



Aleksei Suhhovski

ÕÕNESPANEELIDE TOOTMISLIINI EFEKTIIVSUSE PARENDAMINE AS FRAMM NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut
Tootmine ja tootmiskorraldus õppekava
Juhendaja: Andres Kase

Tallinn 2023

Mina, Aleksei Suhhovski tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

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

Juhendaja Andres Kase (allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Aleksei Suhhovski

sünnikuupäev: 27.01.1984

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Õõnespaneelide tootmisliini efektiivsuse parendamine AS Framm näitel

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1 ETTEVÕTTE TUTVUSTUS.....	7
1.1 Ettevõtte ajaloolised aspektid ja hetkeseis.....	7
1.1.1 Ettevõtte struktuur	9
1.1.2 Töökorralduse tutvustus	9
1.2 ÕÕNESPANEELIDE OSAKONNA TUTVUSTUS	10
1.2.1 Toodete sortimendi tutvustus	10
1.2.2 Hoone	10
1.2.3 Tööde voog.....	11
2 LEAN METOODIKA TUTVUSTUS.....	17
2.1 Lean tööriistad	18
2.1.1 Väärtusvoo kaardistamine	19
2.1.2 5S süsteem.....	19
2.1.3 TPM.....	20
2.2 Lean rakendamine ettevõttes	21
3 ÕÕNESPANEELIDE OSAKONNA TÖÖ KITSASKOHTADE EEMALDAMINE.....	22
3.1 Õõnespaneelide tootmise kitsaskohtade eemaldamine Lean meetodi juurutamise abil	22
3.1.1 Väärtusvoo kaardistamine	24
3.1.2 5S rakendamine õõnespaneelide osakonnas.....	27
3.1.3 TPM rakendamine õõnespaneelide osakonnas.....	30
3.2 Tootmisliinil ressursse raiskavate kohtade eemaldamine kaasaegsete tehnoloogiate abil	32
3.2.1 Toote kvaliteedi tõstmine ja praagi vähendamine	32
3.2.2 Kaotuse vähendamine	36
KOKKUVÕTE.....	40
SUMMARY	42
VIIDATUD ALLIKAD.....	44
LISAD	46
Lisa 1. Väärtusvoo kaardid (plaanitud ja tegelikud)	47
Lisa 2. Erinevate tootjate plotterite võrdlustabel	48

SISSEJUHATUS

Autor valis lõputöö teemaks „Õõnespaneelide tootmisliini efektiivsuse parendamine AS Framm näitel“. Seda valikut õigustavad mitmed põhjused. Euroopa Liidus ja eriti Eestis pööratakse ehitusele palju tähelepanu. Sealjuures õõnespaneeli kasutatakse ehituses üle kogu maailma ning hinnanguliselt on ainuüksi Euroopas paigaldatud 1 000 000 000 m² ehk miljard ruutmeetrit õõnespaneeli [1]. Seega seda tüüpi paneelid on tõestanud oma ohutust ja tõhusust nii realses elus, kui ka läbi erinevate katsetuste [1]. Eestis on samuti mitu ettevõtet nagu OÜ TMB Element, E-Betonelement, AS Betoneks, AS Framm, mis tegelevad õõnespaneelide tootmisega, seega valitud valdkond on tänapäeval päris aktuaalne. Teine aspekt, mis teema valikuni viis, on see, et autor ise on seitse aastat töötanud betoontoodete tootmisega tegelevas ettevõttes AS Framm, sealhulgas kolm aastat õõnespaneelide osakonnas. Tallinna Tehnikakõrgkoolis õppides, tekkis autoril idee, et õõnespaneelide valmistamise protsessi on mitte ainult võimalik täiustada, vaid ka vaja seda teha, kuna see tootmisprotsess on üks olulisemaid kohti kogu ettevõtte toodangu mahus. Uurimisteema asjakohasust saab põhjendada ka õõnespaneelide tootmise pideva suurenemisega AS Framm ettevõttes ja seda vaatamata juba mitu aastat kestnud COVID-pandeemiale ja käimasolevale sõjale Ukrainas.

Tänase tööturu ja palkade surve juures on efektiivsus ja pidev tootlikkuse parendamine oluline, et püsida ettevõttena konkurentsivõimelises. Tootmise efektiivsus on üks võtmetegureid, mis mõjutab ettevõtte kasumlikkust, ja seda defineeritakse kui tootmisvõimsuse ja tootmiskulude suhet [2]. See sõltub erinevatest teguritest nagu, näiteks, ressursside kasutamine, tehnoloogilised protsessid, tootmise juhtimine ja töökorraldus. Efektiivsuse parendamine kvaliteedi säilitamisel tõstab ka tootlikkust [3]. Ja tootlikkuse tõstmine aitab omakorda suurendada tootmisettevõtte kasumlikkust, mis on eduka äri jaoks oluline ülesanne. Lisaks võib efektiivsuse kasv kaasa tuua toodete kvaliteedi parendamise ja seeläbi ka klientide rahulolu tõstmist, millel on samuti positiivne mõju kasumlikkusele. Tootmisprotsessi efektiivsuse tõstmiseks on vaja koguda, töödelda ja analüüsida suurt hulka andmeid, sealhulgas ka tootmisliinidelt, et selgitada välja peamised kitsaskohad, mis panustavad kadude arvu suurenemisele ja toote väärtuse vähendamisele.

Üks peamisi kadusid õõnespaneelide tootmisel on tooraine, eelkõige armeerimistrossi, liigne kulu, mis mõjutab olulisel määral tootmisefektiivsust. Ukraina sõjast tingitud logistiliste raskuste ja hiljutise COVID-pandeemia ning sellest tuleneva majanduskriisi tõttu on toorainehinnad oluliselt tõusnud ja

tarneajad pikenenud. Samuti tõi see kõik kaasa ehitusturu languse, mis avaldas ka mõju ettevõtetele. Näiteks, teatas hiljuti E-Betoonelement oma plaanist sulgeda õõnespaneelide osakond ja koondada 75 töötajat [4].

Kuna õõnespaneelide valmistamine on küllaltki mahukas protsess ning hõlmab ettevõttes palju osakondi ja allüksusi, siis ühe uurimistööga ei ole võimalik kõiki aspekte ja probleeme hõlmata ning terviklikult uurida. Autor keskendus tema arvates kõige olulisemale alale, nimelt õõnespaneelide tootmisele ekstrusiooni meetodil. Lean metoodikast valis autor välja vaid need tööriistad, millel on tema hinnangul suurim potentsiaal õõnespaneelide tootmise efektiivsuse tõstmiseks.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on määrata optimaalsed tingimused õõnespaneelide tootmiseks, arvestades nende kvaliteedile esitatavaid nõudeid, parendades tootmisprotsessi efektiivsust ja kvaliteeti ning vähendades kulusid.

Ülaltoodud eesmärki saavutamiseks autor püstitab käesoleva töö hüpoteesiks seda, et Lean meetod ja kaasaegsete tehnoloogiate rakendamine aitaks parendada efektiivsust õõnespaneelide tootmisel AS Framm ettevõttes. Püstitatud hüpoteesi tõestamiseks autor valis Lean meetodi, kuna seda kasutatakse laialdaselt tootmisel üle maailma selleks, et vähendada kulusid ja parandada toote kvaliteeti. Lisaks Lean-i kasutamisele pakub autor paneelide märgistamise tehnoloogia täiustamise võimalust ning kaasaegsete seadmete ja tarkvara rakendamist, et võimaldada armeerimistrosside ülekulu vähendamist ning toodete valmistamise kvaliteedi parendamist.

Muidugi on ka teisi meetodeid, mida saaks käsitleda õõnespaneelide efektiivsema tootmise eesmärki saavutamisel. Näiteks, võivad tehase automatiseerimisel põhinevad meetodid olla tõhusamad paneelide masstootmisel, kus protsesside standardimine on kõrge tootlikkuse ja kvaliteedi tagamiseks kriitilise tähtsusega. Samuti on võimalik rakendada konkreetse ülesande jaoks välja töötatud individuaalset lähenemist, kus tootmisprotsessid töötatakse välja arvestades kliendi spetsiifilisi nõudeid, kuid see variant võib autori hinnangul olla eriti tõhus paneelide tootmisel just väikeses mahus, mis ei sobi uuringuks valitud ettevõttele.

Antud töö on koostatud kujul: sissejuhatus, põhiosa, mis koosneb kolmest peatükist, kokkuvõte, milles hüpotees on põhjendatud, allikate ja lisade loetelu. Töös kasutatud andmed on laenatud avalikult kättesaadavatest allikatest, teaduskirjandusest ja AS Framm sisedokumentatsioonist.

Sellest lähtuvalt on töö struktuurselt esitatud järgmiselt:

- Esimene peatükk annab lühiülevaate ettevõttest ja selle töökorraldusest. Põhjalikumalt on välja toodud õõnespaneelide valmistamise osakond, millel lõputöö põhineb.
- Teises peatükis antakse ülevaate Lean meetodikast ja selle tööriistadest. Nimelt kirjeldatakse säästliku tootmise filosoofiat ja kuluefektiivse tootmise üldpõhimõtteid. Samuti käsitletakse peamisi tootmisettevõtetes kasutatavaid parendusmeetodeid.
- Kolmandas peatükis vaadeldakse AS Framm õõnespaneelide tootmise protsessi seni kasutusel olnud meetodeid, nende eeliseid ja puudusi, ning pakutakse välja uusi võimalusi tuvastatud kitsaskohtade kõrvaldamiseks ja protsessi efektiivsemaks muutmiseks, kasutades Lean-tootmise meetodit ja tööriistu ning rakendades kaasaegseid tehnoloogiaid. Töö tulemusena selgitatakse välja optimaalsed tootmistingimused, millest lähtuvalt on võimalik saavutada nii kvaliteedi parenemist kui ka kulude kokkuhoidu, mis omakorda tõstab tootmisefektiivsust.

1 ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

1.1 Ettevõtte ajaloolised aspektid ja hetkeseis

AS Framm (endine AS Talot) on eraomanduses olev betoonelementide tootja, mis asub Eesti pealinna lähedal - Maardus. 2022. aasta prognoositav käive jääb 50 miljoni euro kanti [5] 1990. aastal asutatud ettevõtte AS Talot sai Eestis kiiresti tuntuks ja üsna ruttu võitis klientide usaldust. Ettevõtte kogu aeg arenes ja suurendas raudbetoonkonstruktsioonide ja -elementide tootmise mahtu. Tasapisi ehitati uusi töökodasid, hangiti ja kasutati kaasaegsemaid seadmeid. 2007. aastal ehitati täiesti uus tehas, mis oli mõeldud pressimisbetoonist toodete (teekivid, seinaplokid ja muud sellised) tootmiseks. Tol hetkel oli tehas varustatud kõige kaasaegsemate seadmetega.

2014 a. sõlmis AS Talot lepingu Rudus AS, mille kohaselt AS Talot omandab Rudus AS betoontoodete äri. Tehingu käigus omandas AS Talot kogu Rudus AS betoontoodete äriüksuse Lagedil koos töötajate, tootmisseadmetega, oskusteabe, lepingute ja kinnistuga. Rudus AS keskendus kaubabetooni ja graniitkillustiku tootmisele ja müügile.

2018. aastal tehti ettevõttes suur rebrändimine ja nüüd kannab ettevõtte nime Framm. 2020. aastal omandas ettevõtte betoonelementide tootmise AS Lasbet Tootmine, tehes AS Framm Eesti suurima betoontootetootja. Praegu töötab ettevõttes üle 300 töötaja.



Joonis 1. AS Framm Töötajate sugu [6]

AS Framm omab ulatuslikku kogemust igat tüüpi betoontoodete tootmisel. Ajalooliselt on suurema osa müügist andnud siseturg, kuid ekspordimüük Soome ja Rootsi on viimasel ajal kasvanud. Välismaale tarnib ettevõtte peamiselt eritellimusel valmistatud seinapaneele, mis on valmis paigaldamiseks. See

tähendab, et ettevõtte territooriumil töödeldakse välja ja toodetakse tooteid, võttes arvesse kõiki kliendi soove. Seejärel viiakse valmistehtud maja paneelid kohale ja monteeritakse valmis ehitiseks.

Ettevõttel on suur tootmisvõimsus niinimetatud pressbetoonist toodete valmistamiseks. Tootevalik on väga suur. Ettevõtte toodab ainuüksi tänavate katmiseks 23 erinevat tüüpi kivi värvivalikuga.

