONTAAŽI ÜLEVAADE	16
3.1 Tootmisliinide ja löövide ülesanded	17
3.2 Protsessi kaardistamine tootmisliinidel	17
3.3 Vaadeldud tootmisliinide ja löövi lühiülevaated	18
3.4 Tootmisliinide kaardistamine	19
3.5 <i>DMAIC</i> kasutamine	22
4 PARENDUSPROJEKT	24
4.1 Algne tootmine enne parendusprojekti	24
4.2 Parendused	24
4.3 Soojakute läbimineku aeg	29
4.4 Materjali paigutus	31
KOKKUVÕTE	32
SUMMARY	33
VIIDATUD ALLIKAD	35

SISSEJUHATUS

Harmet OÜ ettevõttes on toodetakse tihti ehitussoojakuid ning on oluline, et nende toodete läbiminekuaga pidevalt vähendada ja efektiivsemaks muuta. Pikka aega pole seda tehtud, mistõttu on oluline leida probleemseid kohti ning ehitada üles alus kaardistuste näol, et jätkata efektiivsuse tõstmisega ka tulevikus.

Suurimaks probleemiks on kahe osakonna liiga erinev töö koormus. Kaardistused on olulised ettevõttele igaks projektiks, mis tulla võib, kuna nende põhjal on võimalik parendusi läbi viia ka siis, kui elemendid on erinevad lõputöös käsitlel olevatest elementidest.

Eluaseme ehitamine muutub üha keerukamaks, sest hinnatakse kiiremaid, kvaliteetselt ehitatud ja keskkonnasõbralikke lahendusi, moodulmajad pakuvad uuenduslikke viise. Moodulmajade eelised on kiirus ja kvaliteet, sest moodulite kogu ehitus toimub tehases, mis on nende tootmiseks loodud, nii toimub kogu protsess kiiremini, kui traditsioonilise maja ehitusel. Seetõttu on oluline, et ka antud ettevõtte püsiks konkurents, seda siis pideva protsesside parendamise näol. [1]

Läbiminekuaja lühendamiseks on kaks valikut, kas osakonna siseselt muuta operatsioonide järjestusi, et muutuks tootmine efektiivsemaks või viia üle teise osakonda. Antud projektis on teise osakonda üle viimine parem viis, kuna üks eesmärkideks oli vähendada 3D osakonnas toimuvaid protsesse. 2D osakonnas toimuvad mõningad operatsioonid kiiremini, sest seal on eeldused selleks paremad, näiteks tööpinkide olemasolu.

Antud lõputöö eesmärk on tutvuda erinevate kaardistusviisidega ja teoreetiliste alustega ning hiljem selle põhjal kaardistada ettevõtte tootmisliin üks, kaks ja viis. Peale kaardistust analüüsi põhjal läbi viia parendusprojekt ehitussoojakutega. Teiseks eesmärgiks on tutvuda läbiminekuaja vähendamise võimalustega teoreetiliselt ning selle põhjal lühendada läbiminekuaga ning võrdsustada 2D ja 3D tootmistsükli ettevõttes. See on oluline, sest 2D osakonnas toodetakse palju elemente päevas, kuid 3D osakonnas kulub montaaži peale rohkem aega, nii toimub ületootmine tehases. 2D osakonnas toimub moodul elementide tootmine (seinad, põrandad ja laed) ning 3D osakonnas toimub moodulite montaaž. Oluline eesmärk on veel 3D osakonnas vähendada protsesside arvu, et väheneks koormus seal osakonnas. Töö autor teostab protsesside kaardistamise, milleks on väärtusvoo ja vooskeemi kombinatsioon ning mõõdistab protsessidele kuluva aja ja selle põhjal teostab koostöös tootmisjuhiga analüüsi, millele tuginedes hiljem viib läbi parendusprojekti. Probleemiks on

aegunud protsesside kaardistus, puuduv info operatsioonidele kuluvast ajast ning montaaži osakonnas liigne protsesside arv.

Väga palju on tehtud protsesside kaardistamisi antud valdkonnas. Selle kohta on tehtud ka põhjalik uurimistöö, kus üheks oluliseks teguriks teiste seas on väärtusvoo kaart, et saavutada kindel, ettearvatav, tõhus ja innovaatiline tootmisliin. [2]

Lõputöös on kasutusel protsessi kaardistamine visuaalselt, et tuvastada täpselt, kus lõigus on vajalik parendamine ja ajapõhine kaardistamine tuvastamiseks ajaliselt, mis protsessid võtavad liiga kaua aega ning oleks võimalik liigutada mujale, kiirendamiseks läbiminekuaga. Probleemi lahendamiseks on kasutusel DMAIC, selle meetodiga on väga hea minna probleemiga süvitsi ning näha mis kohad vaadeldud alal on probleemsed ning vajavad tähelepanu.

Tuginedes probleemidele ja vajadustele, on uurimisülesanneteks:

- Protsessi kaardistamise teoreetilise alused ja erinevad meetodid.
- Väärtusvoo põhimõtetega tutvumine ja raiskamiste teoreetilised alused.
- DMAIC probleemilahenduse teoreetilised alused.
- Empiirilise uuringu teostamisega seotud tootmisliinide kaardistamine.
- Antud projekti ehitussoojakute tootmise läbiminekuaja lühendamine.
- 2D ja 3D osakonna tootmistsükli võrdsustamine.

Töö on horisontaalse struktuuriga. Töö teooria osas on kirjeldatud protsessi kaardistamisest üldiselt, põhjalikumalt selle eesmärgist, mille jaoks on hea kasutada. Protsessi kaardistamise eelistest, mida selle läbi viimine annab tootmisele, ajapõhisest kaardistamisest lähemalt, kuna sellel on suur osa lõputöös. Kaardistuse viimases alapeatükis on väärtusvoo ja vooskeemi teema. Järgnevalt on kirjas probleemilahendusest DMAIC, kus on põhjalikult lahti kirjutatud iga osa sellest strateegilisest meetodist.

Töö empiirilises osas on esimeses alapeatükis kirjas protsessi kaardistamise läbi viimisest antud tootmisliinidel ja löövis ning tootmisliinide ülesanded. Tootmisliinide ja löövi lühiülevaade, paremini mõistmaks, kuidas käib töö nendes lõikudes. Teises alapeatükis on välja toodud DMAIC-i kasutamine praktilises vaates, kuidas näeb välja antud meetodi kasutamine tootmises.

Teises peatükis on kirjas kogu parendusprojekt, toetudes teooriale. Välja toodud on statistika enne ja pärast parendust.

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks on vajalik tutvuda erinevate kaardistamise viisidega, kuidas analüüsida neid ning milleks need vajalikud on, et viia läbi parendusprojekt.

1 PROTSESSI KAARDISTAMINE

Protsessi kaardistamine on tööriist, mis annab parema ülevaate protsessidest ning loob võimalusi nende parendamiseks ning efektiivsuse tõstmiseks, et ettevõtte suudaks paremini väärtust luua kliendile. [3]

Protsessi kaardistamisel pole määratletud õiget ja valet lähenemist, igal meetodil on omad head ja vead ning need sõltuvad erinevatest situatsioonidest. Kaardistused võivad olla vahest ilusad skeemid, aga põhiline on see töö, mis nendega käib ning sellepärast toimuvad muutused. [3]

Protsessi kaardistamine on siiski kõigest tööriist, see pole analüüs, kuid korralikult tehtud kaardistusest on võimalik teha üsna põhjalik analüüs vaadeldud tööloigust. Analüüsides vaadeldavaid tootmis lõike, on võimalik vähendada praagi arvu, läbiminekuajaga, kulusid, mitte väärtust lisavaid protsesse ning tõsta efektiivsust. [3]

Protsessi kaardistamise eesmärk on muuta vaadeldavad tööloigud visuaalseks ning seejärel analüüsi põhjal parendada protsessi. Alati ei pea olema eesmärgiks teha kõige täpsem kaardistus, sest see võib muuta lõpp tulemuse liiga keerukaks ning seetõttu ei pruugi kõik üheselt aru saada sellest. Vahest on isegi mõistlikum teha pigem lihtne kaardistus, tihtipeale annab see aluse kõige parematele parendus mõtetele. [4]

Protsessi kaardistamise eelised on:

- Kaardistused ja skeemid muudavad protsessid läbinähtavamaks, mis aitavad lihtsamini leida probleemkohti.
- Aitab muuta tööloikute voogu ühtlasemaks, et vältida pudelikaelu.
- Võimaldab suurendada toodete kvaliteeti.

Kaardistamine aitab täiendada teadmisi vaadeldava tööloigu kohta, et neid rakendada mingi eesmärgi täitmisel. Eesmärk võiks olla selgesõnaline ning mõõdetav, et hiljem kontrollida selle projekti edukust. [5]

1.1 Ajapõhine protsessi kaardistamine

Protsessi tulemuslikkust näitab peamiselt aeg, see võimaldab hästi aru saada, kus on võimekus kehva ning tekib pudelikael tootmises. See metoodika aitab leida kohti, kus toimub aja raiskamine ning analüüsides kaardistust, saab võimaluse korral vähendada protsessile

kuluvat aega seal, kus seda on vaja. Sellise protsessi kaardistamise puhul peavad, töölised teadma, et ei mõõdetata otseselt neid, vaid mõõdetakse puhtalt protsessidele kuluvat aega. [6]

1.2 Vooskeem

Vooskeem on graafiline protsesside jada, mida kasutatakse konkreetse väljundi loomiseks. Seda võib kasutada toimingute liigitamisel väärtust loovateks ja mitteväärtust loovateks tegevusteks. Väärtust loovateks tegevusteks nimetatakse protsesse, kus ressurss muudetakse tooteks, mida klient väärtustab ja on nõus maksma. Mitteväärtust lisavateks tegevusteks loetakse sellist tööd, mis kulutab ressursse ja aega, aga ei muuda ressursi ning kliendi silmis on see raiskamine. Vooskeemi mõte on teha nähtavaks erinevad väärtust mitte lisavad protsessid, ehk raiskamised, näiteks ootamine, ladustamine, liikumine ning praagiparandus. [5]

1.3 Väärtusvoo kaardistamine

Pidev tootmise parendamine on üks eeldustest, et tänapäeval ettevõtted suudaksid konkurentsist püsida, kuna kulud tõusevad ning müügi hinnad võivad langeda. Üks lahendustest on kasutada *Lean* juhtimist, mille eesmärk on vähendada läbiminekuaja, toota kvaliteetseid tooteid ja vähendada kulusid. Üheks tööriistaks on väärtusvoo kaardistamine ehk *value map streaming*. [7]

Ettevõtted võtavad kasutusele uusi tööriistu ja viise, kuidas konkureerida ja ellu jääda turul. Kõige suurem probleem on, kuidas toota võimalikult kiiresti, kuid odavalt ning kvaliteetselt. Üheks meetodiks on *Lean* juhtimise rakendamine väärtusvoo kaardistamise näol. Antud meetodi peamisteks eelisteks on väiksem tootmiskulu, parem väljund ning lühenenu läbiminekuaaeg. Täpsemalt on need eesmärgid:

- Praak ja raiskamine. Peab vähendama praagi ja füüsilise raiskamise arvu, sealhulgas liigset materjalikulu, mida kliendile pole vaja.
- Läbiminekuateg. Vähendades ootamise aegu protsesside vahel, saab läbiminekuatega väga palju lühemaks teha.
- Laovarude tase. Varude taset tuleks minimeerida kõikides etappides, nii on vaja väiksemat kapitali vajadust.
- Tööjõu tootlikkus. Tööjõu tootlikkus on hästi oluline, et töötajad teeksid ainult vajalikke ülesandeid, sellisel juhul püsib tööjõu produktiivsus kõrge.

