



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

MATERJALIVOOST PÕHJUSTATUD TÕRGETE VÄHENDAMINE TAMMER OÜ TOOTMISES

REDUCING INTERRUPTIONS OF PRODUCTION CAUSED BY MATERIAL FLOW IN TAMMER LTD

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Veiko Soomer

Üliõpilaskood 182903EALM.

Juhendaja: Jelizaveta Janno, PhD

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

(kuupäev digiallkirjas)

Autor: Veiko Soomer

(allkirjastatud digitaalselt)

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

(kuupäev digiallkirjas)

Juhendaja: Jelizaveta Janno, PhD

(allkirjastatud digitaalselt)

Kaitsmisele lubatud

(kuupäev digiallkirjas)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Jelizaveta Janno, PhD

(allkirjastatud digitaalselt)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Veiko Soomer (sünnikuupäev: 02.03.1978)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Materjalivoost põhjustatud tõrgete vähendamine Tammer OÜ tootmises

Mille juhendaja on Jelizaveta Janno, PhD

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäev allkirjas)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Veiko Soomer, 182903EALM
Õppekava, peeriala: EALM02/18, Logistika, Tarneahela juhtimine
Juhendaja(d): Jelizaveta Janno, PhD

Lõputöö teema:

eesti keeles Materjalivoost põhjustatud tõrgete vähendamine Tammer OÜ tootmises
inglise keeles Reducing Interruptions of Production Caused by Material Flow in Tammer Ltd

Lõputöö põhieesmärk:

1. Vähendada ajakulu tootmises, mis on põhjustatud kaupade liikumisest

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö teooria läbitöötamine ja kirjutamine	31.03.2020
2.	Töö uurimusliku osa läbiviimine, andmete kogumine	27.04.2020
3.	Andmete töötlus ja analüüs ning ettepanekute koostamine	23.05.2020

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai 2020.a

Üliõpilane: Veiko Soomer (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja: Jelizaveta Janno, PhD (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)

Programmijuht: Jelizaveta Janno, PhD (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1 TEOREETILISED LÄHTEKOHAD	11
1.1 Tootmine ja tootmissüsteemid	11
1.2 Protsessid	17
1.2.1 Logistika	17
1.2.2 Sisemine logistika	17
1.2.3 Tootmislogistika	18
1.2.4 Materjalide juhtimine	19
1.2.5 Materjalivoog	20
1.2.6 Äriprotsessid.....	22
1.3 Kulusäästlik mõtlemine	23
1.3.1 Kulusäästliku mõtlemise olemus.....	23
1.3.2 Väärtus protsessides.....	25
1.3.3 Raiskamised	25
1.3.4 Ootamine ja transport.....	27
1.4 Varasemad uuringud	28
2 LÄHTEÜLESANNE	30
2.1 Tammer OÜ.....	30
2.1.1 Ettevõtte tutvustus.....	30
2.1.2 Toodang.....	32
2.2 Lähteolukord	34
2.2.1 Tammer OÜ äriprotsessid ja struktuur	34
2.2.2 Müügi- ja projektijuhtimine	34
2.2.3 Sisseost ja materjalide haldus.....	35
2.2.4 Tootmine.....	38
2.3 Probleemi formuleerimine ja uurimisülesanded	41
3 METOODIKA.....	45
3.1 Uurimusstrateegia	45
3.2 Andmete kogumine	48
3.2.1 Uurimuse andmed	48
3.2.2 Statistilised andmed	49
3.2.3 Ekspertintervjuud.....	49
3.2.4 Vaatlused	51
3.3 Kaardistamine ja analüüsimetodid	54
3.3.1 Kaardistamine.....	54

3.3.2 Analüüsimismeetodid	57
4 ANALÜÜS JA SÜNTEES.....	61
4.1 Töökeskuste tõhusus	61
4.2 AS-IS kaardistamine.....	63
4.3 Intervjuude kokkuvõte ja tulemused	66
4.3.1 Struktureerimata intervjuud	66
4.3.2 Poolstruktureeritud intervjuud	67
4.4 Vaatluste kokkuvõte ja tulemused.....	70
4.5 TO-BE kaardistamine	73
4.6 Järeldused, ettepanekud ja valideerimine.....	75
KOKKUVÕTE	79
SUMMARY	81
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	84
LISAD	90
Lisa 1 Tammer OÜ juhtimisstruktuur	91
Lisa 2. Poolstruktureeritud intervjuu küsimused	92
Lisa 3 Intervjuude ja vaatluste kokkuvõte.....	93
Lisa 4 AS-IS spageti diagramm	95
Lisa 5 AS-IS kaupade liikumised ja distantid	96
Lisa 6 Poolstruktureeritud intervjuude kokkuvõte.....	98
Lisa 7 TO-BE spageti diagramm.....	99
Lisa 8. ABX_XYZ analüüs profiilile ja villale	100
Lisa 9 TO-BE kaupade liikumised ja distantid	101

EESSÕNA

Käesoleva töö pealkiri on Materjalivoost põhjustatud tõrgete vähendamine Tammer OÜ tootmises.

Magistritöö uuritavaks probleemiks on ajakulu materjalide ja pooltoodete liikumisel töökeskustesse ja töökeskuste vahel. Ettevõttes ei ole varem kaardistatud kaubavoogusid ning puudub ülevaade vajakajäämistest selles.

Uurimistöö eesmärgiks on vähendada ajakulu tootmises, mis on põhjustatud ladustamise asukohtade valikust ja kaupade liikumisest. Eesmärgini jõudmiseks viib autor läbi ekspertintervjuud, osaluseta vaatlusi ning kaardistab materjalide ladustamise asukohad ja liikumised tootmises. Eelpool toodud tegevuste abil tuvastab probleemsed kohad materjalide liikumisel tootmises.

Uurimisstrateegiaks on juhtumiuuring, mille käigus uuritakse praktilist probleemi. Uurimise läbiviimiseks kasutatakse kombineeritud uurimismetoodikat. Kvalitatiivseid andmeid kogutakse intervjuude ja vaatluste teel ning kvantitatiivsete andmetena kasutatakse statistilisi andmeid ettevõtte majandustarkvarast.

Uurimistöö tulemuseks on selge ülevaade ajakulu põhjustajatest materjalivoos. Magistritöö käigus kaardistatakse *AS-IS* materjalivood ja koostatakse *TO-BE* kaart ning tehakse ettevõtte juhtkonnale ettepanekud olukorra parendamiseks. Uurimustulemustel põhinevate parandusettepanekute elluviimisel lüheneb toote valmimise ning tootele väärtust mitteandev aeg. Paraneb tootmise tõhusus ning ühes ajaühikus suudetakse rohkem tooteid valmistada.

Käesoleva magistritöö autor soovib tänada juhendajat Jelizaveta Jannot ning Tammer OÜ töötajaid, kes aitasid uurimuse läbiviimisele kaasa.

Märksõnad: materjalivood, tootmine, tootmissüsteemid, tootmislogistika, kulusäästlik tootmine.

SISSEJUHATUS

Tootmisettevõtted on tugevalt mõjutatud üha volatiilsema ning globaliseeruva majanduskeskkonna poolt. Turu globaliseerumine suurendab oluliselt konkurentsi, klientide nõudmised on kõikumad ning kliendid soovivad üha rohkem spetsiaalselt nendele tehtud tooteid (ingl. k. *Custom Made*) [1], [2]. Eelnev asjaolu paneb tootmisettevõtted suure surve alla, mis sunnib tegutsema tipptasemel ja parandama sooritust ning samal ajal vähendama kulusid, tõstma kvaliteeti ning lühendama tarneaegu [3], [4]. Ettevõtted peavad välja töötama keerulisemaid tooteid, arendama tehnoloogiaid, meetodeid, äriprotsesse ja tõhustama logistikat kogu tarneaheas [1]. Nii on sama surve all ka terasest avatäidete ja vaheseinte tootja Tammer OÜ, mille põhjal käesolevat magistritööd teostatakse.

Käesoleva magistritöö uuritavaks probleemiks on ajakulu kaupade liikumisel töökeskustesse ja töökeskuste vahel. Palju aega kulub töökeskustes sisendmaterjalide otsimisele või ootamisele. Toote valmimise protsesside teekond on pikk ja kulud raisatud aja tõttu suured.

Magistritöö eesmärgiks on vähendada ajakulu tootmises, mis on põhjustatud kaupade liikumisest ja ladustamise asukohtade valikust. Eesmärgini jõudmiseks püüab autor tuvastada aja kaod tootmises, leida kitsaskohad materjalivoos töökeskustesse ja töökeskuste vahel ning kujundada kaupade optimaalseimad ladustamise ja tootmises liikumise süsteem. Eesmärgi saavutamiseks kaardistab autor materjalide ladustamise ja liikumise tootmises, viib läbi ekspertintervjuusid asjaosalistega, teostab vaatlusi tootmises ning analüüsib ettevõtte majandustarkvarast saadavaid andmeid planeeritud aja kasutuse ja tegeliku ajakasutuse kohta.

Tammer OÜ on 25 aastat tegutsenud tootmisettevõtte, mille toodanguks on terasprofiilist avatäited ja vaheseinad ning silemetalluksed. Peamiselt toodetakse tuletokeketooteid. Ettevõtte on alates asutamise aastast kuni käesoleva töö kirjutamiseni pidevalt kasvanud. Viimased viis aastat (2014-2019) on olnud müügitulu kasv keskmiselt 14 % aastas. 2019. aastal kasvas müügitulu ligi 19% võrreldes eelneva aastaga. Tammer OÜ pidev ja kiire kasvamine on toonud kaasa palju investeeringuid, tekitanud vajadusi muutusteks, sundinud tõhustama mitmeid protsesse tootmises, juurutades seeläbi kulusäästlikku mõtteviisi. Tammer OÜ toodab projektipõhiselt vastavalt kliendi etteantud parameetritele. Keskmise partii suurus on seitse toodet.

Uurimistöö teemat ajendas valima asjaolu, et ettevõtte tootmine töötab negatiivse tõhususe näitajaga. See tähendab, et tegelikult tööks kulub rohkem aega, kui

normeeritud ehk eelarvestatud aeg ette näeb. Puudub selge ülevaade, kui suur osa tööajast kulub materjalide, komponentide ja pooltoodete töökeskustele ette toomisele või otsimisele ning kuivõrd see põhjustab ootamist.

Uurimisprobleemi lahendamiseks püstitab autor järgnevad uurimisülesanded:

1. tuvastada sujuvat töövoogu takistavad tegurid materjalivoos;
2. tuvastada raiskavad tegevused materjalide liikumises;
3. selgitada materjalide liikumist ja õigeaegsust põhjustavad torked;
4. leida lahendused materjalivoos raiskamiste vähendamiseks.

Uurimistöö tulemuseks on selge ülevaade raiskamistest materjalivoos. Magistritöö käigus kaardistatakse *AS-IS* materjalivood ja koostatakse *TO-BE* kaart ning tehakse ettevõtte juhtkonnale ettepanekud olukorra parendamiseks. Uurimustulemustel põhinevate parandusettepanekute elluviimisel lüheneb toote valmimise ning tootele väärtust mitteandev aeg. Paraneb tootmise tõhusus ning ühes ajaühikus suudetakse rohkem tooteid valmistada.

Käesolevat tööd hakati kirjutama ning uuringuid läbi viima 2019. ja 2020. aasta alguse majandusolukorda arvestades. 2020. alguses maailmas levima hakanud ja pandeemiaks kujunenud *COVID-19* põhjustas järsu muutuse globaalses majandus keskkonnas ning töökorraldustes kohapeal. 17. märtsil 2020 suleti töötajate kaitseks tootmisega otseselt mitte soetud inimeste ligipääs uuritava ettevõtte tootmisesse. Seetõttu ei ole autoril võimalik algselt plaanitud aja mõõtmisi ise teostada ning tuli sisse viia muudatused uurimisstrateegias. Esmaste kvantitatiivsete andmete asemel võetakse kasutusele statistilised andmed ettevõtte majandustarkvarast. Kuna aja kadusid ei ole võimalik mõõta, siis probleemide tuvastamiseks analüüsitakse vaatlusi ja intervjuusid. Esiolgu planeeriti töös välja tuua konkreetseid ajalised mõõdikud raiksavatest tegevustest ning esitada tulemustena kokku hoitav aeg, tuvastatud väärtust mittelisavate tegevuste eemaldamiseks.

Lõputöö koosneb neljast peatükist: teoreetiline taust, hetke situatsioon ja ülesande püstitus, meetoodika ning süntees ja analüüs.

Esimeses peatükis analüüsitakse teemakohast kirjandust. Antakse ülevaade tootmisest ja tootmisesüsteemidest, tootmiselogistikast, materjalivooSt ja kulusäästikust mõtteviisist ehk *Lean* mõtteviisist ning selle tööriistadest. Antud peatükk aitab mõista uurimisprobleemi ning annab ülevaate teistest sellel teemal läbi viidud uuringutest. Teises peatükis tutvustatakse uuritavat ettevõtet, antakse ülevaade lähteolukorrast, formuleeritakse probleem ning püstitatakse magistritöö eesmärk ja uurimisülesanded.

Kolmandas peatükis tutvustatakse uurimisstrateegiat ja metoodikat, mille abil autor lahendab uurimisprobleemi. Neljandas peatükis võtab autor kokku uurimustulemused, analüüsib neid ning koostab ettevõttele ettepanekud parendusteks. Viimases osas on ära toodud ka eksperthinnang.

Magistritöö tulem on kasulik uuritavale ettevõttele. Magistritööga põhjalikum tutvumine aitab mõista hästi korraldatud matejalivoogude vajalikkust ja annab juhiseid nende parendamiseks.

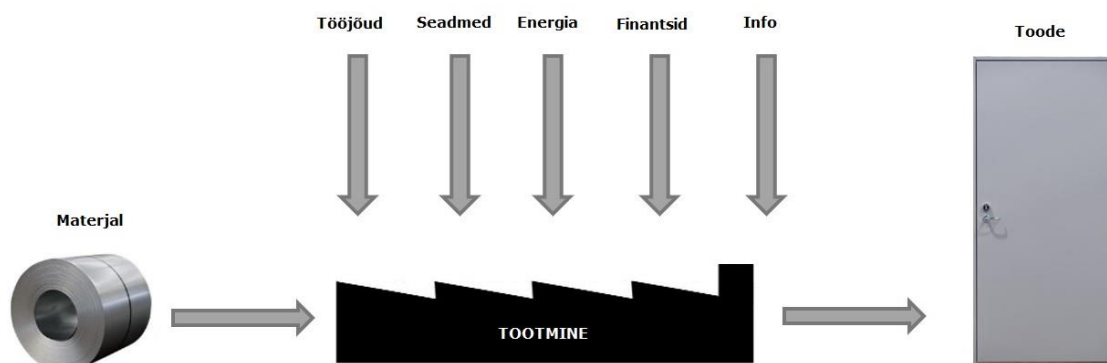
Edasised uurimissuunad oleksid sissetulevate kaupade tarnetäpsuse parandamiseks ning kulusäästliku mõtteviisi juurutamiseks ja selle tööriistade kasutusele võtmiseks ja juurutamiseks. Samuti vajaksid edasist uurimist materjalide juhtimise strateegia loomist töö analüütilises osas loodud ABC_XYZ kategoriseerimise baasil.

1 TEOREETILISED LÄHTEKOHAD

1.1 Tootmine ja tootmissüsteemid

Tootmine on tegevuste jada, mis muudavad peamise sisendi – materjali – teiste sisendite – tööjõud, energia, seadmed, raha, info jne. – abil kõrgema väärtusega väljundiks ehk tooteks (joonis 1.1) [1]. Seega on tootmine tootele väärtust andev tegevus. Tootmisprotsess võib olla nii füüsiline, kus muudetakse materjali geomeetriat kui ka keemiline, kus muudetakse materjali omadust ja/või väljanägemist. Ka kuulub tootmise alla erinevate pooltoodete kokkupanemine [5]. Toode on seda väärtuslikum, mida rohkem eriliigilisi operatsioone selle valmistamiseks tehakse. Tootele lisab väärtust, kui see luuakse, seda arendatakse, pidevalt täiendatakse ja teostatakse järelteenindust sama tootmisettevõtte poolt [6]. Konkurentsipüsimiseks ei piisa ainult keeruliste toodete tootmisest keeruliste meetoditega, vaid seda tuleb teha tõhusalt, kvaliteetselt, paindlikult ja võimalikult lühikese tarneajaga [7].

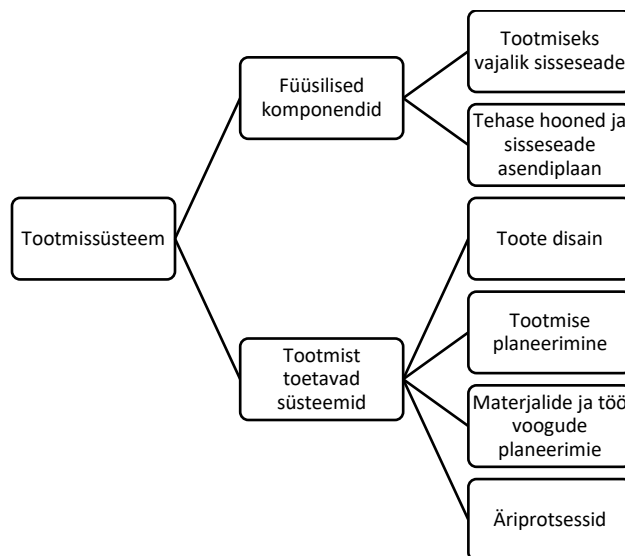
Joonis 1.1 Tootmise ülevaade



Allikas: autori koostatud [1], [5] põhjal

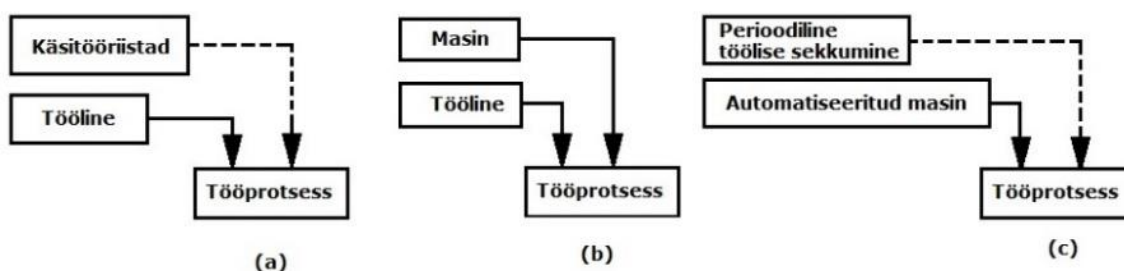
Tootmises on alati piiratud ressursid (materjalid, energia, inimesed, masinad, ruumid jne), seega on tootmisettevõtetele väga oluline toota võimalikult kulusäästlikult [8]. Kasumlikkuse tagamiseks loob ettevõtte tootmissüsteemi ja hoolitseb süsteemi eest selliselt, et infovood sisendite, protsesside ja väljundite kohta oleks hästi koordineeritud [9]. Tootmissüsteemid on tootmisettevõtte tegevused, mille käigus määratletud süsteemis sisenevad ressursid ühendatakse ja muudetakse loogika alusel väärtuseks [1]. Tootmissüsteem koosneb kahest olulisest komponendist, milleks on füüsilised ja tootmist toetavad komponendid. Füüsilised komponendid on tootmistes kasutatavad seadmed, töövahendid, materjalide transportimise seadmed, inventar, hooned ning viis kuidas seadmed hoonetes asetsevad. Tootmist toetavad süsteemid on protsessid, millega juhitakse tootmist, lahendatakse tehnilisi ning logistilisi probleeme, kuidas toimub materjalide tellimine ja liikumine ning kuidas kindlustatakse toote kvaliteet.

Samuti kuulub siia alla ka toote disain ja äriprotsessid. Tootmissüsteemide osadest annab ülevaate joonis 1.2. [5], [10]



Joonis 1.2 Tootmissüsteem
Allikas [10]. Autori kohandatud

Tootmissüsteeme liigitatakse mitmeti. Peamiselt liigitatakse inimese ja seadme osaluse alusel protsessis, toodangu koguse, pidevuse ning valmistoodangu varude olemasolu alusel. Inimese ja seadmete osaluse alusel tootmisprotsessis saab ära märkida kolm peamist kategooriat, milleks on käsitöösüsteem, tööline-masin süsteem ja automatiseeritud [9], [10]. Erinevad tootmissüsteemid on näidatud joonisel 1.3.



Joonis 1.3 Tootmissüsteemis inimene-masin osalusel
Allikas [10]. Autori kohandatud

Käsitöö süsteem (joonisel 1.3 (a)) on süsteem, kus üks või mitu töölist teostavad ühte või enam operatsiooni käsitööriistaga, mis ei ole elektriliselt ega pneumaatiliselt käideldavad. Tööline-masin süsteem (joonisel 1.3 (b)) on laialdasemalt kasutatav, kus tööline opereerib elektri või surveõhujõul töötavate tööriistadega või tööpinkidega. Siinjuures võib üks töötaja opereerida mitmel seadmel või mitu töötajat ühel seadmel. Automatiseeritud süsteemis (joonisel 1.3 (c)) protsessid teostatakse masinatega ilma inimese otsese osaluseta. Töökäsud ja programmid sisestatakse masinasse läbi arvutustehnika [9], [10].

Kuna alati ei ole selget piiri tööline-masin ja automatiseeritud süsteemide vahel, siis automatiseeritud süsteemi juurde saab lisada kaks alajaotust: poolautomatiseeritud ja täisautomatiseeritud süsteemid. Esimesel juhul inimene sekkub perioodiliselt, täites masinat toorikuga ja tühjendades töödeldud tootest, käivitab iga tsükli eraldi või teostab muid perioodilisi tegevusi iga töötsükli järel. Täisautomatiseeritud tootmissüsteemi puhul toimub seadmes või seadmetes tootmine pikema aja vältel (rohkem kui üks töötsükkel) ilma inimese sekkumata [5].

Ettevõtte tooteportfelli nomenklatuurist, toodete keerukusest ja tootmiskogustest johtuvalt eristatakse laias laastus tootmisettevõtetes kolme tüüpi tootmist: üksik-, seeria- ja masstootmine [6]. Kõik need kolm tootmissüsteemi kasutavad küllaltki erinevaid seadmeid [9].

Üksiktootmine on paindlik, toodetakse üldiselt vastavalt tellimusele väikeste partiide kaupa või lausa üksikuid tooteid. Seadmed on mitmeotstarbelised ning enamasti on tegu käsitööriistadega või väikeste universaaltööpinkidega. Töötajad on kõrgelt kvalifitseeritud ja on suutelised teostama erinevaid operatsioone ja töövõtteid. Sellise tootmissüsteemiga ettevõttel on lai tootenomenklatuur ning toodetavad partiid sõltuvad otseselt tellimustest [6], [9].

Seeriatootmises ehk partiitootmises toodetakse suuremaid koguseid sarnaseid tooteid ning seeriad korduvad kindla aja tagant. Kogused võivad olla mõnest mitme tuhande tooteni. Seeriatootmise puhul toodetakse nii tellimuse põhiselt kui ka valmistoodangu lattu. Partiitootmises on tootenomenklatuur suhteliselt lai, kuid masinate otstarbe tõttu siiski piiratud. Sarnasel tootegrupil võib olla erinevaid variatsioone. Töökohtadel korduvad erinevad operatsioonid perioodiliselt ning masinad on mitmeotstarbelised. Tihti on masinate võimsused suuremad, kui toodete nõudlus. Katkestused partiide vahel võivad tuleneda kliendi tellimustest, vajadusest vahetada tööriistu seadmes enne järgmist operatsiooni, teiste detailide tootmise vajadusest samas seadmes vms [6], [9], [10]

Otswald ja Muñoz [9] on välja toonud, et masstootmise kriteeriumid on hästi kindlustatud müügitellimused (nii üksikud kui mitmed tellimused), kuid Vrat-i [11] kohaselt toodetakse vastavalt müügi ja nõudluse prognoosidele. Seadmed on mõeldud ainult ühe toote või ühe operatsiooni tegemiseks, toodete variatsioon on väike ning ühiku kulud hoitakse miinimumi peal.

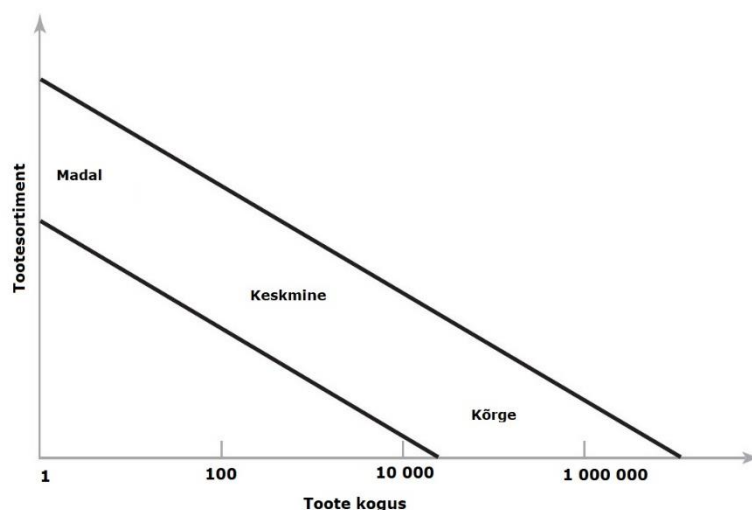
Kováč ja Kot [8] on lisanud siia loetelusse kaks tootmise tüüpi juurde: projektitootmine ja voogtootmine. Esimesel juhul on tegemist keerulise tootmisprotsessiga, kus toodetakse väikeseid koguseid või üksikuid tooteid vastavalt tellimusele; tooted on

disainitud spetsiaalselt kliendile ning protsessid on kordumatud erinevate projektide ehk tellimuste raames. Voogtootmise puhul toote nomenklatuur väike, üldjuhul üks toode. Toodetakse spetsiaalse masinaga katkematult väga suuri koguseid [8]. Kui varasemalt on vaieldud toodete koguste üle, mis mingi tootmissüsteem välja annab, siis tänaseks on selgunud, et konkreetseid numbreid välja tuua ei saa ning liigitamine toetub peamiselt ülal toodud kriteeriumidele [1], [9].

Küll aga liigitatakse aastas toodetavate ühiku arvu järgi, mis annab ettekujutuse tootmisettevõtte tootmise mahtudest [10]:

1. madal tootmismah – tootmiskogused 1-100 ühikut aastas, üldjuhul tüki- ja projektitootmine;
2. Keskmine tootmismah – tootmiskogused 100 kuni 10 000 ühikut aastas seeriatootmise puhul;
3. Suur tootmismah – tootmiskogused 10 000 kuni miljoneid ühikuid seeria-, mass- ja voogtootmine.

Ülaltoodud liigituse piire ei saa võtta väga jäigalt, kuna tegelikud piirid nende kategooriate vahel võivad nihkuda toodete keerukusest, ühe toote töömahust, kui ka tootenomenklatuuri varieeruvusest. Üldjuhul, kui tehases toodetava tootesortiment on suur, siis tootmiskogused on väikesed ning vastupidi [10]. Pöördkorrelatsiooni toodete varieerumise ja koguste vahel ilmestab joonis 1.4.



Joonis 1.4 Toodete nomenklatuuri ja tootmiskoguste suhe
Allikas [10]. Autori kohandatud

Groover [10] jagab oma raamatus toodete varieeruvuse kaheks: kõva toote varieeruvus ja pehme toote varieeruvus. Esimesel juhul nomenklatuuris olevad tooted erinevad teineteisest oluliselt. Valmistoodete koostises ei esine sarnaseid komponente või esineb

üksikuid. Teisel juhul erinevad nomenkltuuris olevad tooted üksteisest suhteliselt vähe ning kasutatakse suures osas samu komponente. Erinevus sama tehase tootekategooriate vahel võib olla kõva varieeruvusega ning sama tootekategooria erinevate toodete vahel pehme varieeruvusega.

Toote varude seisukohalt saab jagada tootmissüsteeme üldjoontes kaheks:

Esiteks lattu tootmine ehk lükkamise meetod (ingl. k. *Push Method*), mis peamiselt esineb traditsioonilistes mass- ja voogtootmistes [1], [12]. Tootmise plaan koostatakse peamiselt müügi- ja/või nõudluse prognoosi põhjal võttes arvesse juba olemasolevaid varusid. Valmis tooted „lükatakse“ lattu ilma otsese müügitellimuseteta [11].