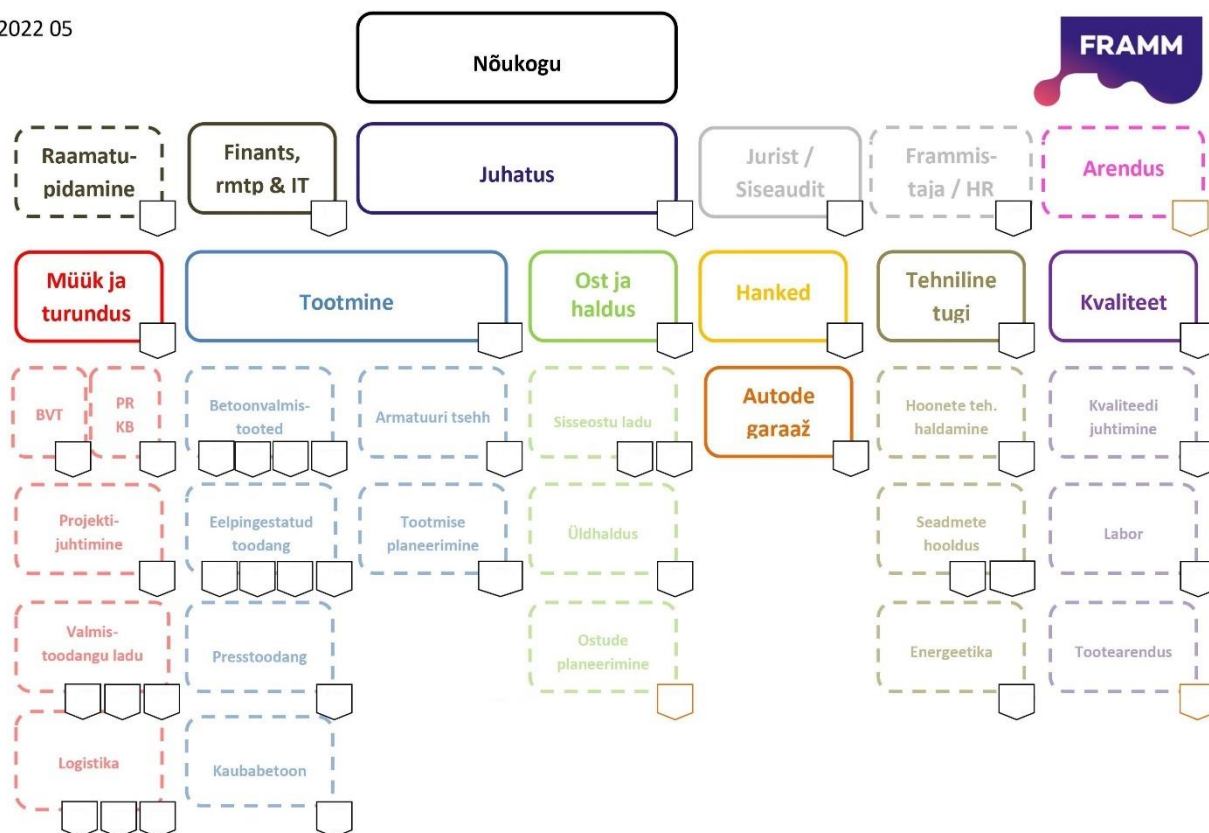
Ettevõtte ei seisa paigal ja jätkab kogu aeg arengut, täiustab tootmistehnoloogiaid, leiab uusi partnereid, rõõmustab kliente toodete kvaliteediga. Viimastel aastatel tehakse aktiivset tööd selle nimel, et lisada betooni maanteede teekattesse – tehakse uuringuid ja teste. Eeldatavasti alustatakse lähiaastatel uute teelõikude ehitamist AS Framm toodetud betooni abil.

Mitu aastat tagasi investeeriti uue valmistoodangu lao ehitusse mitu miljonit eurot. Praegu võetakse kasutusele uusi tehnoloogiaskeeme tootmisel kasutatavate seadmete komponentide ja varuosade arvu säilitamisel ja kontrollimisel, kuna vigaste seadmete seisakud toovad kahju. Võimaluse korral kavandatakse tootmisprotsessid nii, et välistatakse ülejääkide ladustamine ladudes.

Nii suured tootmismahud tähendavad ka suuri mahtusid tootmises kasutatavate toorainevarude ladustamiseks. Ettevõttes ladustatakse toorainet mitmel viisil. Näiteks puistematerjale (erinevat tüüpi liiv, killustik, graniitlaastud, paisutatud savi ja nii edasi) hoitakse taeva all spetsiaalsetes kastides. Erinevate klasside tsementi hoitakse eraldi silodes. Armatuur ja mitmesugused metallkonstruktsioonid, seinapaneelide valmistamise komponendid (sisseehitatud, kaablikanalid, klambrid ja nii edasi) asuvad eraldi kaetud laos, kallid tööriistad ja remondiseadmed on samuti eraldi hoiul. Ladustamisruume täiendatakse ja täiustatakse pidevalt, hoiustamistehnoloogiad muutuvad ja kohanduvad. Ettevõttel on suur hulk erinevate materjalide tarnijaid nii Eestis kui ka teistes riikides. Tarnete optimeerimine ja järjepidevus nõuab töötajatelt palju pingutust ja kogemusi. Kahjuks seoses sündmustega Ukrainas ja samuti COVID19 ja pandeemiaga on tarneahelates viimase aasta jooksul toimunud mõned muudatused. Pidime otsima uusi tarnijaid, et mitte häirida valmistoodangu tootmist.

1.1.1 Ettevõtte struktuur

2022 05



Joonis 2. Struktuur [7]

1.1.2 Töökorralduse tutvustus

Tootmistsehhid töötavad ühes vahetuses. Töötaja võetakse tööle täiskohaga. Üldine tööaeg on 8 (kaheksa) tundi päevas, 40 (nelikümmend) tundi nädalas. Töötaja algus, lõpp ja vaheajad määratakse tehtava töö vajadusega ning on reguleeritud töökorralduse reeglite või muude organisatsioonisiseste dokumentidega. Tööpäeva algus E-R 8.00-17.00, lõunapaus 12.00-13.00 või vastavalt tootmiskorraldusele. [8]

Töötundide arvestus toimub Begin OÜ [9] poolt välja töötatud ja juurutatud süsteemi abil. Süsteem põhineb biomeetrilisel sõrmejäljeskanneril. Töötaja alguse või lõpu, samuti vaheaja fikseerimiseks peab töötaja skaneerida oma sõrmejälje või sisestama personaalkoodi.

1.2 ÕÕNESPANEEELIDE OSAKONNA TUTVUSTUS

AS Framm suured kogemused niinimetatud õõnespaneelide tootmisel erinevatel meetoditel. Ettevõtte suutlikkus võimaldab toota igat tüüpi õõnespaneele, mis on kõrge kvaliteediga. Seda tüüpi tooteid kasutatakse peamiselt siseturul hoonete ehitamiseks, kuid viimasel ajal on õõnespaneelide eksport suurenenud.

1.2.1 Toodete sortimendi tutvustus

Õõnespaneel elemente kasutatakse vahe- ja katuslagedes, vahel ka seinapindade moodustamiseks lihtsates ja keerulistes elamutes, äri-, meditsiini- ja tööstushoonetes. Õõnespaneelidel on suurepärane tulekindlus, kõrge tugevus ja vähendatud omakaal, mis vastavad seismilistele standarditele. Lisaks aitavad nende suurepärased soojusomadused vähendada energiatarbimist hoonete kütmisel ja jahutamisel.

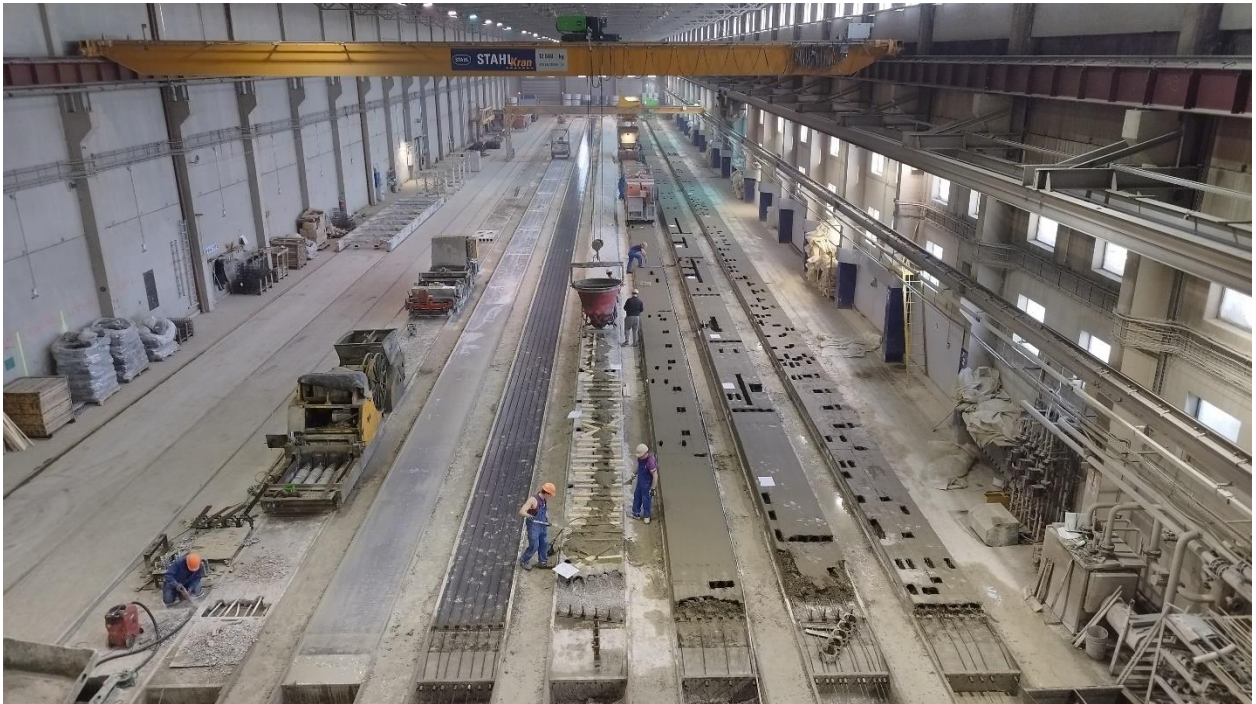
Üldiselt on õõnespaneelid ehituses üks jätkusuutlikumaid tooteid, kuna need nõuavad vähem materjali – vähem tsementi, vähem vett ja vähem terast – võrreldes monoliit konstruktsiooniga. Lisaks muudavad plaatides olevad tühimikud tootmise materjali osas efektiivsemaks. Selle tulemuseks on kergemad paneelid, mis vähendavad transpordikuluseid, kuna korraga saab tarnida rohkem elemente võrreldes näiteks tahkete plaatidega.

AS Framm toodab eelpingestatud õõnespaneele, kasutades seadmeid Belgia ettevõttelt ECHO ENGINEERING liugvalu ja ekstrusiooni meetodil. Vastavalt soovidele ja vajadustele toodame paneele paksustega 200, 220, 265, 320 ja 400 mm. Elemendi moodullaius on 1 200 mm, pikkus, sõltuvalt koormusest ja kasutusotstarbest, võib ulatuda kuni 16 meetrini. Õõnespaneelid toodetakse vastavalt standardile EVS-EN 1168+A2 Betoonvalmistooted – Õõnespaneelid ja EVS-EN 13369 Betoonvalmistoodete üldeeskirjad. [10]

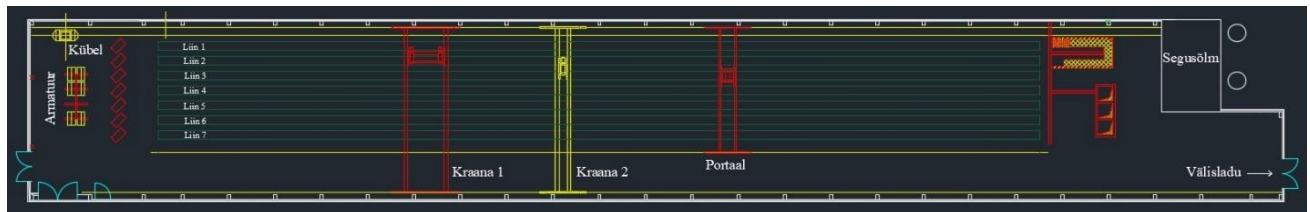
1.2.2 Hoone

Tootmine asub eraldi tsehhis, kus on 7 spetsiaalset soojendusega stendi pikkusega 118 meetrit, millest igaühel valatakse õõnespaneelid. Tootmisvõimsus on 5000 ruutmeetrit nädalas.

Töökohal on oma betoonisegamissõlm, see tähendab õõnespaneelide osakond ei sõltu naabertöökodadest ja täieõiguslik iseseisev üksus.