- Seadmete ja ruumi kasutamine. Neid kahte aspekti peaks kasutama tõhusalt, kõrvaldades pudelikaelad ja maksimeerides tootmiskahtu. Hea oleks kui seda tehakse olemasolevate vahendite abil.
- Paindlikkus. Valmidus toota erinevaid tooteid minimaalse üleminekuaja ja kuludega.
- Väljund. Vähenenud läbiminekuaajast, suurenenud tööjõu produktiivsusest ning pudelikaelte kaotamisest saavad ettevõtted suuremat toodangut ja käivet olemasolevate vahenditega.

Lean meetodid kaotavad ära masstootmise halvad küljed. [8]

Läbiminekuaeg ehk tsükli-aeg on toote väärtuse lisamise algusest kuni lõpuni mõõdetav aeg. See on oluline, sest mida väiksem see on, seda kiiremini saab ettevõtte oma toodet müüa ning olla konkurentsivõimeline turul. Samuti saab lühema tsükli-ajaga ettevõtte toota rohkem, mis tähendab, et suudetakse luua suuremat käivet ning kliendid hindavad tarneaega. [9]

Väärtusvoo mõiste all mõeldakse tootmisprotsesside kogumit algusest lõpuni. Väärtusvoo puhul vaadeldakse suurt pilti, kus parendused on suured ning võivad olla isegi läbimurdelised. Põhi eesmärk on vähendada läbiminekuaega ning luua pidev voog, kus tootmine toimub sujuvalt ilma pudelikaelteta. [10]

Väärtusvoo kaardistamine annab tervikliku pildi, kuidas läbi kogu süsteemi, või oleneb kui laialdaselt on kaardistamine läbi viidud, töövoog kulgeb. Selline lähenemine aitab luua strateegilisi muutusi tootmise efektiivsemaks muutmisel.

Väärtusvoo kaardistamise juuri võib leida Toyota autotööstuses kasutusel tuntud kui materjali- ja infovood. Lääne ettevõtted hakkasid huvituma Toyota järjepidevate tulemuste ning kuidas nende lähenemine tootmisele erineb nende omast. Nad said aru, et Toyota fookus põhineb materjali ja informatsiooni voolul üle terve organisatsiooni ning see aitab väga palju kaasa sellele, kuidas nad suudavad järjepidevalt püsida kõrgel tasemel. Selle tulemusena sai *Lean* juhtimise üheks märksõnaks voogude kaardistamine. [11]

Kohe alguses pole mõtet kaardistada tervet süsteemi, seda on liiga palju esialgu. Tuleks võtta väiksemad eesmärgid ning siis liikuda järjest edasi. Esimesed eesmärgid võiksid olla tehasesisesed, ehk tootmisega seotud protsessid ja kui on saadud hea kogemus kaardistamisest, siis liikuda edasi sellise kaardini, mis algab tellimusest ning lõpeb toote üleandmisega kliendile. [12]

Väärtusvoo kaardistamine on protsesside visualiseerimiseks ja analüüsiks mõeldud tööriist. Nimetus tuleneb tootmisprotsessis pidevast voost, kus igas etapis lisatakse tootele väärtust.

Antud tööriistaga saab muuta tootmise voo pidevaks ja sujuvaks, et ei tekiks pudelikaelu ning tootmine oleks efektiivne. Väärtusvoo kaart annab ülevaate materjali liikumisest visuaalselt ning hea aluse mõistmaks, kuidas on omavahel seotud tegevused ja toimingud. [10]

Väärtusvoo meetodi saab jagada viieks sammuks, kus esimesed neli sammu toetavad viiendat sammu, kus toimub tegelik parendusmeede. Nendeks sammudeks on:

- Määrata väärtusvoog, mida hakatakse parendama.
- Koostada praegune kaart ning aru saada kuidas hetkel voog toimub.
- Koostada tuleviku kaart, kus kujundatakse ümber hetke seis, kasutades *Lean* põhimõtteid.
- Välja töötada rakendamise plaan, et kuidas ellu viia parendusmeetmeid.
- Parenduste ellu viimine.

Väärtusvoo kaarti käsitsi luues tuleks keskenduda asjaolule, et see on mõeldud tootmise analüüsimiseks, mitte uhkeks esitluseks. See mõte võiks ka kehtida arvutis tehtud kaardile, sest peamiseks eesmärgiks on siiski saada pidev voog ning efektiivsemad protsessid. Väärtusvoo kaardistamise koostamiseks pole universaalset standardit, kuid on sümbolid, mida üldjuhul kasutatakse ja annavad hea aluse kaardi loomisele. [10]

1.3.1 Väärtusvoo kaardi analüüs

Peale praeguse tootmise kaardistamist on vaja hakata seda analüüsima. Selles osas on võtme teguriks tasakaal. Eesmärk antud töös on saada tasakaalu soovitud taktaeg ja tootmisliini/löövi koguvõimsus. Lisaks on vaja luua tasakaal protsesside järjestamisel, et saavutada ette nähtav ja pidev voog. Seda silmas pidades, peab kohe tasakaalu viima soovitud taktaja ja tegeliku läbiminekuaja, sest kui taktaeg on suurem kui läbiminekuage, siis ei tule tahetud tulemust. Teine samm tasakaalu hindamisel on protsesside tsükliaja võrdlemine, et leida pudelikaelu ning see läbi vähendada läbiminekuagega. [10]

1.3.2 Raiskamised tootmises

Peale tootmismahu analüüsi, tuleks hakata otsima erinevaid raiskamisi. Taiichi Ohno, oli Toyota insener ja juht, keda peetakse *Toyota Production System (TPS)* loojaks. Taichii Ohno määratles seitse raiskamist, milleks on:

- transport;
- inventar;
- liikumine;
- ootamine;

- ületootmine;
- ületöötlemine;
- praak.

Nende hulgas on kõige hullem üle tootmine, sest see omakorda loob uusi raiskamisi, lattu liikumise, laoseisu suurenemise ning ootamise näol. Olukordades, kus üle tootmine ja liigne laoseis on probleem, saaks ühe lahendusena kasutada takti tootmist. Selle lahendusega muutub üleliigsed tooted, ootamiseks, mis ka ei ole ideaalne lahendus, see tuleks teisendada väärtuse lisamiseks. Nüüd muutubki tasakaal väga oluliseks asjaoluks. [10]

Transpordi raiskamine tekib alati, kui materjale või tooteid liigutatakse, kuid mõned liikumised on vajalikud. Lihtsalt liigutamine ei anna mingit väärtust tootele. Kõige levinum raiskamise viis on tõstukitega materjali vedamine. Konveiersüsteemid ei ole ka ainuõige lahendus, kuna need on keerulised ja ruumi nõudvad transportimiseks.

Inventari raiskamise puhul on natuke keerulisem, kuna kõik materjalid ja tooted tekitavad varu, kuid tootmisettevõtetel on mingil määral seda alati vaja. Sellegipoolest on vaja varusid hoolikalt kontrollida, et ei tekiks liiga suurt raiskamist.

Liikumist üldjuhul aetakse segamini transpordi raiskamisega, kuid selle alla kuulub siiski tööliste liikumine, mis ei loo kuidagi väärtust. Antud raiskamine võib väga suuresti tuua alla tootlikkust. Näiteks mõeldakse liikumise raiskamise all seda, kui koostaja on sunnitud tööpiirkonnast eemale kõndima, et tööriista endale tuua.

Igakord kui tööline peab ootama, et temani jõuaks toode, et sellele väärtust luua, toob see tootlikkust jällegi väga palju alla. See on üks peamisi raiskamiste allikaid.

Liigset töötlemist on üldiselt kõige raskem näha, see tähendab, et tootele lisatakse rohkem väärtust, kui klient seda nõuab. Hea näide sellest on, et klient võib küll imetleda toote kaunist kullast viimistlust, kuid on valmis kõigest maksma pronksist viimistluse eest. Sellisel juhul on ettevõtte raisanud kuldamisega aega, raha ja ressursi.

Praaktoote puhul raiskamine on ükskõik, mis defekt toote väärtuse lisamisel, näiteks elektroonika valdkonnas seade ei lülitu sisse, kuna trükkplaadil on lühis, see tähendab, et tuleb toode uuesti lahti võtta ning vahetada või parandada rikkis olev element. [13]

1.3.3 Väärtusvoo tuleviku kaart

Uue kaardi koostamisel tuleks keskenduda pidevale voole. Kõige efektiivsem viis sellele on järjepidev voog ilma laota ning ootamiseta protsesside vahel, kuid seda on peaaegu võimatu

saavutada reaalses maailmas, sellegipoolest peaks püüdlema sellise eesmärgi poole. Pidevat voogu saada on väga raske, pigem kasutatakse tõmbavat süsteemi, ehk toodet hakatakse tootma alles siis, kui klient on oma tellimuse sisse andnud. Eesmärk peaks olema pidev voog ning kui seda pole võimalik saavutada, siis alternatiiviks tõmbav süsteem. Pidev voog ei tähenda alati liikuvat tootmisliini, vaid pigem kindlat taktaega. [10]

1.4 Väärtusvoo kaardistamise eelised

Väärtusvoo kaardistamine on hea tööriist, sest sellel on palju eeliseid:

- Aitab visualiseerida rohkem, kui ainult üksikuid protsesse.
- Protsessi voog on hästi nähtav.
- Toob välja rohkem kui ainult raiskamised, kaardistus aitab näha raiskamiste põhjuseid väärtusvoos.
- Aitab teha voogu nähtavamaks, et parendada neid, muidu toimuvad paljud otsused nii öelda automaatselt.
- Tööriist seob kokku *Lean* põhimõtted ja tehnika, mis aitab teha otsuseid kindlamalt.
- See moodustab hea aluse järgnevatele parendustele, mis lihtsustab tulevikus uute parendusmeetmete leidmist.
- Aitab leida puuduvaid detaile, mis võivad protsessides olla tähtsad.
- Näitab seost info- ja materjalivoo vahel.
- See aitab nii protsessiaegu vähendada, kui ka samal ajal kvaliteeti tõsta.