Teiseks tootmine vastavalt tellimusele ehk tõmbamise meetod (ingl. k. *Pull Method*), mis on omane peamiselt projektitootmisele või unikaalsete toodete tootmisele [1], [12]. Nagu väljend tõmbamise meetod ütleb, siis toodete vajaduse „tõmbab“ esile vajadus lõpp-punktis, milleks on üldiselt kliendi tellimus. Klient võib olla nii väline (ettevõtte klient) kui sisemine (järgmine töökeskus). Vajadus tarneahela ühes punktis tuleb nõudlusest tarneahela järgmises punktis [11], [13].

Kasutatakse ka kombinatsiooni eelmainitud kahest süsteemist ehk lattu tootmise ja tellimusele tootmise hübriidsüsteemi. Lattu toodetakse osaliselt lükkamise meetodil ja osaliselt tõmbamise meetodil. Ka tootmise sees materjalide liikumises võib esineda hübriidsüsteemi. Osad töökeskused tootmissüsteemis töötavad lükkamise süsteemil ja osad tõmbamise süsteemil ning see võib tuleneda töökeskuste erinevast võimsusest [11]. Lükkamise meetod on kulukam, kui tõmbamise meetod, kuna valmistoodete ja tootmisprotsessis olevate pooltoodete (Ingl. k. *Work-In-Progress, WIP*) varud on suured, millega üritatakse vähendada ebakindlust planeerimises. Kvaliteedi probleemi ilmnemisel on praagi hulk suure [11].

Tootmisprotsessi pidevuse alusel klassifitseeritakse tootmissüsteeme pidevtootmiseks ja katkendlikuks ehk tükitootmiseks [1], [5], [6], [12]:

1. Katkendlik tootmissüsteem, mida iseloomustavad järgmised punktid:

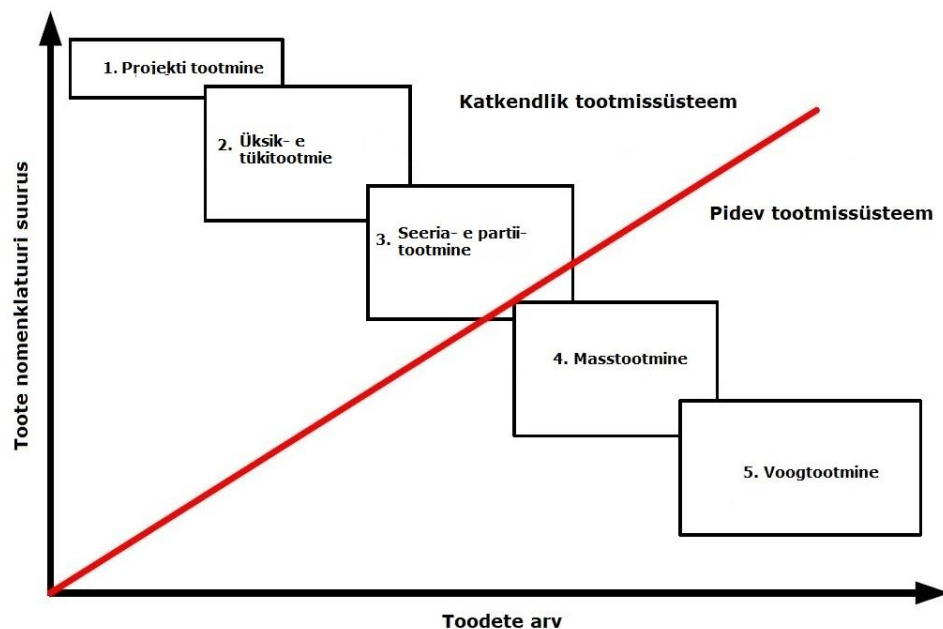
- süsteem on paindlik,
- toote disaini muutmine on paindlik,
- masinad ja seadmed on üldotstarbelised,
- tootmine ei ole pidev,
- ühesuguste toodete kogus on väike,
- toote nomenklatuur on lai.

2. Pidev tootmissüsteem, mida iseloomustavad järgmised punktid:

- protsesside voog on ettemääratud operatsioonide jada,
- süsteem on jäik,

- tootedisaini muutmine on keeruline,
- tootmine on enamjaolt pidev,
- ühesuguste toodete kogus on suur,
- tootenomenklatuur on kitsas.

Pidevtootmine on katkematu tehnoloogiline protsess, kus lõpptoodangut saadakse pidevalt ning tootmiseseadmed on mõeldud ainult konkreetse toote tootmiseks. Katkendlik tootmine ehk toodete diskreetne valmimine projektiviisilise, individuaalse või seeriaviisilise tootmisena. Tooteid toodetakse lõpliku arvu koguste kaupa. Tootmises esineb katkestusi partiide, seeriade vahel, mille põhjusteks on toodete erinevus partiide lõikes, tööriistade vahetamise vajadus seadmetes vms [1], [5], [6], [12].



Joonis 1.5 Tootmissüsteemide tüübid
Allikas: [1]. Autori kohandatud

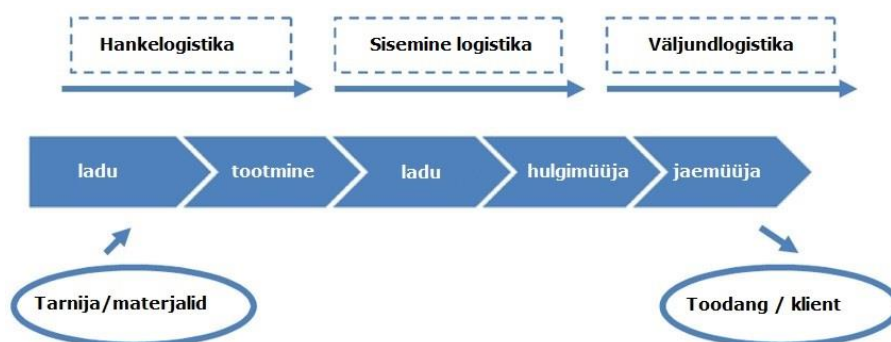
Vajadusel on võimalik kombineerida erinevate tootmissüsteemide komponente, kus näiteks tükitootmise tõhustamiseks kasutatakse voogtootmise põhimõtteid või seeriatootmises rakendatakse masstootmise võtteid. See eeldab kõikide töökeskuste ühtlast koormamist, mis tähendab, et iga operatsiooni tüki aeg peab olema võrdne või kordne väljalasketaktiga. Seeriatootmises võib rakendada vahelduv-voogtootmist, kus valmistatakse tooteid korduvate partiidenä. Sellisel juhul määratakse tööpingile või töökeskusele tehnoloogiliselt sarnaseid operatsioone vajavad detailid ning teatud aja tagant seadistatakse liin ümber teisele detailile. Selliste võtete kasutamisel on võimalik suurendada tootlikust läbi lühema tootmistsükli, vähendada lõpetamata toodangu varu (*WIP*) ja lihtsustada materjalivoo planeerimist [6].

1.2 Protsessid

1.2.1 Logistika

Tänapäeval on sõna logistika laialt kasutatav ning käesolevas uurimuses tuuakse ära selle peamine olemus. Üks lihtsamaid definitsioone logistikale on „Logistika 7R’i” (ingl. k. *7R Of Logistics*), ehk eesti keelde pannes „Logistika 7Õ’d”: Logistika ülesanne on kindlustada õige toode, õiges koguses ja õiges seisukorras õigesse kohta õigel ajal õige kliendi jaoks ja õige hinnaga [14].

Logistika on tarneahela vältimatu osa ja ettevõtete konkurentsi eelise saavutamiseks oluline [1]. Tootmisettevõttele kohandatuna on logistika hangete, kaupade liikumise, ladustamise, varuosade ja valmistoote varude organisatsiooniülene ja selle turunduskanalite strateegia, mille tulemusena kasumlikkus on maksimaalne läbi tellimuste täitmise kuluefektiivsuse [15]. Logistika olemust iseloomustab joonisel 1.6 toodud skeem [14].



Joonis 1.6 Logistika kontseptsioon
Allikas: [16]. Autori kohandatud

Logistika kontseptsioon seisneb tõhusas logistikas alates müügist läbi hankelogistika (ingl. k. *Supply Logistics*), sisemiselogistika (ingl. k. *Internal Logistics*) ja väljundlogistika (ingl. k. *Sales Logistics*), kindlustamaks kliendi rahulolu. Kui traditsiooniline logistika käsitleb tegevusi, mis järgnevad kauba valmimisele (pakkimine, transport, laadimine, ladustamine jne.), siis moodne logistika käsitleb tegevusi kogu tarneahelas [16].

1.2.2 Sisemine logistika

Logistilisi operatsioone võib jagada kahte baaskategooriasse: välimine logistika (ingl. k. *External Logistics*) ja sisemine logistika. Kõik tegevused, mis on seotud materjalide, info ja inimeste liikumisega väljaspool asutusi ehk liikumised geograafiliste punktide vahel, on välimine logistika. Sisemine logistika on üldises mõistes materjalide käsitlemine

mistahes organisatsiooni seinte vahel ning kätkeb endas materjalide liigutamist, ladustamist ja komplekteerimist ning tootmisettevõttes ka materjalide liikumist läbi tootmisprotsesside. Samavõrd tähtis, kui on materjalide liikumine, on oluline ka infovoog [10]. Sisemist logistikat võib vaadelda kui tarneahelat ettevõtte seinte vahel ning seda tuleb planeerida tõhusal ja efektiivsel viisil [17]. Seesmine logistika on tootmisettevõtetes üks olulisim osa, mille jõupingutused on suunatud valmistoodangu tarnimisele läbi tootmise juhtimise, korraldamise ja planeerimise [16].

Sisemise logistilise süsteemi planeerimisel ja loomisel tuleb lähtuda viiest peamisest komponendist, milleks on hooned, varustus, süsteem, tööjõud ja protsessid [18]:

1. hoonete juures on olulised osad ladustamise pind, põranda plaan, füüsilised mõõtmed. Neid näitajaid saab mõjutada ehitades uut tehast. Neid aspekte hoolega planeerides saavutab optimaalse logistilise voo;
2. õige varustus (transpordi vahendid, ladude sisseseade) määrab ära materjalide käitlemise tõhususe;
3. süsteemi all peetakse silmas ettevõtte tarkvaralahendusi, mille abil on informatsiooni vood juhitud;
4. tööjõu hulga vajadus ning vajaliku kompetentsiga õigel töökohal;
5. protsesside disainimisel tuleb võtta arvesse terviklik pilt, kuidas korraldada ruumi kasutust, seadmeid, personali, et tõsta sooritusvõimet.

Kui sisemine logistika tootmisettevõttes käsitleb materjalide ja info liikumist läbi organisatsiooni, siis tootmislogistika tegeleb fokusseeritumalt tootmisega seotud protsessidega.

1.2.3 Tootmislogistika

Logistika vaatenurgast on tootmised osa üldisest tööstuse tarnevõrgustikust, kaubandusest ja tarbijatest. Tootmised on tootmisettevõtete äritegevuse südamed, mis muudavad materiaalsed sisendid füüsilisteks kaupadeks [19]. Tootmisettevõttes kaasab enim ressursse ja kapitali toodete valmistamine. Tootmine on päästikuks peamisele materjalivoole läbi kogu ettevõtte iga tootmisüksuse [20].

Tootmislogistika baaseesmärk on suurendada tootmise võimekust ja usaldusväärsust võimalikult madala logistilise ja tootmise kuluga [21]. Sealjuures konkreetset eesmärgid võivad olla erinevad. Näiteks parandada tootmisvoo järjepidavust [25] või parandada tarnete usaldusväärsust ja mahtu [21]. Tootmislogistika ülesanne juhtida tootmist läbi tootmistellimuste ja tootmise ajakavade planeerimise, organiseerimise ning koostamise [22]. Tootmise planeerimine, mis ei võta arvesse logistikat on

samavõrd puudulik, kui logistika, mis ei arvesta tootmisega [19]. Õige lähenemisviis tootmise logistikale nõuab süsteemset lähenemist tootmise süsteemi definitsioonile kui ka vahetu keskkonna, nagu varustuse süsteem, jaotamise süsteem ning koostoime määratlemisele [21].

Tootmise planeerimise ülesanne on panna paika, mis tooted tuleb toota, millistes kogustes ja mis ajal, võttes arvesse saadaolevaid ressursse. Tootmise juhtimine tuvastab, kas vajalikud sisendid plaanide elluviimiseks on olemas. Juhul kui ei ole, siis astub vajalikud sammud defitsiidi kõrvaldamiseks [5].

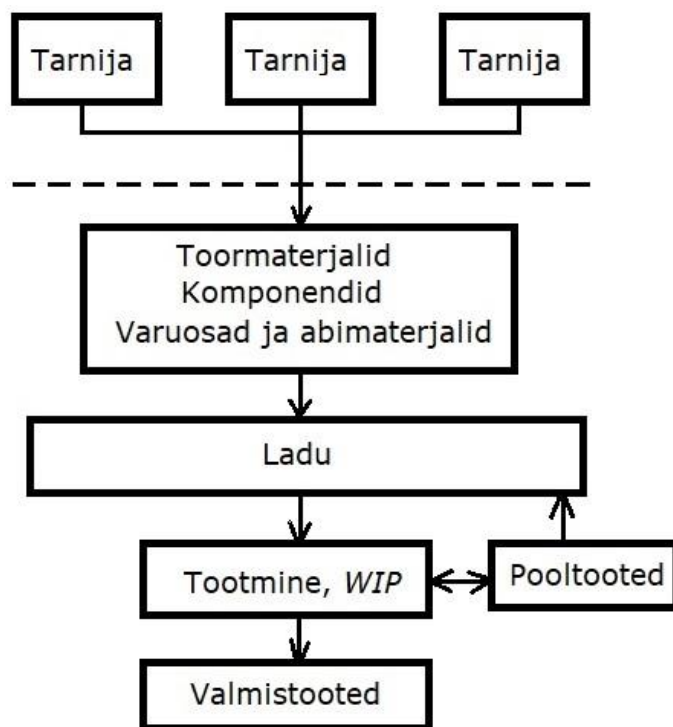
Sõltuvalt tootmise tüübist on logistilised väljakutsed erineva keerukusastmega. Projektitootmise ja üksiktootmise puhul, kus toote nomenklatuur on lai, tooted üldjuhul keerulisemad, sisaldades palju komponente ja läbides mitmeid erinevaid operatsioone, on logistika ülesanne lahendada mitmeastmelise detailse planeeringu probleeme ning koordineerida suure arvu komponentide liikumist ja operatsioonide samme. Teine ekstreemsus on masstootmine, kus ühte või üksikud tooteid toodetakse väga suurtes kogustes ning tootmisprotsessid on üldjuhul lihtsad. Seal on logistilised probleemid lihtsamad lahendada. Esimese puhul on rõhk tootmise planeerimisel ning teisel tootmise kontrollfunktsioonil [5].

1.2.4 Materjalide juhtimine

Enamustes tootmistes moodustavad materjalidega seotud kulud rohkem, kui poole. Seetõttu on materjalide efektiivne ja tõhus juhtimine väga olulisel kohal. Kuna materjal on vältimatu sisend tootmiseks, siis igasugune defitsiit, hiline mine, ebapiisav kvaliteet mõjutavad olulisel määral kulusid. Materjalide juhtimine tootmises vastutab õigete materjalide õigeaegse olemasolu eest tootmises, samal ajal hoolitseb kaupade õige hoiustamistingimuste eest ning väldib üleliigseid laovarusid [11]. Materjaljuhtimise eesmärk on maksimeerida ettevõtte ressursside tõhusat kasutamist ning pakkuda nõutud teeninduse taset. Hästi korraldatud materjalijuhtimine parandab suures osas ettevõtte kasumit [26].

Materjalide tüüpe võib jagada mitmeti, kuid tootmisettevõtetes tehakse seda peamiselt materjalivoo alusel: sisseostetavad ja konkreetses tootmises toodetavateks. Sisseostetavad materjalid on toormaterjalid, komponendid, varuosad, abimaterjalid (ingl. k. *Indirect Materials*). Tootmise materjalid on pooltooted (*WIP*) ja valmistooteid. Toormaterjalid on tootmisprotsessi otsesed sisendid, mida tootmise käigus töödeldakse. Teiste sõnadega toormaterjali füüsilist kuju ja muid omadusi muudetakse tootmisprotsessi käigus. Sisseostetavad komponendid on materjal, mis liiguvad toodete kokkupanekusse sellistena nagu need saabuvad. Varuosad ja abimaterjalid on tootmist

toetavad materjalid, nagu masinate varuosad, puhastusvahendid, abrasiivid ning need ei kuulu toote koostisesse. Pooltooted on protsessis valmimise poole liikuvad tooted (*WIP*) ning valmistooted on müügiks valmis kaup [11], [26]. Materjalide liikumist läbi ettevõtte ja jaotust on kujutatud joonisel 1.7.



Joonis 1.7 Materjalid ja materjalivoog
Allikas: [26]. Autori kohandatud

Materjalide juhtimine on tihedalt seotud sisemise logistikaga ning varude juhtimisega. Kui materjalijuhtimine vastutab materjalide õigeaegse olemasolu eest õiges kohas, siis varude juhtimine vastutab optimaalsete koguste eest laos ning kui palju ja millal juurde tellida. Tootmisettevõtetes on stabiilseks tööks materjalide varu olemasolu vältimatu, kuid liialt suured varud on koormavad ettevõtte rahavoogudele [27].

1.2.5 Materjalivoog

Kaupade ja teenuste nõudluse suurenemise ja soovitud tarneaegade lühenemise tõttu on surve tõhustada materjalide ja informatsiooni voogu ning käitlemist ettevõtte sees, mis hõlmab kaupade teisaldamist, materjalide käitlemist, õigeaegseid tarneid, laovarude juhtimist jne [28]. Kuigi turuolukord nõuab lühikesi tarneaegu ja veatut tarnetingimuste täitmist, on ettevõtte eesmärk saavutada võimalikult ühtlane tootmise ressursside kasutamine, omades samal ajal minimaalseid varusid [29].

Materjalivoog on materjalide struktureeritud ja organiseeritud liikumine punktist A punkt B terves tootmise süsteemis, võttes arvesse ruumi ja ressursside efektiivset

kasutust [30]. Materjalide käitlemist peetakse väärtust mittelisavaks tegevuseks ja võib olla kulukas, kuid siiski on see vajalik tegevus. Materjalide teisaldamine ja ladustamine on ressursimahukas, kuna see vajab vastavaid seadmeid, tööjõudu, pinda ja ladude inventari [31].

Üks peamisi toomisetevõtte majanduslike eesmärke on vähendada materjalide tootmises viibimise aega. Sellel on otsene mõju kapitalikulule [32]. Samuti on oluline elimineerida ebavajalikud materjalide liigutamised. Need on peamiselt põhjustatud ladustamise valedest asukohtadest ning materjalide käsitlemise ja liikumise süsteemi vajaka jäämistest. Mida pikemad on vahemaad ladustamise paigast tootmise liinile või pooltoodete liikumine liinide vahel, seda suurem on ajakulu, seega raiskamine [33]. Mulcay [36] sõnul materjalide käitlemine ja liikumine peab toetama efektiivset materjalivoogu läbi kogu tehase. Materjalide käitlemine ja voog peavad olema planeeritud selliselt, et see tagaks madalad opereerimiskulud ja efektiivse materjalivoo.

Materjalivoog on tootmissüsteemis keerukas protsess, mida ei saa optimeerida ilma planeerimata. Optimeerimist võib teostada nii uue tehase rajamisel või olemasolevas tehases [37]. Olemasoleva tehase materjalivoo optimeerimine ja (ümber)planeerimine on keerulisem uue rajatava tehase materjalivoo planeerimisest, kuna esimesel juhul tuleb arvestada olemasoleva tootmisliinide paigutusega, füüsilise ruumiga nii tootmises kui võimalikes ladustamispindadel. Alati ei ole võimalik eeltoodud piirangute tõttu tootmisliine ja ladustamise alasid ümber paigutada [38].

Kaubad peavad osakondade ja töökeskuste vahel liikuma lihtsalt, et saavutada transpordi, aja ja ressursi tõhusaim kasutus. Hästi toimiva sisemise logistika loomine on oluline tegur varustamiseks töökeskusi õigel ajal vajalike materjalidega [32]. Materjalivoogudes ei tohi olla katkestusi ega tarbetuid varusid ning vood peavad kulgema sujuvalt ning ühtlases tempos [39].

M. Starbek ja D. Menart on oma uurimuses välja toonud kolm sammu, mille abil alustada materjalivoo optimeerimist tootmises [29]:

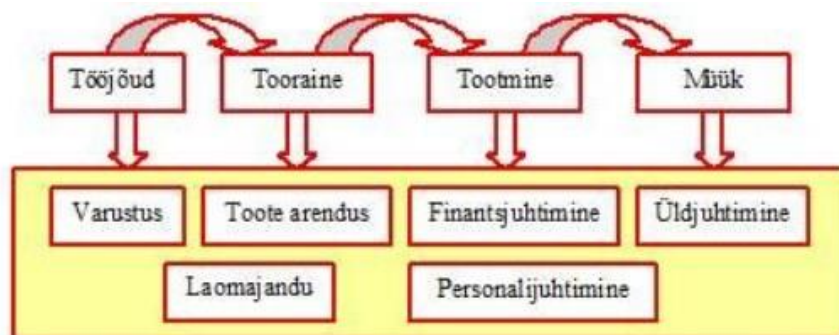
1. I samm: Praeguse materjalivoo analüüs:
 - a. osakondade vaheline materjalide liikumine
 - b. osakondade sisene materjalide liikumine
 - c. osakonna sisese töökeskuse vaheline materjali liikumine (keskmise olek, keskmine aeg, kokkulepitud tingimuste täitmine, ressursi tõhusus)
2. II samm: Ideaalse materjalivoo planeerimine
 - a. osakondadevahelise voo planeerimine
 - b. osakondade sisese voo planeerimine

- c. osakonna sisese töökeskuste vahelise voo planeerimine
- 3. III samm: Materjalivoo optimeerimise tulemuse hindamine
 - a. vähenenud kulud sisesele transpordile
 - b. väiksem pooleli olevate tellimuste kogus
 - c. lühem aeg, mis on vajalik kokkulepitud tingimuste täitmiseks osakonnas või töökeskustes
 - d. lühem tellimuste täitmise aeg
 - e. ressursside tõhusam kasutus

Adekvaatne ja hästi disainitud materjalide käitlemise süsteem toetab tootmise operatsioone [35]. Olemasoleva süsteemi parandamine kaupade liigutamiseks vajalike sammude vähendamise näol, aitab oluliselt kaasa materjalide käitlemise optimeerimisele [40], mis omakorda vähendab kulusid, liigutamisteks kuluvat aega ning tõstavad tootlikust ja kvaliteeti [31]. Läbi liigutamiste vähenemise väheneb ka materjalide kahjustumise risk [40].

1.2.6 Äriprotsessid

Äriprotsessid on tegevuste jada, mille otseseks väljundiks on lisaväärtus kliendile ning lisaväärtuste loomise toetamine kliendile. Otsest väärtust luuakse ettevõtte põhiprotsessides ning lisaväärtuse loomist toetavad protsessid on ettevõtte tugiprotsessid. Ettevõttes esineb lisaks põhi- ja tugiprotsessidele ka juhtimisprotsessid [41]. Äriprotsesse kujutatakse kastina, millel on sisendid ja väljundid. Sisenditeks on kõik faktorid, mida ettevõttes kasutatakse lõpptulemuse valmistamiseks. Väljundiks on firmas toodetav toode või pakutav teenus [42]. Äriprotsesside tegevuste jada võib kirjeldada nii kirjaliku tekstina kui ka visuaaliga. Kuna teksti vormis esitatav äriprotsess on tihti raskesti mõistetav, on soovitatav ettevõtte äriprotsesside esitlemiseks eelistada visualiseerimist [41]. Üks viis äriprotsesside visualiseerimiseks on näidatud joonisel 1.8.



Joonis 1.8 Äriprotsesside mudel.
Allikas: [42]

Kirjeldatud äriprotsesse vaadates, võimaldab aru saada, mis ettevõttes toimub. Kõik firma äriprotsessid peavad olema vajalikud ja looma lõpptulemusele lisaväärtust. Kui ettevõtte mõni protsess ei oma ühtegi väärtust lisavat funktsiooni, siis ei ole sellel eesmärki ega majanduslikku mõttekust [41].

1.3 Kulusäästlik mõtlemine

1.3.1 Kulusäästliku mõtlemise olemus

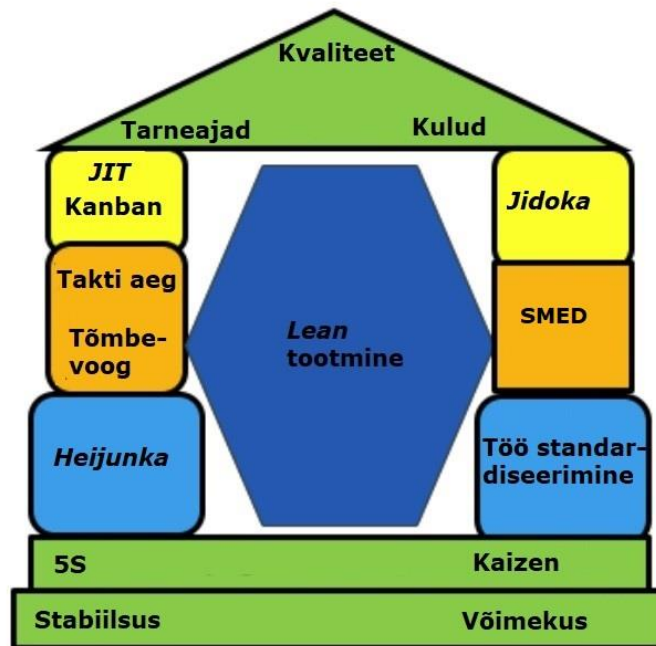
Optimeerimata äriprotsessid sisaldavad alati lõpptulemusele väärtust mitte lisavaid tegevusi või alamprotsesse, mida nimetatakse raiskamiseks. Eelmainitud probleemiga hakati sihikindlalt tegelema Jaapanis 1950-date aastatel. Toyota tehases alguse saanud Toyota tootmissüsteem (ingl. k. *Toyota Production System*; *TPS*) hakkas raiskavate tegevuste eemaldamiseks neid kaardistama, analüüsima ja parendama [43].

Süsteemi idee oli organiseerida tootmisprotsesse kõige efektiivsemal ja tõhusamal viisil. *TPS* sai alguse juba 19. sajandi lõpul *Toyota Automatic Loom Works* ettevõttest. Süsteemi arendati ja võeti jõudsalt kasutusele pärast Teist Maailmasõda *Toyota Motor Corporationis*, kui võeti eesmärgiks *USA* autotööstusele järele jõuda. *TPS* kasutuselevõtmine lennutas *Toyota* autotööstuse tippu. Pärast Womack et al. raamatu „Masin, mis muutis maailma“ (inkgl. k. „*The Machine That Changed The World*“) ilmumist, kus *TPS* idee sai inglise keeles läänelikuma väljendi kulusäästlik mõtlemine (ingl. k. *Lean Thinking*), ka kulusäästlik filosoofia (ingl. k. *Lean Philosophy*), levis kiirelt üle maailma [44], [45]. *Lean* filosoofia järgi organiseeritud tootmine (ingl. k. *Lean Manufacturing*) võiks eesti keeles nimetada timmitud tootmiseks. Edaspidi kasutab autor mõistet *Lean*.

Lean mõtlemine on protsesside organiseerimise ja juhtimise filosoofia, mis pakub komplekti tööriistu ja meetodeid, mille abil eemaldada raiskamist ning samal ajal fookuseerida pidevale parendamisele ja inimeste arendamisele [44]. Lihtsaim seletus *Lean*’ile on pidev raiskamise eemaldamise protsess. Ehk *Lean* tootmine kätkeb endas pidevat jõupingutust vähendamaks ja eemaldamaks raiskamist tootmisprotsessides ning sujuva protsesside voo saavutamist [46].

Lean tootmine on juhtkonna poolt loodav tootmine, mis viib organisatsiooni turul konkurentsivõimelisemaks läbi tõhususe tõstmise ja kulude vähendamise elimineerides väärtust mitte lisavaid tegevusi ning ebaefektiivsust protsessis [47]. Paljude uuringute tulemused näitavad, et *Lean* tööriistade ja meetodite kasutamine on aidanud paljudel tootmistel parendada oma operatsioone ja protsesse [3].