Joonis 3. Õõnespaneelide tsehh



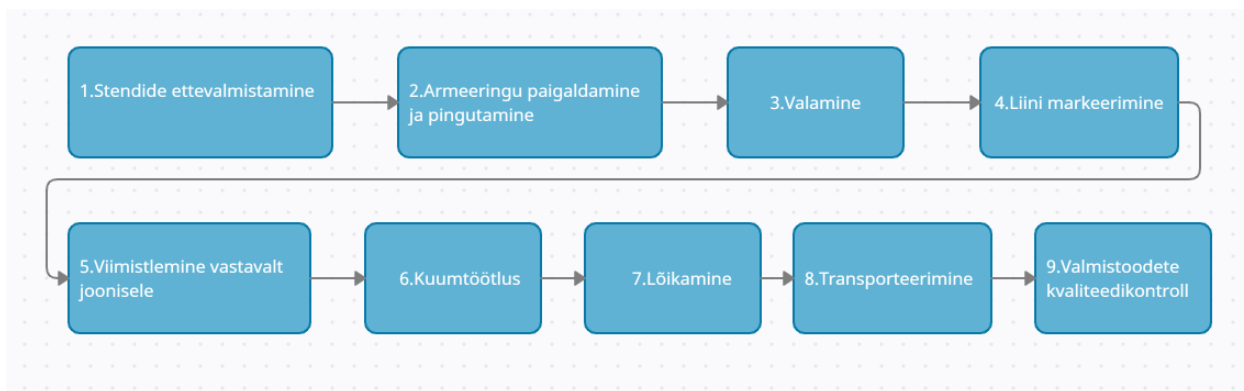
Joonis 4. Õõnespaneeli tsehhi plaan

1.2.3 Tööde voog

Tootmisprotsess algab kaks nädalat enne valmistoodete tarnimist. Ja see algab nii kliendi poolt antud jooniste kontrollimisest, kui ka iga elemendi koormuste ja kandevõime arvutamisest vastavalt spetsifikatsioonile. Seejärel koostatakse vastavalt tarnegraafikule tootmisplaani ja sõltuvalt tellimuse mahust, kuid mitte hiljem kui kolm päeva enne valmistoodete kliendile saatmist, valatakse tooted välja.

Tootmisprotsess on pidev ja viiakse läbi IN-LINE, see on paneelide valamise protsess toimub pidevalt kogu vahetuse vältel. Kuna tsehh koosneb 7 eraldi liinist (stendist), liigub ühe tootmisetapi lõppedes vabastatud operaator järgmisele liinile ning tootmistsükkel kordub, seega protsess ei peatu. Kokku töötab tava koormusega otse tootmistehhis 9 inimest.

Tootmisprotsess ise on jagatud põhiosadeks:



Joonis 5. Toomisprotsess

1. Stendide ettevalmistamine

Tehnoloogiline protsess algab ühe vormimisraja puhastamisega radade puhastamiseks spetsiaalse masinaga ja pihustades sellele peene õhu dispersiooni kujul oleva määrdeainega. Ettevalmistust viib läbi üks spetsiaalselt koolitatud operaator.



Joonis 6. Puhastusmasin ehk trossi paigaldus masin

2. Armeeringu paigaldamine ja pingutamine

Trossi paigaldus masina abil keritakse armatuur rullide küljest lahti ja asetatakse rajale. Pärast vajaliku koguse traadi paigaldamist (vastavalt joonistele) pingutatakse see hüdraulilise pingutusrühma abil. Traadi otsad kinnitatakse kinnitusklambritega. Seda protseduuri viib läbi sama operaator, mis eelmises protsessis.

3. Valamine

Valmis betoonisegu juhatakse sildkraana abil betooni etteandepaagi abil vormimismasina säilituspunkrisse. Veojõuvints ja vibraatorid on sisse lülitatud. Rööbastee pideva moodustamise käigus juhatakse betoonisegu õigeaegselt hoiupunkrisse. Kohe peale liini täitmist märgistatakse tooted vastavalt joonistele. Pärast ühe raja moodustamise lõpetamist paigaldatakse vormimismasin pesujaama kraanaga ja pestakse pesumasinate kõrgsurvepaigaldisega põhjalikult betoonisegu jääkidest. Seda toimingut meie tootmistehnoloogias teostab üks operaator.



Joonis 7. Ekstruuder (vormimismasin)

4. Markeerimine.

Liinide märgistus vastavalt joonistele. Teostab üks kõrgelt kvalifitseeritud tööline.

5. Viimistlemine

Paneeli viimistlemine ja tõsteasade paigaldamine vastavalt märgistusele. Teostatakse kahe madala kvalifikatsiooniga töötajate pool.



Joonis 8. Markeerimine ja viimistlemine

6. Kuumtöötlus

Vormitud tootega liin kaetakse spetsiaalse kattematerjaliga kaitsekatte paigaldamiseks mõeldud käruga ja jäetakse kuumtöötlusprotsessi ajaks. Viivad läbi kaks töötajat ja teevad tavaliselt samad inimesed kui eelmist protsessi.



Joonis 9. Liin kattematerjali all

7. Toodete lõikamine.

Pärast betooni tugevuse saavutamist eemaldatakse kattematerjal ja elemendid lõigatakse vastavalt märgistusele. Juhib üks operaator.



Joonis 10. Lõikamismasin

8. Transport

Paneelide transportimiseks tehnoloogilist haaratsit kasutades sildkraanaga valmis plaadid asetatakse kärule ja transporditakse valmistoodangu lattu. Seda teostavad kaks töölisi, kraanaoperaator ja troppija.

Külma ilmaga on enne toodete lahtisesse lattu saatmist soovitatav neid ajutiselt tootmishallis hoiustada, et vähendada temperatuuride erinevust toote kuumutatud betooni ja ümbritseva õhu vahel.



Joonis 11. Transpordikäru

9. Valmistoodete kvaliteedikontroll

Esimese kontrolli teostab tsehhimeister kohe pärast joone märkimist. Teine kontroll on pärast paneelide lõikamist. Siis, kui mittevastavused ei leita, kontrollivad laboritöötajad (kvaliteediosakond) betooni tihendamist ja tugevust.

2 LEAN METOODIKA TUTVUSTUS

Nagu Michael Vader oma raamatus kirjutas, on “Lean Manufacturing” keeruline tootmissüsteem ja omamoodi filosoofia, mis hõlmab töökoha korraldust, tootmispindade paigutust, hooldus- ja remonditeenuseid, logistikat, raamatupidamist, muid haldus- ja tugiteenuseid see tähendab kogu ettevõtet või organisatsiooni tervikuna. [11]

"Lean tootmise" kontseptsioonis on põhiküsimuseks igat tüüpi kadude kõrvaldamine ja protsesside ülesehitamine ettevõttes, sõltuvalt väljaspool ettevõtet või selle divisjoni eksisteerivatest teguritest. Materjalid koosnevad autorite, ekspertide – säästliku tootmise uurijate poolt välja töötatud reeglite ja tehnikate kirjeldusest, näiteks "5S", "Six Sigma". [12]

Mõistet "Lean tootmine" ("lean production") kasutati esmakordselt James Womacki raamatus "Masin, mis muutis maailma" [13]. Autori idee järgi peaks termini olemus tähendama kõige üleliigse puudumist tootmises.

Mõiste "Lean tootmine" ilmus eelmise sajandi 50ndatel aastatel Toyota Production System põhjal, mis hiljem sai tuntuks kui "Lean Production", "Lean Manufacturing" või lihtsalt "Lean". Selle kontseptsiooni rajaja on Taiichi Ohno, kes alustas tööd Toyota Motor Corporationis 1943. aastal, ta ehitas spetsiaalse tootmise korraldamise süsteemi nimega Toyota Production System. See ei jõudnud Jaapanist kaugemale kolmkümmend aastat ja alles siis, kui Toyota tungis ülemaailmsele autoturule, võttes märkimisväärse turuosa maailma autotööstuse hiiglastelt (Ford, GM, Chrysler), suur hulk maailma majandusteadlasi ja juhte juhtis tähelepanu "Jaapani imele". [14]

Lean tootmine on tootmisprotsessi korraldamise süsteem, mis võimaldab toota rohkem tooteid või teenuseid väiksema vaevaga, väiksema põrandapinna ja seadmetega, täites samal ajal täielikult klientide ootusi. Selline lähenemine laieneb ettevõtte tegevuse kõikidele aspektidele – alates disainist ja tootmisest kuni müügini. Definitsiooni põhjal saame öelda, et säästliku tootmise kõige olulisem omadus on keskendumine tootmiskulude vähendamisele, vähendades kadusid, kuid kaotamata väärtust ja kvaliteeti tarbija jaoks.

Lean tootmine on kõikehõlmav lähenemisviis, mis hõlmab protsesside optimeerimist, juhtimisinfrastruktuuri pakkumist ning töötajate mõtteviisi ja käitumise muutmist. Selle meetodi

rakendamise tulemuseks on tavaliselt materjalide ja ressursside tõhusam kasutamine, tootmisaja vähenemine ja kvaliteedikontrolli paranemine.

Lean tootmise lähtepunktiks on kliendi väärtus. Lõpptarbija seisukohast on tootel või teenusel väärtus alles nende elementide töötlemise ja valmistamise hetkel. Lean tootmise peamiseks tunnuseks tuleks pidada tuvastatud jäätmete kõrvaldamise protsessi, mida jaapani keeles nimetatakse raiskamiseks või jäätmeteks, see tähendab igasugust tegevust, mis kulutab ressursse, kuid ei loo väärtust. [15]

Lean tootmise kontseptsiooni raames võib tootmisettevõtte kõik tegevused jagada järgmiselt: toimingud ja protsessid, mis loovad tarbijale väärtust ning toimingud ja protsessid, mis tarbija jaoks väärtust ei loo. Sellest järeldub, et miski, mis lõpptarbijale väärtust ei anna, on Lean tootmise raames määratletud kui jäätmed, mis tuleb kõrvaldada või minimeerida.

Lean tootmise peamised eesmärgid on:

- kulude ja tööjõukulude vähendamine,
- toote loomise tähtaegade vähendamine,
- tootmis- ja laopindade vähendamine,
- toodete kliendile kohaletoimetamise garantii,
- maksimaalne kvaliteet teatud kuluga või minimaalne kulu teatud kvaliteedi juures.

2.1 Lean tööriistad

Lean tootmise levinuimateks meetoditeks ja tööriistadeks peetakse:

- VSM (Value Stream Mapping) - on protsesside analüüsi ja täiustamise meetod, mis võimaldab tuvastada ja kõrvaldada ebaefektiivsed etapid tootmisahelas.
- 5S on töökoha organiseerimise meetod.
- TPM (Total Productive Maintenance) on seadmete haldamise meetod, mille käigus operaatorid ja hoolduspersonal teevad koostööd, et vältida seadmete rikkeid ja maksimeerida seadmete tootlikkust.
- SMED (Single Minute Exchange of Die) on tehnika, mis vähendab seadmete seadistamise aega, et minimeerida seisakuid ja suurendada tootlikkust.

- Kanban on varude haldamise meetod, mille puhul materjalid ja komponendid liiguvad tootmisahelas ainult vajaduse korral ja teatud signaalide abil.
- JIT (Just-In-Time) on tootmismeetod, mille puhul tootmisprotsesse optimeeritakse selliselt, et vältida üleliigseid laoseisu ja tootmisliinide seiskamisi.
- Piirangute teooria (TOC) on tootmisjuhtimise tehnika, mis põhineb tootmisprotsesside kitsaskohtade tuvastamisel ja juhtimisel, et parandada tootlikkust ja lühendada tootmistsükli aegu.

Käesolevas töös teeb autor ettepanekus keskenduda Lean tootmise kolmele esimesele tööriistale, kuna peab neid õõnespaneelide tootmise tootmisprotsessi efektiivsuse tõstmisel kõige olulisemaks AS Framm ettevõttes.

2.1.1 Väärtusvoo kaardistamine

Väärtusvoo kaardistamine (VSM) on visuaalne graafiline diagramm, mis kujutab materjali- ja teabevooge, mida on vaja toote või teenuse tarnimiseks lõppkliendile. Väärtusvoo kaart annab võimaluse koheselt näha kitsaskohti ja selle analüüsi põhjal tuvastada kõik protsessid, mis lõpptarbija jaoks väärtust ei kanna.

2.1.2 5S süsteem

5S süsteem on tehnoloogia tõhusa töökoha loomiseks. Selle nimetuse all on tuntud korra, puhtuse ja distsipliini tugevdamise süsteem. 5S süsteem sisaldab viit omavahel seotud põhimõtet töökoha korraldamiseks.

5S akronüüm tähendab:

- Sorteerimine: eraldada vajalikud esemed - tööriistad, osad, materjalid, dokumendid - ebavajalikest, et viimased eemaldada.
- Sea korda: ratsionaalselt korraldada, mis üle jääb, asetada iga ese oma kohale.
- Sära: hoida puhtust ja korda.
- Standardi: olla täpne, tehes regulaarselt kolme esimest S-d.
- Säilitada: muuta kehtestatud protseduure harjumuseks ja neid täiustada.

5S aitab vähendada jäätmeid, tõsta tootlikkust ja parandada kvaliteeti. [16]

2.1.3 TPM

TPM (Total Productive Maintenance) on seadmete haldussüsteem, mis on loodud tõrgete vältimiseks ja seadmete jõudluse maksimeerimiseks.

TPM-meetodi põhiidee seisneb selles, et iga meeskonnaliige peaks töötama koos, et seadmed töötaksid sujuvalt, mitte ei lahendaks ainult probleeme nende ilmnemisel.