Praktiseerides väärtusvoo kaardistamist mitmeid kordi, õpib kasutaja nägema parendamise kohti palju paremini ning lõpuks suudab muuta tootmise ühtseks vooks, kus toimub minimaalselt raiskamist. [12]

1.5 Probleemi lahendamine (*DMAIC*)

DMAIC on kuue *sigma* probleemi lahenduse protsess. Üldiselt tuleb kohandada seda lähenemisviisi probleemile, mis on seotud püsiva protsessi või tootega. Variatsioon on peamine probleem toote või protsessi puhul. Varieerumine võib olla erinevas vormis. Antud probleemi lahendus lahendab praagi teket, kõrvalekaldumist eesmärgist ja liiga kõrgeid kulusid või aega. *Six sigma* aitab vähendada varieerumist väärtust lisavate etappide osas protsessides. [14]

See on loodud selleks, et lahendada problemaatilist protsessi või toodet, et taastada kontroll nende üle. See käsitleb tootlikkuse, finantsilise, kvaliteedi ja aja parendamist. Algselt

keskenduti kulude finantsilisele aspektile, kuid nüüd on fookus läinud rohkem tuludele ja ettevõtte kasvule. [14]

Antud probleemi lahendus kasutab protsessisammude struktuuri. Need sammud on üldiselt järjestikused, kui mõne tegevused eri etappidest võivad toimuda samaaegselt. Iga samm peab olema tehtud, enne järgmisele liikumist. [14]

DMAIC on probleemi lahendamise meetod, see koosneb viiest osast:

- Defineerimine (*define*) - Defineerida probleem, tööulatus, projekti ootused ja eesmärgid.
- Mõõtmine (*measure*) - Mõõta protsessid ja luua struktuur tulemuste hindamiseks ning hilisemaks parenduste ja võrdluste tegemiseks.
- Analüüs (*analyze*) – Selles etapis tuleb keskenduda juurpõhjuse väljaselgitamise peale. Saada aru, miks ja kus on pudelikael või mõni muu probleem ning juba otsida võimalusi parendus meetmeteks.
- Parendada (*improve*) – Selles etapis tuleb analüüsi põhjal mõelda välja parim parendus meede, et vähendada praagi osakaalu või eemalda mingisugune probleem tootmises.
- Kontroll (*control*) – Lõpetuseks selles etapis tuleb veenduda, et parendused ikkagi püsivad ja töölised teevad neid plaanipäraselt.

Kuue *sigma* rakendamisel peamised eelised on:

- kulude vähenemine;
- tsükliaja vähenemine;
- praaktoodete eemaldamine;
- kliendi rahulolu tõstmine;
- kasumi suurenemine.

DMAIC on andmepõhine strateegiline meetod, millega vähendada praagi teket või protsessile kuluvat aega. Antud meetod kuulub kuue *sigma* (*six sigma*) alla, kuid võib ka käsitleda eraldiseisva töövahendina. [15]

1.5.1 Lean six sigma

Lean six sigma on fokusseeritud protsessi parendusele ja statistikalisele kontseptsioonile, mille eesmärk on määratleda igasugune varieeruvus protsessides. Põhiline eeldus on, et protsessides esinev varieeruvus toob kaasa vigade või praagi tekkimise. Kuue sigma rakendamisel püütakse rakendada strateegiaid, mis põhinevad mõõtmistel ja mõõdikutel. See töötab koostöös teiste oskuste ja kogemustega, et luua matemaatiline ja statistiline alus

otsuste tegemiseks. Kogemus võib öelda, et protsess ei tööta, aga statistika tõestab seda. [16]

Antud meetod võimaldab ettevõtetel tuvastada probleeme, kinnitada eeldusi, teha ajurünnakuid lahenduste leidmiseks ja planeerida rakendamise viisi, et vältida ebasoodsaid tagajärgi. Rakendades probleemide ja lahenduste puhul seda lähenemist, saab visualiseerida ja prognoosida tulemusi suurema täpsusega, mis võimaldab teha otsuseid väiksema riskiga. [16]

Peamine põhimõte on keskendumine kliendile, et kindlaks teha, mida klient tegelikult ootab tootelt. Kasutades seda teadmist mõõtmiste, statistika ja protsesside täiustamise meetoditega, saab suurendada klientide rahulolu, mis lõpuks toetab kasumit, klientide usaldust ja lojaalsust. [16]

Täpne arusaam kliendi soovist mitte ainult ei võimalda paremini kohandada tooteid ja teenuseid, vaid ka aitab:

- Pakkuda lisafunktsioone, mille eest on kliendid nõus maksma.
- Tootearendusele seada prioriteete, et vastata vajadustele.
- Välja töötada uusi ideid, mis põhinevad tagasisidel.
- Mõista muutuvat turgu paremini.
- Probleemsete valdkondade tuvastamist.
- Testida lahendusi ja ideid, enne kui investeerida aega ja raha nendesse.

Need viisid annavad ettevõtetele väga hea konkurentsieelise, kus on täpsemalt teada, mida klient soovib ning mille eest on nõus maksma, sest pole mõtet teha lisa protsesse, mis kulutab rohkem raha, aga klient maksab ikkagi kokkulepitud summa. [16]

2 ETTEVÕTTE JA EMPIIRILISE METOODIKA TUTVUSTUS

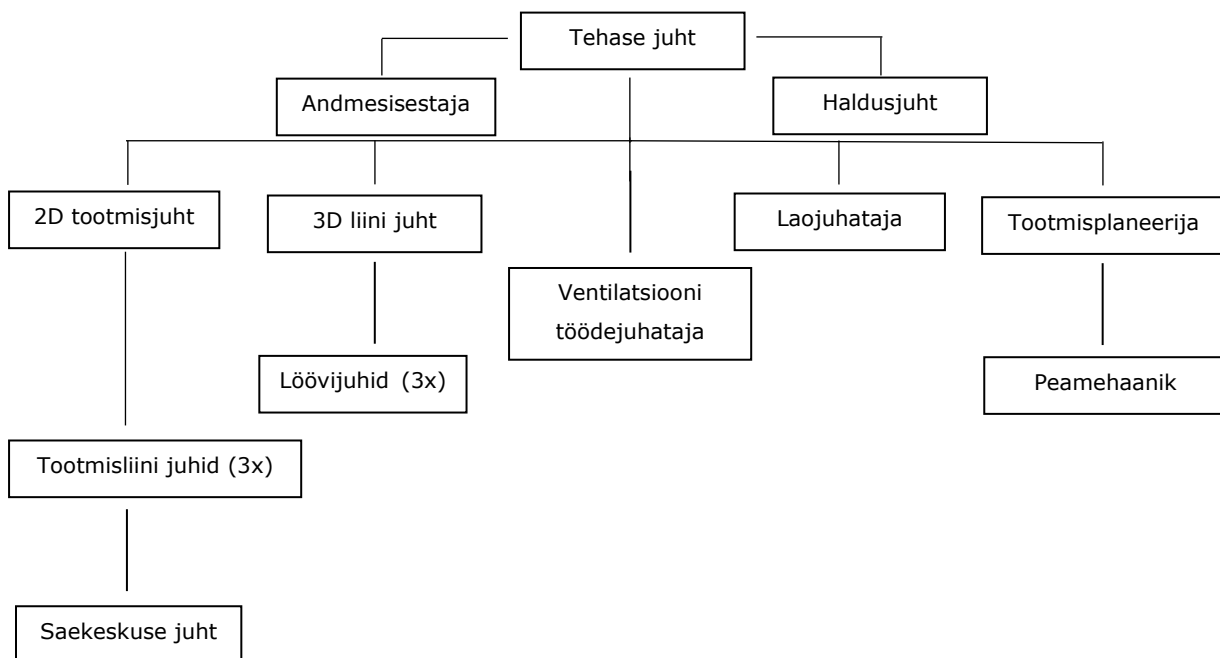
Harmet OÜ toodab moodulehitisi, Ettevõtte pakub terviklahendusi, alates moodulite projekteerimisest kuni hoonete paigaldamiseni. [17]

Harmet OÜ kuulub Harmet gruppi, kus on kokku viis tehast, Tallinnas, Pärnus, Tutermaal, Lieksa (Soome) ja Kumna, Harmet OÜ loodi 1997. aastal. Ettevõtte toodab moodulehitisi, ehitussoojakuid, majaelemente ja metallkonstruktsioone. Harmet Grupp annab tööd üle 800 inimesele. Suurima tehase pindala Kumnas on 23 000m², millel tootmisvõimsust 3600 moodulit, ehk 130 000m² aastas. [17]

Põhiliselt eksporditakse tooteid Skandinaaviasse, kuhu läheb ligi 90% toodetest, seetõttu on ka tegemist globaalselt konkurentsivõimelise ettevõttega. [17]

Antud töö põhineb Harmet OÜ Kumna tehase põhjal, mille struktuur (Joonis 1) on väljatoodud järgmises alapeatükis.

2.1 Ettevõtte struktuur



Joonis 1. Harmet OÜ organisatsiooni struktuur (autori koostatud, kuid baseerub ettevõtte andmetel)

2.2 Uurimismetoodika

Kvantitatiivne uurimine põhineb arvudel ning selles pööratakse suurt tähelepanu andmete kogumisel mõõdistustele. Selles uurimisel on võimalik teha ka statistiline analüüs, et paremini aru saada tulemustest. Tegemist on arvuliste andmete kogumisega. [18]

Antud lõputöö põhineb kvantitatiivsel uurimisel, kuid vähesel määral on ka kirjeldatud parendusprojekti lõpus, kuidas see mõjutas elemente kvalitatiivselt. Kuna peamiselt on antud töö kvantitatiivne, siis põhiliseks andmete kogumise viisiks on protsessidele kuluva aja ja läbiminekuaja mõõdistamine, et leida probleemseid kohti. Mõõtmised viiakse läbi stopperiga ning andmeid kogutakse minutites, see on piisavalt täpne antud eesmärkide saavutamisel.

Mõõdistamiste puhul on puhtalt tegu aegadega, mis tähendab, et pole vahet kumb brigaad parasjagu tööd tegi, mõõdetakse ainult protsessi- ja läbimineku aegu, mitte eraldi töölisi, see tagab töös anonüümsuse selles osas. See info edastati ka liinijuhtidele ja lõvvijuhile.

Saadud andmeid töö autor sisestab Exceli tabelisse ning sellel on ligipääs ka tootmisjuhil, kes saab vajadusel kasutada neid, kui selline projekt kordub. Neid andmeid võrdleb töö autor enne ja peale parendusprojekti, et näha kui tulemuslik see on.

Kvalitatiivne uurimise meetod põhineb olukordadel ning tõlgendab materjali praktiliselt, kasutades tehtuid märkmeid, intervjuusid või mingil muul viisil, et muuta vaadeldud ala nähtavaks. [18]

Kvalitatiivne meetod põhineb mõne protsessi automatiseerimisel, sellega kaotatakse ära tööliste praaktootmine ning tõstetakse tööde kvaliteeti.

3 TOOTMISLIINIDE KAARDISTAMINE JA MONTAAŽI ÜLEVAADE

Protsesside kaardistamiseks kulus aega kaks kuud, selle aja sees toimus:

- Tootmisliinide üks, kaks ja viis ning 3D osakonna kolmanda löövi vaatlus.
- Protsessidele kuluva aja mõõtmine.
- Andmete sisestamine Excelisse.

Tootmisliinide puhul toimus protsesside mõõdistamine tootmislaudade kaupa, et näha, millisel tootmislaual kulub liiga palju aega elementide väärtuse lisamisel. Nende andmetega saab luua marsruudikaardi, kus on nähtaval kõik protsessid ning nendele kuluvad ajad ja visuaalne kaardistus, kus on näha tootmisliinide paigutus.