Lean filosoofias kasutatakse mitmeid tööriistu, mille abil raiskamisi eemaldada. Samuti on olemas tööriistad, mille abil tootmises saavutatud kulusäästliku tegevust säilitatakse ja pidevalt parendatakse. Tuntumad ja palju kajastust leidnud on *Lean* tööriistad *JIT*, *5S*, väärtusahela kaardistamine ning *Kaizen* [48]. *Lean* tootmise olemust selle tööriistadega on kujutatud joonisel 1.9.



Joonis 1.9 *Lean* olemus ja *Lean* tööriistad
Allikas: [18]. Autori kohandatud

JIT tootmine – ingl. k. *Just In Time* (täpselt õigel ajal) tähendab tootmise sellist korraldust, kus protsessis on ainult vajalikud materjalid vajalikul ajal vajalikus kohas [49]. *JIT* meetodi abil vähendatakse tootmises pidevalt raiskamist, kuna seal liiguvad väikseste partiid, teostatakse operatsioone, mis on vajalikud ja mitte rohkem. Tulemuseks on väiksemad ostukogused, vähem pooltooteid protsessis (*WIP*) ning vähem valmistooted, mis viib väiksema ruumi vajaduseni. *JIT* meetod tõstab toote kvaliteeti, vähendab tootmise tarneaegasid, tootmisevood on sujuvamad ning tootmine on paindlikum [3].

5S süsteem on üks *Lean* tööriistadest või meetoditest, mille idee seisneb töökohtade organiseerituses ja puhtuses ning selle säilitamises [50]. *5S* meetodiga luuakse selline töökeskkond, kus kõik ebavajalik on eemaldatud, igal esemel (tööriistad, transpordi kärud) on oma kindel koht ning töökohad on puhtad. *5S* tuleb jaapani keelsetest viiest „S” tähega algavast sõnast: *Seiri* (sorteeri), *Seiton* (sea korda), *Seisou* (sära), *Seiketsu* (standardiseeri) ja *Shitsuke* (säilita) [51].

Pidevat tootmisprotsesside parendamise meetodit *Lean* juhtimises nimetatakse *Kaizen*’ks. Mõiste tuleb jaapani keelest ning tähendab heaks (jaapani k. *Zen*) muutmist (jaapani k. *Kai*). Meetod hõlmab nii töötajaid kui ka juhte. See avardab teadlikkust probleemidest ning aitab neid märgata. *Kaizen* on probleemi lahendamise protsess, kus parendused standardiseeritakse, et jõuda järgmiste parendusteni. Meetod on protsesside lõpmatu täiustamise põhimõte [52].

1.3.2 Väärtus protsessides

Üldiselt võib tegevusi tootmisprotsessides jagada kolme rühma: väärtust mitte lisavad (ingl. k. *Non-Value Adding*), tegevused, mis on vajalikud, kuid väärtust ei lisa (ingl. k. *Necessary But Non Value Adding*) ja väärtust lisavad tegevused (ingl. k. *Value Adding*) [46]. Tegevusi, mis ei lisa protsessis väärtust nimetatakse ka raiskamiseks. Et mõista *Lean*’i olemust, on vaja teada, mis on need raiskavad tegevused ja kaod protsessis [53] ning mõelda ja lähtuda sellest, millised tegevused konkreetsetes tootmises või protsessis annavad väärtust kliendi jaoks [54]. Siinkohal on oluline aru saada et *Lean* filosoofias on kliendid nii sisemised, kui välimised. Sisemised kliendid on ettevõtte sees järgmine osakond või järgmine töökeskus. Välimised kliendid on järgmine ettevõtte [31].

Väärtust lisavad tegevused tarbivad ressursse ning lisavad tootele väärtust ehk toode muutub füüsiliselt liikudes mööda tehnilist protsessi lõppoleku poole. Väärtust mitte lisavad tegevused tarbivad samuti ressursse, kuid ei muuda toodet mingil määral paremaks ega lähemale selle valmimisele [44]. Tegevused, mis on vajalikud, kuid ei lisa väärtust lõpptootle on samuti raiskamised ning nendest pole võimalik täielikult lahti saada, ent neid on võimalik vähendada [33].

Oluline on meeles pidada, et kõigi raiskavate ja väärtust mitte lisavate tegevuste eemaldamine ei tõsta toote väärtust kliendi silmis. Küll aga võimaldab ettevõttel toota toodet kulusäästlikult ning seeläbi suurendada oma konkurentsi võimet, kuna protsessid võtavad vähem aega, töö moraal ja kvaliteedi tase on kõrgemad [44]. Seejuures on tähtis meeles pidada, et soovitud tulemuste saavutamiseks peab raiskamise eemaldamine olema pidev ning seda ei saa kasutada kiire ja ajutise tööriistana [25, 44].

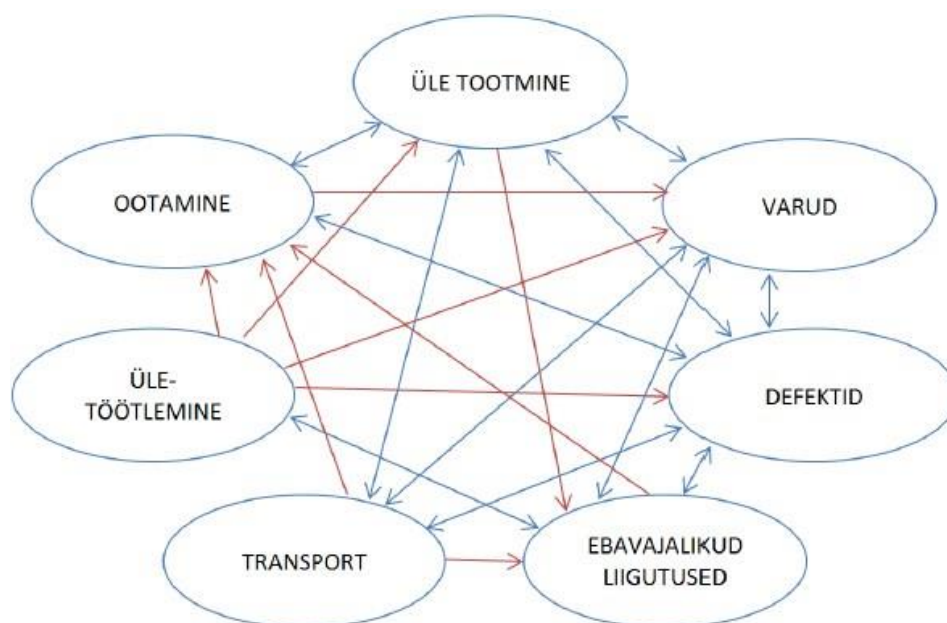
1.3.3 Raiskamised

Lean filosoofias on raiskamine (jaapani k *Muda*) inim- ja masinteguvus, mis absorbeerib ressursse, kuid ei loo väärtust: vead, mis vajavad parandamist, toodetud asjad, mida keegi ei vaja või ei vasta kliendi ootustele, sammud protsessis, mis ei ole tegelikult vaja, kaupade ja inimeste liikumised tootmises, millel ei ole otstarvet, inimesed, kes ootavad, kuna eelnev lõik ei ole oma osa õigeks ajaks valmis saanud [55]. Kõik, mis ei lisa väärtust ettevõttele, tootmisprotsessidele ega lõpptootle ning igasugune tegevus, mille

eest klient ei ole nõus maksma, on raiskamine [25], [52]. Mitmetes allikates tuuakse välja 7 peamist *muda* ehk raiskamise tüüpi [16], [25], [38], [45], [52]:

1. üle tootmine – toodetud rohkem, kui tellitud, toodetud lattu, toodetud mittevajalike komponente. Üle tootmist peetakse kõige kriitilisemaks raiskamiseks;
2. ladu – materjalid ja komponendid, pooltooted (*WIP*) ja valmistooted, mis seisavad laos;
3. transport – igasugune materjalide ja kaupade liigutamine põhjusetult liiga kaugele või ühest kohast teise. Transport on selline raiskamise liik, mida ei saa täielikult elimineerida;
4. üleliigsed liigutused – ükskõik milline tegevus protsessis, mis ei vii eesmärgile lähemale. Töötajad teevad ebavajalikke liigutusi (näiteks materjalide käsitlemisel), mis võivad samas kahjustada ka nende tervist;
5. ootamine – materjalide ootamine töökeskuses, masinad ja inimesed ootavad, et saaks tööd alustada. Aeg on kasutatud ebaefektiivselt ehk aeg on raisatud;
6. üle töötlemine, ebavajalikud (lisa-)protsessid – toode on tehtud „liiga hea“, mis ei anna kliendile lisaväärtust. Samuti keerulisemad protsessid, kui selleks vaja on;
7. defektid – tootmise praak, defektsed tooted, mis vaja parandada, uuesti teha. Defektideks loetakse ka toote kvaliteeti, mis ei vasta kliendi ootustele;

Kõik raiskamised on omavahel seotud ja mõjutavad teineteist või on põhjustatud eelnevast raiskamisest. Joonisel 1.10 maatriksil on näha millised raiskamised põhjustavad järgmisi (punased jooned) ning millised on mõjutatud teistest raiskamistest (sinised nooled) [56].



Joonis 1.10 Seitsme raiskamise omavahelised seosed
Allikas: [56]

Liker [57] on lisanud siia ka kaheksanda raiskamise tüübi- inimese loovuse raiskamine. Töötajate ideede ignoreerimine, mis võiksid protsesse parendada ja vähendada muid raiskamisi. Kui inimesed tootmises ei pea tegelema mittevajalike tegevustega, on võimalik neilt saada rohkem ideid ja loovust. Loovuse raiskamine on ka see, kui töötajad peavad tegema lihtsaid ja rutiinseid liigutusi [33].

Mitmed autorid on öelnud, et viis raiskamist seitsmest on võimalik täielikult eemaldada [13], [52], [58], [59]. Kui liita siia ka Liker [57] välja toodud kaheksas raiskamine, siis kokku kuus. Alles jäävad kaks, mida tootmises täiesti ära kaotada pole võimalik, on transport ja varud [60]. Lisaks on tootmiseprotsessis, tootmisliinil alati mingi tootmisprotsess, mis on pooleli (*WIP*) [44].

1.3.4 Ootamine ja transport

Ootamine (ingl. k. *Waiting*, kasutatakse ka ingl. k. *Delay*) on raisatud aeg ja on üks suurimaid kulusid tootmises. Ootamise all mõeldakse töötaja ootamist seadme järgi, töötaja ootamist toormaterjali järgi, ka ootamist järgmise tööprotsessi järgi, et saaks pooltoote edasi anda. Ootamine millegi või kellegi järgi on suur kulu ning tekitab üleliigseid pingeid nii töötajale, kui ka ettevõtte juhtidele [61]. Samavõrd raiskamine on ka materjali seismine protsessis ehk materjal ootab protsessi minemist ning defektne materjal ootab edasisi toiminguid [37]. Raiskamine on ka inimese aeg, kes ootab masina kõrval detaili valmimist. See tähendab, et töövoog ei ole sujuvalt korraldatud ning tegemist on üleliigse tööjõuga [50].

Ootamise põhjustab pikemaid tarneaegu (ingl. k. *Lead Time*), mis on kriitiline mõõde *Lean* süsteemis. Tarneaega võib defineerida valemiga: tarneaeg = väärtust lisav protsessi aeg + ooteaeg (ingl. k. *Lead Time = Processing Time + Retention time*) [50].

Ootamist põhjustavad mitmed asjaolud. Tootmisevoog on ebaühtlane, eelnev töökeskus ei suuda materjali sama sagedusega peale anda, kui järgnev suudab töödelda. Vastupidises olukorras on tegemist teise raiskamise liigiga, milleks on üle tootmine. Üheks suuremaks ootamise põhjuseks on materjali ladustamise asukohtade läbimõttlemata valik ning materjalide liikumise halb korraldamine [55].

Üks raiskamise liikidest, transport (ka liikumine, liigutused), mida ei saa täielikult elimineerida, kuid läbimõeldud tehase ja töökoha asendiplaani ning materjalivoo planeeriguga, on võimalik viia miinimumini. Üleliigsed liigutused ja põhjendamatult pikad transpordi marsruudid on seotud otseselt ka ootamisega. Tarbetuid liigutusi on võimalik tuvastada lihtsa katsega: enne liigutuse tegemist küsida endalt, kas protsessis

jääb midagi seisma või kas mõjub tootele kahjulikult, kui seda liigutust mitte teha [59, 50]?

1.4 Varasemad uuringud

Tammer OÜ põhjal on varasemalt tehtud uurimistöodes käsitletud kvaliteedikulude juhtumissüsteemi loomist [62] ning tööjõu voolavuse vähendamist 5S süsteemi juurutamise abil [63]. Käesoleva uurimistöö teemaga haakuvaid uurimusi ehk materjalivoogude analüüse ja optimeerimisi ning raiskavate tegevuste vähendamist protsessides on maailmas tehtud mitmeid. Eestis on läbi viidud erinevaid uurimusi tootmisettevõtete tootmisprotsesside analüüsimisest, kaardistamisest ja optimeerimisest ning ka varude juhtimisest ja planeerimisest. Palju on käsitletud ka *Lean* tootmise temaatikat nii eraldi uurimustena kui ka toetava teooriana teistes uurimustes. Alljärgnevalt, tabelis 1.1, on toodud käesoleva magistritöö uurimisülesannetega kokkulangevad varem teostatud uurimistööd.

Tabel 1.1 Varasemad uuringud materjali- ja tootmisvoogudest

Autor, (aasta), asutus/välja- anne	Uurimuse pealkiri	Probleem	Eesmärk	Tulemus
Riisberg, T., (2017), Tallinna Tehnikaülikool [64]	Materjalivoo- gude analüüs ettevõttes E- Betoonelement AS: Tamsalu tehase näide	Ülevaate puu- dumine mater- jalivoogudest.	Ettevõtte protsesside sisendeid ja väljundeid.	Sisend tasu- vusanalüüsi arvutamiseks.
Korjus, I., (2018), Tallinna Tehnikaülikool [65]	Favor AS Metaformi ärisuuna tootmisvoo analüüs	Tootmisvoogu- dest ülevaate puudumine, tellimuste hili- nemine.	Tootmisvoo kaardistamine, tarnekindluse parandamine, tootmise efek- tiivsuse suuren- damine.	Ülevaade toot- mise olukorrast. Proгноosiplan. Prognosiplan.
Ahlstedt, A., (2019), Tallinna Tehnikaülikool [66]	Varude juhtimise parendamine väikeses toot- misettevõttes: juhtumianalüüs	Lao- ja mater- jalijuhtimise fokuseeritusse puudumine.	Lao analüüsi- mine, olukorras kaardistamine	Kaupade ABC ja XYZ klassifit- seerimine ja ostuparameet- rite määramine.
Kurzbach S., Nillegard, J., (2016), University of Boras [67]	Internal logistics. Optimizing the flow of goods with milk runs	Puudujäägis sisemises ma- terjalide logis- tikas.	Strateegiliselt organiseerida, planeerida ja struktureerida materjalivoog organisatsioonis.	Uus materjalide liikumise skeem.
Luht, S., (2019), Tallinna Tehnikaülikool [68]	Varude juhtimise mudeli väljatöötamine ettevõttele Peterson Chemical Technology LLC	Puudulik varude juhtimise kord ettevõttes.	Luaa varude juhtimise mudel planeerimiseks toormaterjali hankimist müü- giprognosisest lähtuvalt	Varude planeerimise mudel.

Tabeli 1.1 järg

Autor, (aasta), asutus/välja- anne	Uurimuse pealkiri	Probleem	Eesmärk	Tulemus
Susilawati, A., Tasri, A., Sofyan, A., Yohanes, (2019), Univer- sitas Riau, Uni- versitas Andalas [69]	Wastes Analysis to Improve the Productivity and Sustai- nability in Manufacturing Industry	Tootmiseprot- sessis liigsed väärtust mitte andvad tegevused.	Eemaldada rais- kamised toot- misest tootlikuse tõstmiseks ja jät- kusuutliks tootmiseks läbi <i>OEE</i> implementeeri- mise.	<i>OEE</i> implemen- teerimise hinda- mise raamistik.
Nilsson, E., (2018), Jönköping University [33]	Improving material flow and production layout using Value Stream Mapping	Materjalide käsitlemise liigne arv ning trans- portimise pikad vahemaad tehases.	Materjalivoo- gude ja mater- jalide käsitlemise parendamine tootmises.	Väärtusahela kaardistamine ja <i>TO-BE</i> väärtus-ahela kaart.
Särg, M., (2018), Tallinna Tehnikaülikool [70]	Puitaknatehas e tootmise kaardistamine ja optimeeri- mine.	Tootmisprotses- sid optimeerima- ta, raiskavad te- gevused prot- sessides.	Kaardistada tootmisprotses- sid, raiskavate tegevuste vähendamine.	Uus tehase asendiplaan, sisend timmitud tootmise juurutamiseks.
Chiarini, A. (2012), University of Ferrera [71]	Waste savings in patient transportation inside large hospitals using lean thinking tools and logistic solutions	Suured kulud ja raiskamised pat- sientide trans- pordil suurtes haiglates.	<i>Lean</i> tööriistade abil optimeerida patsientide transporti.	Juhised <i>Lean</i> tööriistade kasutamiseks haiglates.
Kovács, G., Kot, S., (2017), Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics [8]	Facility Layout Redesign for Efficiency Im- provement and Cost Reduction	Tehase asendi- plaani tingitud ebatõhusus ja kulud.	Asendiplaani muutmise vaja- likkus minimeeri- maks materjali- voogude ja toot- mise kulusi.	Tootmise tõhususe tõus ja kulude vähe- nemine ümber organiseeritud tehase asendiplaanist. Vaba ruum uue äri tarbeks.

Allikas: autori koostatud

Ülevaate andmiseks varasematest uurimistöödest on välja toodud tootmistes läbiviidud uurimused, kus on keskendutud tootmisprotsesside optimeerimistele läbi tootmisvoogude materjalivoogude parendamise. Eesmärgini on jõutud läbi tootmisprotsesside, materjalivoogude ja väärtusahelate kaardistamiste ning mõningatel juhtudel ka tehase asendiplaani muutuste. Eelnevalt mainitud kaardistamisi on kasutatud protsessides raiskamiste tuvastamiseks ja tehtud ettepanekuid nende eemaldamiseks või vähendamiseks.

2 LÄHTEÜLESANNE

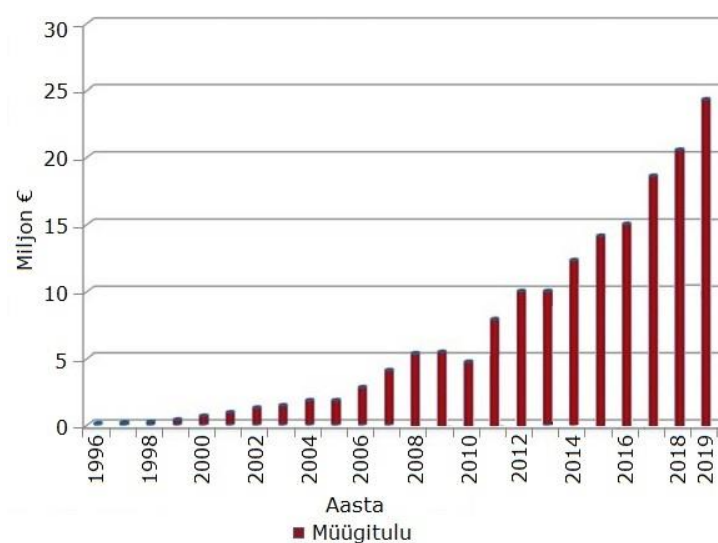
2.1 Tammer OÜ

2.1.1 Ettevõtte tutvustus

Käesolev uurimus on läbi viidud Tammer OÜ tootmises. Tammer OÜ on 1995. aastal Raigo Tammo poolt asutatud Eesti pereettevõtte. Ettevõtte kuulub 100% perekond Tammole ning perekonna liikmed võtavad osa ettevõtte juhtimisest. Ettevõttes toodetakse terasprofiilist ning silemetallist tuletõkke- ja tavauksi ning terasprofiilvaheseinu. Tammer OÜ on ka Rootsi ettevõtte Stålprofil AB terasprofiilide edasimüüja Eestis ja ülejäänud Baltikumis [72].

Tammer OÜ missioon on toota innovaatilisi sertifitseeritud avatäiteid ehitus- ja merendussektorile olles sõbralik partner. Visioon on ettevõttel olla eelistatuim avatäidete tootja ning eesmärk on muuta maailm turvalisemaks ja sõbralikumaks [73].

Kui asutamise algusest tootis ettevõtte terasprofiiltooteid ainult Eesti turule, siis neli aastat hiljem, 1999. aastal sooritati esimene ekspordi tehing Rootsi. Alates aastast 2010 hakati tootma lisaks terasprofiiltoodetele silemetalluksid. Kolm aastat hiljem hakati tootma ja turustama uksi ja vaheseinu laevadele [74]. Tammer OÜ on alates asutamisest käibenumbrites järjepidevalt kasvanud, vaid 2010 oli väike langus, mis oli põhjustatud ettevõtte kolimisest kitsaksjäänud tootmispindadelt praegusele tegutsemiskohale. Müügitulu kasvu illustreerib joonis 2.1.



Joonis 2.1 Müügitulu 1996-2019. aastatel
Allikas: [74]

Tänaseks on Tammer OÜ suurim terasuste tootja Baltikumis. Võrdluseks on toodud tabelis 2.1 Tammer OÜ ja üheksa suurima Eesti ja ülejäänud Baltikumi konkurendi 2018. aasta majandusnäitajad töötajate arv.

Tabel 2.1 Baltikumi suurimad terasuste tootjad

Ettevõtte	Asukoha riik	Müügitulu €	Ärikasum €	Töötajate arv tk
Tammer OÜ	Eesti	20 535 553	1 596 075	160
Metus-EST AS	Eesti	12 157 537	124 253	98
AS Saku Metall Uksetehas	Eesti	10 570 375	278 574	132
Seicom OÜ	Eesti	7 264 495	144 934	48
Plieno Fortas UAB *	Leedu	6 678 228	864 288	125
Saajos AS	Eesti	6 496 633	- 54 893	84
Doordec OÜ	Eesti	4 475 612	369 542	49
Plieninis Skydas UAB *	Leedu	4 021 374	- 358 779	103
Elaks Plus SIA	Läti	1 578 509	13 426	33
ZIZ SIA**	Läti	1 244 928	- 4 292	26

Allikas: [73], [75], autori kohandatud. * 2017. a. andmed, ** 2016. a. andmed

Ettevõttes töötas 31.12.2019 seisuga 192 inimest, kellest 129 on tootmistöötajad. 2018. aasta auditeeritud majandusaastaruande [75] järgi oli müügitulu 2018. aastal 20 535 553 eurot. Viimase nelja aasta käibekasv on keskmiselt 15%. Tabelis 2.2 on välja toodud Tammer OÜ majandusnäitajad, müüdud toodete kogused ja töötajate arv aastate lõikes alates 2016. aastast. 2019. aasta majandustulemused on auditeerimata.

Tabel 2.2 Tammer OÜ müügitulu, toodangu ja töötajate arvu kasv

Aasta	2016	2017	2018	2019*
Näitaja				
Müügitulu, €	15 029 213	18 612 480	20 535 553	24 339 170
Müügitulu kasv, %	7	24	10	19
Toodete arv	18 113	23 707	23 552	29 431
Töötajate arv	136	142	175	192

Allikas:[75], [77], [76]. (* Auditeerimata andmed), autori kohandatud

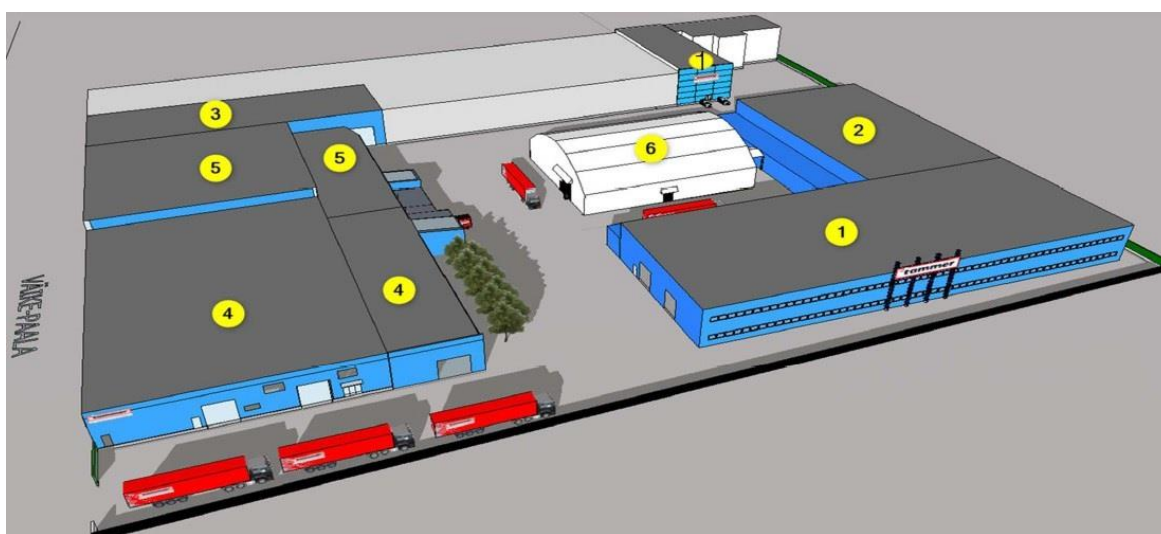
Kiire kasv on kaasa toonud suuri investeeringuid ning pakkunud väljakutseid kogu meeskonnale. Viimased suuremad investeeringud on automaatlaoga teraslehe töötlemise automaatliin (2015-2016.a), liimirobot (2017.a) lisa tootmispinna kasutuselevõtt koos kogu tootmise asendiplaani muutmisega (2018.a, vt hoone nr 5 joonisel 2.2, lk 32) ning automaatliini pikendus (2019.a).

Kuna Tammer OÜ tootmismahud on pidevalt kasvanud, siis on ettevõtte panustanud ka mitmesse parendusprotsessi. Käesoleva töö kirjutamise hetkel toimub ettevõttes äriprotsesside kaardistamine, kus fookus on SMU tootmisvoog. SMU on hinnatundlikum, suurte tootmiskogustega toode, millest tulenevalt on antud tootegrupp vajalik esmajärjekorras muuta tõhusamaks ja efektiivsemaks. Lisaks on ettevõtte tootmises

juurutamisel 5S süsteem. 5S implementeeritakse tootmise osakondade kaupa ning tänaseks töötatakse selle põhimõtte järgi silemetalli ja profiili osakonnas.

2.1.2 Toodang

Tammer OÜ tegutseb Tallinnas Väike-Paala tänaval kokku 11 tuhande ruutmeetrisel tootmispinnal. Tootmine on jagatud territooriumil olevasse viide hoonesse (joonisel 2.2 numbritega 1 – 5 tähistatud hooned), mis on omavahel ühendatud selliselt, et kaks hoonet on teineteisest eraldi seisvad (joonisel 2.2 vastavalt hooned numbritega 1-2 ja 3-5). Numbritega tähistamata hoonetes asuvad teised samal territooriumil tegutsevad ettevõtted.