TPM-meetod sisaldab järgmisi samme:

- Personalikoolitus: kõik töötajad peavad olema koolitatud ja mõistma TPM-meetodi põhitõdesid, et nad saaksid aktiivselt osaleda seadmete korrashoius ja parandamises.
- Eesmärkide seadmine: TPM-i eesmärgid võivad olenevalt tootmisprotsessist erineda, kuid tavaliselt hõlmavad need üldise seadmete tõhususe parandamist, seisakuaja vähendamist, tootlikkuse vähenemist ja töökindluse parandamist.
- Seadmete lähteseisundi määramine: on vaja kindlaks teha seadmete hetkeseisukord, et teada saada, milliste probleemidega tuleks esmalt tegeleda.
- Rikete ennetamine: töötajad peaksid kontrollima seadmeid võimalike probleemide (nt kulunud osad, saastumine või vale konfiguratsioon) suhtes. Vigade ennetamine väldib seadmete seisakuid.
- Regulaarne hooldus: seadmete hooldus ja regulaarne kontroll tagavad, et need töötavad tiptasemel.
- Seadmete uuendamine: kui seadmed vananevad või ei vasta tootmisnõuetele, tuleb see välja vahetada.
- Töötajate osalemine: töötajad tuleks kaasata seadmete täiustamisse, kuna nad võivad tuvastada probleeme, mis tehnilisele personalile ei ole ilmsed.

TPM-meetodi eesmärk on luua süsteem, mis maksimeerib seadmete jõudlust ning minimeerib rikkeid ja seisakuid.

Näiteks mõned toimingud, mida töötaja on harjunud tegema pärast seadme seiskamist, võib ta juba ette ära teha – seadme töötamise ajal.

2.2 Lean rakendamine ettevõttes

Eelmistes peatükkides käsitleti tootmisprotsesside toimimise teoreetilisi aspekte ning analüüsi ka mõningaid Lean tootmise tööriistu. Eelneva põhjal sai selgeks Lean tootmise põhiprintsiip - kõikvõimalike jäätmete tuvastamine ja kõrvaldamine. Vaatamata kirjeldatud kasule, Lean rakendamine ettevõttes ei ole alati mõistlik ning vajab põhjalikku eelnevat analüüsi. Järgnevalt kirjeldatakse miks.

"Lean tootmise" põhimõtete juurutamine ettevõttes eeldab põhimõttelist muutust ettevõtte kultuuris, st tavapäraseid ideid selle kohta, kuidas ettevõtte peaks töötama. Selliste muudatuste rakendamiseks peavad olema kolm eeltingimust:

- Ettevõtte juhtkonna pühendumine uuele ideoloogiale.
- Töötajate usaldus töökohtade säilimise vastu ümberkujundamise ajal.
- Töötajate jäigast spetsialiseerumisest keeldumine.

Nagu teada, on juhtide isiklik huvi iga ettevõtte tootlikkuse ja töö kvaliteedi parandamise algatuse edu eeldus. Töökohtade turvalisus ja töötajate võimalus muuta töö asukohta ja iseloomu on omavahel seotud, kuna see aitab hoida töötajaid vallandamise eest. Algatuste juurutamine ei aita mitte ainult tootmist optimeerida ja seda lihtsamaks muuta, vaid vabastab ka nende töötajate potentsiaali, kes on valmis muutma tuttavaid asju ja töötama uutes tingimustes, sest Lean tootmine arvestab kliendi häält, nii välist kui sisemist. [17]

3 ÕÕNESPANEELIDE OSAKONNA TÖÖ KITSASKOHTADE EEMALDAMINE

Käesoleva töö eesmärgi saavutamiseks ning hüpoteesi tõestamiseks on vaja Lean metoodika abil esialgu kaardistada AS Framm ettevõtte kitsaskohti õõnespaneelide tootmisel ja seejärel analüüsida meetodeid, mis võiks aidata neid kõrvaldada. Lean abil saaks, näiteks, vähendada seadmete seadistamise aega, minimeerida materjalide ja komponentide laoseisu, praaki arvu vähendamine, valmistoodete kvaliteedi parandamine, samuti jäätmete hulga vähendamine.

3.1 Õõnespaneelide tootmise kitsaskohtade eemaldamine Lean meetodi juurutamise abil

Käesoleva lõputöö kirjutamise käigus tegi autor vaatlusi ja koostas tabel (Tabel 1), mis kajastab AS Framm õõnespaneelide tootmise põhilisi kadude liike. Tootmisprotsessi peamisi kadusid kirjeldati näidates ära nende põhjused.

Tabel 1. Tuvastatud kadude tüübid õõnespaneelide tootmisel AS Framm ettevõtte.

Kahjude liigid	Definitsioon	Põhjused	Tagajärjed	Parandused
Ületootmine	Nõutavast kogusest rohkemate toodete tootmine.	• Suured partiid. • Kiire ümberseadistamise võimatus. • Keerulised toote elemendid. • Ebastabiilne kvaliteet.	• Üleliigne laovarude.	• Parem klienditeenindus. • Maksetähtaegade kontrollimine.

Kahjude liigid	Definitsioon	Põhjused	Tagajärjed	Parandused
Liigne laoseis	Taotlemata materjali ja valmistoodete omandamine või ladustamine.	• Materjalide ebastabiilsed hinnad (tross). • Toodete valmistamine suurtes partiides. • Globaalsest olukorrast tingitud tellimuste ebastabiilsus.	• Pindala suurenemine. • Vajadus vabade ruumide leidmisel. • Kahjustamise võimalus. • Vajadus täiendavate kärude järele.	• Partii suuruse vähendamine. • Planeerimissüsteemi täiustamine.
Liikumised	Personali ebavajalikud liigutused: kõndimine, peatumine, tööriistade või materjalide otsimine ja nii edasi.	• Tööriistade ebaratsionaalne paigutus.	• Töötlemisaja pikendamine. • Personali väsimus.	• Tootmisprotsessi optimeerimine. • Personali arendamine; • Seadmete jaotuse optimeerimine. • Tõhusalt organiseeritud töökohad.
Seisakud	Tootmisprotsessi toimingute vahel kaotatud aeg.	• Tootmisprotsesside tasakaalustamatus.	• Toimivuse halvenemine. • Personali demotiveerimine.	• Tootmisprotsesside joondamine. • Lühendatud ümberseadistamise aeg.

Kahjude liigid	Definitsioon	Põhjused	Tagajärjed	Parandused
Täiendav töötlemine	Ebavajalikud etapid protsessi käigus, elemendid või protseduurid, mis ei anna lisaväärtust (ei ole kohustuslikud tootenõuded).	- Tarbijate soovide mõistmise puudumine. - Tehnoloogiate ebatäiuslikke.	- Tootmiskulude suurendamine. - Tootmisaja pikenemine.	- Klientide nõudmiste hoolikas uurimine. - Standardimine.
Defektid	Lisakulud ülevaatamiseks, kontrolliks, defektide kõrvaldamise koha korraldamiseks.	- Tehnoloogia rikkumine. - Töötaja madal kvalifikatsioon. - Ebasobivad tööriistad, seadmed, materjalid.	Lisakulud defektide kõrvaldamise koha ülevaatamiseks, kontrolliks ja korraldamiseks.	- Kvaliteetsete toodete väljastamise tagamise protsessi korraldamine. - Süsteemi juurutamine seadmete efektiivseks tööks.

3.1.1 Väärtusvoo kaardistamine

Ajakadude analüüsimiseks tootmises kasutas autor Lean tööriista – väärtusvoo kaarti (Lisa 1). Diagramm, mis näitab tellimuse täitmiseks vajalike materjalide ja teabe voo iga etappi.

Väärtusvoo kaardi koostamine aitab näha probleemseid kohti, tuvastada need protsessid ja sammud, mis tootele väärtust juurde ei anna, see tähendab kaotused.

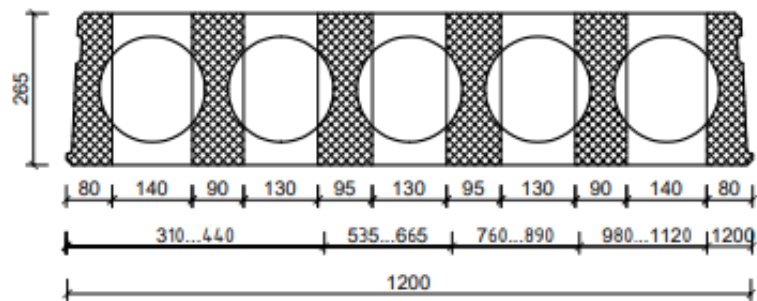
Väärtusvoogu moodustavatele tegevustele kulutatud aeg jaguneb kolme kategooriasse:

- Aja lisandväärtust kliendi vaatevinklist;
- Aeg, mis ei lisa väärtust;

- Aeg, mis lisab ärilisest seisukohast väärtust.

Väärtust mitteloovad tegevused tuleks välja selgitada ja neile kuluvat aega võimalikult palju vähendada.

Kõnealuses ettevõttes toodete tootmisel tekkivate kadude tuvastamiseks on vaja hoolikalt analüüsida tootmisprotsessi toimimist. Analüüsi otsustas töö autor teha ühe 265 mm kõrguse õõnespaneelide rea tootmisel ekstrusiooni meetodil, kuna seda tüüpi paneele on tootmises üks sagedamini tellitud.



Joonis 12. Õõnespaneel HCE265 [10]

Koostatud hetkeseisu voolukaart (Lisa 1) näitab õõnesplaadi tootmisprotsessi hetkeseisu. Näitab kõiki tootmisjuhtimise infovooge, materjalide ja osade liikumiskaugust tootmises. See määrab ka iga toimingu teostusaja ja väärtuse loomise aja.

Tabel 2. Väärtusvoo kaardi koondtabel.

N ^o	Operatsiooni nimi	Esinejate arv	Kaugus, m.	Aeg, min. (plaanitud)	Aeg, min. (tegelikud)	Hälve, min.
1	Ettevalmistamine	1	118	40	51	10
2	Armeerimine	1	118	60	63	3
3	Valamine	1	118	105	107	2
4	Markeerimine	1	118	110	120	15
5	Viimistlemine	2	118	120	135	15

N^o	Operatsiooni nimi	Esinejate arv	Kaugus, m.	Aeg, min. (plaanitud)	Aeg, min. (tegelikud)	Hälve, min.
6	Kuumtöötlus	2	118	25	25	0
7	Lõikamine	1	118	90	94	4
8	Transport	2	118	75	76	1
9	Kontroll	1	118	40	40	0
Kokku		12	1062	660	711	50

Järgnevalt teeb autor tootmisprotsesside planeeritud ja tegeliku töömahukuse võrdlust.

Tabeli 2 järgi tehakse kindlaks, kui palju tegijaid arvestab tootmisprotsessi iga toiminguga ja millise vahemaa läbib tegija toimingu sooritamisel, samuti selgus tabeli analüüsist, et tegelik töömahukus ületab normi 51 minuti võrra. absoluutarvudes, mis on suhtelises avaldises 7.7% protsenti.

Vookaardi analüüsi ja protsessi uurimise käigus tuvastas autor järgmised probleemid:

- Ohutusnõuete eiramine tootmishallis.
- Töötajate liigne liikumine.
- Korra puudumine töökohal.
- Aeglane personal.

Selleks, et kogu kavandatud meetmete süsteem oleks õigustatud, on vaja analüüsida ülaltoodud probleemide põhjust.

Ebavajalike liigutuste all mõistetakse personali mittevajalikke füüsilisi liigutusi töö tegemise ajal, mis ei ole otseselt suunatud tootmistoimingutele. Kõik see võtab aega, just seda, mis suurendab tootmistsükli. Pealegi võivad liigsetest liikumistest tulenevad kahjud olla üsna märkimisväärsed. Tundub, et iga selline liigutus võtab sekundeid ja selle tulemusena saame ühe vahetuse kohta päris palju aega. Liigsete

liigutuste põhjuseks võib olla nii ebaratsionaalselt organiseeritud või segane töökoht kui ka ebaratsionaalne tööpiirkonna korraldus.

Segadus töökohal ei võimalda reeglina töötajal sissetulevat teavet täielikult töödelda, mistõttu on ta pidevalt pisiasjadest häiritud ega suuda keskenduda. Probleemi põhjuseks on töötaja distsiplineerimatus, tema organiseerimatus.

Lean tehnoloogiatel põhineva organisatsiooni tegevuse täiustamiseks on vaja terviklikku lähenemist, mis hõlmaks kõiki väärtuse loomise tsükleid. Selle rakendamine nõuab töötajate ja ettevõtete juhtide mentaliteedi ümberkujundamist, kes peavad õppima kahjusid tuvastama, mõistma, millised tegevused või tingimused on tegelikult kahjud, ja pidevalt töötama nende kõrvaldamise nimel.