Montaaži löövi puhul toimus ainult visuaalne vaatlus ja aegade mõõdistamine. Selle osakonna puhul andmed lisati Excelisse nende toimumise järjekorras

Tootmisliinide puhul toimus aegade mõõdistamine üks kuu, et saada parimad ajad, tuli leida keskmine aeg. Tootmisliin ühe jaoks kulus kokku viis tööpäeva ja sama palju aega kulus ka tootmisliin kahe jaoks. Need kaks tootmisliini on üsna sarnased ning elementide tootmisele kuluv aeg samuti. Tootmisliin viie puhul kulus kokku 10 päeva, elementide tootmisele ei kulu küll nii palju, kuid tootmislaudu on palju rohkem, seega visuaalselt peab rohkem jälgima probleemkohtade otsimisele. Need ajad hõlmavad nii enne kui ka pärast parendusprojekti aegade mõõdistamist.

Montaažilöövi jälgimiseks ja mõõdistamiseks kulus 20 päeva, kuna seal on väga palju protsesse, mis toimuvad ka samaaegselt igas kohas, mistõttu mõnel korral ei saa liikuda mooduliga kaasa, vaid peab mõõtma kõik protsessid enne ära. Samuti enne mõõdistamist toimus puhtalt löövi vaatlus, et paremini mõista, mida ja miks mingeid protsesse tehakse, vajalikud vastused töö autori küsimustele vastas kas löövijuht või tootmisjuht.

Andmete Excelisse sisestamine toimus tootmisliinide puhul, kus on pikad tööpäevad, tööliste pauside ajal. Peale mõõdistamist ning andmete sisestamist, toimus visuaalne vaatlus, mille käigus toimus marsruudikaardi ning väärtusvoo ja vooskeemi kombineerides, ka visuaalne kaardistus. Montaaži löövi puhul, kus tööliste tööpäevad lõppesid enne kontori tööpäeva ära. Lisas töö autor vajalikud andmed Excelisse, peale tööliste tööpäeva lõppu.

3.1 Tootmisliinide ja löövide ülesanded

Tootmisliin üks – valmistatakse lagesid, esimesel tootmislaual toimub ettevalmistus karkassi jaoks ning järgmistel laudadel lisatakse vajalikud osad lagedele. Olenevalt projektist, lisatakse näiteks kipsplaate, OSB plaate, villa või elektri toose.

Tootmisliin kaks – valmistatakse põrandaid, põhimõte on sama, mis tootmisliin ühes valmistatud lagedel, aga elementide osad on natuke erinevad, siin laual võib juures olla näiteks torustiku paigaldus.

Tootmisliin viis – tegemist on 2D osakonna kõige töömahukaima liiniga, sellel liinil valmistatakse moodul majadele seinu. Antud projektis seinade tootmine pole nii ajakulukas, aga võimalust lisada seintele väärtust on palju, kuna tootmislaudu on kokku 13 ning kasutusel on ka tööpingid, et protsessid kiiremini valmiks.

Igas tootmisliinis on määratud iga tootmislauda taha kaks töölist, kuid see varieerub näiteks viiendas tootmisliinis, kus igal laual pole tööd. Tootmisliinil üks ja kaks on kummalgi liinil kaheksa töölist, mõlemal liinil oma eestööline ja üks liinijuht, kes vastutab nende kahe liini eest. Viiendas tootmisliinis on suurem ala ning „u“ kujuline tootmine, vastutab üks liinijuht ainult selle eest, kelle alluvuses on üks eestööline ja 16 töölist. Viies tootmisliin on erand tööliste arvu suhtes, sest seal toimub ka teisi väiksemaid elementide tootmisi, mitte ainult seinu, mis peavad läbima peaaegu kogu tootmisliini.

Montaaži löövide puhul pole määratud kindlalt, millises löövis toodetakse mingeid mooduleid, see otsus käib jooksvalt. Selles osakonnas toimub elementidest kokkupanemine moodul majaks, see on väike osa sellest ainult alguses. Suurem väärtuse lisamine toimub vastavalt projektile, näiteks akende, pvc või õhksoojuspumba paigaldus.

3.2 Protsessi kaardistamine tootmisliinidel

Protsessi kaardistamiseks jälgis töö autor kokku kolme tootmisliini, kus toodetakse montaaži osakonnale elemente. Selleks, et saada hea ülevaade toimuvast, mõõtis töö autor ka igale operatsioonile kuluvat aega ning läbiminekuajaga, ehk kui kaua element iga töölauda peal on. Mõõdistamiste käigus kandis töö autor jooksvalt andmed Excelisse, et nende põhjal luua marsruudikaardid kõigi vaadeldud tootmisliinide kohta. Marsruudikaart annab hea ülevaate, millise töölauda peal kulub operatsioonidele kõige rohkem aega, küll aga antud juhul toimus igal laual mõni operatsioon, mis pole nii efektiivne. Mõne teise projekti puhul, kus lisatakse rohkem väärtust elementidele, on see parem viis.

Tootmisliinide jälgimise põhjal moodustas töö autor ka visuaalsed kaardid vooskeemi ja väärtusvoo kombinatsiooni põhjal. Vooskeem annab hea ülevaate vaadeldud aladest ning väärtusvoog lisab mõõdetud ajad, mis on antud töö jaoks väga hea.

Mõlemas osakonnas teadsid liinijuhid ja löövi juht protsessi kaardistamisest ning andsid selle info edasi töölistele koos selgitusega, et mõõdetakse puhtalt protsesse, mitte töölisi isiklikult.

Väärtusvoo kaardistamine üldjuhul käib alates kliendi tellimusest, kuni toote väljastamiseni. Antud lõputöös käsitletakse ainult läbiminekuajega tootmisliinidest, kuni kolmanda löövi lõpuni, kuna töö autor keskendus ainult tootmise parendamisele. Nii moodustub väärtusvoo ja vooskeemi kombinatsioon, kus on visuaalselt kujutatud tootmine, aga juurde lisatud ka ajalised tegurid operatsioonide ning läbiminekuaja näol. Nii on saavutatud hea ülevaade, kus tootmislaual toimub mingi protsess ning kaua see hetkeseisuga aega võtab. Tulevikus on võimalik veelgi rohkem parendada saadud infoga, näiteks muuta ainult 2D osakonnas tootmisliinide laudadel protsessi asukohti, ehk viia mingi tegevus üle kas eelnevale või järgmisele lauale. Lisaks tulevikus parendades on eelnev info olemas ning saab hea võrdluse parenduse efektiivsusest.

3.3 Vaadeldud tootmisliinide ja löövi lühiülevaated

Tootmisliinid on väga hästi üles ehitatud konveier põhimõttel, kui ühe laua peal saavad operatsioonid tehtud, liigutatakse detail järgmise peale.

Järgmistes alapeatükkides annab töö autor lühikese ülevaate tootmisliinidest üks, kaks ja viis ning kolmandast löövist, kõiki operatsioone välja ei tooda, ainult aeganõudvamad.

Esimeses tootmisliinis on neli lauda. Algselt tuuakse materjal esimese laua peale telfriga prussid, millest lõpuks valmib lagi. Seejärel kui karkass on valmis ja kile paigaldatud, liigutatakse detail järgmise laua peale, kus toimub villa ja elektri kõride paigaldus. Järgmisel laual paigaldatakse kaks kihti kipsplaate, ning seejärel pööratakse lae detail ümber. Viimasel laual paigaldatakse vill, kangas ning kipsplaat peale. Peale protsesse, tõstetakse telfriga laed virna, mis jääb 2D ja 3D osakonna vahele, seega kui 3D osakond alustab uue mooduli montaažiga, tõstetakse telfriga vajalikud detailid õigesse kohta.

Teises tootmisliinis on samuti neli lauda. Teise liini algus on sarnane esimesele, kus telfriga tuuakse materjal esimese laua peale, küll aga siin oleneb projektist, kas tuuakse nii prussid, kui ka metallraam või ainult prussid. Esimese korruse põrandal toimub karkassi kokku kruvimine ning klotside paigaldus, peale seda liigub detail teise laua peale, kus paigaldatakse

kile ning kipsplaat. Järgmiseks pööratakse põrand ümber ning liigutatakse järgmisele lauale, kus toimub torustiku paigaldus. Viimasel laual toimub kipsplaatide paigaldus.

Viies liin on ainuke liin tehases, kus on kasutusel u kujuline tootmine, selle vajalikkus seisneb protsesside rohkuses. Selles tootmisliinis on kasutusel 13 lauda ja kolm tööpinki. Ettevalmistuses, ehk esimese ja teise laua peal, valmistatakse karkassi ning aknaplokke välisseinadele. Nendele protsessidele järgnevad kile, kipsplaadi ja elektrikõride paigaldus, seejärel pööratakse ümber, toimub villa ja OSB plaatide paigaldus. Viimasteks protsessideks on kanga, liistude ja fassaadi paigaldus. Seinade valmimisel transporditakse see telfriga spetsiaalse aluse peale ning montaaži osakond saab võtta mooduli kokkupaneku tsükli alguses.

3D osakonnas on maas rööpad, kuhu pannakse alusklotsid, neid liigutatakse koos mooduliga vastavalt kohta, kus hakkab pihta järgmine operatsioon. Kolmas lööv on viienda tootmisliini vastas, seega seinad pandi nende kahe osakonna vahele ning sealt pole pikk maa tuua. Sellega säästetakse ebavajalikke liigutusi, kuid lagede ja põrandate tootmine on kaugemal, nii peavad 2D töölised transportima need vastavalt lähima liini ja 3D osakonna vahele, kuid kui neid läheb vaja kolmandas või teises löövis, transporditakse detailid vastavale löövile lähemale.

Töölised tõstavad telfriga mooduli põranda alusklotside peale ning monteerivad seinad ja lae, seejärel liigutatakse moodulit edasi ning algavad elektritööd, tarketi paigaldus, OSB ja fassaadi paigaldus välisseina ning siis juba hakkavad sisetööd. Sisse paigaldatakse seinad, ukse, aknad, ventilatsioon ja radiaator. Viimaseks paigaldatakse raam, mille küljes on ka konksud, et transportida telfriga moodul pakkimisse.

3.4 Tootmisliinide kaardistamine

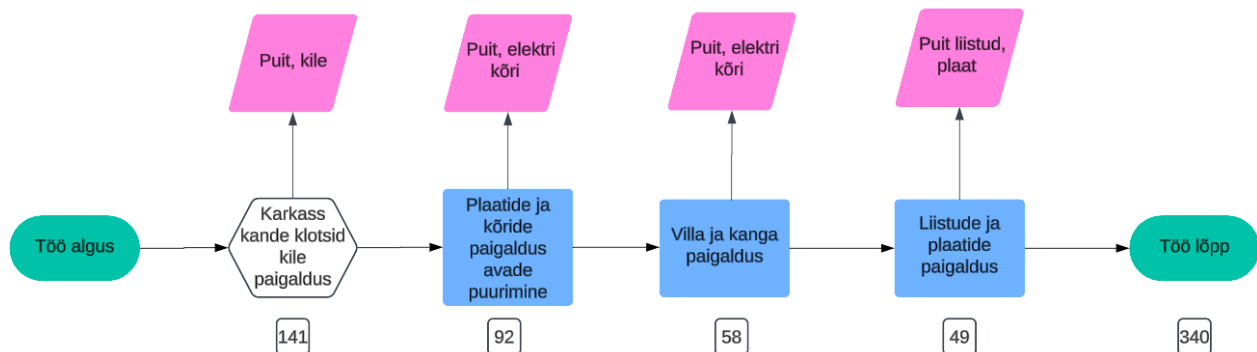
Tootmisliinide kaardistamisel kasutas autor vooskeemi ja väärtusvoo kaardi kombinatsiooni, nii on liinidest visuaalne pilt nendest töölaudadest, kus toimub protsess. Tootmisliin üks ja kaks on tehtud ainult hetke kaardistus ning tootmisliin viiel on veel lisaks ka tuleviku kaart, kuhu on lisatud hiljem mõõdetud ajad. Lisaks visuaalsele liikumisele on ka marsruudikaardid tootmisliinide kohta antud projektis.