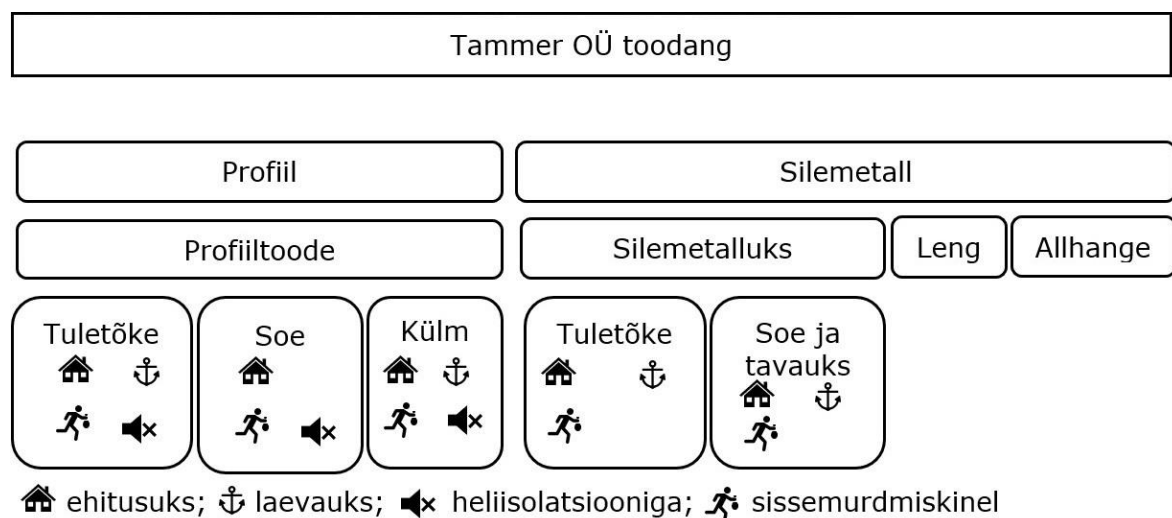


Joonis 2.2 Tammer OÜ tootmishooned
Allikas: [74]

Tammer OÜ klientideks on ehitusettevõtted, kinnisvaraholdusettevõtted, teised uksetootjad Baltimaades ja Skandinaaviamaades ning laevaehitus- ja -remondiettevõtted Soomes, Saksamaal ja Prantsusmaal. 84% ettevõtte müügitulust tuli ekspordist (2019. aasta andmete põhjal). Enam toodangut tarniti Rootsi Kuningriiki (38%), Soome Vabariiki (21%) ja Taani Kuningriiki (16%). Kasutuspõhiselt jagatakse Tammer OÜ-s kliendid ehitus- ja laevasektorisse (ingl k. *Marine*). Kui laevaehitusturule siseneti alles aastal 2013, siis tänaseks on selle osakaal kasvanud 10%-le. Arvestades turu eripärasid ja sinna sisenemise keerukust, on see väga hea saavutus [74].

Suurem osa ettevõtte toodangust moodustavad tuletõkkeuksed ja avatäited. Peamiseks materjaliks on galvaniseeritud süsinikteras ja roostevabateras. Tooteportfell jaotatakse laias laastus kaheks: terasprofiiltooted ja silemetalltooted, mis omakorda jagunevad nelja tooterühma: profiiltoode (edaspidi PROF), silemetalluks (edaspidi SMU), lengid (edaspidi LENG) ja allhanketööd. Edaspidi allhanketööde tooterühma ei käsitleta, kuna see on tootmises seisukohalt väga väikese osakaaluga. Eraldi tooterühmana välja

toodud LENG-id on puituksetootjatele müüdavad lengid ning siia rühma ei kuulu uste koostisesse kuuluvad lengid. Profiil- ja silemetalltooteid liigitatakse lisaks veel ehitus- ja laevatoodeteks. Selgema ülevaate saamiseks on Tammer OÜ toodete täpsem liigitus näidatud joonisel 2.3. Lisaks tuletõkkeustele on tootevalikus ka soojusisolatsioonita ehk külmad avatäited, soojusisolatsiooniga välisüksed, heliisolatsiooniga avatäited ning sissemurdmiskindlad uksed. Spetsiaaltooted, nagu laevauksed, tuletõkke- ja sissemurdmiskindlad uksed on sertifitseeritud ning ettevõtte on omandanud vastavad sertifikaadid, mis lubavad tooteid kasutada igas riigis, kuhu neid müüakse. Kõrvaltegevusena vahendab Tammer OÜ Rootsi terasprofiilitootja Stålprofil AB toodangut Balti riikidesse.



JOONIS 2.3 Tammer OÜ tooteportfell
Allikas: Autori koostatud

Tammer OÜ toodab peamiselt projektipõhiselt, vastavalt tellimustele, kus keskmine tellimus sisaldab 5-6 toodet. Toodetud koguste järgi suurimaks tooterühmaks on SMU, sellele järgnevad PROF ja LENG. 2019. aastal toodeti keskmiselt 1516 SMU, 383 PROF ja 385 LENGi kuus. Tabelis nr 2.3 on näidatud toodete kogused aastate lõikes.

Tabel 2.3 Valmistatud toodete kogused (tk) 2016-2019

Aasta Toode	2016	2017	2018	2019
SMU	9627	14 730	16 462	18 197
PROF	3591	3837	3636	4600
LENG	2879	3123	1436	4615

Allikas: Tammer OÜ ERP. Koostatud autori poolt ERP andmete põhjal

Tabelis 2.3 toodud kolm tooterühma moodustavad käibelt 97% kogu Tammer OÜ toodangust. Seega võib väita, et käesolevas töös vaadeldav materjalivoog moodustab kogu materjalivoos suurima osa.

2.2 Lähteolukord

2.2.1 Tammer OÜ äriprotsessid ja struktuur

Tammer OÜ kasutab kõigi põhiprotsesside ja enamuste toetavate protsesside juhtimiseks majandustarkvara *MS Dynamics AX* (edaspidi *AX*). Lisaks on kasutuses mitmeid toetavaid tarkvaralahendusi, millega konfigureeritakse tooteid, luuakse tööjooniseid, genereeritakse töökäsk masinatele ja seadmetele. Ärianalüüsiks kasutatakse *Qlickview*'d ja *Microsoft BI*'d.

Ettevõtte põhiprotsessid ehk tarneprotsessid on müük, projektijuhtimine, hankimine ja ostmine, tehnoloogia, tootmine, väljuv logistika ning paigaldus. Toetavad protsessid on IT, personalijuhtimine, arendus, finantsjuhtimine, kvaliteedijuhtimine ja tarneahela-juhtimine. Ülevaade äriprotsessidest detailsemalt on näidatud joonisel 2.4.

Tammer OÜ äriprotsessid	Organisatsioon		Tammer OÜ							
	Tarneprotsess	Müügi- ja projektijuhtimine								
		Müügi teostamine	Projekti planeerimine	Projekti teostamine					Projekti lõpetamine	
			Tootmise planeerimine	Hankimine ja ostmine	Tehnoloogia	Tootmine	Transport	Paigaldus		
	Tugi- protsessid	Tootmise seadmete hooldus								
		Arendusosakond								
		Personali osakond								
		Finantsosakond								
		Kvaliteediosakond								
		IT osakond								
	Tarneahela juhtimine									

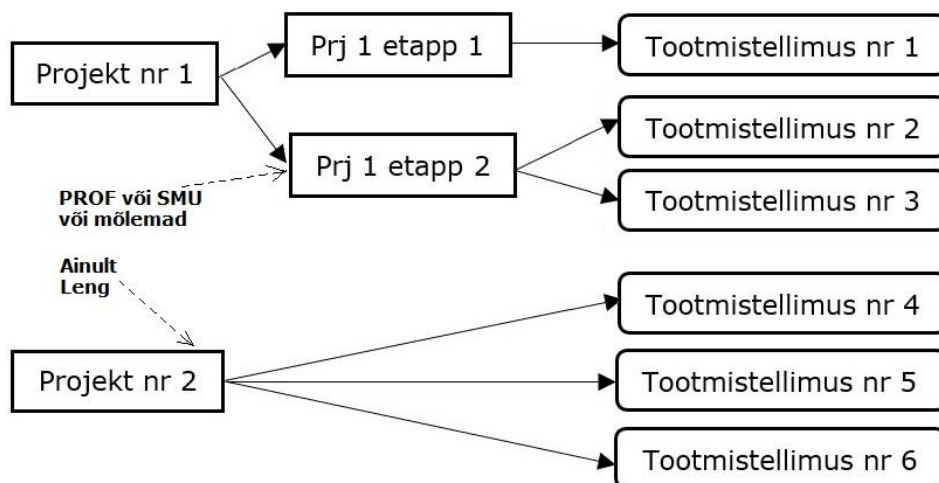
Joonis 2.4 Tammer OÜ äriprotsessid
Allikas: [78]. Autori kohandatud

Ettevõttes on osakonnad, mis vastavad suures osas äriprotsesside jaotusele. Tammer OÜ-s on funktsionaalne juhtimisstruktuur ning laia juhtimisulatusega. Ettevõttes praktiseeritakse kaasavat juhtimist ehk juhtimine on detsentraliseeritud. Tammer OÜ juhtimisstruktuur on toodud Lisas 1 oleval joonisel. Struktuuris on välja toodud laiendusega tootmise juhtrühmale ning on tähistatud sinise värviga.

2.2.2 Müügi- ja projektijuhtimine

Müügi- ja projektijuhtimise osakond on jaotatud meeskondadeks vastavalt müügituru segmentidele: Eesti, Baltikumi, Soome, Skandinaavia ja laeva müügi- ja projektijuhtimine. Jättes välja uute klientide otsimise ja kliendiks saamise protsessi, algab tarneprotsess müügiosakonnast, kus selgitatakse välja kliendi vajadused, koostatakse toodetele hinnapakumine ning lepitakse kokku müügitingimustes. Sellel hetkel saab tellimus projekti numbril. Kokkuleppe saavutamisel ja kliendilt tellimuse saamise järel antakse tellimus üle projektijuhtimisele. Projektijuhtide ülesanne on selgitada välja klientide täpsemad vajadused, mõõdistamised objektidel ning vastavalt tulemustele konfigureerida tooted ja teha tootejoonised nii klientidele kinnitamiseks kui

tootmiseks. Projektijuhid annavad konfiguraatorites koostatud tooted töösse ehk genereerivad tootmistellimused. Üks projekt võib koosneda ühest kuni mitmest tootest, võib sisaldada nii profiiltooteid kui silemetalluksi ning iga toote kohta on üks tootmistellimus (joonis 2.5). Üks projekt võib ajaliselt koosneda mitmest etapist. Nii projekti numbrid kui tootmistellimuse numbrid on unikaalsed. Samuti on iga toode tähistatud unikaalse numbriga, mille abil on hiljem võimalik tuvastada toote valmistamise aeg, töötajad, kes antud toote valmistamisest osa võtsid ning materjalid, millest toode koosneb.



Joonis 2.5 Projektide ja tootmistellimuse suhe
Allikas: Autori koostatud

Edasi liiguvad tootejoonised tehnoloogia osakonda, kus nende põhjal koostatakse seadmetele programmid. Silemetalltoodete valmistamiseks edastatakse töötlusprogrammid teraslehe töötlemise automaatiini ning profiiltoodete puhul tehakse programmid freespinkidele, kus töödeldakse avad lukkudele, uksehingedele, linkidele ehk sulustele. Profiili saagimine toimub jooniste ja nendega kaasasolevate lõikelehtede järgi. Samuti kogu ülejäänud tootmine toimub paberil liikuvate jooniste järgi.

2.2.3 Sisseost ja materjalide haldus

Alates 2015. aastast, mil võeti kasutusele AX, on tootmistellimused läinud üle järkjärgult tootekoosluste põhiseks. Tootekooslus on toote retsept, millistest materjalidest ja komponentidest toode koosneb ning määrab ära iga koostisosa vajaliku koguse. Laia tootenomenklatuuri, konstruktsioonilt keeruliste toodete ning veel laeva silemetalluste konfigurimine on programmiväline ja seetõttu puuduvad neil veel tootekooslused. Tootekooslustel on oluline osa materjalijuhtimisel, kuna selle põhjal planeeritakse materjalide vajadusi. Kooslusteta toodete materjalide vajadused selgitatakse paberi või pdf faili kujul joonistelt visuaalselt. Neile toodetele kasutatavad materjalid pannakse laos ja tootmises paberile kirja ning tehakse hiljem käsitsi mahakanded.

AX teostab planeerimise üks kord ööpäevas öösiti. Selle käigus koostatakse koondplaan ehk planeeritakse vastavalt konfigureeritud toodete omadustele ja kooslustele tootmistellimused, tootmise töökeskuste ajaressursid ning materjalivajadused. Ostuosakond saab signaali materjali ostmise vajaduseks AX planeeritud ostutellimuste tabelist. Ostuspetsialist vaatab planeeritud tulemused üle ning genereerib ostutellimused ja saadab need tarnijatele.

Hankijatelt saabuva materjali kontrollib ja võtab vastu kaubavastuvõtja. Pärast kontrollimist registreerib saabunud tarne AX'is ning organiseerib kaubad ettenähtud ladustamise kohtadele. Ladustamiskohtasid on tootmise territooriumil mitmeid. Materjalide ladustamise alasid leidub igas hoones ning kõigil juhtudel ei ole need materjalivoogude mõistes sobivaimad kohad.

Kogu kaup on Tammer OÜ-s jagatud kolme rühma, milleks on: valmistooted, pooltooted, detailid ning sisseostetav materjal. Kuna toodetakse ainult vastavalt tellimustele, siis valmistooted lattu varuks ette ei valmistata. Valmistooted viibivad laos pakkimise hetkest kuni transportimiseni kliendile. Pooltooted on kõik ettevõtte tootmise poolt valmistatud komponendid, mis kuuluvad toodete kooslusesse ja hoitakse varude teatud taset. Omavalmistatud kaubad, millele ei hoita varu ja mis on unikaalsed vastavale projektile ning mis liiguvad tootmisprotsessis pidevalt edasi, on Tammer OÜ mõistes detailid.

Sisseostetavad kaubad jagunevad mitmesse kaubagruppi (tabel 2.4) ja tootmises kasutatavuse kohapealt eristatakse materjale, mis lähevad edasisele töötlemisele ehk materjali kuju või omadust muudetakse tootmisprotsessis (toormaterjal) ning kaubad, mis monteeritakse toodete külge kuju või omadust muutmata (komponent). Eelmainitust eraldi käsitletakse pakke- ja abimaterjale, mis ei kuulu otseselt toote koostisesse. Nendeks on üldjuhul pakendite ehitamiseks kasutatav puit, kile ja pehmenusmaterjalid, keemilised puhastusained, abrasiivid pindade töötlemiseks jne.

Tabel nr 2.4 Sisseostetavate materjalide kaubagrupid

Toormaterjal	
Tähis	Kirjeldus
PROF	Terasprofiilid
LEHT	Teraslehed
ISOL	Isolatsioonimaterjalid
VIIM	Viimistlusmaterjali e värvid
MUUD	Muud grupeerimata materjalid (tihendid, liim, kinnitusvahendid)
Komponent	
Tähis	Kirjeldus
SULU	Sulused (lukud, hinged, lingid)
KLAA	Klaasid, klaaspaketid
MUUD	Muud grupeerimata materjalid (tihendid, liim, kinnitusvahendid)
Abimaterjal	

Tabeli 2.4 järg

Tähis	Kirjeldus
PAKK	Pakkematerjalid (saematerjal, kile)
MUUD	Muud grupeerimata abimaterjalid

Allikas: Autori koostatud ERP andmete põhjal

Ostupoliitika põhimõtte järgi on sissostetavad kaubad kas laokaubad ja projektipõhised kaubad (ingl k. *Purchased To Work*). Laokaubad on stabiilselt kasutatavad materjalid ja komponendid. Suurem osa toormaterjalist hoitakse varus. Projektipõhised kaubad, mis ostetakse konkreetse projekti jaoks, on enamasti sulused, mille vajadus on ebastabiilne ja prognoosimatu.

Tootmises kasutatavaid materjale hoitakse erinevatel ladustamise aladel vastavalt selleks loodud spetsiaalsetes ladudes, aja jooksul väljakujunenud kohtades või paikades, mis ei ole tootmiseks sobilikud, kuid tingimused on piisavad materjalide hoidmiseks. Sõltuvalt materjalist on vajalikud erinevad hoiustamise keskkonnatingimused. Näiteks liimianumaid peab säilitama kindlas temperatuuri vahemikus, teatud tüüpi tuletõkkeklaase ei tohi hoiustada temperatuuril alla -10°C ning lehtmaterjali tuleb ladustada vähese õhuniiskusega laos. Samas on materjale, mille ladustamise tingimused ei ole niivõrd piiratud: isolatsioonimaterjalid ja saematerjal võivad seista välitingimustes, kuid mitte vihma käes. Mittetuletõkke klaase võib ladustada lühiajaliselt täiesti välitingimuses ilma, et materjali omadused muutuksid.

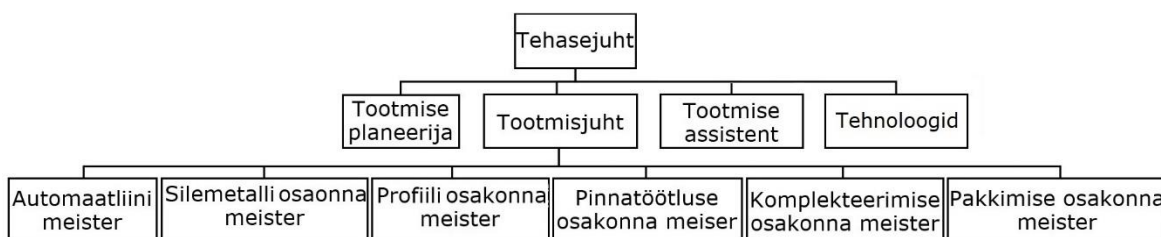
Lehtmaterjal ladustatakse 100 kuni 150mm kõrguste pakkidena teraslehe töötlemise automaatiini automaatlaos. Laoriiul on üks pikk riil ja paikneb läbi kahe hoone: hoone 4 ja hoone 5 (vt joonis 2.2, lk 32). Ladu mahutab 210 lehepakki ehk kuni 500tonni materjali. Saabunud teraslehtede parameetrid sisestatakse arvutisse (teraslehe materjali tüüp ja mõõdud) ning teraslehe pakid toimetatakse automaatlao roboti poolt tühjadesse kassetidesse, millest võetakse lehed vastavalt koostatud masina programmidele töötlemiseks.

Terasprofiil ladustatakse hoones 3 (vt joonis 2.2, lk 32) spetsiaalsetesse riilitesse ning need asuvad profiitoots protsessi alguses ehk saagide juures. Isolatsioonimaterjali ja puitu hoitakse hoone nr 1 küljega piirneval katuse all tentseina taga. Klaasid ja klaaspaketid ladustatakse üldiselt hoones nr 6 (vt joonis 2.2, lk 32), kuid ruumipuuduse tõttu on klaasi alused tihti ka väljas territooriumil, kus parasjagu ruumi on. Samuti seisab aegajalt ka isolatsioonimaterjal väljaspool selle ladustamiskohta ning sellisel juhul tuleb vältida vee sattumist isolatsiooni sisse. Hoones nr 6 (vt joonis 2.2, lk 32) ladustatakse ajutiselt ka valmistoodang, mis ootab kliendile saatmist.

Suluste ja tihendite jaoks on eraldi väikese kauba ladu (vt joonis 2.2, lk 32 hoone 2), kus tarnijatelt saabunud komponendid riuldatakse. Tellimusepõhistele kaupadele märgitakse eelnevalt projekti number, mille jaoks see ostetud on. Samas laoruumis toimub ka suluste komplekteerimine vastavalt projektidele. Laotöötajale antakse ette tootmise plaanina töönumbrid, mille põhjal tehakse riulitest korje ning paigutatakse projektide kaupa kastidesse. Valmis komplekteeritud kastid tõstetakse laost välja ja paigutatakse toodete komplekteerimise läheduses asuvatele, selleks ette nähtud riulitesse. Pooltooteid hoiustatakse riulites nende kasutuskohdade vahetus läheduses.

2.2.4 Tootmine

Tammer OÜ tootmine on jagatud osakondadeks vastavalt tooterühmale või selles tehtavatele operatsioonidele. Osakondade sees on töökeskused, mis on enamasti töötaja-masin tootmisüksused. Kogu tootmise eest vastutab tehase juht ning tootmise otsest igapäevast juhtimist teostab tootmisjuht. Iga osakonna tööd koordineerivad igapäevastelt tootmise meistrid. Lisaks on tootmise juhtrühmal planeerimisel abiks tootmise planeerija ning tootmiseassistentid. Tootmise juhtrühmast annab ülevaate joonisel 2.6 kujutatud tootmise juhtrühma struktuur. Tootmise planeerija koostab tootmisele pikaajalist plaani, arvestades osakondade töökeskuste ressursidega ja materjalide olemasoluga või planeeritud saabumisega. Üldjuhul arvestatakse toote tarneaajaks SMU ja LENGi puhul kolm nädalat ning profiiltoodete puhul neli nädalat. Pikemaid tarneaegu võivad põhjustada projektipõhiste kaupade pikemad tarneajad või tooted, mis oma disaini või konstruktsiooni tõttu nõuavad tootmiseks pikemat aega.



Joonis nr 2.6 Tootmise juhtrühma struktuur
Allikas: Autori koostatud

Vaadelduna töökeskuste lõikes on Tammer OÜ tootmises esindatud teoreetilise osa peatükis kirjeldatud 1.1 ja joonisel kujutatud 1.3 (vt joonis 1.3, lk 12) tootmissüsteemidest kaks- tööline-masin süsteem ja automatiseeritud süsteem. Kõige enam leidub tööline-masin süsteemi, kui elektrijõul töötavate tööriistade hulka arvestada ka akutoitel olevad tööriistad. Enamustes töökeskustes leidub väiksemaid tegevusi, kus ei ole kaasatud elektri- või pneumotööriistu. Automatiseeritud töökeskusteks on teraslehe töötlemiskeskus ja painutusrobot, mis töötleb väikesemõõdulisi pooltooteid ning poolautomatiseeritud töökeskus on liimimine, kus

liimi kantakse peale roboti poolt, kuid ettevalmistus liimimiseks (näiteks kaitstavate osade katmine kleeplindiga) ja isolatsiooni ladumine käib käsitsi.

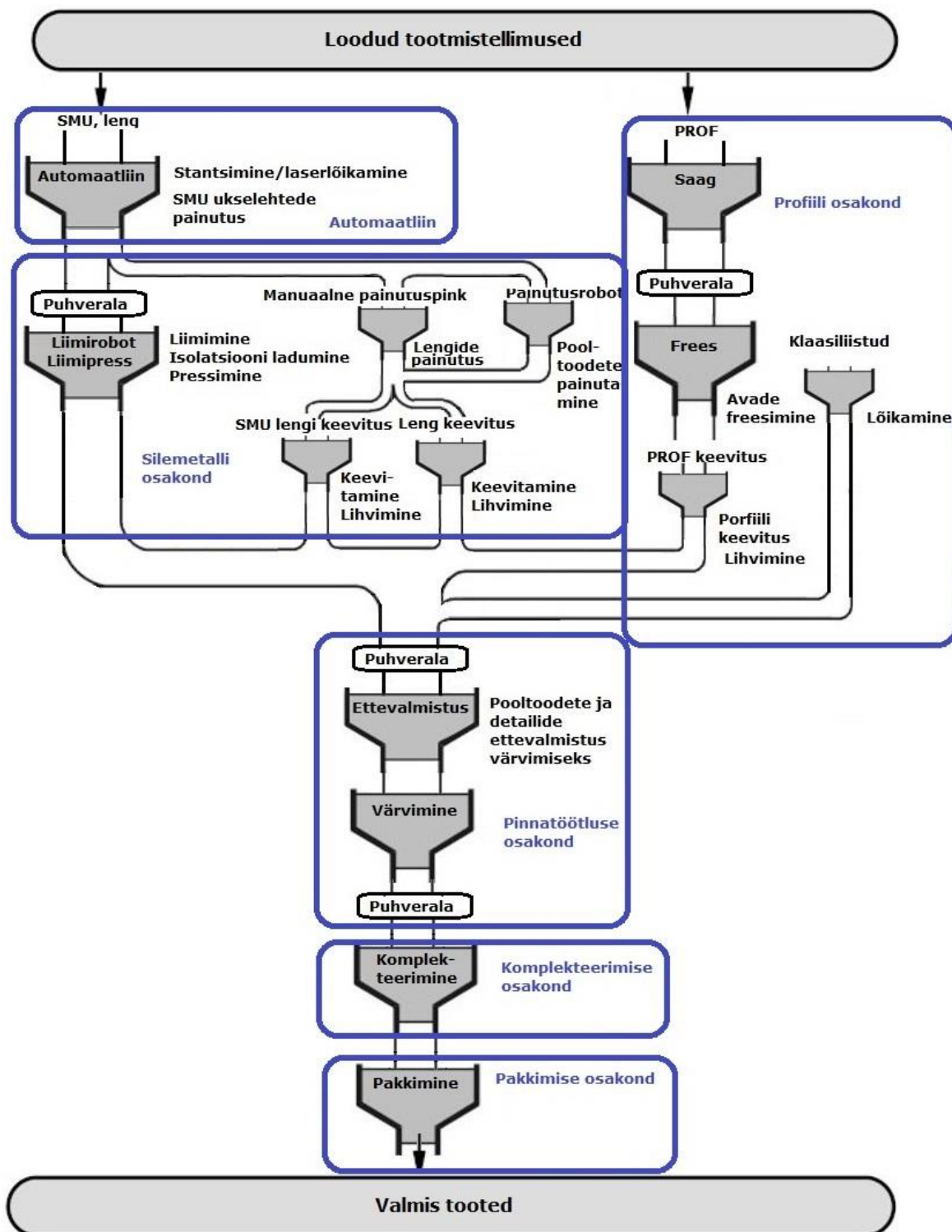
Aastas toodetava ühiku arvult saab Tammer OÜ tootmismahtu pidada suureks, vastavalt eespool toodud tabelile 2.2, oli 2019.a tootmismaht 27 412 ühikut. Kuna ettevõtte toodab vastavalt tellimustele ja tootmine on projektipõhine, siis ei saa pidada tootmise tüüpi masstootmiseks, aga ka mitte üksik või projekti tootmiseks. Ettevõtte toodab SMU'i ja LENGe osaliselt masstootmisseadmetega partiisid ja ka üksikuid projektitooteid. PROF toodete tootmisel ei ole kasutusel üheski etapis automaatseadmeid, seega saab selle tootegrupi tootmist liigitada partiitootmiseks. Üldpildis võib paigutada Tammer OÜ tootmissüsteemi katkendliku tootmissüsteemi ning seeria ja masstootmise vahele (vt joonis 1.5, lk 16).

Tootmisevoog hakkab pihta kahest erinevast otsast, vastavalt kas on tegemist silemetalluksega ja lengiga või profiiltootega. Tootmisprotsessi algusega silemetalli osakonnast või profiili osakonnast, läbivad valmivad tooted erinevaid töökeskuseid nendes, saades kokku pinnatöötluses ning jätkavad ühes voos. Tammer OÜ tootmise osakondadest ja töökeskustest annab detailsema ülevaate joonis nr 2.7.

Profiiltoodete tootmine saab alguse profiili osakonnast saagimise töökeskusest. Profiililao töötaja korjab vastavalt ette antud tööplaanile profiilid riulitelt kokku ja asetab projektide kaupa saagide läheduses asuvalle riulile, kust saeoperaatorid need ise võtavad. Edasi saetakse valmis vajaliku mõõduga tükid ning need asetatakse selleks spetsiaalselt konstrueeritud ratastega riulitele. Riulid lükatakse selleks ette nähtud puhveralasse, kust need tuuakse ette järgmisesse töökeskusesse, milleks on freesimine. Valmis freesitud tükid viiakse ette profiili osakonna keevituse töökeskustesse, kus need liidetakse usteks ja uste lengideks ning lihvitakse maha kõrgemad keevisõmblused ning muud ebatasasused. Samal ajal valmistatakse vastavalt tootele klaasiliistud. Koostatud profiiltooted ja klaasiliistud viiakse pinnatöötlemise osakonna puhveralasse ning jäävad ootama ettevalmistust värvimiseks ja värvimist.

SMU tootmine algab hetkest, kui automaatliini on sisestatud vastavad programmid ja operaator annab seadmele töökäsu. Automaatlaost tuuakse roboti poolt ette vajalikud materjalid sobivate mõõtudega. Esimene hetk, kui inimene paneb käe tootmisprotsessis oleva detaili külge, on masinast väljunud painutatud ukse lehe üks pooltest. Painutatud ukselehe mõlemad pooled asetatakse kokku spetsiaalsele ratastega alusele ja jäetakse liimimisprotsessi eelsele puhveralale. Sealt tõstetakse ukselehe pooled rullteele ja valmistatakse ette liimimiseks ning detaili juhatakse edasi lintkonveierile liimiroboti ette liimi peale kandmiseks. Järgnev protsess on isolatsiooni täidise ladumine liimiga kaetud ukselehe ühe poole sisse, tõstetakse peale teine, samuti liimiga kaetud, lehe pool ning

asetatakse kuuma pressi alla seisma kuniks liim on saavutanud piisava tahkumise astme. Pärast pressi alt väljumist viiakse ukselehed pinnatöötlemise osakonna puhveralasse ning jääva ootama ettevalmistust värvimiseks ja värvimist.