3.1.2 5S rakendamine õõnespaneelide osakonnas

Ülalkirjeldatud probleemide lahendamiseks teeb autor ettepaneku viia AS Framm tootmisprotsessi üksikud Lean tootmise kontseptsiooni tööriistad, eelkõige 5S tööriista kasutamine. See tööriist sobib tuvastatud eriti oluliste probleemide tõrkeotsinguks.

Lean tootmise tööriistade kasutamise efektiivsuse analüüsimiseks on vaja hinnata tegelikku ja tulevast seisut (Tabel 3).

Tabel 3. Olukordade võrdlus tootmises enne ja pärast meetmete rakendamist.

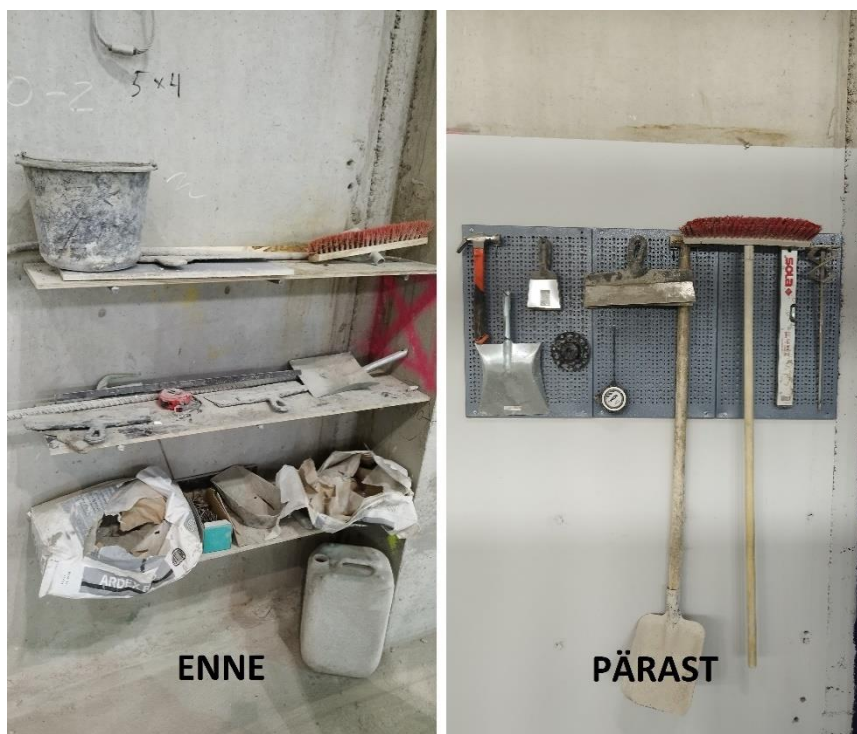
5S Elemendid	Enne meetmete rakendamist	Pärast meetmete rakendamist
1. Sorteer	Segadus töökohal.	- Töökohal hoiustatakse ainult neid esemeid, mis on tootmiseks vajalikud. - Määratakse materjalide, tööriistade, inventari jms leidmise kohad. - Esemed, mille kohta pole teada, kas need on kasutuses või mitte, märgistatakse ja viiakse ajutisele ladustamisalale.

5S Elemendid	Enne meetmete rakendamist	Pärast meetmete rakendamist
2. Sea korda	Käsitööriist ei ole omal kohal, pole puhastatud.	- Tööriistade ja kinnitusdetailide kontuuride visualiseerimine ning nende identifitseerimine tootenumbrite järgi. - Esemeid hoiustatakse igal töökohal vastavalt nende kasutamise sagedusele. - Kompleksis kasutatavaid esemeid hoiustatakse koos ja paigutatakse nende kasutamise järjekorras. - Operatsiooniks vajalikud esemed asuvad silmatorkavas kohas.
3. Sära	Määratud töökohad: pidevalt määratud lauad ja kärud, tolmuks seadmed.	- Kõik teed ja käigud on ligipääsetavad ja vabad. - Teostatakse regulaarset puhastust; - kõik tööriistad on omal kohal ja hoitud puhtana. - Seadmed hoitakse puhtana ja alati töökorras.
4. Standardi	Standardi pole.	- Kõik mittevajalikud asjad utiliseeritakse regulaarselt. - Kõik märgistused ja tähistused on ajakohased. - Töötajad järgivad töökaitse- ja tööohutuse eeskirju ja juhiseid. - Läbi kontrollide juurutamise tagatakse standarditele vastavus. - On võimalik jälgida saavutatud tulemuste taset, võime analüüsida eraldi töökoha seisundit.

5S Elemendid	Enne meetmete rakendamist	Pärast meetmete rakendamist
5. Säilitada		- Eelmise auditi tulemused postitatakse ülevaatamiseks. - Tegevuskavad pannakse välja ja viiakse ellu. - Viimase auditi parandusmeetmed on lõpetatud. - On võimalik jälgida 5S kasutuselevõttust põhjustatud muutuste dünaamikat, hinnata juurutamise üldist seisu ettevõttes.

Seega on 5S süsteemi juurutamise sisuks töökoha ratsionaalne kasutamine, korra, puhtuse hoidmine ja distsipliini tugevdamine.

5S-süsteem on odav ja ei mõjuta oluliselt ettevõtte kogumaksumust.



Joonis 13. 5S juurutamine, esimesed sammud

Ettevõtte on astunud juba päris palju samme säästliku tootmise tööriistade ja meetodite juurutamiseks, kuid muudatused on alles algamas ning iga järgmine samm kadude vähendamiseks ja ettevõtte efektiivsuse tõstmiseks nõuab suuremaid pingutusi.

3.1.3 TPM rakendamine õõnespaneelide osakonnas

Tootmise analüüsi käigus tuvastas autor kitsaskohad, mis vajavad parandamist. Sel juhul tehakse ettepanek võtta kasutusele TPM-süsteem, mis vähendab oluliselt seadmete rikkega seotud tootmisseisakuid ja selle ümberreguleerimist. Teine aspekt, mida käsitletakse on see, et lisaks peaks toimuma alati ka seadmete peenhäälestus, mis kindlustaks vigade vältimist.

Tõde on see, et õõnespaneelide tootmisel annab kõige suurema kokkuhoiu betooni pealt, mis on õõnespaneelide tootmise kalleim osa. Ligikaudu 55% plaadi maksumusest moodustavad betoon- ja tugevduskiud. Oluline on, et lisaks kiirele ümberlülitamisele tehtaks ka seadmete peenhäälestus. Kuna ainult 10 millimeetrit paneeli kõrgust üle normi, tähendab kaotus 1,4 m³ rea kohta. Moodustades 6 rida päevas on kaod juba 8,4 m³, 42 m³ nädalas, 168 m³ kuus, 2000 m³ aastas. Tootmises on millimeetrid väga olulised, sest kui millimeetrid on paigas, säästab ettevõtte raha.

Vaatlusperioodil 2023. aasta jaanuarist märtsini tuvastati 24 tootmistsükli seisakuid seoses seadmete rikkega või ümberlülitumisega. Kogu tootmise seisakuaeg sellel perioodil oli 510 minutit (Tabel 4).

Tabel 4. Seisakud

2023 I kvartal ÕP tehnilised rikked			
Kuu	Rikete arv	Seadmete seisakud, min	Tootmise seisakud, min
Jaanuar	10	411	206
Veebruar	5	318	118
Märts	7	241	186

AS Framm suurendab järk-järgult tootmise automatiseerimist läbi uute tehnoloogiate ja seadmete kasutuselevõtu. Kõrge automatiseerituse tase nõuab aga kõrgelt kvalifitseeritud töötajaid. Mitte ainult

operaatorid, vaid ka mehaanikud, et teha kiireid ja kvaliteetseid remondi- ja hooldustöid. Palju tõhusam rikke ennetamine kui õnnetuse tagajärgede likvideerimine. Kaasaegses Eestis on vajalike tööliste leidmine üsna keeruline, sest tööturul puudusid nõutava profiiliga valmis spetsialistid. Selle probleemi lahendamiseks on vaja investeerida aega ja raha töötajate koolitamise ja arendamise. Autori arvates on vajalik välja arendada personali väljaõppe süsteem, millele järgneb korduv teadmiste kontroll. Samuti tuleks kõigile põhivarustuse üksustele (mitte ainult uutele) omistada tehnilised passid, milles kajastuvad kõik regulaarsed ja remonditööd.

Töö kirjutamiseks andmeid kogudes juhtis autor tähelepanu veel ühele kitsaskohale õõnespaneelide tootmisprotsessis, mis on seotud seadmete seisakutega. Ekstruuderite ettevalmistamiseks erineva kõrgusega paneelide valamiseks kasutavad mehaanikud tootmistsehhi ruumipuuduse tõttu valmistoodete eemaldamiseks mõeldud liini. Blokeerides seeläbi valmis paneelidega kärude liikumise (Joonis 14). Et tootmisprotsessi mitte segada, on hooldusmeeskonnal vaja eelnevalt valuplaanid üle vaadata ja seadmed eelnevalt (sageli öösel) ette valmistada. Ettenägematute olukordade korral tuleb kasseti vahetus läbi viia vahetult tootmistsükli ajal, mis toob kaasa viivitusi valmistoodete lattu tarnimisel. Autori idee kohaselt on tootmise seisaku vältimiseks tehtud ettepanek vahetada kassetid välja tootmistsükli ajal, kasutades selleks üht vaba tootmisliini. Tõenäoliselt toob see kaasa üleminekuaja mõningase pikenemise piiratud ruumi tõttu, samuti ühe kraana tööaja pikenemise, kuid kõrvaldab tootmisprotsessi seisakuid. Samuti pole vaja öösel mehaanikaosakonna töötajaid välja viia.



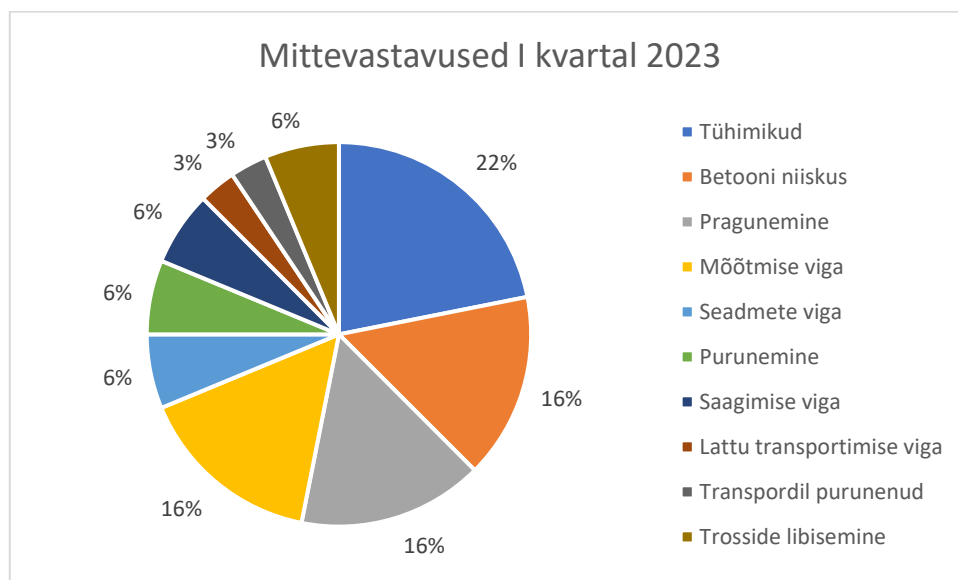
Joonis 14. Masina ettevalmistamine

3.2 Tootmisliinil ressursse raiskavate kohtade eemaldamine kaasaegsete tehnoloogiate abil

Vaatamata AS Framm laialdasele kogemusele betoontoodete, sealhulgas õõnespaneelide valmistamisel, on antud tootmisprotsessis teatud hulk puudusi, mis vajavad kõrvaldamist. Järgmiselt käsitleb autor võimalusi kasutada kaasaegseid tehnoloogiaid, et kitsaskohtadest üle saada ning tõsta efektiivsust.

3.2.1 Toote kvaliteedi tõstmine ja praagi vähendamine

Kõik õõnespaneelid on valmistatud vastavalt kliendi joonisele. Tootmistsükli üks olulisemaid toiminguid on operatsioon number 4 – „Markeerimine“. Selle toimingu peamine probleem seisneb selles, et töötaja peab väga hoolikalt lugema tootmisjooniseid ja tegema valatud paneelile vastava märgistuse edasiseks täiustamiseks. Seoses nn inimfaktoriga esineb sageli vigu toote märgistamisel ja hilisemal abiellumisel. Üks viga ei pruugi palju maksta, kuid korduvad vead on väga kulukad. Samuti nõuavad keerukad paneelid märgistamiseks rohkem aega, mis tähendab, et tööaeg on pikem, mis toob kaasa kogu tootmistsükli pikenemise, kuna järgmise operatsiooni („Viimistlemine“) sooritamine on võimatu enne, kui eelmine on lõpetatud. Joonisel 15 on toodud AS Framm õõnespaneelide tootmisel 2023. aasta esimeses kvartalis fikseeritud põhilised mittevastavuse liigid. Andmed näitavad, et märgistusvead moodustavad 16 protsenti kõigist defektsete toodetest.