Liin üks marsruudikaardis (Tabel 1) on välja toodud täpsemalt lae elemendi tootmiseks vajalikud protsessid ning neile kuluvad ajad, laudadel kokku kuluv aeg ning lõpuks ühe lae läbimineku aeg. Lisaks on välja toodud ka protsessidele vaja minevad materjalid, mõõtude jaoks vajalikud margid, antud juhul on selleks joonis ning veel on vajaminevad tööriistad iga protsessi jaoks. Esimese laua peal toimub karkassi kokku kruvimine, millele kulub 113 minutit,

teostatakse käsitsi, siis toimub kandeklotside ja kile paigaldus vastavalt 22 ja 6 minutit. Seejärel liigutatakse element järgmisele lauale, kus toimub plaatide paigaldus 38 minutit, avade puurimine 10 minutit ning kõride paigaldus 42 minutit. Siis pööratakse element ümber ja liigutatakse kolmandale lauale, kus toimub villa ja kanga paigaldus vastavalt 54 ja 4 minutit. Viimasel laual toimub liistude ja plaatide paigaldus vastavalt 15 ja 34 minutit. Kokku kulub esimesel tootmisliinil lae elementide tootmiseks 340 minutit.

Tabel 1. Tootmisliin üks marsruutkaart

MARSRUUTKAART					Leht/Lehti:	Laul (h)	Laul (h)	Laul (h)	Laul (h)	
					1/1	2,35	1,53	0,97	0,82	
Möötühik	Minut	Tootmisliin üks				Laud 1-1	Laud 1-2	Laud 1-3	Laud 1-4	
						Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Kokku
Oper. nr.	Operatsiooni nimetus ja sisu	Materjalid	Möödt, mark	Töö- ja mõõteriistad	141	92	58	49	340	
1	Karkassi kokkukruvimine	Puit	Joonis	Naelapüss, kruvipüss	113					
2	Karkassi klotside paigaldus	Puit	Joonis	Naelapüss	22					
3	Kile paigaldus	Kile	Joonis	Naelapüss	6					
4	Plaatide paigaldus	Plaat	Joonis	Naela-, kruvipüss						
5	Avade puurimine	-	Joonis	akutrell		38				
6	Kõride paigaldus	Kõrid	-	Haamer		10				
7	Ümberpööramine	-	-	-		42				
8	Villa paigaldus	Vill	Joonis	Villa saag		2				
9	Kanga paigaldus	Kangas	Joonis	Klambripüss			54			
10	Liistude paigaldus	Puit	Joonis	Naelapüss			4			
11	Plaatide paigaldus	Plaat	Joonis	Naela-, kruvipüss						
									34	



Joonis 2. Tootmisliin üks vooskeem

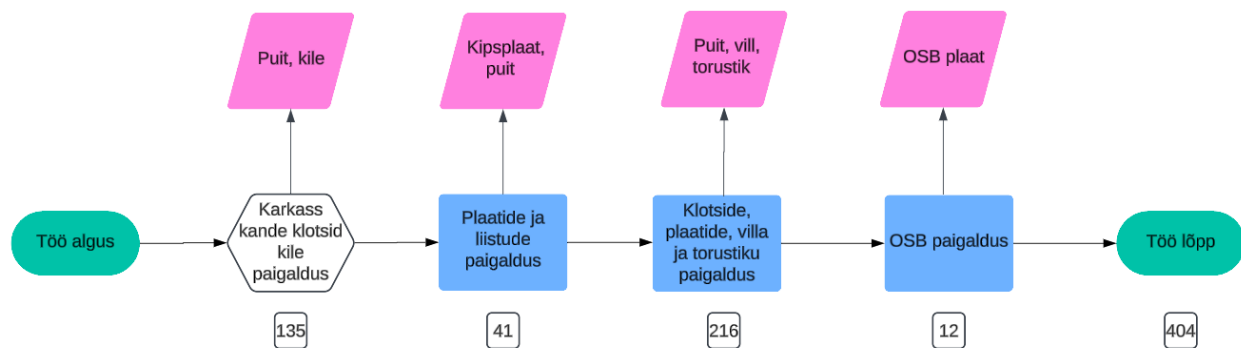
Tootmisliin üks (Joonis 2) on sirge liin, mis hakkab saakeskuse juurest pihta ja lõpeb montaaži osakonna vastas, kus ladustatakse lagesid, nii on elementide kokkupanek kiirem ning

elementide koostajad ei pea kaugele viima, mis hoiab ära transpordi raiskamise. Sama põhimõtte kehtib ka tootmisliin kahe (Joonis 3) kohta, sest need liinid on kõrvuti.

Tootmisliin kaks (Tabel 2) koosneb neljast töölauast ning igal laual toimub ka väärtuse lisamine tootele. Põrandate tootmine algab karkassi kokku kruvimisest, millele kulub 110 minutit ning teostatakse käsitsi. Seejärel toestatakse karkass klotside paigaldusega 20 minutit ning paigaldatakse kile viie minutiga. Peale neid protsesse liigub põrand edasi teisele lauale, kus paigaldatakse esimene kiht kipsplaate 34 minutiga, seejärel toimub liistude paigaldus viie minutiga ning pööratakse toode ümber ja liigutatakse kolmandale lauale. Kolmandal laual paigaldatakse ka teisele poole klotsid 32 minutiga, seejärel toimub plaatide paigaldus 92 minutit. Kaks viimast protsessi sellel laual algavad sama aegselt, villa ja torustiku paigaldus, neile kulub aega vastavalt 75 ja 17 minutit. Viimaseks liigub toode neljandale lauale, kus toimub ainult OSB paigaldus 12 minutit ning element on valmis. Teisel tootmisliinil kulub põrandate paigalduseks 404 minutit. Kogu liini peal käib töö käsitsi, väljaarvatud toote liigutamine, mis toimub igas liinis konveier põhimõttel.

Tabel 2. Tootmisliin kaks marsruutkaart

MARSRUUTKAART					Leht/Lehti:	Laul (h)	Laul (h)	Laul (h)	Laul (h)	
					1/1	2,25	0,68	3,60	0,20	
Möötühik	Minut	Tootmisliin kaks			Laud 2-1	Laud 2-2	Laud 2-3	Laud 2-4		
					Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Kokku	
Oper. nr.	Operatsiooni nimetus ja sisu	Materjalid	Mööd, mark	Töö- ja mõõteriistad	135	41	216	12	404	
1	Karkassi kokkukruvimine	Puit	Joonis	Naelapüss, kruvipüss	110					
2	Karkassi klotside paigaldus	Puit	Joonis	Naelapüss	20					
3	Kile paigaldus	Kile	Joonis	Naelapüss	5					
4	Plaatide paigaldus	Plaat	Joonis	Naela-, kruvipüss		34				
5	Liistude paigaldus	Puit	Joonis	Naelapüss		5				
6	Ümerpööramine	-	-	-		2				
7	Klotside paigaldus	Puit	-	Naela-, kruvipüss			32			
8	Plaatide paigaldus	Kipsplaat	Joonis	Naela-, kruvipüss			92			
9	Villa paigaldus	Vill	Joonis	Villa saag			75			
10	Torustiku paigaldus	Torud	Joonis	Akutrell			17			
11	OSB paigaldus	Plaat	Joonis	Naela-, kruvipüss			12			



Joonis 3. Tootmisliin kaks vooskeem

Viiendal liinil on kokku 13 lauda, kuid antud projekti puhul toimuvad protsessid seitsmel töölaual ning ühe vaheseina tootmiseks kulub 127 minutit, ehk 2,1 tundi. Kõigepealt toimub karkassi kokku kruvimine, selleks on töölisel kasutada tööpink, antud protsess võtab aega 18 minutit ning liigub järgmisele töölauale. Järgnevalt paigaldatakse kandeklotsid, et toetada seina, selleks kulub aega 32 minutit, töö toimub töölaual käsitsi. Viiendal laual paigaldavad töölised kile 6 minutit, siis liigub toode kuuendale lauale, kus toimub kipsplaatide ja liistude paigaldus, vastavalt 20 ja 10 minutit. Seejärel pööratakse vahesein ümber 2 minutiga ning liigutatakse viimasele, ehk kaheksandale lauale, kus villa paigalduseks kulub 39 minutit.

Tabel 3. Tootmisliin viis marsruutkaart enne parendusprojekti

MARSRUUTKAART					Leht/Lehti:	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	
					1/1	0,3	0,53	0,10	0,5	0,03	0,65	
Mõõtühik:		Minut	Tootmisliin viis			Laud 5-2	Laud 5-3	Laud 5-5	Laud 5-6	Laud 5-7	Laud 5-8	
						Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Kokku
Oper. nr.	Operatsiooni nimetus ja sisu		Materjalid	Mõõt, mark	Töö- ja mõõteriistad	18	32	6	30	2	39	127
1	Karkassi kokkukruvimine		Puit, naelad	Joonis	Mõõdulint	18						
2	Kandeklotside paigaldus		Puit, naelad	Joonis	Naelapüss, mõõdulint		32					
3	Kile paigaldus		Klambrid, kile	Joonis	Klambripüss, mõõdulint			6				
4	Plaatide paigaldus		Kipsplaat, kruvid	Joonis	Kruvipüss mõõdulint				20			
5	Liistude paigaldus		Puit liistud	Joonis	Naelapüss				10			
6	Ümber pööramine		-	-	-					2		
7	Villa paigaldus		Vill	Joonis	Villasaag						39	

3.5 DMAIC kasutamine

Protsessi kaardistamine oli esimene etapp probleemide tuvastamisel, antud protsessides sai selgeks millistele etappidele kulus liialt palju aega ning esimesed mõtted, kuidas vähendada protsessidele kuluvaid aegu. Probleemi lahenduse meetodit DMAIC kasutades sai veelgi parema ülevaate, kuidas lahendada antud probleemi.

Esimene etapp oli defineerida probleem. Probleeme oli kaks, esiteks 3D osakonnas läbimineku aeg on liialt pikk ja kahe osakonna tööaeg liialt erineva osakaaluga kogu protsessis. Töölatuses kujunes välja 2D osakonna viies tootmisliin ning 3D osakonnas kolmas lööv, täpsemalt soojakutega seotud operatsioonid. Projekti eesmärk oli võrdsustada kahe osakonna protsessidele kuluvat aega ja vähendada 3D osakonnas läbimineku aega ning parendada ka elementide kvaliteeti.

Teine etapp oli mõõta operatsioonidele kuluvat aega. Selleks töö autor teostas ajapõhist protsessi kaardistamist enne parendust ja peale projekti läbi viimist stopperiga. Kaardistamise tulemused said Excelisse kirja, nii on olemas kogu info operatsioonidele kuluvast ajast ning seda on võimalik kasutada ka tulevikus.