Joonis 2.7 Tammer OÜ tootmise osakonnad ja töökeskused
Allikas: Autori koostatud

Samal ajal automaatliinist väljunud lengi detailid viiakse manuaalse painutuspingi töökeskusesse ja teised pooltoodete detailid viiakse painutusroboti töökeskusesse. Peale painutamisel õige kuju saavutamist liiguvad detailid keevitamisse, kus need lengideks kokku liidetakse. Lengide keevitusel on loodud kaks erinevat töökeskust, millest üks on SMU koostisesse kuuluvate lengide ja teine eraldi tootegrupi LENG keevitamiseks. Peale keevitust toimetatakse lengid pinnatöötlemise osakonna puhveralasse ning jääva ootama ettevalmistust värvimiseks ja värvimist.

Värvimise ettevalmistamisel võetakse puhveralast tooted vastavalt tootmisplaanile töölauale, eemaldatakse lihvimise abil võimalikud ebatasasused ning puhastatakse pind mustusest. SMU ukslehtede lihvimiseks ja puhastamiseks on spetsiaalne lihvimisseade, kust ukse lehed läbi lastakse. Peale ettevalmistust riputatakse tooted värvimisliinile (grupeerituna) värvitoonide kaupa ning siirdatakse värvikambritesse. Värv peale kandmise järel kuivatatakse tooted kuivatusahjudes. Värvimise protsessist väljunud tooted jäetakse puhveralasse komplekteerimise ootele. Värvimiseks ettevalmistust ning värvimist vaadeldakse edaspidi ühe töökeskusena.

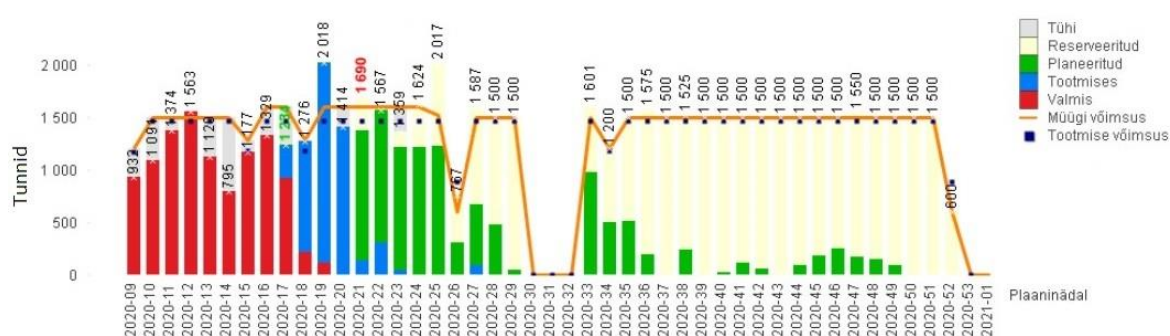
Komplekteerimisse tuuakse eelmainitud puhveralalt tooted projekti kaupa ning paigaldatakse sulused, tihendid ja klaasid. Vajalikud sulused on laotöötaja poolt eelnevalt projektide kaupa kastidesse valmis pandud ja väljastatud komplekteerimisele. Selles osakonnas teostatakse toodetele lõppkontroll, mille käigus hinnatakse viimistluse korrektsust, kontrollitakse toote füüsiliste mõõtude vastavust joonistele ning toote kompleksust.

Valminud tooted viiakse komplekteerimise kõrval asuvasse pakkimise osakonda. Välja on töötatud erinevad pakkeviisid, mille valiku on eelnevalt teinud projektijuht. Tulenevalt toodete ebestandardsusest on iga pakend erinevate füüsiliste parameetritega. Seetõttu ehitatakse pakendid Tammer OÜ tootmises kohapeal sisseostetavast saematerjalist, millest osa ehitatakse sisse ostetud alustele.

2.3 Probleemi formuleerimine ja uurimisülesanded

Tootmise võimsust ja mahtu mõõdetakse töötundides. Iga tootegrupi operatsioonide tööajad töökeskustes on eelnevalt mõõdetud. Kogutud mõõtetulemuste keskmiste alusel on operatsioonide ajad normeeritud ning selle kaudu määratakse toodetele eelarvestatud tootmise ajad. Vastavalt mõõdetud aegadele on välja arvutatud töökeskuste maksimaalsed võimsused ning summeeritult annab see kogu tootmise võimsuse. Arvestatud on nii masinate tootmismahuga ajas kui inimeste arvuga töökeskustes. Inimeste arvu muutumisel korrigeeritakse ka tootmise maksimaalset

võimsust. Sõltuvalt toote keerukusest ja komponentidest, mis toodete koostisesse kuuluvad, on välja arvatud aeg, mis nende tootmiseks kulub. Näiteks profiiltoote lihtsa ukse raami keevitamise aeg on sarnane sõltumata toote suurusest, küll aga lisandub aeg, kui ukse sisse on vajalik keevitada horisontaalne lisa profiil. Samuti arvutatakse ukse valmistamiseks vajaminevat aega juurde, kui lisaks ühele lukukorpusele on vaja installeerida veel teine lukukorpus või näiteks kiirriiv. Nende kahe komponendi-tootmise võimsus tundides ja tootele kuluv aeg (eelarvestatud aeg) tundides- alusel on müügi- ja projektiosakonnale ette antud müügimaht tundides mingis perioodis, mida on võimalik müüa. Joonisel 2.8 on näidatud Tammer OÜ müügimahu planeerimine koos tootmise maksimaalse võimsusega.

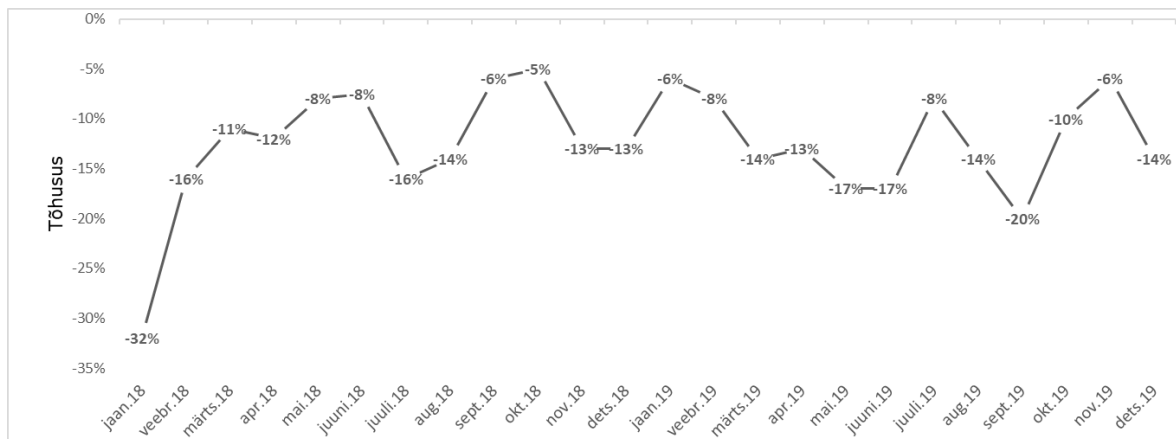


Joonis 2.8 Tammer OÜ müügimahu planeerimine

Allikas: [78]

Tootmises registreeritakse osades töökeskuses tegelik operatsiooni aeg ning seda tehakse ettevõttes välja töötatud IT lahenduse abil, mida nimetatakse Start-Stopp süsteemiks. Töötaja registreerib töökohal asuvas arvutis hetked, millal ta alustas operatsiooniga ning millal lõpetas operatsiooni. Operatsiooni aja sisse kulub ka töödeldavate materjalide ja pooltoodete ettetoamine. Start-Stopp süsteem on kasutusel kõigis profiili osakonna töökeskustes, SMU ja Leng keevitamises ning komplekteerimises. Süsteemi ei kasutata automaatliinis, lengide painutamisel, pinnatöötamise osakonnas ning pakkimises.

Ettevõttes jälgitakse igakuiselt eelarvestatud aja (müüdnud mahu) ja valmistatud toodete tegeliku valmisaja suhet. Tammer OÜ siseselt nimetatakse saadud tulemust tootmise efektiivsuseks. Kuna efektiivsus on mõiste mingi nähtuse mõjususele ja ei ole mõõdetav, siis käeolevas töös kasutatakse mõistet tõhusus. Kui tootmiseks on kulunud summaarselt rohkem aega, kui eelarvestatud on, siis on tõhusus negatiivne. Vastavalt ettevõttes monitoritud andmetele, on Tammer OÜ tootmise tõhusus vähemalt viimased kaks aastat olnud negatiivne. Joonisel 2.9 toodud graafikus on näha tõhusus näitajad kokku alates 2018. aasta algusest 2019. aasta lõpuni.



Joonis 2.9 Tammer OÜ tootmise tõhusus

Allikas: Autori koostatud ERP andmete põhjal

Ettevõttes on tootmisoperatsioonide aegade normeerimiseks mõõdetud töökeskuste protsesse koos ettevalmistusega, mis tähendab materjali ette toomist ja valmis seadmist töötlemiseks töökeskusesse. Seega ei ole teada, kui palju aega eraldi kulub vajaliku materjali ettetoomiseks ladustamise kohast või kui palju kulub selle otsimisele. Ei ole ka kaardistatud ega analüüsitud materjalide liikumisi tehase territooriumil ning puudub selge ülevaade materjalivoogudest ja nende mõjust tootmise tõhususele ja aja kadudele.

Joonisel 2.9 välja toodud perioodis olid tootmismahud täis müüdud ning nõudlus suurem, kui reaalselt oli võimalik toota. Sage oli ületundide tegemine, mis on otseseks põhjuseks tootmise negatiivsele tõhususele. Uues (aprill 2020a.) situatsioonis, kus pandeemia on põhjustanud majanduslanguse, ei ole müüginahud täis müüdud. See tähendab, et on vajalik vähendada tööjõudu piirini, kus tootmismahud on võrdne müüginahuga ning tuleb sealjuures vältida ületundide tegemise vajadust. Kui praegusele eelnenud majanduskeskkonnas oli võimalik müüa rohkem, siis nüüd on ettevõtte suurendanud fookust eesmärgile toota võimalikult tõhusalt. Samuti tuleb valmis olla kriisieelse majandusolukorra taastumiseks ja suurendada tootmise läbilaskevõimet, kuna tehase füüsiline ruum on piiratud ja antud tegevuskohas juurdeehitisi pole võimalik rajada. Seega on vajalik välja selgitada ja eemaldada protsessist võimalikult palju raiskamist.

Käesoleva magistriöös keskendutakse materjalivoogudest tulenevatele kitsaskohtadele ja nendest tingitud võimalikule ajakulule. Uurimisprobleemiks on ajakulu materjalide liikumisel laost või puhveraladelt töökeskustesse ja töökeskuste vahel. Tihti oodatakse või otsitakse materjali, et saaks alustada väärtust lisava tööga. Toote valmistamise summaarne protsess on pikem, kui võiks olla ning seega on toote valmistamise kulud suured.

Magistritöö eesmärgiks on kaupade liikumisest põhjustatud ajakulu vähendamine. Eesmärgini jõudmiseks püüab autor tuvastada aja kaod tootmises, leida kitsaskohad materjalivoos töökeskustesse ja töökeskuste vahel ning kujundada kaupade optimaalseimad ladustamise ja tootmises liikumise süsteem. Eesmärgini jõudmiseks viib autor läbi intervjuusid asjaosalistega, teostab vaatlemisi tootmises, kaardistab materjalide ladustamise ja liikumise tootmises. Eesmärgi saavutamisel tuleb silmas pidada, et ükski parandusettepanek ei saa vastuollu minna muude *Lean* põhimõtetega, näiteks lao- ja puhvervarude (*WIP*) liigne suurendamine.

Uurimisprobleemi lahendamiseks püstitab autor järgnevad uurimisülesanded:

1. Tuvastada sujuvat töövoogu takistavad tegurid materjalivoos.
2. Tuvastada raiskavad tegevused materjalide liikumises.
3. Selgitada materjalide liikumist ja õigeaegsust põhjustavad tõrked.
4. Leida lahendused materjalivoos raiskamiste vähendamiseks.

Uurimistöö tulemusena antakse selge ülevaade raiskamistest materjalivoos ning kaardistatakse *AS-IS* materjalivood ja koostatakse *TO-BE* kaart. tehakse ettevõtte juhtkonnale ettepanekud olukorra parendamiseks. Parandusettepanekute elluviimisel lüheneb toote valmimise ning tootele väärtust mitteandev aeg. Paraneb tootmise tõhusus ning ühes ajaühikus suudetakse rohkem tooteid valmistada.

3 METOODIKA

3.1 Uurimusstrateegia

Uurimisstrateegia on üldine viis, mil moel uurimist läbi viiakse ning selle valik sõltub uurimise probleemist ja uurimisülesandest. Traditsioonilisi uurimisstrateegiaid on kolm: katseline, ülevaate- ja juhtumiuuring. Katselises uuringus mõõdetakse ühe muutuja mõju teisele ja ülevaateuuringus kogutakse inimeste rühmalt andmeid, mida hiljem püütakse kirjeldada, võrrelda ja seletada. Juhtumiuuring, kui peamine uurimismeetod, on üksikasjalik ja põhjalik uurimus üksikust või mitmest omavahel seotud juhtumitest [79]. Juhtumiuuringut kasutatakse üksikorganisatsiooni või tegevusala uurimisel [80], kus uuritakse ilmingut selle loomulikus keskkonnas [81].

Uurimistöös on oluline kasutada asjakohaseid uurimismeetodeid, kuna see on juhend töö koostamiseks ja probleemi lahendamiseks ning aitab lugejatel sellest paremini aru saada [16]. Uurimisstrateegia elluviimiseks valitakse sobivaim uurimismeetod, milleks on kvantitatiivne või kvalitatiivne meetod [82]. Kvantitatiivne uurimine kasutab arve ja kvalitatiivne tähendusi ning on tihti teineteisest sõltuvad. Mõlemad meetodid täiendavad teineteist, need ei ole võistlevad ega vastandlikud. Kvalitatiivset meetodit kasutatakse kvantitatiivse meetodi eelneva etapina [79]. Smith [83] on oma raamatus öelnud, et need kaks meetodit erinevad teineteisest uurimusküsimuste, läbiviimise poolest, ent siiski on neid ei saa neid täielikult eristada.

Kvalitatiivne uuring on loomult tervikut haarav ning uurib nähtusi ja tegevusi nende loomulikus keskkonnas ning kogutud tulemusi ja tähendusi püütakse individidelt saadud tähenduste kaudu. Lihtsamalt öeldes, on see meetod tegeliku elu kirjeldamine [79], [84]. Kvalitatiivne meetod ei tegele arvandmetega, mõõtmistega ega statistikaga [85]. Kvalitatiivse uurimuse eesmärk on mõista uuritavat nähtust [79], saada terviklik empiiriline andmestik [85] ning annab võimaluse saada üldisemat ülevaadet seoste loomiseks [82]. Kvalitatiivne uuring vastab peamiselt küsimustele kuidas?, mis?, kes? ja kas? Uurimust viiakse läbi osalusvaatluste, intervjuude, küsimustike, testide ning ainetiku, tekstide ja dokumentide läbi töötamise teel. Uurimisobjektid valitakse eesmärgipäraselt ning uurimus viiakse läbi paindlikult, arvestatakse muutuvate oludega [79].

Kvantitatiivne uurimismeetod keskendub uuritava kirjeldamisele läbi mõõtmise [86], eksperimentide, matemaatiliste mudelite ning järeldusi tehakse kogutud materjali statistilise analüüsi põhjal [85]. Tulemusi esitatakse näiteks protsenttabelite kujul. Kvantitatiivne uuring sisaldab numbreid, statistikat ning kõike, mida saab mõõta [79].

Kvantitatiivse uuringu puhul võetakse arvesse järeldused varasematest uurimustest, teooriatest; esitatakse hüpoteese ja määratletakse mõisted [79]. Kvantitatiivse uuringu meetodi eesmärk on koguda objektiivseid empiirilisi andmeid selgelt piiritletud uurimisobjektide kohta. Andmeid kogutakse arvuliste mõõtmiste ja arvandmete kogumise teel, milleks peamised viisid on füsioloogilised mõõtmised, testid, süstemaatilised vaatlused, standardiseeritud ankeedid [85]. Tabelis 3.1 on ülevahtlikult võrreldud ülal kirjeldatud kahte uurimismeetodit.

Tabel 3.1 Kvalitatiivse ja kvantitatiivse meetodi võrdlus

Meetod Kriteerium	Kvalitatiivne	Kvantitatiivne
Eesmärk	Saada kokku täielik empiiriline andmestik, mis sisaldab põhjusteid ja motivaatoreid	Saada kokku objektiivsed empiirilised andmed ja seejärel teha üldistusi laiemale populatsioonile
Valim	- tavaliselt väiksearvulised - uuritakse üksikjuhte	- suur valim - juhusliku valimiga
Andmete kogumine	- kogutakse sõnalisi andmeid - intervjuud - avatud küsimused - vaatlused - struktureerimata	- kogutakse arvandmeid - küsimustikud - suletud küsimused - küsitleja vaatevinkel - struktureeritud
Andmete analüüs	- mitte statistiline (võib siiski)	- statistiline töötlus - andmed on esitatud tabelites - tehakse üldistusi
Tulemus	- detailsed kirjeldused uuritavast teemast	järeldused uurimisobjektide kohta

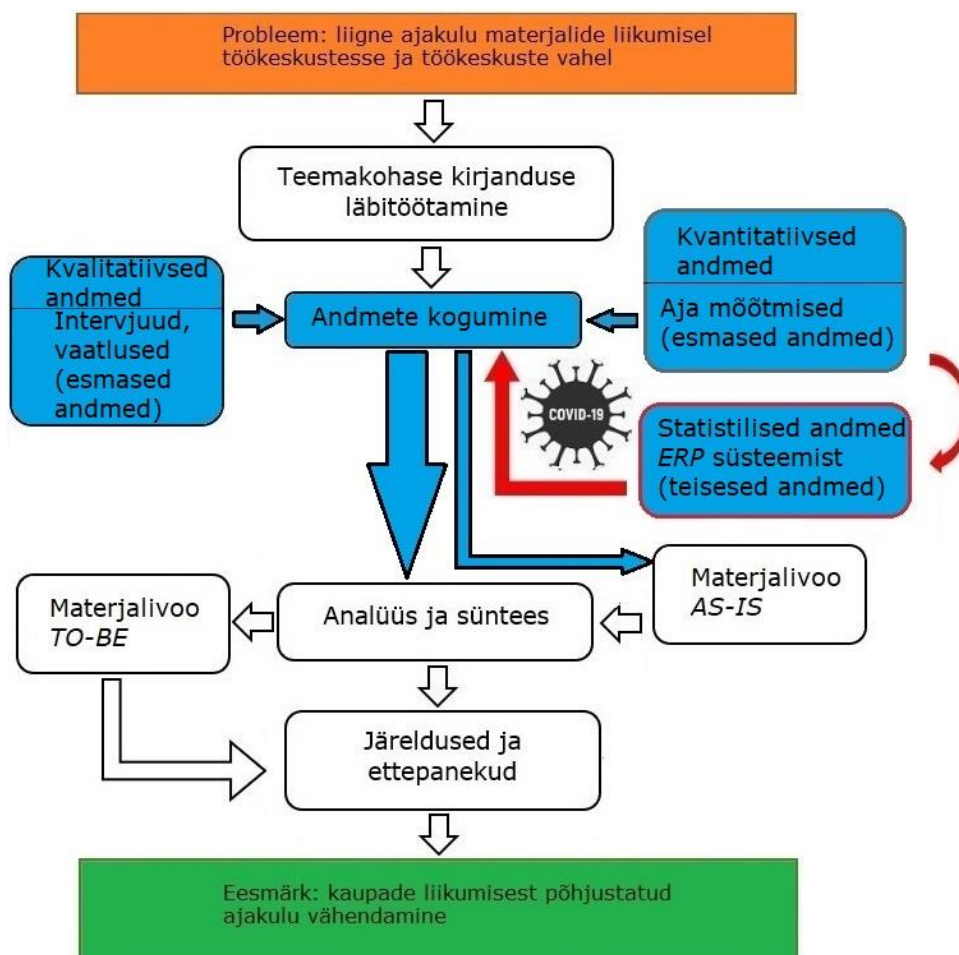
Allikas: [87]

Käesoleva töö uurimisstrateegiaks on valitud juhtumiuurimus, mille käigus uuritakse praktilist probleemi ja uurimisobjektiks on materjalivoog tootmises. Magistritöö uurimise läbiviimiseks pidas autor vajalikuks kasutada kombineeritud uurimismeetodit, mis tähendab, et andmete ja teabe kogumiseks on kasutatud nii kvalitatiivset kui kvantitatiivset meetodit. Kombineeritud uurimismeetod on valitud, kuna uurimisülesannetest lähtuvalt, on uurimuse läbi viimiseks ja eesmärgini jõudmiseks vajalikud nii statistilised andmed kui ka tegevuste jälgimine ja võtmeisikute intervjuerimine.

Kvalitatiivse osana selles magistritöös on detailsed kirjeldused uuritavast ettevõttest, selle protsessidest ning uurimisobjektist. Olulisel hulgal kogutud ja analüüsitud sõnalisi

andmeid. Kvantitatiivse poole pealt on töödeldud erinevaid statistilisi andmed, mis on enamuses kogutud ettevõtte majandustarkvarast.

Käesolevat tööd hakati kavandama 2019 aasta detsemberist ning kirjutama ja uuringuid läbi viima 2020. jaanuarist. Esialgne uurimisstrateegia koostati samuti jaanuaris. 2020. alguses maailmas levima hakanud ja pandeemiaks kujunenud COVID-19 põhjustas järsu muutuse igapäevase elu ja töö korraldustes. 17. märtsil 2020. aastal suleti Tammer OÜ töötajate tervise kaitseks ja tootmise jätkumise tagamiseks tootmisega mitte soetud inimeste ligipääs uuritava ettevõtte tootmise ruumidesse. Seetõttu ei olnud autoril võimalik algselt kvantitatiivsete andmete kogumiseks plaanitud aja mõõtmisi ise teostada ning tuli sisse viia muudatused uurimisstrateegias. Uurimisstrateegia ja selle muudatus on kujutatud joonisel 3.1.



Joonis 3.1. Uurimisstrateegia
Allikas: Autori koostatud

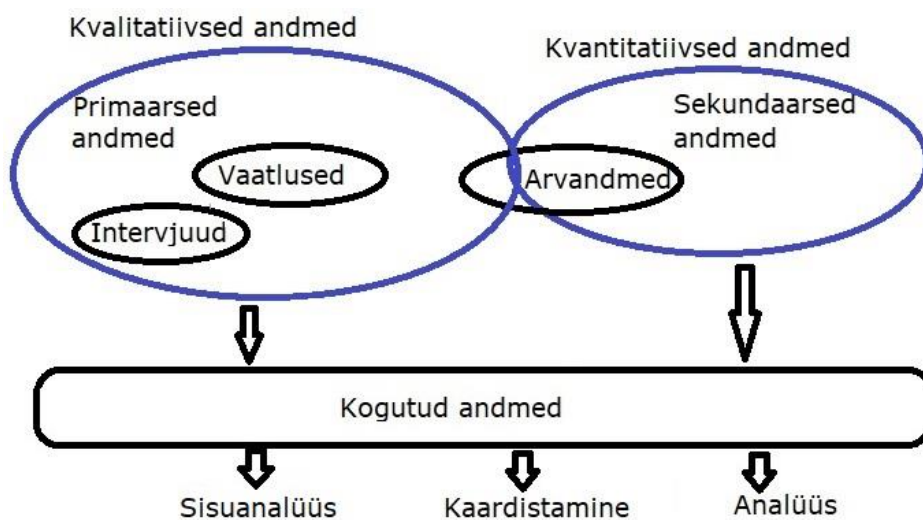
Kuna esmaseid andmeid ei olnud enam võimalik koguda, siis kaasati uuringusse teiseseid andmed ehk statistilised andmed ettevõtte infosüsteemidest. Strateegia muutumise tõttu on uurimistöö tulemuste leidiseks suurem kaal kvalitatiivsetel andmetel.

3.2 Andmete kogumine

3.2.1 Uurimuse andmed

Andmeid on vaja numbriliste väärtustena ja enda kui teiste kogutud tähelepanekutena. Andmed on võimas infoallikas ja ilma selleta ei ole võimalik teada, milline on protsesside sooritus [88]. Andmeid, mida uurimistöodes kasutatakse on esmased ehk primaarsed andmed ja teisesed ehk sekundaarsed andmed. Esmased andmeid kogutakse uurimuse läbiviija poolt. Andmete kogumise käigus saab uurimuse tegija uurimisobjekti kohta vahetut teavet. Sekundaarsed andmed on teiste poolt kogutud valmisandmestik ning neid ei saa üldjuhul muutmata kujul kasutada, vaid tuleb sobitada konkreetse uurimuse konteksti. Valmisandmestikesse tuleb suhtuda kriitiliselt ja kahelda nende usaldusväärsuses, kuna ei ole teada, mil viisil on andmeid kogutud ning kas on kasutatud õigeid võtteid [79].

Käesoleva uurimuse läbi viimiseks on kasutatakse nii esmaseid kui teiseseid andmeid. Kõik kvalitatiivsed andmed on primaarsed ehk kogutud autori poolt ning kvantitatiivsed andmed on peamiselt sekundaarsed, mis on saadud ettevõtte majandustarkvara andmebaasidest. Autori poolt on kogutud väike osa arvandmeid. Andmete kogumise ja kasutamise struktuur on näidatud joonisel 3.2.



Joonis 3.2 Andmete ja teooria kogumise struktuur

Allikas: Autori koostatud

Kvalitatiivsete andmete kogumise peamine väljund on raiskavate tegevuste tuvastamine materjalivoos. Kvantitatiivseid andmeid kasutatakse peamiselt analüüsides.

3.2.2 Statistilised andmed

Arvandmed, mis on kasutatud käesolevas töös on peamiselt sekundaarsed statistilised andmed. Esmased arvandmed on vaatlemise käigus kirja pandud materjalide ja pooltoodete kogused pakkeüksustes või spetsiaalsetel teisaldamise alustel ning teatud juhtudel mõõdetud ja kirja pandud pakkeüksuste mõõdud. Näiteks, mitu ruutmeetrit isolatsiooni on ühel alusel, kui suur on üks alus jne. Viimane informatsioon on tähtis parendatud tuleviku olukorra kaardistamisel parimate ladustamise kohtade leidmiseks töö tulemuste formuleerimisel. Esmaste andmete hulka kuulub ka kaardistamiste jaoks mõõdetud kaupade transportimise vahemaade pikkused tehases sees ja territooriumil ning kaupu teisaldatavate tõstukite ja inimeste keskmised liikumiskiirused.

Teisesed andmed on võetud Tammer OÜ majandustarkvarast (*ERP*). Arvandmed, mida käesoleva magistritöö uurimuse ja analüüsi jaoks kasutatakse, on majandustarkvarast *AX* võetud materjalide kasutuskogused perioodis, valminud toodete arv, projektide kogus, töökeskuste start-stopp süsteemist kogutud tootmise operatsioonide ajad toodete kaupa ning samadele toodetele eelarvestatud ajad.