Joonis 15. Esimene kvartal 2023a. Mittevastavused õõnespaneelide osakonnas

Autori sõnul on selle probleemi üheks kardinaalseks lahenduseks kaasaegse seadme, mida nimetatakse plotteriks, kasutamine.

Plotter on automaatne masin lõikejoonte, aukude ja süvendite ning tunnuscodeide märgistamiseks tootmisliinil õõnesplaatide pindadele. See võib märkida ka vahetükid ja liitmikud vormialuse tühjale pinnale. Plotter kasutab tindiprinteri tehnoloogiat. [18]



Joonis 16. Plotter õõnespaneelide jaoks [19]

Käesoleva töö kirjutamise ajal AS Framm just kaalus selle seadme soetamise võimalust.

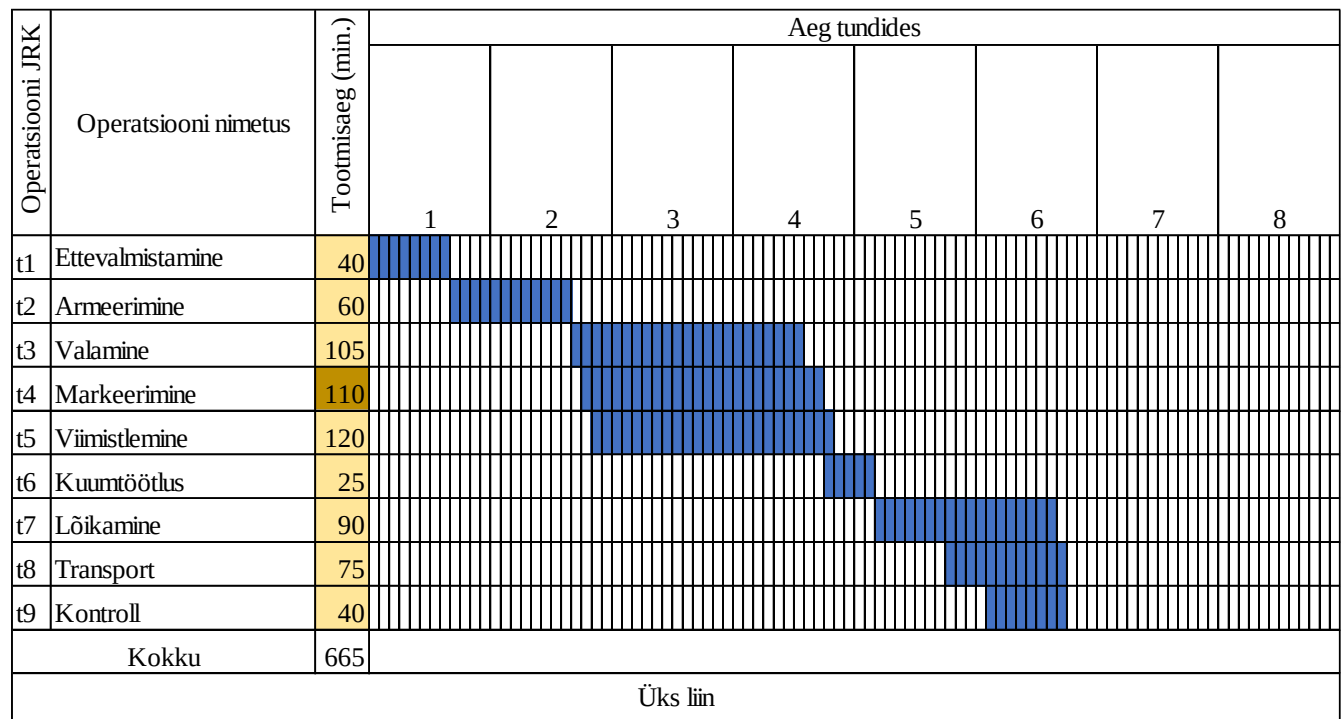
Plotter aitab vabaneda mõõtmisvigadest, samuti hoiab kokku tootmiskulusid. Jooniste ülekandmine plotterile toimub automaatselt ning seetõttu väheneb töötajate tarbetu liikumine ning lisandub ka paberisäästu võimalus, sest puudub vajadus tootmisjooniste füüsiliseks printimiseks.

On aegu, kus vaja tootmise käigus muutma vormimisaluste paigutust. See juhtub siis, kui näiteks vormitud õõnespaneel ei vasta kvaliteedinõuetele või vormimine ei suju betoonisegu probleemide, riistvaravea või muu ettearvamatu sündmuse tõttu plaanipäraselt. Kui tootmisplaan on plotteriga sünkroonitud, saab seda igal ajal muuta, sealhulgas otse tsehhis olevas masinas. Muudatused

sünkroniseeritakse ka tootmise planeerimise andmebaasiga. Suhtlus on kahepoolne: tootmise planeerimisest plotterini ja plotterilt tootmise planeerimiseni.

Uue plotteriga saab vältida kulukaid vigu, sest see märgistab paneelid täpselt tegelike jooniste põhjal ja seega jääb kvaliteet seisti püsti. See suurendab tootmise usaldusväärsust.

Samuti on oluline märkida, et paneelide märgistamise kiirus plotteriga on palju suurem kui käsitsi märgistamise kiirus. Märgistamise deklareeritud kiirus on kuni 10 meetrit minutis. See tähendab, et järgmisi tootmis operatsiooni saab teha viivitamata. Võrdluseks koostas autor ühe liini tootmistsükli kestuse tabelid hetkeseisundis (käsitsi märgistamine) ja automaatse märgistuse abil.



Joonis 17. Ühe liini tootmistsükli kestus (hetkeolukord)

Tabelite andmeid analüüsid sa selgeks, et märgistuskiirus uute seadmete abil peaks otseselt sõltuma liini valamise kiirusest, see on ekstruuderi kiiruse kohta (Joonis 17) (Joonis 18). Kuigi tootmisprotsessi eeldatav aeg pole palju vähenenud, ootab autor vigade puudumisega märgistuses praakide arvu vähenemist. See vabastab ka ühe töötaja, keda saab kasutada muude tööde tegemiseks, näiteks paneelide viimistlemiseks, mis suurendab toimingu kiirust ja suurendab tootlikkust.

[illegible]

Joonis 18. Ühe liini tootmistsükli kestus (plotteri kasutamisel)

Selle töö kirjutamise käigus võrreldi erinevate tuntud tootjate plottereid, nagu: NordImpianti, Copcole, ECHO, Elematic. Uuriti hinnapakumisi ja koostati võrdlustabel (Lisa 2). Arvesse võeti erinevaid aspekte, nii rahalisi kui ka tehnilisi aspekte. Näiteks: milline on tintikulu ja selle hind, akude arv ja mahutavus, erinevate failisüsteemide tugi ja nii edasi. Tabelis tutvustati olulisimaid küsimusi. Punkte anti iga vastuse vastas, kui antud vastus vastas päringule või erines paremuse poole. Tulemusena autor pakub välja, et oleks mõistlik kasutusele võtta just NordImpianti plotter, kuna hind on kõige madalam, aga funktsionaal on funktsionaalsus konkurentide tasemel ja mõnes aspektis isegi kõrgem.

Kui kaalutakse uusi investeeringuid, on tasuvusaeg võtmetähtsusega. Uue plotteri puhul annab suurima kokkuhoiu lõpptootte kvaliteedi parandamisest ja vajaliku käsitsitöö vähendamisest. Ehk siis plotter tasub end kiiresti ära, sest mõõtevigade tõttu saadetakse tehasesse tagasi vähem õdnespaneele.



Joonis 19. Markeerimine [19]

3.2.2 Kaotuse vähendamine

Uute seadmetega töötamiseks on vaja ümber töötada ka tootmises kasutatav tarkvara. Tõepoolest, plotteri töötamiseks on vaja nn PLOT faili, mille saab genereerida spetsiaalse programmiga. Sellise programmi testkasutus AS Framm algas hiljuti. Oli valitud programm nimega PlanDesk (Joonis 21), Belgia arendajatelt, ettevõttelt i-Theses.

Kõigi protsesside optimeerimiseks ja keerukate tootmisprobleemide lahendamiseks kasutab AS Framm nn ERP süsteemi, mis arendab Didah OÜ. ERP-süsteem hõlmab ettevõtte kõiki valdkondi ja tagab kõigi olulisemate funktsioonide teostamise. Süsteem koosneb eraldiseisvatest moodulitest, mida saab kogu osakonna või konkreetse kasutaja soovil konstruktorina kokku panna. Kõige tähtsam on see, et seda süsteemi saab kasutada kaugjuhtimisega kõikjalt maailmast ja selleks piisab, kui kaasas on ükskõik milline internetiühendusega nutiseade. Loomulikult on see väga mugav, sest tööprobleemide lahendamiseks piisab tavalisest nutitelefoniist ja pole vaja sülearvutit läheduses hoida.

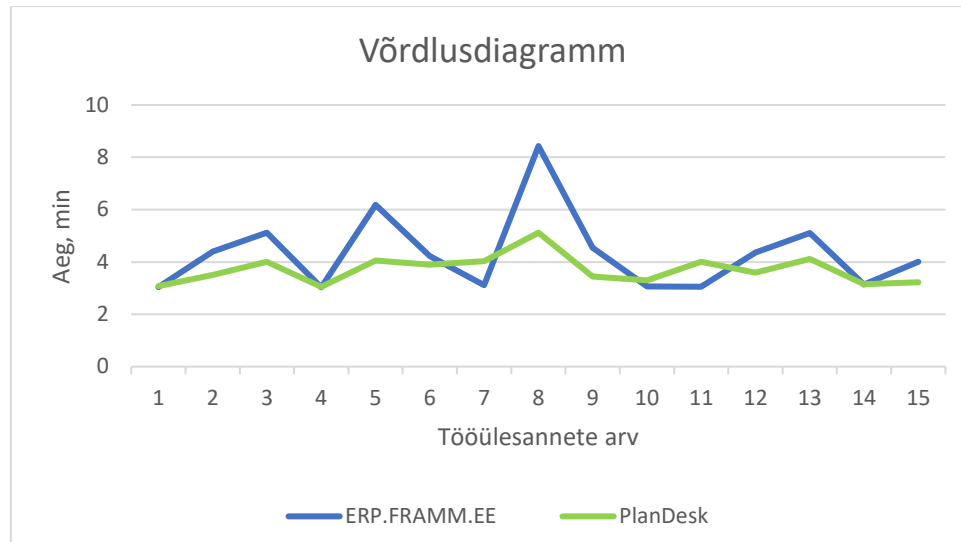
Kuid nagu igal keerulisel tarkvaral, on sellel ka nõrkusi. Üks kitsaskohti õõnespaneelide tootmisel on autori sõnul see, et tootmise planeerijal tuleb kulutada palju aega paneelide valimiseks liinil, sama armeeringutega, see tähendab sama koguse trossiga. Kõige sagedamini kasutatakse objektidel erineva armeerimissüsteemiga paneele (olenevalt koormustest). Seetõttu, et trossi säästmiseks, on vaja tootmiseks tööülesande koostamisel vaja luua erineva tugevdusega liine. Nendele liinile asetatakse sobivad õõnespaneelid erinevatest objektidest. Sobivate elementide valik tuleb teha käsitsi, sorteerides saategraafikust iga objekti spetsifikatsioonil.

Mõne tööpäeva jooksul tehti ajamõõtmised, kui palju kulub tootmisplaneerijal 15 tootmisülesannete loomiseks (Joonis 20). Keskmiselt osutus see 04:27 minutiks liini kohta. Suurem osa ajast kulus lihtsalt puuduvate paneelide otsimisele, et tootmisliini täita. Suure andmemahuga töötades ei ole alati võimalik õõnespaneeli liinil efektiivselt jaotada ning tekib olukord, kus elemendid asetatakse liinile vähema trossidega kui vaja. Seega on tegemist trossi põhjendamatu ülekuluga. Allpool on tabel 2023. aasta esimese kvartali trossi ülekulusse andmetega (Tabel 5).