Kolmas etapp on analüüsides välja selgitada juurpõhjus. Analüüsides tulemusi, selgus milliseid operatsioone saaks eelnevalt teha, mis vähendaks 3D osakonna läbimineku aega, aga ei lisaks liialt palju koormust 2D osakonnale. Sellest tulenevalt töö autor ja tootmisjuht tegid plaane, milliseid operatsioone viia üle 2D osakonda. Nendeks kujunesid antud projektis seinad elemendid, mis muidu liikusid välja 2D osakonnast pool tühjana, kuid analüüsides sai selgeks, et palju mõistlikum oleks seinad elemendid täielikult ära toota juba varem, et suurendada tootmise efektiivsust.

Neljandas etapis toimus parendus. Peale eelneva etapi analüüsi otsustasid töö autor ja tootmisjuht viia 2D osakonda kolm operatsiooni, et montaažis enam ei peaks nendega tegelema. Antud operatsioonide üle viimine andis head tulemust, vähenes nii läbimineku aeg, kui ka tõusis kvaliteet.

Viiendas, ehk viimases etapis tuleb veenduda, et parendusi tehakse ja need toimivad. Selleks tegi autor veel mõõdistusi ning sealt selgus, et 3D osakonnas lühenes läbimineku aeg märkimisväärselt, võrdsustasid 2D ja 3D osakonna tööajad ning kogu protsessidele kuluv aeg lühenes, mida esialgu ei osanud oodata. Detailsem parendusprojekti läbi viimine on kirjeldatud järgmises peatükis.

DMAIC meetod aitas tootmist timmida, et saavutada antud eesmärgid. Selle mudeliga sai hästi kirja probleem, millest oli lihtsam juba teha analüüsi ning hiljem parendusi välja mõelda. Lõpus kontrollimine andis kindlust, et parendusprojekti ikkagi töötab ja ajaline võit on iga tsükliga. *Lean* raiskamise poolest vähenes ebavajalik liikumine, 2D osakonnas on tuuletõkke kangas, liistud ja fassaad kohe töölaua kõrval, 3D osakonnas on palju erinevaid moodulitele vajalikke detaile, nii võib juhtuda, et kõik vajalikud tooted pole alati kohe mooduli kõrval.

4 PARENDUSPROJEKT

Protsessi kaardistamise analüüsi käigus selgus, et 3D osakonnas, ehk montaažis kulub liialt palju aega moodulite koostamisele, samal ajal kui 2D osakonnas, kus toodetakse moodulitele põrandaid, seinu ja lagesid, kulub tootmisele nii palju vähem aega, et toodetakse detaile ette. Sellest kujunes välja kaks eesmärki.

Esimeseks eesmärgiks on lühendada moodulite läbiminekuaga, tehes teatud protsessid varasemates töötappides. Teiseks eesmärgiks on võrdsustada 2D ja 3D osakondades protsessidele kuluvat aega.

Selle parendusprojekti kasuks on ka asjaolu, et 2D osakond töötab kahes vahetuses seitse korda nädalas ja 12 tundi päevas, üks vahetus töötab ühel nädalal esmaspäeval ja teisipäeval ning reede, laupäev, pühapäev ja vastupidi. Samal ajal montaaži osakond töötab esmaspäevast reedeni kaheksa tunniseid tööpäevi, mistõttu seal osakonnas on palju vähem töötunde ja on oluline, et võimalikult vähe protsesse toimuks nende töö alal seintega.

4.1 Algne tootmine enne parendusprojekti

Algselt toodeti 2D osakonnas seinu tühjalt, mis tähendab, et tootmislaudade taga paigaldati kuni villa paigalduseni elemendid valmis ning 3D osakonnas töölised paigaldasid vertikaalses asendis elementidele OSB plaadid, kanga, puit liistud ja fassaadi lauad. Need protsessid võtsid rohkem aega ning töölistel oli seda ebamugav teostada, sest eriti kanga puhul, on vaja kindlasti kahte töolist, kes seda paigaldaksid, muidu ei suudeta tagada pingul ja kvaliteetselt teostatud protsessi.

4.2 Parendused

Protsessi kaardistamise käigus sai autor hea ülevaate tootmisest, selle info põhjal oli võimalik mõelda parendustele koos tootmisjuhiga. Üheks parenduseks oli teha mõned protsessid 2D osakonnas varem ära, nendeks olid:

- OSB paigaldus seinu.
- Tuuletõkke kanga paigaldus.
- Liistude paigaldus seinu.
- Fassaadi laudade paigaldus seinu.

Nende protsesside teostamiseks kulus 3D osakonnas OSB paigaldusele 38 minutit, mille jaoks kulub 2D osakonnal sama kaua. Kanga paigalduseks 10 minutit, mis on küll kiirem kui tootmislaua taga tehtav 12 minutit, kuid on alati peab olema kaks töölist seal, tootmislaua taga olenevalt olukorrast, tegeleb sellega ainult üks tööline. Liistude paigalduse jaoks kulus 34 minutit, mis on kaks minutit aeglasem kui peale parendusmeetmete läbi viimist. Peamine ajaline võit tuli fassaadi laudade paigalduse pealt, mis oli kohe alguses arvata, see aeg vähenes üle poole võrra, sest montaaži töölistel kulus selle jaoks 150 minutit, aga tootmisliini töölistel vähenes see 62 minuti peale. Kokku kulus algselt montaaži osakonnas nendele protsessidele 232 minutit, mis on 88 minutit rohkem, kui peale parendusprojekti 2D osakonnas. (Tabel 4) on väljatoodud, kui palju aega kulub nende protsesside peale 2D ja 3D osakonnas. Antud tabelis on kahele seinale kuluvad ajad, kaardistamise osas on ainult ühele seinale kuluvad ajad, aga kuna läbimineku aeg on mõõdistatud ja moodulitele läheb kaks toodetavat seina, siis on oluline need arvud kahega korrutada.

Tabel 4. Operatsioonide ajad 2D ja 3D osakonnas

Operatsiooni kirjeldus (2D)	Tööaeg mooduli peale (min)	Operatsiooni kirjeldus (3D)	Tööaeg mooduli peale (min)
OSB paigaldus	38	OSB paigaldus	38
Kanga paigaldus	12	Kanga paigaldus	10
Liistude paigaldus	32	Liistude paigaldus	34
Fassaadi paigaldus	62	Fassaadi paigaldus	150
Kokku	144	Kokku	232
	Ajaline võit (min)	88	

Peale parendust 3D osakonnas tõusis esimese tööetapi aeg (Tabel 5) 76 minuti pealt, 80 minuti peale. Varem tühjad seinad, mis polnud omavahel ühenduses, transporditi neli üksikut seina korraga, aga peale parendust, transporditi üks pool korraga. Seinad on vahelülga ühenduses sellepärast, et 2D osakonnas saaks teha kahte seina korraga, nii kulub liikumisele ning tööde teostamise peale vähem aega. Teises tööetapis lisandus 12 minutit sarnasel põhjusel, mis oli esimeses tööetapis, ehk ühenduslülid on vaja ära lõigata.

Alates kolmandast tööetapist on näha parenduse tulemusi, kui etapi aeg vähenes 365 minuti pealt 220 minuti peale, ehk ajaline võit on 145 minutit. Selles etapis jäi ära OSB ja kanga paigaldus seina elementi.

Viimane parendus toimus neljandas etapis, kui algne aeg 481 minutit vähenes 297 minuti peale, ajalise võiduga 184 minutit. Siin etapis olid seintele juba liistud ja fassaad 2D osakonnas paigaldatud ning töölised said teostada protsesse, mida saab teostada ainult montaaži osakonnas.

Viiendas ja kuuendas etapis parendust sellisel kujul läbi viia ei saa, kuna tegemist on juba moodulite viimistlusega ning sisetöödega, mille eelduseks on see, et moodul on ühes tükis. Nendes etappides jäi tööaeg täpselt samaks, viiendas 374 minutit ja kuuendas etapis 378 minutit.

Antud parendusprojekt 3D osakonnas vähendas aega 1824 minuti pealt 1511 minuti peale, ajaline võit on 313 minutit, ehk 5,2 tundi. See tähendab, et tulemus on 17% parem.

Kogu protsessi all on mõeldud seina elementide tootmist ja soojakute montaaži, sellel põhjusel, et parendusprojekt hõlmas ainult seinu, mujal jäi tootmine samaks ning ei mõjutanud ajalist võitu.

Tabel 5. Ajaline võit tööetappides

Enne parendust	Tööaeg (min)	Peale parendust	Tööaeg (min)
Esimene tööetapp	76	Esimene tööetapp	80
Teine tööetapp	150	Teine tööetapp	162
Kolmas tööetapp	365	Kolmas tööetapp	220
Neljas tööetapp	481	Neljas tööetapp	297
Viies tööetapp	374	Viies tööetapp	374
Kuues tööetapp	378	Kuues tööetapp	378
Kokku	1824	Kokku	1511
	Ajaline võit (min)	313	

Üheks eesmärgiks oli saada 3D osakonna koormust madalamaks, kuid kahe osakonna eripärade tõttu antud parendusprojektiga muutus terve läbimineku aeg lühemaks. Selle põhjuseks on seinte asetus, 3D osakonnas on seinad vertikaalselt moodulite küljes, kuid 2D osakonnas on need laudade peal horisontaalselt. Vertikaalselt on ajanõudlikum protsess fassaadi puhul, sest tööline ei saa asetada kõiki laudu seina korraga, kuid 2D laua peal on see võimalik. Laua peal saab laduda kõik fassaadi lauad töö lauale ära ja alles siis hakata kinnitama neid naeletega.

Teine eelis on kolme tööpingi olemasolu 2D osakonnas, mida kõiki saab antud juhul kasutada kolmes protsessis, kipsplaadi, OSB ja fassaadi laudade naelutamiseks. Moodulite küljes olevad seinad on kuni 3 meetri kõrgused, seega tööline peab ülemisi laudu paigaldama redeli pealt, mis lisab jällegi protsessile aega ja ebavajalikke liigutusi.