Analüütilises osas kõik statistilised andmed on 2019. aasta kohta. Andmeid materjalide kohta kasutatakse hetke olukorra kaardistust koostades, sealhulgas *ABC-XYZ* analüüsi tegemiseks. Teostatud projektide statistikat on kasutatud samuti sisendite leidmiseks kaardistamisel. Andmeid tootmise eelarvestatud ja tegelike operatsioonide aegade kohta kasutatakse tootmise töökeskuste tõhususe arvutamiseks. Arvandmete kasutamine on toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.2 Arvandmete kasutamine

Vaadeldav aspekt Andme- allikas	Kirjeldus	Tööstruktuuri osa	Joonis/Tabel
Autori kogutud	Kaubaaluse mõõdud	4.2	Tekstis, analüüsiks
	Kauba kogus alusel	4.2	Tabel 4.9
ERP	Toodetud kogused	4.2	Tabel 4.3
	Tõhusus	4.1	Tabel 4.1, 4.2 Joonis 4.1
	ABC ja XYZ analüüs	4.5	Lisa 8
	Materjalide kasutus	4.2	Tabel 4.5, 4.6, 4.7
	Projektide arv	4.2	Tabel 4.3, 4.4, 4.5

Allikas: Autori koostatud

3.2.3 Ekspertintervjuud

Ekspertintervjuud on kvalitatiivse uurimismeetodi üheks levinumaks andmete kogumise meetodiks ning see on ainulaadne andmekogumismeetod, kuna siin ollakse

intervjueeritavaga vahetus dialoogis. Intervjuu käigus võib saada uurija rohkem teavet, kui ta küsib või vaja on. See võib olla intervjuu eeliseks (tulevad välja aspektid, mida ei osatud ette näha, uut laadi teave) kui ka puuduseks (liigne info on infomüra). Intervjuude puhul tuleb alati ka arvestada saadud vastuste usaldusväärsuses, kuna inimesel on kalduvus anda sotsiaalselt soovitavaid vastuseid [79]. Selle peab intervjueerija ise tunnetama. Kui viimane on uuritava valdkonnaga kursis, siis on see talle lihtsam.

Uurimuslikke intervjuusid on kolme liiki [79], [89]:

1. Struktureeritud intervjuu ehk ankeetintervjuu. Küsitletavale antakse ette ankeet, milles on ära määratud kindlaks määratud järjekorras küsimused ja ette antud valik väited.
2. Poolstruktureeritud intervjuu ehk teemaintervjuu. Siin on intervjuu alateemad teada ning küsimused võivad olla eelnevalt formuleeritud.
3. Struktureerimata ehk avatud intervjuu. Struktureerimata intervjuu puhul on üldjuhul ette teada ainult teema. Teema võib vestluse käigus lihtsalt muutuda.

Paremaks arusaamiseks tootmises, töökeskustes ja töökeskuste vahel toimuvast ning millele vaatluste käigus tähelepanu pöörata, viis autor läbi poolstruktureeritud intervjuud osakondade meistritega ning struktureerimata intervjuu tootmisjuhiga ja tootmise planeerijaga. Intervjuud aitasid leida ka vastuseid autori poolt püstitatud uurimisülesannetele. Vähem struktureeritud informatsiooni kogumise meetodiga tunneb intervjueeritav ennast mugavamalt, on võimalik saada rohkem teavet ning vastab rohkem tegelikkusele [90].

Eksperdid on käesoleva uurimuse mõistes ettevõtte töötajad, kes vastutavad protsesside eest, mis on vahetult uurimisobjektist ehk materjalivoogudest. Eksperdiksi olemise kriteeriumiks on vähemalt kolme aastane tööstaaž antud ametikohal.

Intervjuud viidi läbi vahemikus 27.01.2020 kuni 07.02.2020. Iga intervjueeritavaga lepiti kokku eraldi koosolek nendele kõige sobivamal ajal. Autori arvates on küsitletav pingevabam ning jagab rohkem ja adekvaatsemat informatsiooni, kui intervjueeritav saab ise valida sobivaima aja kiirel töö ajal.

Struktureerimata intervjuud kestsid poolteist tundi aega ning poolstruktureeritud kolmveerand tundi. Intervjueeritavate valmimisse võeti tootmisega vahetult kokku puutuvad ja tootmisprotsesse juhtivad ettevõtte töötajad. Ülevaade läbiviidud intervjuudest on ülevaatlikult toodud tabelis 3.3.

Tabel 3.3 Intervjuude läbiviimised

Intervjueeritav	Tööstaaž ametikohal aasta	Intervjuu liik	Läbiviimise aeg; kestvus kuupäev; h
Tootmise planeerija	4	Struktureerimata	27.01.2020; 1,5
Tootmisjuht	22	Struktureerimata	28.01.2020; 1,5
Pakkimise osakonna meister	12	Poolstruktureeritud	29.01.2020; 0,45
Pinnatöötlemise osakonna meister	9	Poolstruktureeritud	03.02.2020; 0,45
Profiili osakonna meister	18	Poolstruktureeritud	04.02.2020; 0,45
Komplekteerimise osakonna meister	15	Poolstruktureeritud	05.02.2020; 0,45
Silemetalli osakonna meister	9	Poolstruktureeritud	06.02.2020; 0,45
Automaatliini meister	9	Poolstruktureeritud	07.02.2020; 0,45

Allikas: autori koostatud

Ettevõtte tootmise planeerija on töötanud ettevõttes 2016. aastast ning tema üheks tööülesandeks on olnud operatsioonide aegade mõõtmine ja normeerimine töökeskustes. Ta on varasemalt tööülesandeid täites mõõtnud tehases operatsioonide aegu ning selle käigus kogunud palju tähelepanekuid protsesside ja nende vahelistel aegadel toimuvast. Vestluse käigus sai uurimistöö autor kasulikku informatsiooni nii magistr töö uurimisobjekti kohta kui ka üldisi teadmisi tootmise iseärasuste kohta. Toodi välja palju aspekte, mida vaatluse käigus tähele panna ning mis olid intervjueeritavate arvates suurimateks viivituste põhjusteks töökeskuste vahel.

Tootmisjuht on ettevõttes töötanud alates 1998. aastast. Tema tööülesandeks on tootmise igapäevane juhtimine, planeerimine ning tootmismeistrite töö korraldamine. Ta on läbi viinud mitmeid töökorralduslikke ja protseduurilisi parendusi. Intervjuu tootmisjuhiga andis ülevaate tootmise üldpildist ning parendamist vajavatest kohtadest. Vestlusest sai autor teavet, millistes osakondades ja töökeskustes esineb tootmisjuhi meelest materjalivoogudest tingitud enim tõrkeid ja probleeme.

Tootmise osakondade meistritega viidi läbi poolstruktureeritud intervjuud. Intervjuu küsimusi oli viis ning need lähtusid käesoleva magistr töö uurimisülesannetest. Meistrite tööstaaž antud ametikohtadel Tammer OÜ-s on üheksa kuni 18 aastat, seega on tegemist kogenud oma ala spetsialistidega. Küsitluse käigus koguti täpsemat informatsiooni osakondade töö korralduse kohta, kuidas neis on korraldatud materjalide liikumine ning mis valmistab probleeme sujuvas töövoos. Poolstruktureeritud intervjuude küsimused on toodud lisas 2.

3.2.4 Vaatlused

Vaatlemine, ka jälgimine on mitteverbaalse käitumise kogum ning võimaldab uurida käimasolevat käitumist selle originaalses keskkonnas. Jälgimine on tõhus info kogumise

viis, kuid selle puhul tuleb arvestada teatud kõrvalekalletega, nagu jälgija selektiivne mälu, seega selektiivne andmete sisestus ning kuidas osalised reageerivad, kui neid jälgitakse. Töötajad võivad teha usinamalt või teisiti tööd, kui tavaliselt [91].

Autor viis tootmises läbi mitteosalevat vaatlust ajavahemikus 19-28. veebruaril 2020.aastal. Mitteosalev vaatlus on, kui vaatleja ise vaadeldavas tegevuses ei osale [92]. Vaatlemise ajal ei teostatud ajamõõtmisi, kuna autor pidas vajalikuks hoida tähelepanu tootmises toimuval. Algselt uurimisstrateegia plaanis olnud ajamõõtmised pidas autor vajalikuks läbi viia eraldi pärast vaatlusi, kuna vaatlusel saadud informatsioon oleks lihtsustanud aja mõõtmisi. Vaatlemise üheks eesmärgiks oli tuvastada tegevusi, mida võib käsitleda raiskavate tegevustena ning mis võivad põhjustada tõrkeid materjalivoos ja sujuvas tootmisvoos. Teine eesmärk oli kaardistada materjalivood tootmises. Jälgimise käigus tegi autor kirjalikke märkmeid tähelepanekutest ning visandas kaardistamise jaoks ladude, töökeskuste ja materjalivoogude plaane. Raiskamisi tootmises tuvastati toetudes teoreetilisele taustale, mis on toodud esimese peatüki kolmandas alapeatükis. Vaatlusel vastavate tähelepanekute tegemiseks koostas autor tabeli, mille näide on toodud tabelina 3.4.

Tabel 3.4 Vaatluspäeviku näide

Kuupäev	Osakond, töökeskus	Probleemi kirjeldus	Raiskav tegevus	Muud märkused
19.02.2020	Silemetall, liimimine	Töötaja otsib puhveralast pooltoodet	Ootamine, üleliigsed liigutused	Projekti nr otsimiseks läks aega

Allikas: autori koostatud

Autor teostas vaatlemisi kolmel viisil:

1. tootmisvooga samas suunas algusega tootmise esimestest töökeskustest;
2. materjalivooga samas suunas, alustades materjalide ladustamiskohtadest;
3. juhuslikus järjekorras kõigis tootmise osakondades ja töökeskuste juures.

Tootmisvood algavad Tammer OÜ-s kahest erinevast osakonnast. Alljärgneva kirjelduse juurde soovib autor vaadata Tammer OÜ tootmise osakondade ja töökeskuste skeemi (vt joonis 2.7, lk 40).

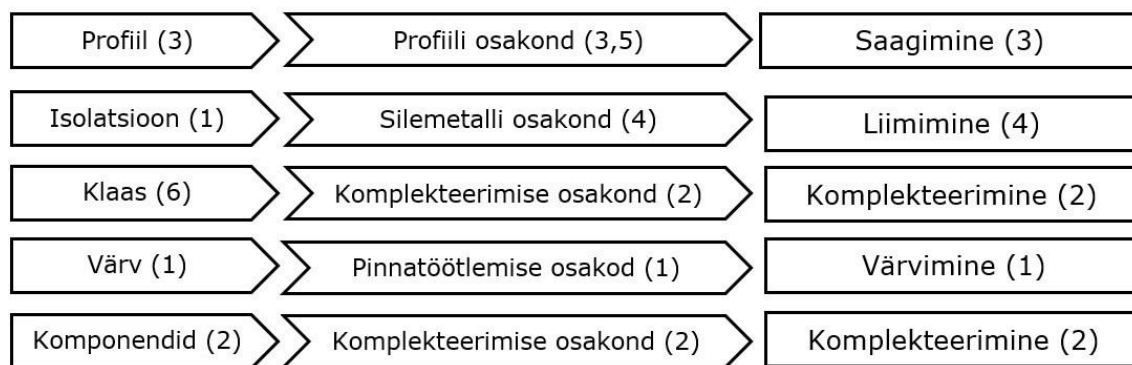
Esimest vaatlust alustas autor profiili osakonnast saagimise töökeskuse juurest ning liikus edasi töödeldud detailidega samas suunas. Autor ei liikunud vaatluse käigus edasi koos konkreetse tootega vaid veetis ühes töökeskuses kuni alustatud oli vähemalt kolme toote operatsiooni. Selliselt oli võimalik vaadelda ühes töökeskuses toimuvat pikema aja jooksul ning toodete erinevuse tõttu ka erinevate materjalide käitlemist. Näiteks profiiltooteid tehakse mitmest erinevast profiilitüübist, mis asuvad laos erinevatel

riiulitel. Profiiltoodete tootmisvooga samas suunas liikudes vaatles autor toimuvat kuni pinnatöötlemise osakonnani ning suundus silemetalltoodete tootmise alguspunkti.

Teiseks vaatles autor silemetalli osakonnas töökeskustes ja nende ümber toimuvat kuni pinnatöötlemise osakonnani, kus saavad kokku nii profiilmaterjalist kui silemetallist toodetud detailid. Alates pinnatöötlemise osakonnast sai edasi vaadelda mõlema tootegrupi tootmisvoogu koos kuni pakkimiseni välja.

Materjalivoog kulges tootmisvooga alati samas suunas ning algas ajaliselt varem. Osa materjale hoiti füüsiliselt erinevates kohtades, seega algasid nende liikumised vaatleja jaoks mujalt, kui tootmisprotsessi algusest. Erandiks oli lehtmetsall, mida ladustati töökeskuse sees ja võis öelda, et lehtmetsalli kui materjali liikumine algas tootmise operatsiooniga samal ajal. Seega materjalivoogude vaatlemisel ei jälgitud eraldi lehtmetsalli liikumist töökeskusesse. Vaatluste läbiviimist alustati mitmest materjalivoo alguspunktist. Selliseid lähtekohti oli viis: profiililadu, isolatsiooni ladu, klaaside hoiustamise koht, värviladu ja komponentide ladu. Autor jägis materjalide käsitlemist igas punktist kuni vastava tootmise operatsiooni algusesse. Komponentide laos jälgis autor ka komponentide korjet ja projektide jaoks valmis panemist kastidesse.

Kolmanda vaatluskorrana käis autor läbi kõik osakonnad juhuslikus järjekorras. Igas osakonnas veetis autor ligikaudu tund aega. Selline vaatlusviis andis võimaluse eelmistest vaatluskordadest jäänud ebaselgused või märgata olukordi, mida varem ei täheldatud. Kolmel erineval viisil ja ajal läbiviidud vaatlemised aitasid koguda rohkem ja mitmekesisemat informatsiooni. Joonisel 3.3 on näidatud materjalide liikumise ja vaatlemise teekonnad.



Joonis 3.3 Materjalide liikumise vaatlemine. Sulgudes olevad numbrid tähistavad hooneid jooniselt 2.2 (vt joonis 2.2, lk 32)
Allikas: Autori koostatud

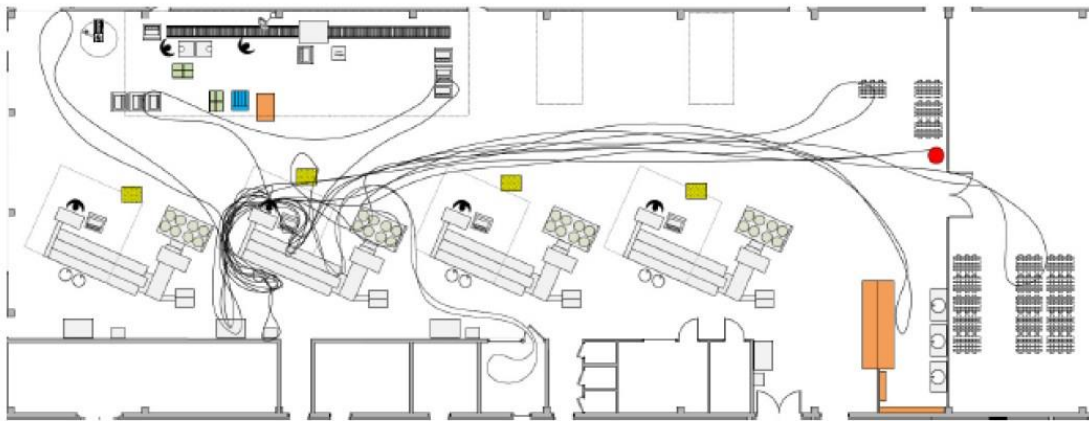
Vaatlused on tootmises läbiviidud päevases vahetuses, seega ei kajastata olukorda, mis toimub öhtuses vahetuses. Olukorra tõttu, mis põhjustas COVID-19 puhang, on kogumata algselt plaanitud esmased kvantitatiivsed andmed, mis oleksid andnud raiskavate tegevuste kestvused.

3.3 Kaardistamine ja analüüsimeetodid

3.3.1 Kaardistamine

Visualiseeritud kaardistus annab selge ülevaate objektidest, nende asetsemisest ruumis või alal ning teeb informatsiooni jälgimise lihtsamaks [93]. Käesoleva lõputöö uurimisobjektiks on materjalivoog ning uuritakse materjalide liikumisest põhjustatud aja raiskamist ning võimalikke ühtlast tootmisvoogi segavaid kõrvale kaldeid. Tõrked materjalivoos võivad tulla ladustamise asukohtade valikust ja tootmisvoos omavahel sõltuvate töökeskuste asetsemisest teineteise suhtes. Probleemide leidmiseks koostatakse ettevõtte tootmishoonete plaanide põhjal joonis, millel on näidatakse erinevate materjalide ja pooltoodete ladustamise kohad ning nende liikumised töökeskuste ja osakondade vahel. Kaardistuse meetodiks valis autor spageti diagrammi, mis on lihtne ja tõhus meetod ilmestamiseks kõiki liikumisi tootmise territooriumil.

Spageti diagramm on visuaalne tööriist, mille abil on lihtne ilmestada igasugu liikumisi objektidel, joonistades paberile jooni. See aitab tuvastada transpordist tulenevat raiskamist, mida ei ole kerge tuvastada muud moodi. Näiteks töötaja liikumine kahe töökeskuse vahel, mis asuvad teineteisest liiga kaugel või on liikumiste arv liiga suur. Materjali näitel annab spageti diagramm ülevaate, kui pikki ja keerulisi trajektoore selle liikumine moodustab. Süsteemid, milles sellist kaardistamist läbi viia võivad olla tootmise ala, osa ehitisest või lihtne töökoda. Spageti diagramm joonistatakse olemasolevale asendiplaanile, märgitakse joontega ära erinevad liikumised, nende juurde liikumisdistsantside pikkused (joonis 3.4). Paremini jälgitava visuaali loomiseks võib kasutada erinevaid värve tähistamiseks eraldi materjalide või inimeste liikumist, erinevatel aegadel liikumist, materjalide erinevatel viisidel liigutamist jne. Välja joonistatud diagrammil hinnatakse liikumiste arvu, vahemaid, kattuvaid ja ristuvaid marsruute ning teekondade keerukust ning leitakse meetodeid nende vähendamiseks, kas siis asendiplaani laiaulatuslikuma muutmisega või väiksemate ümberkorraldustega. Muudatuste tulemusena vähenevad tarbetute liikumiste arv, seeläbi ka tootmise aeg ning võib väheneda tööjõu vajadus [71], [94], [95].



Joonis 3.4 Näide spageti diagrammist
Allikas: [94]

Organisatsiooni tegevustest ülevaate saamiseks protsessid kaardistatakse. Kaardistuse all võib mõista, spageti diagrammi koostamist, äriprotsesside välja joonistamist voodiagrammina või ka protsesside üksikasjaliku kirjaliku kirjeldamisena. Esmalt kaardistatakse olemas olev olukord (ingl k. *AS-IS*). Protsesside kaardistamise peamine põhjus on optimeerimiste ja parendamiste tegemiseks. Selleks tuvastatakse *AS-IS* kaardistusest ressursikulukad või põhjendamatult keerukad kohad ning korraldatakse protsess ümber viisil, mis muudab protsessi lihtsamaks või vähem ressursikulukaks ilma lõpptulemi kvaliteeti muutmata. Pärast *AS-IS* kaardistuse analüüsi koostatakse tulevikuprotsessid (ingl k. *TO-BE*) [96].

Kaardistamise jaoks kogus autor andmeid ja tegi visandeid vaatluste käigus välja printitud asendiplaanile, mille pealt joonistas hiljem arvutis pildifailile. Materjalivoogude plaan on koostatud ettevõtte infosüsteemis olevatele jooniste põhjadele. Esmalt joonistati välja praegune olukord ehk koostatakse *AS-IS* kaart. Kaardile märgiti erinevaid värve kasutades ladustamise asukohad, puhveralad, töökeskused ning toormaterjalide, komponentide, pooltoodete ja valmistoote liikumised vastavalt teisaldamisviisile. Viimane tähendab, et kasutati marsruute tähistavate joonte puhul erinevaid värve vastavalt, kas liigutamised on tehtud motoriseeritud tõstevahenditega (tõstuk), käsitsi liigutatavate transpordi vahenditega (ratastega riiul) või käsitsi ilma abivahendeid kasutamata. Kaardile märgiti materjalide ladustamise kohtade juurde materjalide nimetused.

Vaatluse läbiviimise ajal ei loetletud materjalide teisaldamiste arvu laost töökeskuse juurde ja töökeskuste vahel, kuna vaatlemise aeg ei olnud arvestatava andme hulga saamiseks piisavalt pikk. Materjalide liikumiste keskmine kordade arv päevas leiti arvutuste teel mitmel erineval viisil, sõltuvalt materjali ostupoliitikast või kasutamise loogikast. Klaaside puhul leiti statistiliste andmete põhjal mitmele projektile keskmiselt

päevas klaase paigaldatakse. Värvide päevane teisaldamise arv leiti erinevate toonide arvu järgi, mida päevas kasutati. Profiilide töökeskusesse ettetoomiste korrad leiti vastavalt, kui mitu latti profiili päevas kasutati. Suluse kastide liikumiste arv leiti läbi erinevate projektide arvu päevas. Teiste kaupade puhul teades kaupade pakkeüksustes olevaid koguseid ja korruga sihtkohta ettekandmise kogust ning ettevõtte ERP süsteemist võetud kaupade kasutamise kogus 2019. aastal, leiti materjalide vajaduste sagedus. Korruga kasutamiskohta ettekandmise kogus selgitati välja vaatluse teel. Arvutuskäiku selgitab valem 3.1.

$$\text{Ettetoomiste arv päevas} = \frac{\text{Kasutatud kogus päevas}}{\text{Kogus alusel} \times \text{Aluste arv sihtkohas}} \quad (3.1)$$

Tootmisvoos olevate detailide teisaldamise keskmine arv päevas töökeskuste vahel leiti 2019. aasta tehtud toodete arvu ja projektide koguste kaudu. Vastavad andmed võeti ettevõtte ERP süsteemi statistiliste andmete hulgast. Näiteks saades SMU ukselehtede arvu ning vaatluse käigus selgitatud spetsiaalse ratastega ukselehe transportimise riuli mahutavuse, siis saab välja arvutada, mitu korda pidi automaatliini operaator täidetud riuleid puhverlasse lükkama. Liikumiste arv on AS-IS kaardile märgitud marsruutide joonte juurde. Kaardile ei märgitud liikumiste arvu, mis ei ole antud töö puhul relevantne. Sellised märkimata liigutused olid näiteks tootmise vahetus läheduses asuvate abimaterjalide riulites käsitsi võetavad materjalid või detailide liikumised, millest toodetakse laokomponente.

Kõikide marsruutide, millele on märgitud liikumiste arv, distantsid mõõdetakse. Distsantsid mõõdeti asendiplaanil joonlauaga ning arvestades mõõtkava arvutatakse teekonna pikkus meetrites. Kaupu transportivate tõstukite ja inimeste (koos ja ilma ratastega riulitega) keskmised liikumis kiirused mõõdeti tehases vaatluse ajal stopperiga. Aega mõõdeti teada oleva teepikkuse läbimisel ning leiti keskmine liikumiskiirus. Liikumiste arvu marsruutide pikkuse järgi arvutati eri liikumisviiside kogupikkused päevas, et näha, kui palju läbitakse päevas materjalide liigutamiseks.

AS-IS kaardilt saadud tulemused koondatakse tabelisse ning hinnatakse visuaalselt kaardil olevaid marsruute ja nende kogust. TO-BE kaardi koostamiseks leitakse lahendusi marsruutide lühendamiseks, liikumiste arvude vähendamiseks läbi materjalide ladustamise kohtade, töökeskuste või mõne muu objekti asukoha muutmisega ning uute liikumisteede leidmisega. Pärast TO-BE kaardi koostamist koondatakse uued tulemused tabelisse ning võrreldakse AS-IS tulemustega.

3.3.2 Analüüsimismeetodid

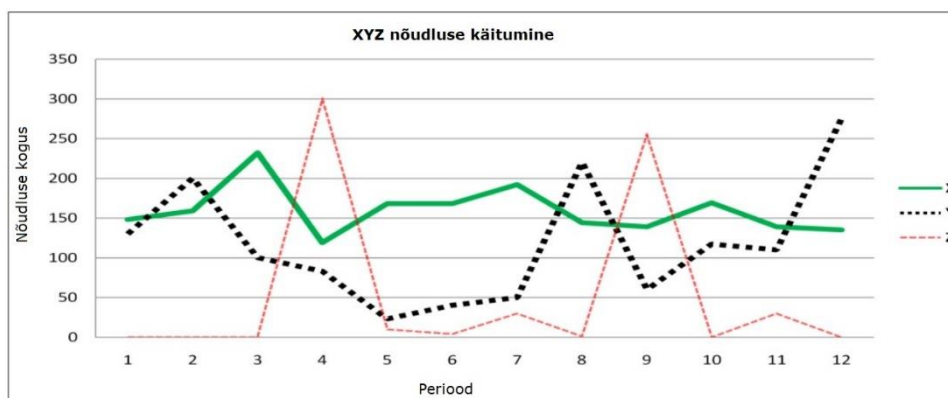
ABC ja XYZ analüüsimismeetodit kasutatakse käesolevas töös materjalide ja pooltoodete liikumiste ja nende asukohtade analüüsimiseks ning *TO-BE* kaardi koostamiseks. *ABC* ja *XYZ* analüüsid on kategooriajuhtimises kasutatavad analüüsimismeetodid reastamaks vaadeldavad üksused teatud prioriteetsuse järgi. *ABC* analüüsimismeetodi puhul võivad klassifitseeritavad olla kliendid, tarnijad, materjalid. Materjale võib jagada A, B ja C rühmadesse perioodi kasutuse väärtuse, kasutuskoguse, müügi summi vms järgi. Kirjeldatava meetodi puhul grupeeritakse üksused perioodi kumulatiivse näitaja järgi kolme rühma: A- rühma kumulatiivne näitaja on koguvalimist 80%, B- rühma 80-95% ja C- rühma näitajad jäävad 95-100% vahele. *ABC* kategoriseerimise eesmärk identifitseerida vaadeldava näitaja tähtsamad üksused ja aidata hoida tähtsamad nimetused fookuses [27]. Kirjeldatud analüüsi puhul ei arvestata sesoonsusega, ei sobi tihti vahetuva sortimendi analüüsiks ning usaldusväärsete tulemuste saamiseks peab arvesse võtma pikema perioodi, kui kolme kuu statistika [98]. *ABC* analüüsi näidis on toodud tabelis 3.5.

Tabel 3.5 *ABC* analüüs

Kaup	Kasutatud kogus tk	Osakaal %	Kumulatiivne osakaal %	ABC klassifikatsioon
Materjal 1	23 000	46	46	A
Materjal 2	9 000	18	65	A
Materjal 3	7 700	16	81	B
Materjal 4	6 200	13	93	B
Materjal 5	3 600	7	100	C

Allikas:[96], autori kohandatud

XYZ analüüsi kasutatakse kaupade nõudluse prognoosimise tööriistana ning aitab kaupu kategoriseerida kasutuse või müügi stabiilsuse järgi [99]. *XYZ* rühmadesse jagatakse kaubad kasutuse variatsioonikordaja alusel. Viimane näitab suhtelist hajuvust erinevate perioodide vahel. Mida väiksem on variatsioonikordaja, seda ühtlasem on kogum. X- rühma paigutatakse kaubaartiklid, mille puhul on kasutus läbi vaadeldava perioodi ühtlane, Y- rühma kaupu kasutatakse perioodiliselt suurtes kogustes ning Z rühmas on tooted, mille nõudlus kõigub suures ulatuses. Arvestama peab, et analüüsi kasutades tuleb vaadelda pikemaajalisi perioode ning ei võimalda saada usaldusväärseid andmeid uute kaupade kohta või kasutuse stabiilsus on mõjutatud sisseostude hilinemisest [98]. *XYZ* kategooria kaupade nõudluse käitumist iseloomustab joonis 3.5.



Joonis 3.5 XYZ kaupade nõudluse käitumine

Allikas: [100], autori kohandatud

Variatsioonikordaja on standardhälbe suhe aritmeetilisse keskmisesse protsentides. Variatsiooni kordajat arvutatakse valemiga 3.2 [98]:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}}{\bar{x}} \times 100\%, \quad (3.2)$$

kus

v – variatsiooni kordaja

σ – standardhälve

$\bar{x}$ – kaubaartikli keskmine perioodi nõudlus

n – perioodide arv

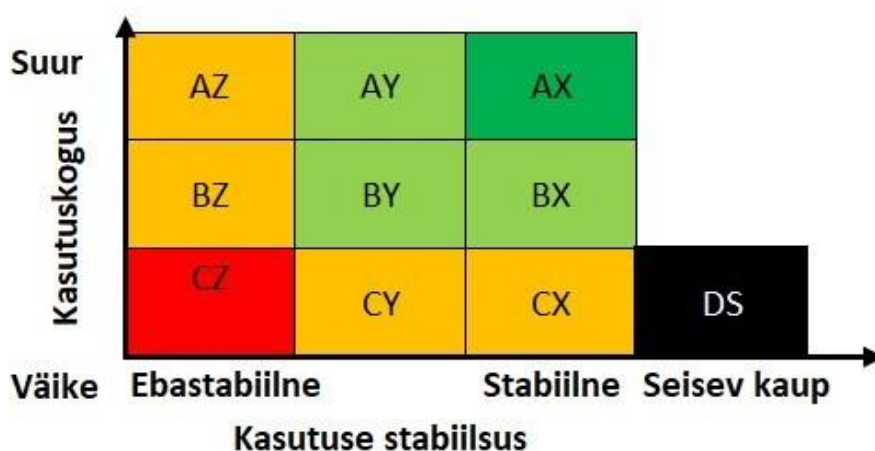
Teostades antud analüüsi tabelarvutusprogrammis *MS Excel*, siis võib kasutada standardhälbe valemi funktsiooni *STDEV.P*. Sellel juhul tuleb erinevates veergudes välja arvutada perioodide keskmised ja standardhälbe suhe perioodi keskmisesse protsentides. Üldjuhul jagatakse saadud tulemuste järgi kaubad rühmadesse variatsioonikordaja alusel järgnevalt: X rühm 0-10%, Y rühm 10-25% ning Z rühm $\geq 25\%$. XYZ analüüsi ja selle arvutuse näide *MS Exceli* abil on toodud tabelis 3.6.