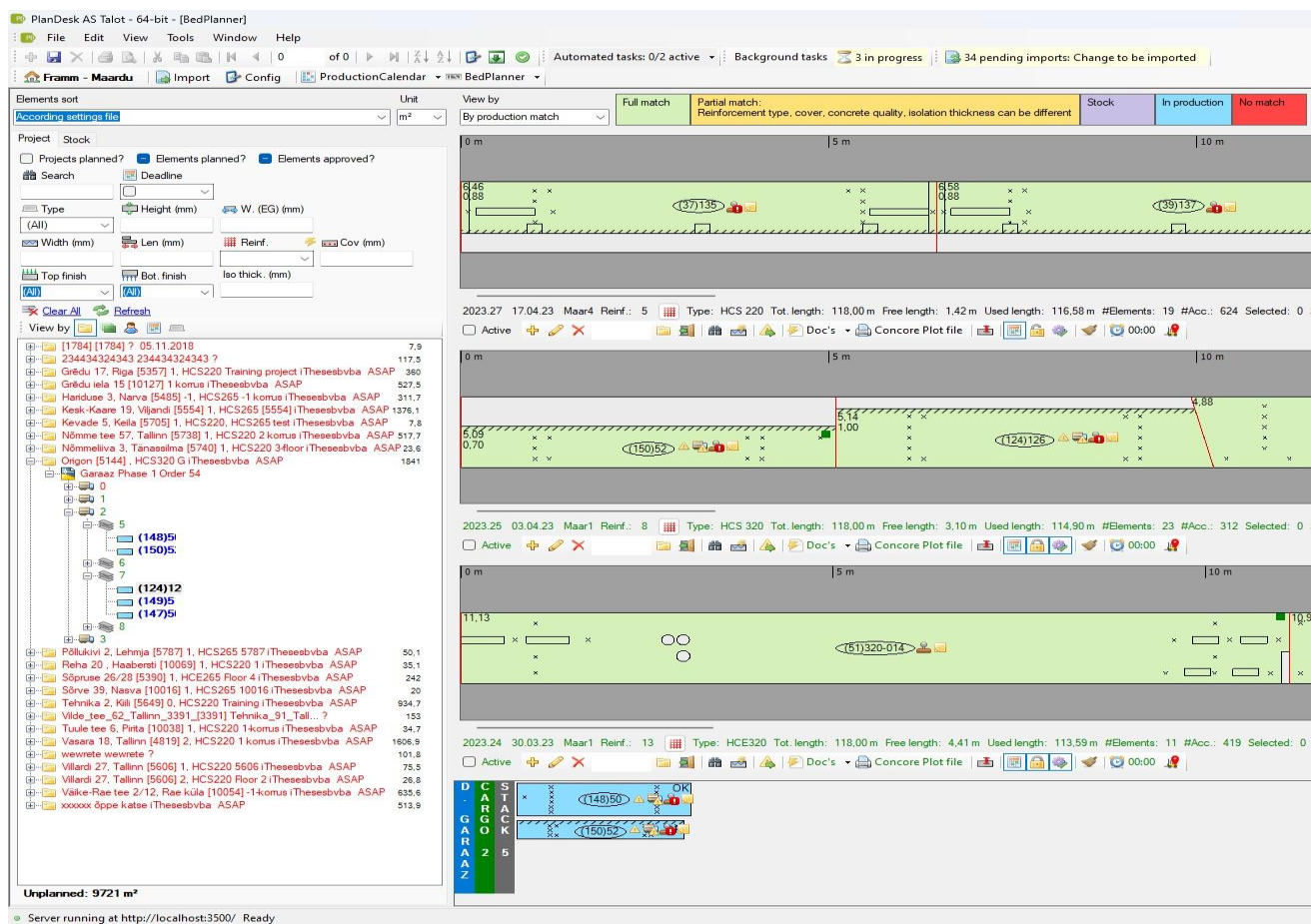
Tabel 5. Trosside ülekulu

2023 I kvartal ÕP trosside ülekulu				
Kuu	Toodetud ruutmeetrid	Trossi ülekulu, jm	Ülekulu kg/m ²	Ülekulu eur/m ²
Jaanuar	13168	3554	0,269	0,31
Veebruar	6294	1672	0,265	0,30
Märts	11820	1882	0,269	0,18

Tarkvara PlanDesk on lisaks plotteri jaoks PLOT-failide loomisele väga suure funktsionaalsusega. Tootja sõnul piisab sellest programmist üksi koos lisamoodulitega terve õõnespaneelide tootmistsükli jaoks. Tänu sisseehitatud funktsionaalsusele muutub tootmisülesannete koostamine lihtsamaks. Võimalik on visualiseerida tootmisliini ja paigutada õõnespaneeli ratsionaalsemalt, võttes arvesse selliseid parameetreid nagu lõikenurgad, aukude asendid jne. Ja mis on oluline, valida mõne nupuvajutusega elemendid õige koguse trossiga. Võrdluseks, oli koostatud PlanDesk programmi abil 15 arv tootmisülesandeid, keskmine aeg oli 03:47 minutit (Joonis 20).



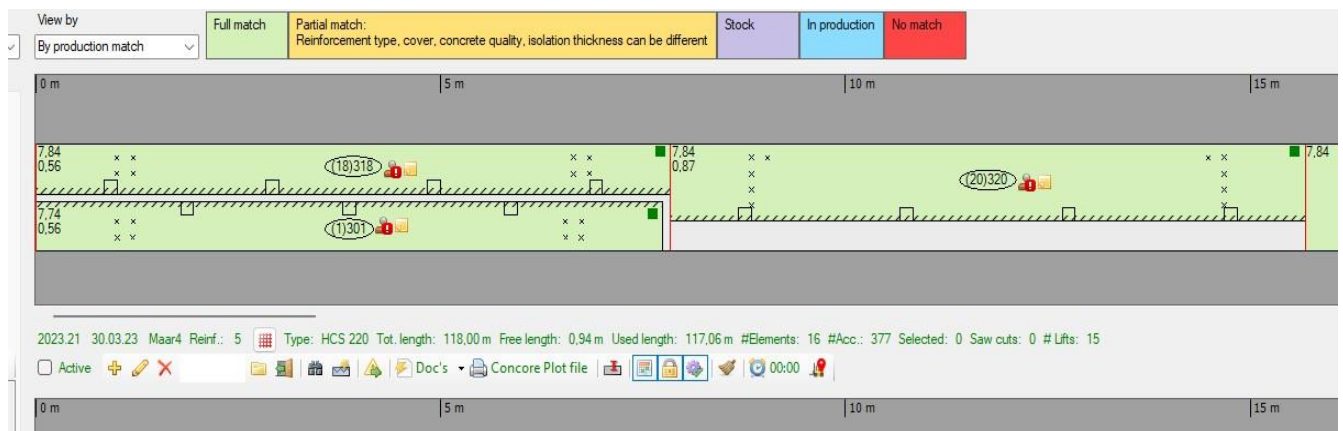
Joonis 20. Tootmisülesannete planeerimisele kulunud aeg



Joonis 21. PlanDesk tarkvara

Selle tarkvaraga töö analüüsimise käigus sai autor teada, et tootmisliinidel on võimalik tõhusalt vähendada jäätmete hulka.

Nagu armeerimiseks sobivate elementide otsimisel, aitab programm tänu sisseehitatud funktsionaalsusele leida ka sobiva, nn „lõigatud“ paneeli, mille laius jääb alla 1200mm. Ja ühendada see teise „lõigatud“ paneeliga (Joonis 22). See on vajalik selleks, et vaba tükki mitte ära visata, vaid kasutada seda ettenähtud otstarbel, õõnespaneeli tootmiseks. Tootmisülesande käsitsi planeerimisel on tohutu hulga elementide hulgast üsna raske leida vajalike parameetritega paneeli.



Joonis 22. Ühendatud erinevate laiusega õõnespaneelid

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli leida võimalusi AS Framm õõnespaneelide tootmisliini efektiivsuse tõstmiseks. Eesmärgi saavutamiseks tegi autor mitmeid uuringuid ja tõi välja oma ettepanekud. Uuringu läbiviimisel toetus autor nii ettevõtte sisestele andmetele ja avatud allikatele kui ka oma kogemusele ettevõttes.

Esimese sammuna tegi autor vaatlusi, mis andsid tootmises toimuvatest tööprotsessidest reaalse pildi. Nimelt, töö käigus autor visualiseeris tootmisliini läbi tööpäeva jälgimise, olemasoleva tootmisprotsessi kaardistamise ja tööoperatsioonide tegevuste kirjelduse. See aitas analüüsida kogu protsessi, leida kitsaskohti ning hinnata, millises protsessi etapis oleks vajalik ja ka võimalik õõnespaneelide tootmise efektiivsust tõsta.

Teise sammuna uuris autor Lean meetodit ja selle tööriistu, otsides sellist, mille abil oleks võimalik õõnespaneelide tootmise efektiivsust tõsta. Selleks luges autor mitmeid Lean süsteemi kajastavaid raamatuid ja artikleid ning seejärel analüüsis erinevate Lean tööriistade rakendamise võimalusi ja asjakohasust AS Framm ettevõttes. Saadud teadmiste ja kogutud andmete põhjal valis autor välja tema arvates kõige sobivamad tööriistad, mida saaks tootmisprotsessis rakendada selleks, et käesolevas töös püstitatud eesmärki saavutada.

Kolmanda sammuna rakendas autor Lean tööriistu ning tegi oma parendusettepanekuid. Esimesena kirjeldas autor erinevaid kadusid ja tegi ettepanekuid nende likvideerimiseks. Samuti koostas autor väärtusvoo kaardi, mis kirjeldas erinevaid tööoperatsioone ning paljastas suuremaid ajakulu kohti. Näiteks, üleliigse laoseisu probleemi lahendamiseks pakub autor vähendada tooraine partii suurust; töötajate üleliigse liikumise vältimiseks on vaja tõhusamalt organiseerida töökohad ja koolitada personali, et nad optimeeriks enda töökulgu.

Siis kaardistas autor töökohtade probleeme ja pakkus neid eemaldada 5S Lean tööriista abil. Näiteks, pakkus autor juurutada standartidele vastavuse kontrolli ja auditite regulaarset läbiviimist; kontrollida, et töötajad järgiksid töökaitse- ja tööohutuse eeskirju ja juhiseid ning korrastada tööriistade hoiustamist.

Järgmisena autor analüüsis 2023. aasta esimese kvartali andmeid õõnespaneelide tootmisliini seadmetega seotud rikete ja hädaolukordade kohta. Olukorra parandamiseks ja tootmisveisakute vähendamiseks

pakkus autor välja TPM rakendamist, millega said tehtud mitmed ettepanekud. Näiteks, on vaja töötajate oskusi parandada läbi koolitamise ja perioodilise teadmiste kontrolli; tehtud hoolduse kohta peaks olema koostatud vastav dokumentatsioon. Samuti ekstruuderi ettevalmistamine vabal tootmisliinil aitaks vältida seisakuid valmistoodete tootmistsehhis ja vähendada tehnilise osakonna ületundide arvu.

Lõpusammuna uuris autor tootmisliinil ressursside raiskamise põhjuseid ning selle tulemusena pakkus kadude likvideerimiseks ja probleemide parandamiseks kasutusele võtta kaasaegseid seadmeid ja tarkvara. Esialgu analüüsis autor reklamatsioonide ja tootmisdefektide andmeid, mille põhjal selgus, et 16 protsenti kõikidest mittevastavustest on seotud nii nimetatud inimfaktoriga. Kuna AS Framm juhtkond alles kaalus selle lõputöö kirjutamise ajal ideed, et võtta kasutusele uued kaasaegsed seadmed ja tarkvara, siis autor viis läbi erinevate spetsialiseeritud seadmete uurimise ja võrdleva analüüsi, mis võimaldab tootmisliine märgistada. Nimelt said omavahel võrreldud erinevad plotterid firmadelt NordImpianti, Copcole, ECHO, Elematic. Tulemusena autor pakub välja, et oleks mõistlik kasutusele võtta just NordImpianti plotter. Seejärel kogus ja analüüsis autor andmeid ressursi ületamise kohta, nimelt andmeid armeerimistrossi kohta. Kuna antud ressurss on kallid, siis autor analüüsis, mis võiks selle säästmisel aidata. Selgus, et kaasaegse tarkvara kasutamine aitab säästa armeerimistrossi, kiirendab tootmisplaneerija tööd ja vähendab tootmisliinil tekkivate jäätmete hulka. Tarkvara lahendusena pakkus autor välja PlanDesk kasutamist.

Kokkuvõttes saab järeldada, et lõputöö täitis püstitatud eesmärgi ning lõputöö hüpotees sai tõestatud. Lean meetod ja kaasaegsete tehnoloogiate rakendamine aitaks parendada efektiivsust õõnespaneelide tootmisel AS Framm ettevõttes. Autor tegi omapoolsed parendusettepanekud, mille elluviimisel on võimalik õõnespaneelide osakonna efektiivsust ja tootlikkust olulisel määral tõsta. Efektiivsuse järjepidevaks kasvuks on loomulikult vaja jätkata Lean mõtlemise juurutamist, regulaarsete auditite läbiviimist ja tehnoloogiate kaasaegsena hoidmist.

SUMMARY

The aim of this thesis was to find ways to increase the efficiency of AS Framm hollow core slabs production line. To achieve the goal, the author did several studies and presented his suggestions. When conducting the research, the author relied on the company's internal data and open sources as well as his own experience in the company.

As a first step, the author made observations that gave a real picture of the work processes taking place in production. Namely, during the work, the author visualized the production line by monitoring the working day, describing the existing production process and the activities of work operations. This helped to analyze the entire process, find the bottlenecks, and assess at which stage of the process it would be necessary and possible to increase the efficiency of hollow panel production.