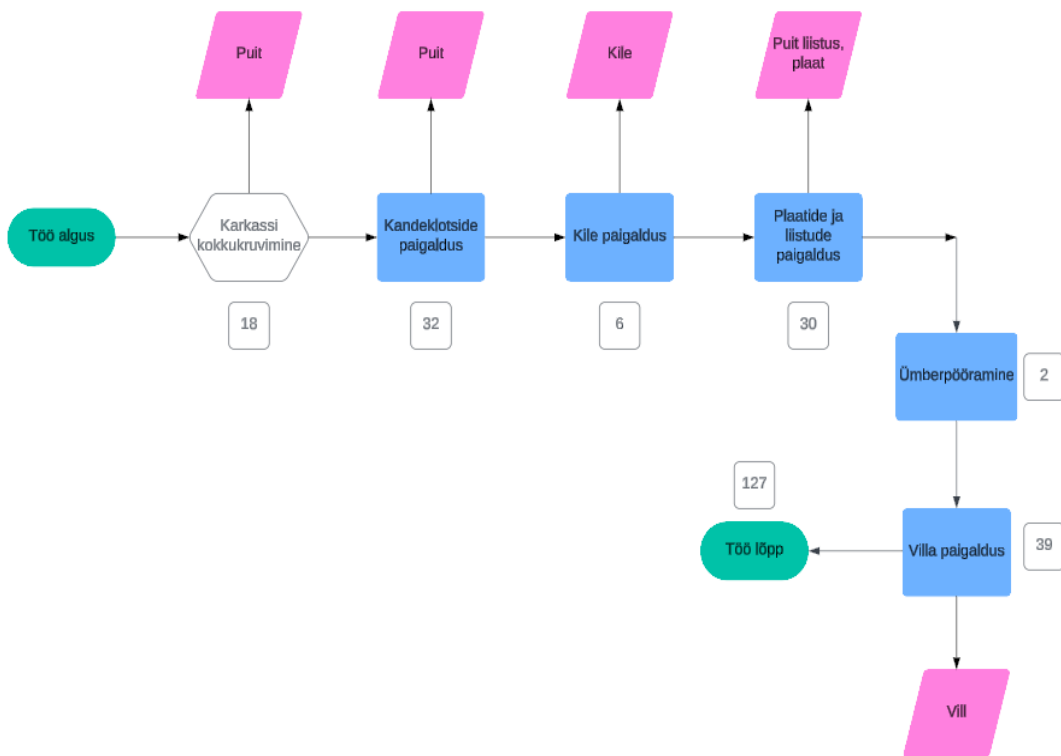
2D osakonnas algselt kulus kahe vaheseina tootmisele 254 minutit ning 3D osakonnas montaažile 1824 minutit. Kirjas on kaks vaheseina, sest nii palju läheb neid ühte moodulisse. Peale parendust kulub kahe vaheseina tootmisele 398 minutit ning 3D osakonnas montaažile 1511 minutit. 2D osakonnal on tööjõu mõistes selline mahu suurendamine võimalik, seetõttu oligi üheks eesmärgiks sinna viia antud protsessid.

Peale parendust lisandus 2D osakonnas viiendale liinile kolm lisa protsessi, mis pikendas antud projekti puhul tootmisliini läbiminekuaga 72 minuti võrra, aga lühendab 3D osakonnas rohkem läbiminekuaga. Lisa protsessideks on osb-, kanga-, liistude-, ja fassaadi paigaldus, mille teostamiseks kulub vastavalt 19,6,16 ja 31 minutit. Muud ajad on samad, sest kõiki aegu on mõõdetud mitu korda ning võetud on keskmised ajad.

Tabel 6. Tootmisliin viis marsruutkaart peale parendusprojekti

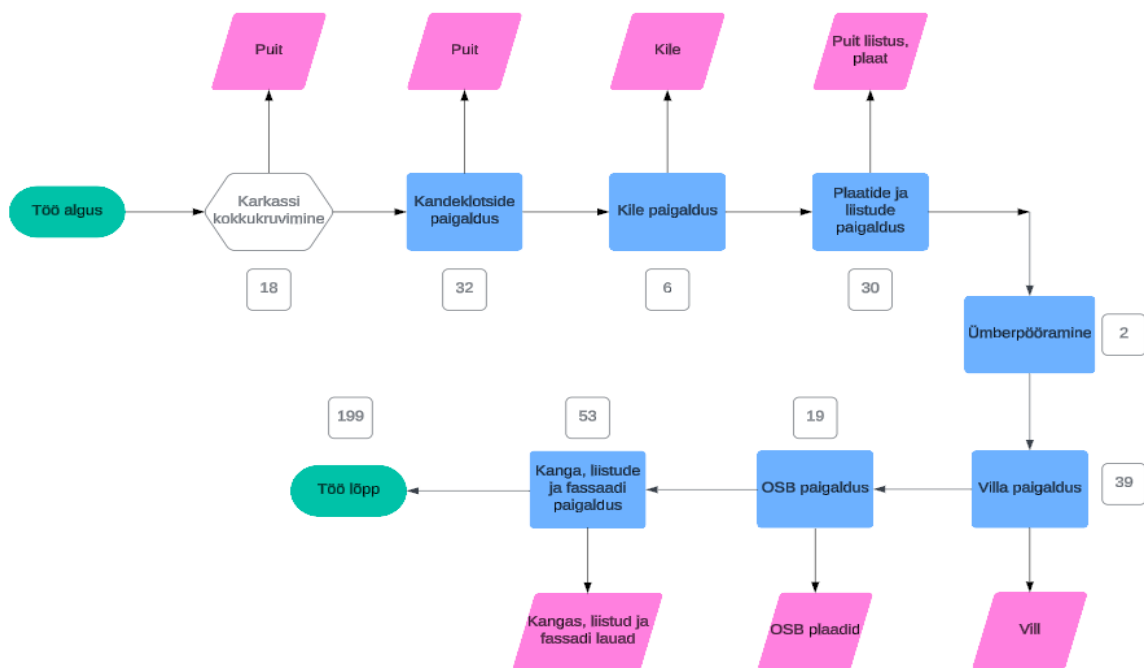
MARSRUUTKAART					Leht/Lehti:		Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	Laua (h)	
					1/1		0,3	0,53	0,10	0,5	0,03	0,65	0,32	0,88	
Mõõtühik		Minut	Tootmisliin viis			Laud 5-2	Laud 5-3	Laud 5-5	Laud 5-6	Laud 5-7	Laud 5-8	Laud 5-9	Laud 5-11		
						Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Aeg	Kokku
Oper. nr.	Operatsiooni nimetus ja sisu		Materjalid	Mõõt, mark	Töö- ja mõõteriistad	18	32	6	30	2	39	19	53	199	
1	Karkassi kokkuvruvimine		Puit, naelad	Joonis	Naelapüss, mõõdulint	18									
2	Kandeklotside paigaldus		Puit, naelad	Joonis	Naelapüss, mõõdulint		32								
3	Kile paigaldus		Klambrid, kile	Joonis	Mõõdulint klambripüss			6							
4	Plaatide paigaldus		Kipsplaat, kruvid	Joonis	Mõõdulint, kruvipüss				20						
5	Liistude paigaldus		Puit liistud	Joonis	Naelapüss				10						
6	Ümber pööramine		-	-	-					2					
7	Villa paigaldus		Vill	Joonis	Villasaag						39				
8	OSB paigaldus		OSB plaadid	Joonis	Naelapüss, mõõdulint							19			
9	Kanga paigaldus		Kangas	Joonis	Klambripüss, mõõdulint									6	
10	Liistude paigaldus		Puit liistud	Joonis	Mõõdulint, Kruvi-, naelapüss									16	
11	Fassaadi paigaldus		Fassaadi laud	Joonis	Mõõdulint, Kruvi-, naelapüss									31	

Tootmisliin viies (Tabel 6) lisandus kolm protsessi tootmislaual 11, mis lisisid 53 minutit ja läbiminekuage tõusis 199 minuti peale ühe seina elemendi kohta. Tööjõuressurss on antud liinil olemas, nii oli lihtsam parendusprojekti läbi viia, sest igal laual pole nii palju töölisi vaja. Antud projektiga sai optimeerida ka ressursi paigutust.



Joonis 4. Tootmisliin viis vooskeem enne parendusprojekti

Enne parendusprojekti tootmisliin viies (Joonis 4) kasutati kuute töölauda, peale überpööramist paigaldati vill ning seejärel saadeti järgmisesse osakonda montaaži. See on halb, sest kasutusel oli ainult pool kogu tootmisliinist, teine pool oli täiesti tühi, väljaarvatud tootmisliini viimane laud, kus tehakse väiksemaid projekte, kuid üks tööpink seisis tühjalt.



Joonis 5. Tootmisliin viis vooskeem peale parendusprojekti

Tootmisliin viis (Joonis 5) lisandus peale parendusprojekti kaks tootmislauda, kus toimub protsesse, üheksandal laual, kus nüüd toimub OSB paigaldus, on kasutusel ka tööpink, millega naelutatakse plaadid kinni, kuid enne seda töölised naelutavad ise ka mõne naelaga plaate, et tööpink ei liigutaks plaate ära. Peale parendust asub viimane protsess 3D osakonnale lähemal, nii väheneb transpordile kuluv aeg telfriga, kuna neid läheb vaja ka mujale protsessides pidevalt, siis väheneb koormus. Tootmisliin viies asub ka palju töölaudu, mistõttu on oluline kasutada ära kättesaadavat potentsiaali ning tõsta koormust, muidu seisavad mõne töölaud täiesti tühjana, mis on ressursi raiskamine.

Olenevalt sellest, kui kiiresti jõutakse ära teha laual 11 protsessid, võivad teha töölised ka laual 10 kanga ja vajadusel ka liistude paigalduse, kuid üldjuhul toimuvad need siiski laual 11. Viimasel laual toimub fassaadi paigaldus, seal on ka kasutusel tööpink, kuid kehtib sama põhimõte nagu OSB paigaldusel, et mõni nael lüüakse käsitsi kinni, see tagab kindluse, et fassaadi lauad jäävad täpselt nii, nagu vaja on ja töölised need sinna paigutanud on.

4.3 Soojakute läbiminekuage

Kogu soojaku läbiminekuage enne projekti (Tabel 7) oli 2078 minutit, ehk 34,6 tundi, peale parendust vähenes see aeg 1909 minuti, ehk 31,8 tunni peale. Ajaliselt on võit 169 minutit,

ehk 2,8 tundi ning 7% väiksem läbiminekuage. Protsessiajad ei hõlma põrandaid ja lagesid, kuna parendusprojekt toimus ainult seintega, kuid eeldused on selleks tehtud, et tulevikus saaks ka teistel tootmisliinidel läbi viia parendusprojekte.

Tabel 7. Parendusprojekti tulemus

	Minutites	Tundides
Tühjade seintega protsess	2078	34,6
Fassaadiga seinte protsess	1909	31,8
Ajavõit	169	2,8

Kahe osakonna läbiminekuageade võrdsustamine on oluline, kuna muidu toodab 2D osakond elemente rohkem ette, kui montaaž suudab neid kasutada ning viies tootmisliin, kus toodetakse seinu, on efektiivsem tööpingi olemasolu tõttu ja sellepärast, et töölised saavad kasutada tootmislaudu. Lagede ja põrandate tootmisel on arvestatud ühte elementi, aga seinte elementide tootmisel on arvestatud kahte seina, sest nii palju läheb ühte soojaku moodulisse.

Võrdsustades mõlemad osakonnad, suudab 2D osakond vähem ette toota, mis tähendab, et ka ületootmine väheneb, mis on üks *Lean* raiskamistest, kuid samal ajal säilitab see nii elementide kui ka montaaži tööliste tööd ja ei toodeta mõttetult ette elemente, mis omakorda vähendab teist raiskamist, laovarud ning loob sujuvama tootmise kogu tehase peale.

Enne parendusprojekti kulus lagede tootmisele 340 minutit, põrandatele 404 minutit ja kahele seina elemendile 254 minutit, mis teeb kokku 998 minutit. Montaažile kulus 3D osakonnas 1824 minutit. Mis teeb 35% läbiminekuajast 2D osakonnas elementide tootmisele ja 65% 3D osakonna montaažile.