Tabel 3.6 XYZ analüüsi näide

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Kaup	n 1	n 2	n 3	n 4	Keskmine	Standardhälve	Variatsioonikordaja	XYZ
2	Valem	1	2	3	4	=AVERAGE(B1:E1)	=STDEV.P(B1:E1)	=G1/F1	X,Y,Z
3	Kaup 1	1 940	2 328	2 155	2 511	2 234	211,09	9%	X
4	Kaup 2	1 505	2 700	1 465	2 166	1 959	510,41	26%	Y
5	Kaup 3	190	167	147	138	161	20,01	12%	X
6	Kaup 4	100	138	540	99	219	185,85	85%	Z

Allikas: autori koostatud

Materjalide liikumiste analüüsiks kasutatakse käesolevas magistritöös ABC ja XYZ kombineeritud meetodit. Kõigepealt on jagatud materjalid aastase kasutuskoguse järgi ABC rühmades ja seejärel XYZ kategooriatesse ning hiljem kokku kombineeritud. Kuna materjalide nomenklatuur on lai ning nende kasutatavus erineb palju, siis on toodud ABC analüüsi lisa kategooria D ning XYZ analüüsi S. D ja S rühmadesse kuuluvad kaubad, mida ei ole vaadeldavas perioodis kasutatud ehk tegemist on seisva materjaliga. Selle tulemusena saavad materjalid jagatud üheksasse kategooriasse: AX, AY...CZ ja DS. AX kategooria materjale kasutatakse koguseliselt palju ning stabiilselt. Seevastu CZ kategooria kaupu kasutatakse vähe ning vajadus on ebastabiilne. CX kategooria kaupu kasutatakse mõned üksikud korrad perioodi jooksul, kuid suur kogus korraga. ABC-XYZ kategooriate omadusi ilmestab joonisel 3.6 toodud maatriks.



Joonis 3.6 ABC-XYZ maatriks
Allikas: autori koostatud.

Sellisel kategooriatesse jagamist kasutatakse analüüsi osas TO-BE materjalivoogude kaardistamisel leidmaks ladustatavatele kaupadele parimad kohad. Näiteks AX, BX materjalidele tuleb valida ladustamiskohad, mis mahutavad suures koguses materjale ning nende kasutussageduse tõttu peavad olema kasutuskohtadele võimalikult lähedal ja lihtsasti ligipääsetavad.

Tootmise tõhusust arvutatakse eelarvestatud ja tegelike operatsioonide aegade kaudu. Efektiivsuse all mõistetakse Tammer OÜ-s eelarvestatud aja (müüdnud maht) ja valmistatud toodete tegeliku valmisise aja suhet. Tõhususe arvutamiseks imporditakse vajalikud statistilised andmed tabelarvutusprogrammi MS Excel ning kasutatakse valemit 3.3.

$$Tõhusus \% = \frac{\text{Müüdnud aeg} - \text{tegelik aeg}}{\text{müüdnud aeg}} * 100 \quad (3.3)$$

Kui arvutuse tulemus on negatiivne number, siis on töökeskus töötanud negatiivse tõhususega ehk tegelikult tootmiseks on kulunud rohkem aega, kui oli ette nähtud.

Tõhususnäitaja null protsenti näitab, et töö teostati ettenähtud ajaga. Seega positiivse numbri puhul on töö teostatud kiiremini, kui eelarvestades ette oli nähtud.

Tõhususnäitajad arvutatakse välja iga töökeskuste kohta 2019. aastal ning saadud tulemuste abil fookuseeritakse vaatluste läbiviimisel probleemsematele kohtadele ehk töökeskustele, mille tõhususnäitajad on madalaimad. Hiljem kõrvutatakse töökeskuste tõhususe näitajaid intervjuudes väljatooduga ning vaatluse tulemustega. Kuna eelarvestamiseks antud operatsioonide ajad on mõõtmiste keskmised ning Start-Stopp süsteemi sissekanded teeb töötaja arvutis käsitsi, siis suhtub autor mainitud andmetesse teatud reserveeringuga.

Intervjuude analüüs algab enamasti andmestiku transkribeerimisega. Intervjuude analüüs tähendab nähtuste oluliste tunnusjoonte välja toomist, sarnaste kogemuste või tähenduste otsimist ja erinevuste kirjeldamist. Tõlgendamiste abil püütakse tuua uuritavast nähtusest esile midagi, mis suurendaks arusaamist kõnealusest teemast. [88]

Tekstidega töötamisel võib eristada kaht põhistrateegiat. Üks võimalus on tekstist teatud väited esile tõsta ja näidata nende konteksti. Neile lisatakse tõlgendav lõik, aga vahel ka terve lehekülje pikkune tõlgendus. Selliste analüüsivormide hulka kuuluvad nt vestlus- ja diskursusanalüüs ning osa narratiivseid analüüse.

Teine tekstianalüüsi suund taotleb tekstimaterjali vähendamist parafraseerimise, summeerimise ja kategooriate moodustamisega. Seda suunda esindavad teoreetiline kodeerimine ja kvalitatiivne sisuanalüüs. Kvalitatiivse sisuanalüüsi puhul moodustatakse kategooriaid, kus sarnase tähendusega tekstiosad koondatakse vastavate kategooriate alla. Tekstiandmete sisu tõlgendatakse süstemaatilise liigendamise- ja kodeerimisprotsessi ning teemade või mustrite kindlakstegemise abil. [26, 84].

Intervjuude ja ka vaatluse tulemuste analüüsimiseks kasutati käesoleva uurimistöö puhul kvalitatiivse sisuanalüüsi meetodit. Tekstidest leiti erinevaid probleeme ja raiskamisi väljendavad osad ning koondati tabelisse osakondade järjestuses (vt lisa 3). Tabelisse märgiti ära iga probleemi juurde nende esinemiste hinnanguline sagedus. Saadud tulemustest näeb ülevahtlikult enam esinenud raiskamised ja neid põhjustavad probleemid.

Olles kasutusele võtnud ja läbinud metoodikas kirjeldatud uurimis- ja analüüsi meetodid lahendab autor käesoleva magistritöös välja toodud probleemi ning jõuab püstitatud eesmärgini.

4 ANALÜÜS JA SÜNTEES

4.1 Töökeskuste tõhusus

Enne vaatluste läbiviimist analüüsis autor Tammer OÜ tootmise iga töökeskuse müüdnud ehk eelarvestatud aega ning tegeliku operatsiooni läbiviimiseks kulunud aega, selgitamaks välja töökeskuste tõhusused. Vastavad andmed saadi *ERP* andmebaasist. Arvutamiseks kasutati valemit 3.3.

$$\text{Tõhusus \%} = \frac{\text{Müüdnud aeg} - \text{tegelik aeg}}{\text{müüdnud aeg}} * 100 \quad (3.3)$$

Vaadeldi kolme tooterühma, mille tootmisprotsessid algasid kahest erinevast osakonnast, mis said kokku värvimise osakonnas. Leidmaks erisusi tõhususnäitajates rohkemate mõjutajate osas, eristati töökeskuses tooterühmad. See tähendab, et iga töökeskuse tõhususnäitajad on antud iga tooterühma kohta eraldi. Kõigi kolme tooterühma puhul olid ühised töökeskused värvimine, komplekteerimine ja pakkimine. Kokkuvõtlikult on tulemused välja toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1 2019. aasta tõhusus tooterühmade ja töökeskuste lõikes kokku

Tooterühm_Töökeskus	Müüdnud aeg h	Tegelik aeg h	Tõhusus %
LENG_Keevitus	4 613	3 864	16
LENG_Komplekteerimine	2 241	2 589	-16
LENG_Painutus	1 660	2 391	-44
LENG_Pakkimine	1 968	3 007	-53
LENG_Pinnatöötlemine	2 124	3 292	-55
LENG_Automaatliin	966	715	26
PROF_Frees	10 709	9 174	14
PROF_Keevitus	10 764	12 152	-13
PROF_Komplekteerimine	16 108	13 264	18
PROF_Lihvimine	6 304	6 079	4
PROF_Liistud	4 965	5 449	-10
PROF_Pakkimine	1 875	2 840	-52
PROF_Saagimine	3 216	3 025	6
PROF_Pinnatöötlemine	8 872	14 877	-68
SMU_Automaatliin	8 948	4 983	44
SMU_Keevitus	12 342	10 010	19
SMU_Komplekteerimine	23 396	26 740	-14
SMU_Liimimine	10 560	9 696	8
SMU_Pakkimine	7 024	10 725	-53
SMU_Pinnatöötlemine	17 682	29 411	-66
Kokku	156 337	174 284	-11

Allikas: Autori koostatud

Vastavalt leitud tulemustele selgus, et kõige madalama tõhususega töötasid pinnatöötluste (kokku -66%) ja pakkimise (kokku -53%) töökeskused (kõigi tooterühmade puhul), mis tähendab, et nendes osakondades kulus tegeliku töö

tegemiseks üle kahe korra rohkem aega, kui ette nähtud. Negatiivne tulemus oli mõlema töökeskuse puhul kõigi tooterühmade puhul ühtlane. Kuigi komplekteerimise osakond töötas üle tooterühmade ebatõhusalt, siis profiiltoodete puhul oli näitaja 26%. Lengi ja SMU osas oli komplekteerimise tõhusus negatiivne. Ühe konkreetse tooterühma madalaima tõhususega töökeskus oli lengi painutus. Olgu siinkohal ära mainitud, et tegemist on manuaalse painutuspingiga.

Positiivse tõhususega ehk protsessid olid summaarselt teostatud väiksema ajakuluga, kui normeeritud tööaeg ette nägi, töötas 2019. aastal automaatliin (tõhusus kokku 43%). Automaatliin teostab nii SMU kui ka LENGi tooterühma operatsioone. tõhusalt töötavad ka silemetalli osakonna keevituse töökeskused.

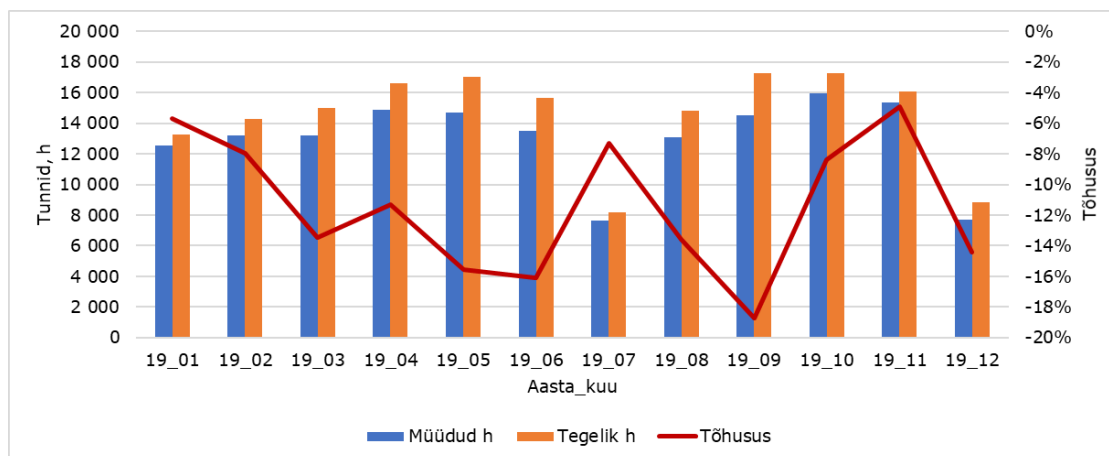
Tabelis 4.2 on võetud kokku tõhususe näitajad osakondade lõikes, et näha kogu osakonna tõhusust. Kuna pakkimine, komplekteerimine ja pinnatöötlemine on nii töökeskus kui osakond, siis mainitud tabel annab võrdleva ülevaate osakondade tõhususest.

Tabel 4.2 Osakondade tõhusus 2019. aastal

Osakond	Müüdud aeg h	Tegelik aeg h	Tõhusus %
Automaatliin	9 914	5 698	43
Profiili osakond	35 958	35 880	0
Silemetalli osakond	29 175	25 961	11
Pinnatöötlemise osakond	28 679	47 580	-66
Komplekteerimise osakond	41 745	42 593	-2
Pakkimise osakond	10 866	16 573	-53
Kokku	156 337	174 284	-11

Allikas: Autori koostatud

Paigutatuna andmed graafikusse kuude lõikes, on näha, et kõik töökeskused kokku töötasid negatiivse tõhususega läbi aasta (joonis 4.1).



Joonis 4.1 Tõhusus võrdluses müüdud ja tegelike tundide hulga

Allikas: Autori koostatud

Graafikust ei joonistu välja konkreetset korrapärasust tõhususe ja töömahu suhtes. Juulis on näha väiksema mahu juures tõhususe tõusu, kuid tootmise kollektiivpuhkuse tõttu toimus töö selles kuus kahel nädalal.

4.2 AS-IS kaardistamine

Koostatud AS-IS kaardil, mis on toodud lisas 4, on näha olulisemate sisseostetavate materjalide ladustamise kohad, pooltoodete ja detailide puhveralad ja töökeskused. Käsitsi tõmmatud jooned nende vahel on kaupade liikumise teekonnad sisseostetavate materjalide ladustamiskohtadest töökeskustesse, tootmisprotsessis olevate kaupade liikumised puhveraladesse või töökeskustesse. Kaupade liikumise marsruutidele on juurde märgitud konkreetsete liikumiste arv tööpäevas. Kaardistamisel ei ole vaadeldud lehtmetsa liikumist ladustamiskohast automaatliini, kuna materjal oli ladustatud masinaga integreeritud automaatlattu ning masin võttis teraslehed laost ise.

Tõstukite ja inimeste keskmised liikumiskiirused arvutati välja kokku hoitava aja arvutamiseks, mis saadi TO-BE kaardi loomisel. Vaatluste käigus mõõdeti erinevate transportimise viiside teadaoleva teepikkuse läbimise aeg ning arvutati välja keskmised kiirused. Liikumiskiiruste arvutamisel arvestati sisse ka tõstukite tõste ajad. Tulemuseks saadi kuus kilomeetrit tunnis tõstuki keskmiseks kiiruseks ja 3,2 kilomeetrit tunnis inimese liikumise kiirus koos liigutatava riuliga ja ilma.

Liikumiste arv erinevatel marsruutidel leiti töödeldes Tammer OÜ ERP statistilisi andmeid toodete arvu, projektide arvu, töökeskustest läbi liikunud projektide ja toodete arvu kaudu 2019. aastal. Aasta koguste järgi päeva keskmiste leidmiseks on aastane kogus jagatud 2019. aastal olnud tööpäevade arvuga ehk 253-ga. Käesolevas uurimistöös vaadeldud kolme tooterühma vastavad andmed on toodud tabelis 4.3. Kuna laevauste komplekteerimine asub füüsiliselt teises asukohas, siis on nende kogused eraldi välja toodud.

Tabel 4.3 Statistilised andmed AS-IS kaardistamiseks

Tooted	Toodete arv tk	Keskmine toodete arv päevas tk	Projektide arv tk	Keskmine projektide arv päevas tk	Keskmiselt tooteid projektis tk
SMU ehitus	16 111	63	2397	9,4	6,7
PROF ehitus	4 486	18	492	1,9	9,1
SMU laev	2 086	8	177	0,7	11,8
PROF laev	114	0,4	34	0,2	3,4
LENG	4 615	18	595	2,3	7,8
Kokku	27 412	107,9	3 695	15	7,4

Allikas: Autori koostatud

Erinevate materjalide teisaldamise arvu leidmiseks ladustamise kohtadest töökeskustesse, on statistilised ja vaatlusel kogutud andmed koondatud tabelitesse 4.4, 4.5, 4.6 ja 4.7. Klaaside ja suluste igapäevase kasutus leiti projektides esinenud juhtude kaudu. Ühe projekti klaasid on tarnitud üldjuhul ühel alusel, seega klaaside aluste arv võrdub projektide arvuga. Samamoodi on sulused komplekteeritud ühele pakkeüksusele. Vastavad näitajad on toodud tabelis 4.4.

Tabel 4.4 Projektides kasutuse kaudu materjalide ettetoomiste arvu leidmine

Materjali nimetus	Pakkeüksuseid projekti kohta keskmiselt tk	Materjaliga projektide kogus 2019.a tk	Materjaliga projektide arv päevas tk	Ettetoomisi päevas tk
Klaasid	1	762	3	3
Sulused	1	3768	15	15

Allikas: Autori koostatud

Erinevate värvide laost võtmiste kordade arv leiti läbi keskmiselt kasutatud erinevate toonide arvu järgi päevas. Pulbervärviga värvitakse 83% toodetest ning erinevate toonide vajadus kogu päevas näitab ära, kui palju töötaja peab laost värve toomas käima. Värvide päevaste vajaduste ülevaade on tabeli 4.5.

Tabel 4.5 Värvide päevase käsitlemisvajaduste ülevaade

Värv	Projekte 2019.a tk	Projekte päevas tk	Värvitoone päevas tk
Pulbervärv	2182	9	13
Vedelvärv	361	1,4	4

Allikas: Autori koostatud

Profiilid olid riiulitesse paigutatud profiilitüüpide kaupa. Ühes riiulis oli isoleerimata ehk külmad profiilid, teistes riiulites ilma kindla loogikata vaheldumisi soojusisolatsiooniga (soe) ja tuletõkkeisolatsiooniga (tuli) profiilid. Kasutatud koguste kaudu leiti vajalike lattide arv päevas tüübi lõikes ning tulemused jagati võrdselt nii mitme riiuli arvuga, kui mitmel riiulil materjal asus. Klaasiliistud asusid kõik ühel riiulil ning nende koguste leidmine käis lihtsa arvutuse kaudu. Profiilide ja klaasiliistude päevased kasutatud kogused on näidatud tabelis 4.6.

Tabel 4.6 Profiilide ja klaasiliistude kasutatud kogused

Profiilid	Kasutatud 2019.a m	Kasutatud 2019.a tk (1tk = 6,6m)	Keskmiselt päevas tk
Külm	18 534	2 808	11
Soe	20 976	3 178	13
Tuli	41 147	6 234	25
Profiilid kokku	80 656	12 221	48
Klaasiliist	47 916	7 260	29

Allikas: Autori koostatud

Ülejäänud materjalid, millel oli teada kaupade pakkeüksustes olevad kogused ja korraga sihtkohta ettekandmise kogused arvutati valemi 3.1 abil. Tabelis 4.7 on välja toodud arvutuste tulemused.

Tabel 4.7 Materjalide ettetoomiste arvu leidmine

Materjali nimetus	Kogus pakkeüksusel m²	Kasutatud 2019.a m²	Päeva keskmise kasutus m²	Aluseid päevas tk	Aluseid sihtkohas tk	Ettetoomisi päevas tk
Vill 1 uks	80	23 000	91	1,1	3	3
Vill 2 uks	30	9000	36	1,2		
Vill 3 uks	50	8000	32	0,6		
Vill 4 leng	104	10 000	40	0,4	1	0,4
Saematerjal	3	800	3	1,0	1	1,1
Alused	1	1 100	4	4,0	1	4

Allikas: Autori koostatud

Vastavalt leitud marsruutide arvule ja iga marsruudi pikkusele arvutati välja päevas läbitud distantsid iga liikumisviisi kohta. Materjalivoog liigub üldiselt ühes suunas ja transportimisel liigutakse vastassuund tühjalt. Seetõttu korrutatakse kõik distantsid kahega ning distantsid arvestatakse vastava kauba liikumise juurde. Erandiks on tõstuki marsruudid, kus osa sõite tehakse materjalidega vastassuunas ning nendega arvestatakse. Lisas 5 olevas tabelis on välja toodud kaupade liikumised lähtekohtadest sihtkohtadesse, liikumisviisid iga marsruudi kohta, liikumiste arv päevas, iga marsruudi distants ning läbitud distantsid päevas kokku. Lisaks on lisas 5 olevas tabelis eraldi veerus välja toodud topelt liikumised. Tabelis 4.8 on toodud tulemused kokkuvõtvalt.

Tabel 4.8 Tootmisprotsessis liikuvate kaupade teisaldamiste arv ja distantsid 2019.a põhjal

Liikumisviis	Materjali liikumiste arv päevas tk	Pooltoodete liikumiste arv päevas tk	Liikumiste arv kokku tk	Materjali distants päevas m	Pooltoote distants päevas m	Kokku distants päevas m
Käsitsi	64	94	158	997	1 776	2 773
Ratastega riul	0	844	844	0	23 786	23 786
Tõstuk	59	78	193	2 164	5 953	8 117
Kokku	115	1016	1195	3161	31 515	34 676

Allikas: Autori koostatud

Tulemustest nähtub, et kõige pikem distants summaarselt läbiti inimjõul liigutatavate transpordivahenditega. Samuti oli liigutuste arv suurem, kui teiste transportimise viiside korral. Enamus liikumiste arvust tehti värvimise puhveralast komplekteerimisse, kuna tooteid transporditi ükshaaval. Keskmiselt kõige pikemad ühekordsed marsruudid läbiti tõstukiga (42,1m), seejärel ratastega riulitega (28,2m) ning kõige väiksemad vahemaad teisaldati kaupu käsitsi (17,6m).

Kaardil joonistuvad välja alad, kus erinevad liikumiste trajektoorid kokku saavad ning ala on värvitud kollasega ja juurde märgitud number, mitu korda sellest punktis päeva jooksul läbi sõidetakse. Kõigis punktides on tõstetavad uksed ning neist sõidetakse läbi tõstukiga. Ümber arvutatuna läbitakse neid punkte iga 8 kuni 15 minuti tagant.

4.3 Intervjuude kokkuvõte ja tulemused

4.3.1 Struktureerimata intervjuud

Vestlusel planeerijaga selgus, kuidas käis normeermiseks võetud aegade mõõtmise protsess. Ühe töökeskuse operatsioonide aegu mõõdeti erinevat tüüpi tööde puhul eraldi (näiteks isolatsiooniga profiili keevitamine ja ilma isolatsioonita profiili keevitamine) ja korrates seda teatud aegade tagant ning leiti operatsioonide keskmised tööajad. Töökeskustes protsesside mõõtmisel on arvestatud ajaga, kui tööpingi operaator või töötaja oli tööülesande kätte saanud ning läk materjali või pooltoodet tööpingile ette tooma. Kui kaugelt või kes materjali ette tõi, oli töökeskuste lõikes erinev. Üldiselt hoolitsevad meistrid selle eest, et vajalik materjal oleks õigel ajal olemas. Materjali ette toomise aeg on normeeritud aja sisse arvestatud ning seda nimetatakse tühjaks ajaks. Tühi aeg on erinevates töökeskustes erineva pikkusega ja sõltub töökorraldusest selles. Profiili osakonnas liiguvad tooted ühekaupa komplekteerituna ratastega riulitel ning need lükatakse meistri poolt keevitajate tööpaikade lähedale. Pinnatöötlemise osakonnas on eraldi töötaja ehk liini korraldaja, kelle ülesanne komplekteerida

värvitavad detailid ja leida laost vajalik värvitoon ning need maalrile õiges järjekorras ette tuua. Seega värvimise operatsiooni aja sisse ei kuulu materjali ette toomine ega otsimine. Siiski on värvimise töökeskuse võimsuse hulka arvestatud liinikorraldaja ressurss, mis kajastub eelarvestatava aja normeerimisel.

Planeerija tähelepanekute kohaselt kulus protsesside vahel liigselt aega pooltoodete ootamisele eelnevast töökeskusest. Töötajad jalutasid tehases teiste töökeskuste juurde, et selgitada, kas pooltoode on valmis või millal on oodata, et saaks alustada oma operatsiooniga. Lisa ajakulu on põhjustatud mitmel masinaga osalusega töökeskustes materjali vahetus. Kuna Tammer OÜ toodab masstootmisvahenditega projekti ja partii tooteid, siis tuleb materjalide vahetust tööpinkides küllaltki sagedalt ette, vaatamata sellele, et järjestikku paigutatakse võimalikult palju samast materjalist tehtavaid töid.

Tootmisjuht tõi peamiste probleemidena materjalivoogudes välja ettevõtte ladustamise organiseerimise, tootmisele ettekomplekteeritavate materjalide kompleksuses ning õigel ajal õigete materjalide olemasolu. Ettevõttel puudub ühene ladude haldamise ja korraldamise süsteem. Lao asukohad on enamasti märgistamata ning kaubad riulites tähistamata, mis põhjustab ajakulu õigete materjalide otsimisele. Korrastamist ja organiseerimist vajab materjalivoo kaasas käiv informatsiooni voog. Näiteks, kui tootmises töökeskuse protsess ootab sisseostetavat materjali, siis pole süsteemi kuidas informatsioon materjali saabumisest jõuab koheselt õige töötajani, et materjal ette viidaks. Tihti esineb olukordi, kus töö valmistatakse ette ja alustatakse teostamist ning seejärel selgub, et puudu on mõni komponent või pooltoode. Sellisel juhul võetakse töö töökeskusest maha, pannakse kõrvale ootama ning võetakse ette järgmine töö. See on märkimisväärne ajakulu. Tootmisjuhi sõnul on parenduskohti komponentide ettevalmistamisel komplekteerimise töökeskusele. Laos projektidele ette komplekteeritud kastides ei leidu alati kõike, mis vaja ning töötajad peavad laos käima ja puuduvaid kaupu küsima.

Intervjuudest planeerijaga ja tootmisjuhiga märgiti ära tootmises tõrgete põhjustena kaupade õigeaegne olemasolu tootmisprotsessi alguses. Mainitud tõrkeid põhjustasid nii sisseostetava materjalide ja komponentide kui ka tootmisprotsessis liikuvate pooleli olevate kaupade puudumine. Tootmisjuht tõi teravalt välja puudujäägi laojuhtimises ning informatsiooni liikumises.

4.3.2 Poolstruktureeritud intervjuud

Profiili osakonnas saetakse profiilid nädala projektide jaoks ette, et vältida seisakuid keevitamises. Tõrkeid põhjustavad materjali mittevastav kvaliteet, vead tööjoonistes

või mõne saagija haigestumine. Kogu osakonna sujuva töö peamiseks takistuseks on praak materjal, mida on vaja tihti parandada või selle asemele uus hankida.

Töös materjali puudus otseseid seisakuid kaasa ei too, kuna sellisel juhul helistatakse planeerijale ja tööd planeeritakse ringi. Ümberplaneerimine toob aga kaasa segadust, mis aeglustab töövoogu. Vajalik on uued tööjoonised ja juhendid süsteemist välja võtta ning asendada töökeskuses. Samuti on vaja uuesti liigutada valmis pandud materjalidega liikuvaid riiuleid.

Automaatliini osakonnas ei esine puuduva materjali tõttu palju tõrkeid. Kui juhtub, et materjali on puudu, siis alustatakse teiste detailide valmistamisega. Peamisi ajakadusi põhjustavad materjali defektid, mis tulevad välja alles siis, kui detail on masinast töödelduna välja tulnud. Sellisel juhul tuleb detail uuesti valmistada.