As a second step, the author researched the Lean method and its tools, looking for ones that could increase the efficiency of hollow core slabs production. For this purpose, the author read several books and articles about the Lean methodology and then analyzed the possibilities and appropriateness of applying Lean tools in the AS Framm company. Based on the acquired knowledge and collected data, the author selected, in his opinion, the most suitable tools that could be applied in the production process to achieve the goal set in this work.

As a third step, the author applied Lean tools and made his suggestions for improvements. First, the author described various losses and made proposals for their elimination. The author also prepared a value stream map, which described various work operations and revealed major time-wasting areas. For example, to solve the problem of excess inventory, the author suggests reducing the batch size of raw materials; to avoid excessive movement of employees, it is necessary to organize workplaces more efficiently and train personnel so that they optimize their workflow.

Then the author mapped workplace problems and offered to remove them using the 5S Lean tool. For example, the author proposed to implement regular compliance checks and audits; to check that employees follow occupational safety and health regulations and instructions and organize the storage of tools.

Next, the author analyzed data from the first quarter of the year 2023 on equipment failures and emergencies in the hollow core slabs production line. To improve the situation and reduce production stoppages, the author proposed the implementation of TPM, using which several proposals were made. For example, it is necessary to improve the skills of employees through training and periodic knowledge checks; appropriate documentation should be prepared for the maintenance performed. Also, preparing the extruder on a free production line would help to avoid stoppages in the production workshop of finished products and reduce the number of overtimes in the technical department.

As a last step, the author investigated the reasons for the waste of resources on the production line, and as a result, suggested introducing modern machines and software to eliminate losses and fix the problems. In the beginning, the author analyzed the data of complaints and production defects, based on which it turned out that 16 percent of all non-conformities are related to the so-called human factor. As the management of AS Framm was still considering the idea of introducing new modern machines and software at the time of writing of this thesis, the author conducted a study and comparative analysis of various specialized equipment which enables marking of production lines. Namely, different plotters from the companies NordImpianti, Copcole, ECHO, Elematic were compared. As a result, the author suggests that it would be reasonable to use the NordImpiant plotter. Then, the author collected and analyzed data on resource crossing, namely data on reinforcing wire. Since this resource is expensive, the author analyzed what could help in saving it. It turned out that the use of modern software helps to save reinforcing wire, speeds up the work of the production planner and reduces the amount of waste generated on the production line. As a software solution, the author suggested using PlanDesk.

In summary, the author concludes that the thesis fulfilled its stated purpose, and the hypothesis of the thesis was proven. The Lean method and the application of modern technologies would help to improve the efficiency in the production of hollow core slabs in the AS Framm company. The author made his own suggestions for improvements, the implementation of which can significantly increase the efficiency and productivity of the hollow core slabs department. For a continuous increase in efficiency, it is of course necessary to continue implementing Lean thinking, conducting regular audits, and keeping technologies up to date.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] J. Eilola, „Elematic,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elematic.com/blogs/on-the-route-towards-more-efficient-hollow-core-slabs/>. [Kasutatud 28 märts 2023].
- [2] „Habr.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://habr.com/ru/articles/490826/>. [Kasutatud 1 mai 2023].
- [3] „Bakertilly.ua,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://bakertilly.ua/ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%B8-%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C/>. [Kasutatud 15 aprill 2023].
- [4] „Err.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.err.ee/1608929615/e-betoonelement-koondab-75-inimest>. [Kasutatud 30 märts 2023].
- [5] „Inforegister,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.inforegister.ee/10349057-FRAMM-AS>. [Kasutatud 17 veebruar 2023].
- [6] „Linkedin,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.linkedin.com/company/as-talot/posts/?feedView=all>. [Kasutatud 15 aprill 2023].
- [7] „AS Framm,“ [Võrgumaterjal]. Available: www.framm.ee. [Kasutatud 25 jaanuar 2023].
- [8] „AS Framm Tööleping 2020,“ [Võrgumaterjal]. Available: erp.framm.ee. [Kasutatud 25 jaanuar 2023].
- [9] „Begin,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.begin.eu/>. [Kasutatud 25 jaanuar 2023].
- [10] „Framm.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://frammm.ee/products/oonespaneel/>. [Kasutatud 31 jaanuar 2023].

- [11] M. Wader, Lean Tools - A Pocket guide to Implementing Lean Practices, Moskva: Alpina, 2005.
- [12] A. P. D. Shigeo Shingo, A Study of the Toyota Production System, Moskva: Integreeritud strateegiliste uuringute instituut, 2006.
- [13] J.P.Womack, D.T.Jones, D.Roos, Masin, mis muutis maailma, Tallinn: Külim, 2010.
- [14] Y. Klochkov, „Lean tootmine": mõisted, põhimõtted, mehhanismid,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/berezhlivoe-proizvodstvo-ponyatiya-printsipy-mehanizmy/viewer>. [Kasutatud 29 jaanuar 2023].
- [15] J.P.Womack, D.T.Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Moskva: Alpina, 2005.
- [16] O.Omogbai, K.Salonitis, „The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117300586>. [Kasutatud 17 veebruar 2023].
- [17] J. K. Liker, The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, Moskva: Alpina, 2004.
- [18] „Elematic.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elematic.com/product/plotter-e9-floors/>. [Kasutatud 19 märts 2023].
- [19] „Nordimpianti Concrete Experience,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nordimpianti.com/Products/Element-Marking/Plotter-for-Hollow-Core-Slabs#>. [Kasutatud 1 aprill 2023].

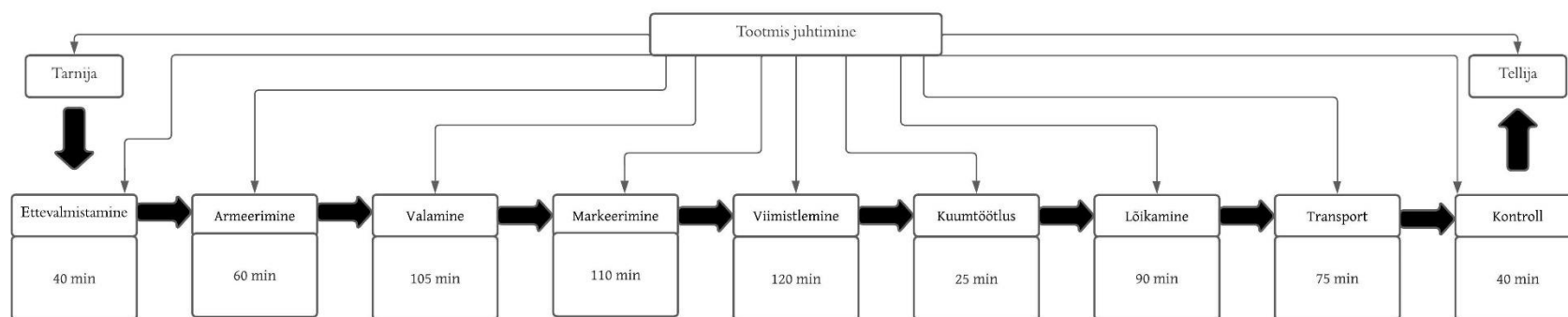
LISAD

Lisa 1. Väärtusvoo kaardid (plaanitud ja tegelikud)

Lisa 2. Erinevate tootjate plotterite võrdlustabel

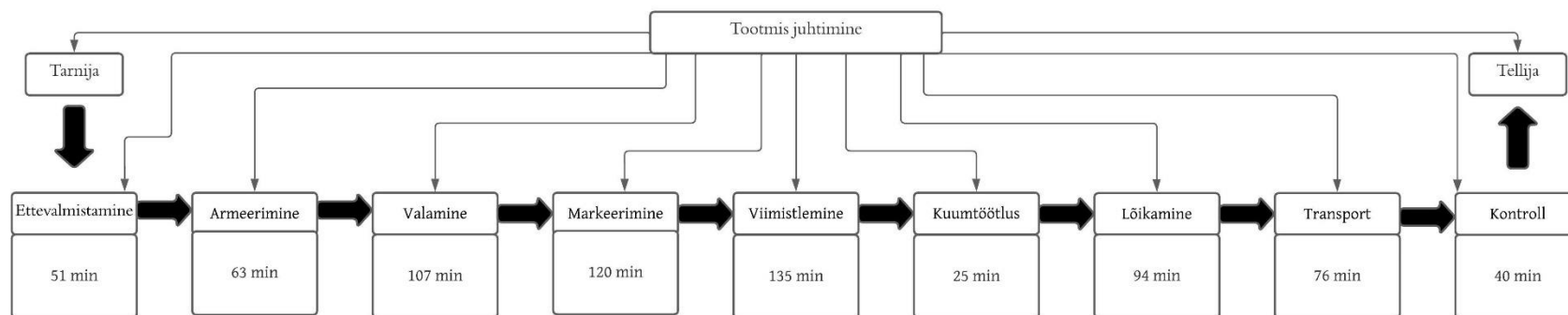
Lisa 1. Väärtusvoo kaardid (plaanitud ja tegelikud)

Väärtusvoo kaart (plaanitud)



Kokku 660 min

Väärtusvoo kaart (tegelikud)



Kokku 711 min

Lisa 2. Erinevate tootjate plotterite võrdlustabel

Olulised küsimused	NordImpian ti	Punktid	Concore	Punktid	ECHO	Punktid	Elematic	Punktid
Kas plotter võib markeerida paneele kõrgusega 400mm ja rohkem?	500mm	1	500mm	1	500mm	1	520mm	1
Kas plotter on akutoitel?	Jah	1	Jah	1	Jah	1	Jah	1
Kui kaua üks aku vastu peab (töötunnid)?	8 liini, 150m	1	12-16 liini, 120m	1	6-7 liini		7-8 liini	
Kui palju aega kulub aku vahetamiseks?	10 min	1	5 min	1	20-30 min		15 min	
Kui pikk on laadimisaeg?	8h		4-8h	1	8h		3-4h	1
Kui palju akusid masinaga kaasas on?	Üks, teine tuleks lisada	1	Üks, teine tuleks lisada	1	Üks, teine tuleks lisada	1	Üks, vajadusel kaks	1
Kas plotter saab laadimise ajal töötada?	Ei		Ei		Ei		Ei	
Kui suur on tindikonteiner?	5+2 lahusti	1	2L	1	2L	1	1L	

Olulised küsimused	NordImpianti	Punktid	Concore	Punktid	ECHO	Punktid	Elematic	Punktid
Kui lihtne on uuesti täita/vahetada?	Täitmine	1	Täitmine	1	Täitmine või kanistri vahetus	1	Täitmine	1
Kui kaua ühest konteinerist ligikaudu jätkub?			80-100 liinid x 120m		6 liinid x 5 päevas		2-4 nädalat	1
Kas plotter annab hoiatuse, kui plotteri tint hakkab otsa saama?	Jah	1	Jah	1	Jah	1	Jah	1
Kas plotter kasutab erinevaid tinti?	Ei	1	Eriline tint		2 tüüpi MUST ja UV (Reajet)		Ei	1
Milline on joonise täpsus?	3mm		2mm	1	3mm		1mm	1
Milline on joonistamiskiirus – kas see peab valumasinaga sammu?	Tavaliselt jah	1	Plotter on kiirem	1	Plotter on kiirem	1	1,5-5m/m	1

Olulised küsimused	NordImpian ti	Punktid	Concore	Punktid	ECHO	Punktid	Elematic	Punktid
Kas joonistuspea kohandub automaatselt õigele plaadi kõrgusele?	Jah, PLOT failist	1	Jah, PLOT failist	1	Jah, PLOT failist	1	JAH	1
Kuidas plotter liinile paigutab, teab, kus ta liinil asub?	Laser	1	Laser	1			Null punktist	
Kui miski on plotteri teel või see blokeerub, kas kostab hoiatus – turvaelemendid?	Jah	1	Masin peatub	1	Jah	1	Jah	1
Millist failitüüpi plotter kasutab?	XML fail	1	Iga tüüp	1	PXML fail	1	Uni 6.x ja Tekla fail	
Kuidas failid plotterisse jõuavad – Wi-Fi, USB, Bluetooth?	Wi-Fi või USB.	1	Wi-Fi või USB.	1	Wi-Fi või USB.	1	Wi-Fi või USB.	1
Kas tõrkeotsingut saab teha kaugjuhtimisega?	Jah	1	Jah	1	Jah	1	Jah, kui tellitakse	
Mis on plotteri mass?	2150kg		1500kg		1500kg		1550kg	

Olulised küsimused	NordImpian ti	Punktid	Concore	Punktid	ECHO	Punktid	Elematic	Punktid
Kuidas plotter tõstetakse?	Üksik konks		Üksik konks		Üksik konks		Kahe punkti kinnitus	
Kui palju hooldust on vaja pärast X lineaarmetrite kogust, kui palju maksaks tavahooldus?	Kord kuus + 6 kuud		Peaaegu ei vaja hooldust					
Kas see sisaldab venekeelset liidest?	Jah	1	Jah	1	Jah	1	Jah	1
Punkte kokku		17		18		13		14
Hind koos X arvu patareide ja aukude	143 111 €		152 141 €		177 991 €		166 125 €	