Peale parendusprojekti muutus ainult seinadele ja montaažile kuluv aeg, lagede tootmisele kulub ikkagi 340 minutit ja põrandatele 404 minutit, kuid kahe seina elemendi tootmisele kulub 398 minutit, mis teeb elementide tootmise ajaks 1142 minutit. Montaažile kulub 1511 minuti. Mis teeb 43% 2D osakonnas elementide tootmisele ja 57% montaažile. Antud protsendid näitavad, et mõlemas osakonnas võrdsustusid ajad päris palju ning enam pole kaugel see, et need oleksid võrdsed. Selleks on hea alus loodud, et tulevikus viia läbi veel parendusmeetmeid, et need saadagi täiesti võrdseks.

Tabelis (Tabel 8) on näha elementide tootmist 2D osakonnas, palju kulus lagede, põrand ja kahe seina elemendi tootmisele enne ja peale parendusprojekti ning palju kulub kokku nende tootmisele. Tabelis on väljatoodud andmed minutites.

Tabel 8. Elementide protsessiajad enne ja pärast parendusprojekti

Elementide tootmine (2D)		
	Enne (min)	Pärast (min)
Lagi	340	340
Põrand	404	404
Sein	254	398
Kokku	998	1142

4.4 Materjali paigutus

Antud parendusprojektiga kaasnes ka parem materjali paigutus. See polnud küll algselt eesmärk, kuid peale projekti läbi viimist, visuaalsel vaatlusel on hästi aru saada, et montaaži osakonnas on töölistel palju rohkem ruumi liikuda ja enam pole see ala nii tihedalt materjaliga kaetud. Ala tühjenedes saab mõistlikul määral tuua rohkem varusid moodulite koostamiseks, mis vähendab transpordile kuluvat aega.

Soojakute projektiga 2D osakonnas ei olnud kasutusel lauad alates üheksandast töölauast ning seal materjali paiknes väga vähe või siis mõne teise projektiga seotud, kuid mitte hetkel vajalikud tooted. Peale parendusprojekti sai ebavajalikud tooted tagasi lattu saadetud ja selle asemele pandi sinna kangarullid, liistud ja fassaadi lauad, mis mahuvad sinna hästi ära ning ei sega töölisi, samas saab ka rohkem varusid sinna viia, mis samamoodi vähendab transpordile kuluvat aega.

Toetudes *Lean* raiskamistele, siis üheks raiskamiseks on tööliste liigne liikumine ja seda juhtus montaaži osakonnas materjali paigutuse tõttu väga palju, sest teed peavad olema puhtad, et tõstukid liikuda saaksid. Tihti paiknesid kangarullid üle tee, mis lisasid protsessile aega juurde. 2D osakonnas on need täpselt vajaliku laua kõrval ja töölised ei pea liikuma palju, et neid tuua. Eriti vajalik on see fassaadi laudade puhul, sest tööline transpordib neid kahe või kolme kaupa, kui sein läheb neid ligi 15, olenevalt soojakust. Tootmisliinil tegutsedes saavad aga töölised neid rohkemgi korruga tõsta tootmislauale, sest need on kohe kõrval.

KOKKUVÕTE

Soojakute projektid on ettevõttele olulised, sest neid toodetakse palju, sellepärast on tähtis, et toimuks nende protsessis pidev parendus, vähendades läbiminekuaja, kuid tõstes samal ajal ka kvaliteeti. Kui neid parenduse pidevalt läbi viia, suudab ettevõtte püsida paremini konkurentsisis ning leida ka uusi kliente.

Tootmisliinide kaardistus oli aegunud ning tehtud oli ainult ajapõhine kaardistus, marsruudikaardi näol, oli oluline, et saaks need uuendatud ning lisada ka visuaalne pool sellele. Selle tegi töö autor ära neil tootmisliinidel, kus toimus antud projekti elementide tootmine, tulevikus on hea alus olemas, kuidas ka teistel liinidel samasugune kaardistamine läbi viia.

Lõputöö üheks eesmärgiks oli kaardistada tootmisliinid üks, kaks ja viis, et oleks visuaalne ülevaade liinidest ja hea alus, millega parendusi läbi viia nii hetkel, kui ka tulevikus. Teiseks eesmärgiks oli võrdsustada 2D ja 3D osakondade läbiminekuaja, kuna montaažile kulub palju rohkem aega ning 2D osakonnas elementide tootmine on efektiivsem, sest seal on tööpingid, millega naelutada. Kolmandaks eesmärgiks oli lühendada terve tootmise läbiminekuaja, et tõuseks antud projekti tootmise efektiivsus.

Tootmisliinide kaardistamiseks jälgis töö autor antud liine ning mõõdistas protsessidele kuluva aja, seejärel valmis visuaalne kaardistus vooskeemi ja väärtusvoo kaartide kombinatsioonist, kus kasutusel on vooskeemi tähised ja väärtusvoog annab juurde ka protsessidele kuluva aja. Lisaks visuaalsele kaardile, koostas töö autor marsruudi kaardid antud tootmisliinidest, et oleksid kõik protsessid ning neile kuluva aja, nähtavad. Tulevikus lisab see võimaluse võrdluseks, on oluline, et aeg ajalt uuendatakse neid

Osakondade läbiminekuaja võrdsustamine toimus selle arvelt, et montaažist viidi üle protsessid, mida saaks kiiremini ja kvaliteetsemalt teha 2D osakonnas. Selleks viisid töö autor ja tootmisjuht läbi parendusprojekti, mille tulemusena vähenes montaažile kulunud aeg 313 minuti võrra. Need toimingud olid seintega, sest lagede ja põrandate puhul montaaž ei lisa väärtust, sest need tulevad 2D osakonnast juba komplektsetena ning ainult ühendatakse seintega.

Parendusprojekt oli edukas, kuna läbiminekuaja vähenes 169 minuti võrra ning samal ajal tõusis ka seinte kvaliteet ja vähenes montaaži koormus ning uuendatud kaardistuste näol on võimalik viia läbi veelgi parendusi.

SUMMARY

This project is important for the company, because it is produced in large quantities, so it is important, that there is continuous improvement in the process, reducing throughput times, while increasing quality. If these improvements are continuous, the company will be able to compete better and also attract new customers.

The mapping of the production lines was outdated and only time-based mapped, in the form of a route map had been one, so it was important to update it and add a visual aspect to it. This was done by the author of the work on the production lines where the production of the elements of this project took place, in the future there will be a good basis for how to carry out a similar mapping on other lines.

One of the purposes was to map production lines one, two and five, in order to have a visual overview of the production lines and a good basis to make improvements both now and in the future. The second objective was to equalise the throughput times of the 2D and 3D departments, as assembly takes much more time and the production of elements is more efficient in the 2D department, as there are machine tools for nailing. The third objective was to shorten the overall production throughput time in order to increase the production efficiency of this project.

In order to map the production lines, the author observed the given lines and measured the times spent on the processes, then prepared a visual mapping of a combination of flowchart and value stream maps, where the flowchart symbols are used and the value stream also gives the times spent on the processes. In addition to the visual map, the author of the thesis created route maps of the given production lines so that all processes and the times they take, are visible. In the future, this will provide an opportunity for comparison, it is important that they are updated from time to time.

The equalisation of departmental times came at the expense of moving processes from assembly that could be done faster and with better quality in 2D. To this end, the author and the production manager carried out an improvement project, which resulted in a reduction of 313 minutes in assembly time. These operations were with walls, because for ceilings and floors, assembly does not add value because they come from the 2D department already complete and are only joined to the walls.

The improvement project was a success as the lead time was reduced by 169 minutes and at the same time the quality of the walls increased and the assembly line workload decreased and further improvements can be made with the updated mappings.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] J. Lilleorg, „Mis on moodulmaja? Uus standard elamuehituses“, Timberement. Vaadatud: 1. detsember 2024. [Online]. Available at: <https://timberement.ee/moodulmajad/moodulmajad/>
- [2] Y. Zhang, „A Framework to Improve Modular Construction Manufacturing Production Line Performance“.
- [3] J. M. Jacka ja P. J. Keller, „Business Process Mapping“.
- [4] M. Bell, „Process Mapping.pdf“, A simple approach to improvement by making a process visible. Vaadatud: 14. november 2024. [Online]. Available at: <http://www.simpleimprovement.co.uk/Process%20Mapping.pdf>
- [5] R. Damelio, „The Basics of Process Mapping“.
- [6] R. Zhan, „FULLTEXT01.pdf“, Time-based process mapping based on a case study of IKEA's appliances' transit. Vaadatud: 14. november 2024. [Online]. Available at: <https://hj.diva-portal.org/smash/get/diva2:1127862/FULLTEXT01.pdf>
- [7] F. Voehl, H. J. Harrington, C. Mignosa, ja R. Charron, *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools and Methods for Process Acceleration*, 0 tr. Productivity Press, 2013. doi: 10.1201/b15163.
- [8] V. A. Deshpande ja M. Prajapati, „Cycle Time Reduction using Lean Principles and Techniques“, *International Journal of Advance Industrial Engineering*.
- [9] T. Hiller, T. M. Demke, ja P. Nyhuis, „Throughput Time Predictions Along the Order Fulfilment Process“, *IEEE Access*, kd 12, lk 9705–9718, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3353029.
- [10] Dissanayake, „Value Stream Mapping“. Vaadatud: 14. november 2024. [Online]. Available at: <http://www.lib.pdn.ac.lk/resources/assets/ebooks/Value%20Stream%20Mapping-ISBN%20978-624-95332-0-2-DMCP%20Dissanayake.pdf>
- [11] K. Martin, „Value Stream Mapping“.
- [12] M. Rother ja J. Shook, „Learning to See value stream mapping to add value and eliminate muda“. Vaadatud: 23. detsember 2024. [Online]. Available at: https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME159/Mike%20Rother%20-%20Learning%20to%20See%20Version%201.2%20%28kanban%29_value%20stream%20lean.pdf
- [13] R. Pereira, „7_wastes_isixsigma_magazine_09091.pdf“. Vaadatud: 17. november 2024. [Online]. Available at: https://blog.gembaacademy.com/wp-content/uploads/2009/09/7_wastes_isixsigma_magazine_09091.pdf
- [14] „Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC)“. Vaadatud: 27. detsember 2024. [Online]. Available at: <https://cdn.ttgtmedia.com/searchSoftwareQuality/downloads/ect01TreasurechestSixSigma.pdf>
- [15] A. Rahman et al., „A Case Study of Six Sigma Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC) Methodology in Garment Sector“, *Ind. Jour. Manag. & Prod.*, kd 8, nr 4, lk 1309–1323, dets 2017, doi: 10.14807/ijmp.v8i4.650.
- [16] Council for Six Sigma Certification, „Six-Sigma-A-Complete-Step-by-Step-Guide.pdf“. Vaadatud: 27. detsember 2024. [Online]. Available at: <https://www.sixsigmacouncil.org/wp-content/uploads/2018/08/Six-Sigma-A-Complete-Step-by-Step-Guide.pdf>
- [17] „Ettevõttest | Harmet“. Vaadatud: 22. august 2024. [Online]. Available at: <https://www.harmet.ee/ettevottest/>
- [18] L. Öunapuu, „Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes“. Vaadatud: 3. jaanuar 2025. [Online]. Available at:

https://dspace.ut.ee/server/api/core/bitstreams/3538e168-6012-4e90-8484-4bb59be8b14a/content?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR2GTQvV_gLY2YA8yLIXnmXH78y2IxWndo2vXyTAgFkh_YEQTkUMSqjShm0_aem_kIHyaVaxhLoM34AbH83w-A