Silemetalli osakonna töökeskustes käib tootmine peamiselt detailipõhiselt, et vähendada aega, mis kulub masinate ümberseadistustele. Maksimeerimaks teraslehe kasutust, paigutatakse programmis lõikamiseks lehele võimalikult palju erinevaid detaile erinevate projektide tarbeks. Seega ei tule detailid automaatliinist projektide kaupa ning väiksemad detailid kukuvad ühte kasti, kus hiljem kulub aega vajalike tükide käsitsi otsimisele. Kuna detailid ei tule masinast toodete ega ka projektide kaupa, siis palju aega kulub detailide sorteerimisele ja otsimisele. Automaatliinis valminud painutust vajavate lengide detailid on erinevate suurustega ning masina tehnoloogilisest eripärast tingituna ei paiguta masin suuremaid detaile väiksemate peale vaid eraldi alusele. Seda ei panda tähele ja peab otsima puuduvaid detaile. Eelnev asjaolu põhjustab olukorra, kus on keeruline kontrollida ja aru saada, kas kõik tööle vajalikud detailid on töökeskuses valminud ja edasi liikunud. Kui tuvastatakse detaili puudumine, siis tekib küsimus, kas see on kadunud või tootmata. Manuaalpainutuspinkide tehniliste iseärasuste tõttu ei saa kõiki ühe projekti detaile ühe seadmega teha ning nende hilisem kokku viimine võtab aega.

Pinnatöötlemise osakonnas otsib liinikorraldaja puhveralast välja õiged tooted, viivad ette värvimisliinile, otsivad välja õiged värvitoonid ja täidavad värvimissüsteemid värviga. Kõige suurema probleemina on välja toodud silemetalli detailide puhveralast otsimine kompleksuse kokku panemine. Näiteks kulub aeg otsimisele ja sorteerimisele, kui pinnatöötlusesse saabub sama värvtooni vajavad mitme erineva projekti detailid. Teisalt ühe ukse lengid, ukselehed, ukse sees oleva aknaraamid (SMU puhul) ja paigalduse liistud ei saabu pinnatöötlemisse üheaegselt ning puudub ülevaade nende saabumise ja olemasolu kohta. Seda suurem on probleem, mida suurem on üks projekt. See toob kaasa asjaolu, kus värvitakse esimesena pinnatöötlusesse saabunud detailid ning hiljem saabunud detailid eraldi. Sellisel juhul on aja ja värvi kadu süsteemis värvide

vahetamisel. Hilinevate värvide ja tootmisplaanis ettenähtud detailide puudumise tõttu värvimine seisma ei jää vaid võetakse liinile järgmine projekt. Projektid jäävad seisma tihti defektide tõttu, mis ilmnevad pärast värvi peale kandmist. Defektid eemaldatakse ning toimub detailide uuesti üle värvimine.

Komplekteerimise osakonna töötajad käivad puhveralast ise komplekteeritavaid uksi ja lenge enda töölauale ette toomas. Puhveralas olevad ukсед ei ole ühegi loogika järgi paigutatud ning aeg kulub otsimisele iga töö ette toomisega. Komplekteerimise osakonna vahetus läheduses asub riul, kus on laotöötaja poolt projektide kaupa ette valmistatud kastidega komponendid, mida osakonna töötajad käivad samuti ise töölauale toomas. Peamiseks sujuva töö taksituseks on välja toodud puudused komplekteeritud suluste kompleksuses. Valmis on pandud maksimaalselt järgneva nädala tööd, mis piirab ettevõetavate tööde valiku võimalust. See tähendab, kui mõnda plaani järgset tööd ei saa pooltoote või detaili puudumisel alustada, siis saaks valida järgmise töö ning töökeskuses ei oleks seisakuid ning töö käiks pidevalt. Seisakuid töös esineb mitu korda nädalas peamiselt puuduvate suluste tõttu. Viimase põhjusteks on sisseostetavate kaupade hilinemised ning kontroll ja info puudumine kliendi enda poolt saadetavate suluste saabumise kohta. Eelnevast töökeskusest ehk värvimisest hilinevad detailid, kui tootmises on palju tööd. Sellisel juhul on värvimine pudelikaelaks ja komplekteerimises oodatakse, et saaks tööd alustada. Ajakulu põhjustab olulisel määral, kui ühe projekti raames on palju tootmises valminud detaile ja pooltooteid, mis omavahel tuleb kokku viia. Viimased märgistatakse tootmise käigus projekti numbritega, kuid detailid ei ole toodete põhiselt tuvastatavad.

Pakkimise osakonnas on pakkematerjalid kõik ladustatud pakkimise läheduses ning materjalide puudumise või hilinemise tõttu probleeme ei esine. Sujuv töövoog on häiritud peamiselt õige pakkimise viisi info puudumisest või vales infost, mis peab tulema projektijuhilt. Seisakuid tuleb ette harva, kui neid esineb siis neid põhjustavad pakitavate toodete puudumine ehk tootmine ei ole sama sagedusega tooteid valmis saanud, kui pakkimine on jõudnud pakkida. Aja kadusid põhjustavad pakitavate toodete otsimine puhveralast.

Intervjuudest osakonna meistritega toodi peamise probleemina välja vajaliku materjali võid detailide puudumine. Enamasti ei olnud õigeaegselt saadaval eelnevast protsessist tulevad kaubad. Teine enam esinenud takistus sujuvaks tootmiseks oli puhveraladest vajalike detailide ja pooltoodete otsimine. Peamisteks põhjusteks oli kaupade märgistuse ja jälgitavuse puudumine ning ühte projekti või toote kooslusesse kuuluvate detailide liikumine tootmisvoos erinevatel aegadel. Lisas 6 on välja toodud osakonna meistrite tähelepanekud kokkuvõtvalt.

4.4 Vaatluste kokkuvõte ja tulemused

Tootmises vaatlusi läbi viies võeti arvesse alapeatükis 4.1 leitud töökeskuste tõhususe tulemused. Kõrgendatud tähelepanu pöörati töökeskustele, mille tulemused olid nõrgad. Püüti leida tegevusi, tegevusetusi, töökorralduslikke elemente ja muid tähelepanekuid, mis võisid põhjustada eelarvestatud aja ja tegeliku tööaja suurt lahknevust. Siiski oli peamise tähelepanu all materjalide liikumine ja õigeaegne olemasolu. Vaatlemiste käigus ei jäetud tähelepanuta töökeskused, mis töötasid tõhusalt ehk mille vastav protsent oli üle nulli. Materjalivoost põhjustatud seisakuid või liigset ajakulu esines nendeski. Vaatlemise käigus märkas autor intervjuudes juba välja toodud probleeme, mida all dubleerivalt kirja ei panda.

Profiili osakonnas saagimise töökeskustes tõstetakse saetud detailid toodete kaupa ratastega riulitele ning lükatakse puhveralasse. Vaatluse käigus pani autor tähele, et puhveralas oli palju kärusid ning nende sinna mahutamise käigus ja plaanis ettenähtud detailikomplektide leidmiseks oli vaja riulitega tihti manööverdada. Lisaks sellisele raiskavale tegevusele oli risk vigastada nii töötajaid kui materjali.

Plaanis ettenähtud projekti mõne profiili puudumise tõttu töö saagimises seisma ei jäänud vaid võeti ette järgmine töö. Sellisel juhul tuli tööd ümber planeerida, mis on aga lisa tegevus tootmise planeerijale. Profiili puudumise peamiseks põhjusteks oli vale laoseis ja tellitud, kuid veel saabumata kaup. Vale laoseis oli peamiselt profiilidel, mille laojääk oli madal, ehk alla ühe lati.

Silemetalli osakonnas täheldas autor sarnast probleemi riulite manööverdamisega nagu seda esines profiili osakonnas. Puhveralasid oli mitu, mis mahutasid palju ukselehe pooltega riuleid enne liimimise protsessi ning ukselehti peale liimimise protsessi. Uksedetailidele on tööpingis graveeritud tööde numbrid, neid eemalt ei näe ja et vajalikke detaile leida, peab töötaja puhveralas riulite vahel ringi käima ja iga detaili pealt numbrit vaatama.

Liimimise töökeskuse üheks osaks on liimimiseks ettevalmistamine, kus kaks töötajat tõstavad ukselehe pooled rullteele ning katavad avad kleeplindiga. Vaatlemise käigus täheldas, et töötajad pidid tihti ootama, kuni said ettevalmistatud uksepoole liimiroboti ette viiva lintkonveierile lükata. Ootamine tulenes, kuna isolatsioonivilla ukse sisse ladujad ei jõudnud piisava kiirusega oma toimingid valmis ning seetõttu seisis nii ettevalmistajate töö kui ka liimirobot.

Värvimise osakonna puhveralasse tuuakse LENGi, silemetalli ja profiili osakonnast kõik tooted kokku transporditöölise poolt. Uksed, lengid ja detailid asetatakse sinna

juhuslikus järjekorras. See tähendab, et ka värvimise liinikorraldaja veedab palju aega detailidele märgitud numbrite järgi värvitavaid kaupu otsides.

Värvimise osakonnas kasutatakse keskmiselt 13 erinevat värvitooni pulbervärvi puhul ja 4 erinevat tooni vedelvärvi puhul päevas. Pulfervärvi hoitakse kuni 20 kilostes kastides riiulis ja osaliselt riuli ees maas ning need on märgistatud vaid markeriga. Lisaks on kastide peale kirjutatud jäägi kogus pärast iga kasutamist ning eelmine kogus on maha tõmmatud. Selle tulemusena on värvikastid kirjud ja värvitooni tähis raskesti tuvastatav. Liinikorraldaja, kelle ülesanne on värvimise süsteem õige värvitooniga täita, peab keskmiselt 13 korda päevas riulist ja maast värvi otsima, mille summaarne ajakulu on märkimisväärne.

Komplekteerimise tarbeks toovad töötajad omale värvimise juures olevast värvitud toodete puhverlaost tooted töölauale vastavalt etteantud nädala plaanile. Mainitud puhveralasse asetatud tooted on suvalises järjekorras. Alati kulub aega õige toote otsimisele.

Komplekteerimiseks võetakse tooted töölaudadele projektide lõikes. Ühes projektis võib korraga olla nii SMU kui PROF tooteid. Selliseid projekte on nädalas kolm. Komplekteerimise ala on jaotatud selliselt, et ruumi ühel pool on SMU komplekteerimiseks ettenähtud töökohad ja ruumi teisel pool PROF toodete komplekteerimise töökohad. Laotöötaja komplekteerib ühe projekti tooted peamiselt ühte kasti. Sõltuvalt projekti suurusest ja komplekteeritavate komponentide hulgast valitakse kasti suurus. Olukorras, kus töökeskuses on ette võetud projekt, mis sisaldab mõlema tooterühma tooteid, asub komponentide kast ühes või teises osas ruumis, seega keegi peab alati käima toomas omale vajalikke osi. Sama toimub ka siis, kui on laual mitme tootega projekt ühe tooterühma toodetega.

Kõik vajalike komponentidega kastid asuvad osakonna vahetusläheduses riiulites, kuhu laotöötaja on need asetanud. Kastid on märgistatud käsitsi kirjutatud projekti numbritega. Riiulis on igapäevastelt keskmiselt ühe nädala projektide kastid, mis teeb kokku 56 kasti. Autor pani tähele, et õige numbriga kasti leidmiseks kulus töötajal arvestatav aeg.

Uksele paigaldatava tihendi rulle ei ole alati tootmises piisavalt, et igas tööpaigas oleks oma rull saadaval. Seetõttu märkas autor vaatlemise käigus, kus üks töötaja ootas teise järel, kuni tihendi rull vabanes ning sai oma tööga jätkata. Sarnast ootamist oli olukorras, kus töötaja pidi raskema ukse liigutamiseks kasutama kaastöötaja abi. Kõigepealt esimene töötaja ootas, kuni teine lõpetas pooleli oleva tegevuse, et minna appi ust tõstma. Raisatud aeg oli kahe töötaja jaoks.

Komplekteerimise töötajad käivad sageli suluste laos küsimas kinnitusvahendeid, tehes mitmeid seisakuid oma töös ja mittevajalikke liikumisi tööpaiga ja lao vahe. Kinnitusvahendid ja muud abimaterjalid ei ole eelnevalt komplekteeritud kuna laotöötajal puudub vastav loetelu igas vajalikust kaubast. See puudub ka tootekooslusest ja joonisest.

Pakkimise osakonnas oli peamiseks raiskamiseks samuti mitmes osakonnas esinenud puhveralast otsitavate toodete ringi tõstmine ja liigutamine, et õiged kaubad kätte saada. Tulenevalt ruumi vähesusest, kulus liialt liigutusi ka valmis pakendite manööverdamiseks, et neid ohutult ja pakendit rikkumata pakkimise alalt valmistoodete lattu transpordi ootele viia. Sarnaselt komplekteerimise osakonnas märgatule, oodati ka pakkimises kolleegi, kelle abiga pakitavat toodet tõsta. Lisaks tõstmisele oli pakendite ehitamiseks vajalik teise töötaja abi. Vaatluste tulemused on kokku võetud tabelis 4.9.

Tabel 4.9 Vaatluste kokkuvõte ja tulemused

Esinenud probleem	Hinnanguline esinemise sagedus	Tagajärg, raiskav tegevus	Osakond, meetod
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Profiil
Vale laojääk, materjali puudumine	1x nädalas	Liigsed liigutused	Profiil
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Silemetall
Järgnev töökeskus aeglasem	Igapäevane	Ootamine	Silemetall
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Värvimine
Materjali raskelt tuvastatav	Igapäevane	otsimine	Värvimine
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Komplekteerimine
Puhverala kaugel	Igapäevane	Liigsed liigutused	Komplekteerimine
Sõltuvus ühest komplekteeritud kastist	3x nädalas	Liigsed liigutused, ootamine	Komplekteerimine
Materjali raskelt tuvastatav	Igapäevane	Otsimine	Komplekteerimine
Sõltuvus ühest tihendirullist	Igapäevane	Ootamine	Komplekteerimine
Materjali kompleksus	Igapäevane	Liigsed liigutused	Komplekteerimine
Tõsteseadme puudumine	Igapäevane	Ootamine	Komplekteerimine
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Pakkimine
Ruumipuudus	Igapäevane	Liigsed liigutused	Pakkimine
Tõsteseadme puudumine	Igapäevane	Ootamine	Pakkimine

Allikas: Autori koostatud

Vaatluse käigus täheldatud probleemid materjalivoos põhjustasid peamiselt puhveraladest pooltoodete ja detailide otsimine. Samuti täheldati mitmel korral sõltuvust teisest töötajast, keda oli appi vaja või kelle käes oli materjal, mida oli vaja mujal samuti kasutada. Intervjuude ja vaatluste kokkuvõte on toodud tabeli kujul lisas 3.

4.5 *TO-BE* kaardistamine

Parendatud olukorra kaardistamisel võeti arvesse, et asendi plaani suurte seadmete tõttu muuta ei saa, kuna nendele on rajatud eraldi vundament ning vajalik taristu. Uue kaubavoogude kaardistamisel uuriti võimalust vähendada liikumiste arvu ja tee pikkusi. Selleks vaadati, kas tulemuseni võiks viia mõne töökeskuse, puhverala, materjali ladustamiskoha asukoha muutmine või alternatiivne liikumise marsruut. *TO-BE* materjalivoogude spageti diagramm on toodud lisas 7.

TO-BE materjalivoogude kaardil peamised muudatused *AS-IS* kaardiga võrreldes, olid profiili osakonnas keevituse ja lihvimise ning klaasiliistude töökeskuse asukoha muutus. Nimetatud töökeskuste asukohad vahetati omavahel ära ning selle tulemusena profiili keevituse töökeskus toodi lähemale sellele eelnevale töökeskusele. Klaasiliistude riiul toodi töökeskuse kõrvale ning kadus ära liistude käsitsi transportimise vajadus. Lengide keevituse töökeskused nihutati selliselt, et lengi detailide puhverala liikus lähemale stantsitud lengi detailide ajutisele hoidmiskohale.

Klaaside ladustamisala koondati hoonesse nr 6, millega kolm erinevat marsruuti asendus ühega ja vähenes tõstukite liikluskoormus hoone nr 6 ja nr 2 vahel. Kasutuspaigale toodi lähemale saematerjali ladustamise asukoht, mis rajati senise pakendijääkide asemele. Isolatsiooni villade ladustamise asukoht nihutati saematerjali senisele kohale ning vabaks jäänud alale moodustati pakendijääkide kogumiskoht.

Profiilidele tehti *ABC_XYZ* analüüs, kuna hetkeolukorra spageti diagrammilt oli näha, et sagedamini liigutatavad materjalid ei olnud sihtkohale kõige lähemal. Analüüsiga selgitati välja profiilide kuuluvus *ABC_XYZ* kombineeritud rühma ning leiti materjalid mida ei olnud 2019. aasta jooksul kasutatud ehk S rühma kaubad. Viimased paigutati riiulile kõige kaugemasse punkti sihtkoha suhtes. Ülejäänud riiulid täideti selliselt, kus kõige sagedamini kasutatavad kaubad on saagimiseks ettetoodavate materjalide riiulile kõige lähemal ning kasutatavuse sageduse vähenedes asukohad riiulil kaugenevad vastavalt. Riiulile ei paigutatud profiile enam tüüpide lõikes vaid *ABC_XYZ* kombineeritud rühmade lõikes. *ABC_XYZ* analüüs viidi läbi ka isolatsioonimaterjalidest villadele. Vill 4 paigutati sõltumata analüüsi tulemusest sihtkohale kõige lähemale, kuna selle kasutus jääb vastaspoole teiste kolme villa kasutuskohadest. *ABC_XYZ* analüüsi tulemused on välja toodud lisas 8.

Väiksemad muudatused viidi sisse suluste valmis korje puhul komplekteerimise töökeskuses. Laeva ja LENGi sulused viiakse sihtkohta 3,2 korra asemel päevas 0,6 korda. Kui enne viidi suluste kastid projektikaupa käsitsi, siis nüüd ratastega alusel ja

nädala projektid korrada. Vähesel määral suurenes suluste ettekandmine SMU ja PROF komplekteerimisse, kuna suuremate projektide puhul hakati koostama kaks kasti.

TO-BE kaardil tehti ka kaks trajektoori muudatust, et hajutada tõstukite liiklustihedust hoonete sissepääsudes. Pakitud laeva ja LENGi tooted viidi pakkimisest välja teise ukse kaudu ning valmistoote lattu klaaside ladustamisest vabanenud hoone nr 6 külje ukse kaudu. Pooled ukselehed väljuvad silemetalli osakonnast teisest uksest, mis oli ka liimitud ukselehtede ladustamisalale lähemal. Detailselt on lisas 9 välja toodud parendatud olukorra kaupade liikumised lähtekohtadest sihtkohtadesse, liikumisviisid iga marsruudi kohta, liikumiste arv päevas, iga marsruudi distantss ning läbitud distantssid päevas kokku. AS-IS distantssidega võrreldes muutunud näitajad on märgitud kollasega. Kokkuvõtlikult liikumiste arvu ja vahemaade muutusest annab ülevaate tabel 4.10.

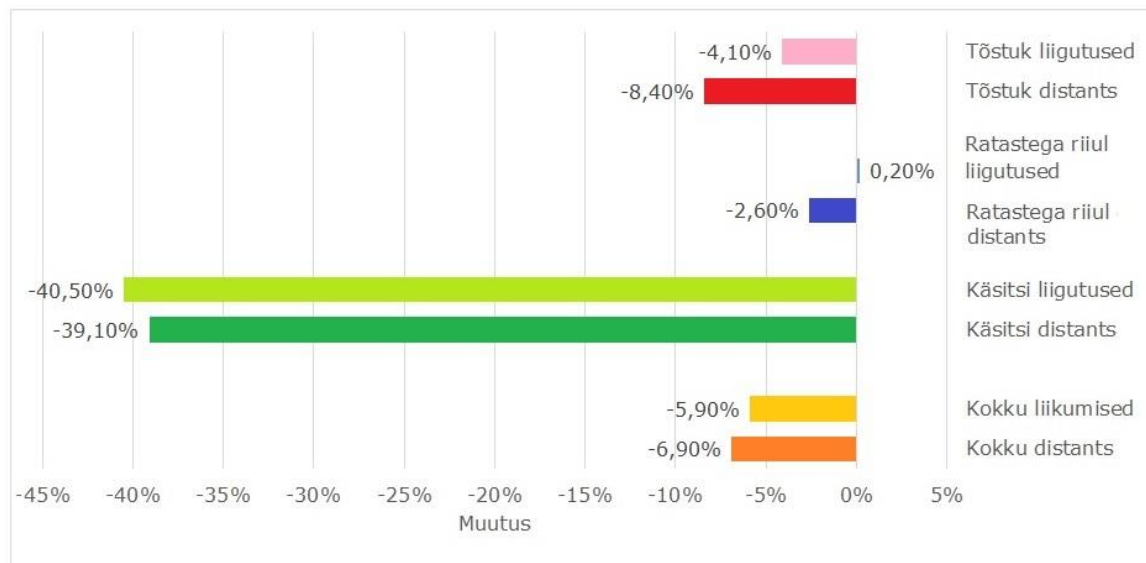
Tabel 4.10 AS-IS ja TO-BE kaardistuse tulemuste ülevaade

Liikumisviis	Materjali liikumiste arvu muutus päevas tk	Pooltoodete liikumiste arvu muutus päevas tk	Liikumiste arvu muutus päevas kokku tk	Materjali distantssi muutus päevas m	Pooltoote distantssi muutus päevas m	Kokku distantssi muutus päevas m
Käsitsi	-6	-58	-64	-209	-876	-1 085
Ratastega riiul	1,2	0,3	-8	99,2	-729	-629,8
Tõstuk	-8	0	-8	-378	-303	-681
Kokku	-13	-58	-71	-488	-1908	-2 396

Allikas: Autori koostatud

Muudatuste tõttu vähenes kogu vaadeldavate liikumiste distantss kokku 2 396 (6,9%) meetrit päevas ning liikumiste arv vähenes 58 (5,9%) võrra. Peamiselt vähenes käsitsi pooltoodete liigutamiste arv ning distantss. Transpordivahenditega liikumiste arv suurenes ligi ühe võrra, kuid kogu distantss vähenes üle poole kilomeetri ning seda peamiselt pooltoodete transpordilt.

Jooniselt 4.2 on näha, et protsentsuaalselt suurim muutus oli nii liikumiste arvult (vähenes 40,50%) kui ka distantssilt (vähenes 39,10%) kaupade käsitsi teisaldamisel. Ratastega riiuli liikumiste arv suurenes 0,20% , kuid kogu distantss vähenes 2,90%. Tõstukiga sõitude arv ei muutunud, kuid päevane läbisõit vähenes 6,90%.



Joonis 4.2. *TO-BE* liikumiste ja distantside keskmine muutus ühe päeva kohta.
Allikas: Autori koostatud

Kui arvestada diiselkütusega töötavate tõstukite keskmist kütusekulu kilomeetrile, siis läbisõidu vähenemisest kokkuhoitav summa on 358 eurot aastas. Diiselkütusega sõitvate tõstukite marsruudid ja läbisõidud on tähistatud eraldi lisas 5 ja lisas 9 toodud tabelites. Keskmine kulu kütusele on ettevõtte finantsjuhi poolt välja arvutatud ning see on 2,66 eurot kilomeetri kohta.

Lühenenud distantid säästavad päevas 6,8 minutit tõstukite aega (keskmine kiirus 8,0km/h) ning 32,2 minutit käsitsi ja ratastega riuliga materjalidega teisaldamisel (keskmine kiirus 3,2km/h). Kokku kulutatakse transportimisele aega 39 minutit päevas vähem. Tammer OÜ tootmise töötajate keskmine palgakulu ettevõttele on 17,30 eurot tunnis [76], seega säästetakse lühenenud distantsidega 11,25 eurot päevas, ehk 2845,99 eurot aastas. Seega kokku aja ja kütuse kulult on *TO-BE* kaardistuse tulemusel kokkuhoid aastas 3203,99 eurot.

4.6 Järeldused, ettepanekud ja valideerimine

Peamised tõrked tehasesiseses materjalivoos, mis põhjustasid ajakulu ning liigseid liigutusi, olid otsimine ja kaupade hilinemine või puudumine. Enamasti otsiti puhveraladelt tootmisprotsessis olevaid detaile ja pooltooteid, mida töökeskused operatsioonide teostamiseks ette pidid võtma. Põhjusteks, miks kulutati aega vajalike kaupade leidmiseks, olid puudujäägid puhveralade ja kaupade liikumise organiseerimises ja süsteemsuses. Peamine probleem oli tootmises liikuvate kaupade jälgitavus. Kuna puudus ülevaade, kus füüsiliselt asub vajaminev detail, siis pidi töötaja seda otsima.

Häireid sujuvas töös põhjustasid ka laojuhtimisest ja korraldamisest tulenevad probleemid. Materjalid ei olnud ladudes organiseeritud ega märgistatud, mis raskendas nende kiiret leidmist.

Tabelisse 4.11 on koondatud intervjuudest ja vaatlustest kriitilisimad probleemid, millega tuleb kõigepealt tegeleda. Kriitilisuse määrab esinemissagedus võttes arvesse osakondade tõhusust.

Tabel 4.11 Intervjuude ja vaatluste koondatud tulemused

Esinenud probleem	Hinnanguline esinemise sagedus	Tagajärg, raiskav tegevus	Kriitilisemad osakonnad
Puhveraladelt detaili või pooltoote otsimine	Igapäevane	Ootamine, liigsed liigutused	Silemetalli osakond Pinnatöötlemise osakond Komplekteerimise osakond Pakkimise osakond Profiili osakond
Kaubad raskelt tuvastatav markeerimise või leitav, sorteerimise vajadus	Igapäevane	Ootamine, liigsed liigutused	Silemetalli osakond Pinnatöötlemise osakond Komplekteerimise osakond
Hilinenud või puudu olev kaup	Igapäevane	Ootamine	Silemetalli osakond Pinnatöötlemise osakond Komplekteerimise osakond Profiili osakond
Puudujäägid infovoos	Igapäevane	Ootamine, liigsed liigutused	Silemetalli osakond Pinnatöötlemise osakond Komplekteerimise osakond Pakkimise osakond Profiili osakond

Allikas: Autori koostatud

Palju ootamisi oli tingitud eelnevast protsessist hilinevatest või puudu olevatest kaupadest. Probleeme põhjustas õigeaegne info puudumine kauba hilinemisest. Samuti põhjustas õigeaegne info puudumine juba saabunud materjalist pikendas asjatut ootamise aega veelgi.

Vastavalt alapeatükis 4.1 toodud tabelitele 4.1 „Osakondade tõhusus 2019. aastal“ ja tabelile 4.2 „Osakondade tõhusus 2019“ ning lisas 3 toodud intervjuude ja vaatluste kokkuvõtte võrdlemisel võib madala tõhususe põhjuseks pidada ajakadusid otsimistele ja ootamistele. Uurimus näitas, et madalaima tõhususega töokeskustes oli tihti probleeme puhveraladest otsimisega, sama toote detailide sorteerimise ja sobitamisega ning sisendmaterjalide ootamisega. Ehk ajakaod tüüpilistele väärtust mitte lisavatele tegevustele nagu ootamine ja üleliigsed liigutused. Parimad tulemused olid automaatliini ja uuringu tulemustest nähtub, et seal oli ka materjalivoogudega kõige vähem probleeme.

AS-IS spageti diagramm (vt lisa 4) intervjuudest ja vaatlusest välja tulnud probleeme otseselt ei näidanud, kuid näitas siiski ära värvimisse saabuva materjalivoo suuruse. Hetke olukorra kaardistus tõi välja ladustatava materjali asukoha vale valiku ning sellest põhjustatud mitte optimaalsed kaupade transportimise marsruudid ning läbitavad vahemaad. *TO-BE* kaardistamine aitas vähendada läbitavaid vahemaid 6,9%, liikumiste arvu 5,9% ning transpordile kuluvat aega 39 minutit päevas.

***Just-In-Time* tootmine**

Autor soovib juurutada ettevõttes *JIT* tootmist, kuna *JIT* tootmise puhul toodetakse kõik vajalikud detailid ja pooltooted just selleks hetkeks, kui järgnevas protsessis seda vaja. Sellega kaoksid ära suured puhveralad ja vajadus kaupu nendelt otsida. *JIT* meetodi kasutamisel vähenevad oluliselt protsessis olevate kaupade hulk (*WIP*), seega on mõju kapitalile positiivne. *JIT* ei saa juurutada tootmises kiiresti ning see vajab tõsiselt tööd ja eelnevat uurimist. *JIT* juurutamise võimalikkus oleks ka autori poolt välja pakutav edasine uurimusülesanne.

Jälgitavus ja liikumise organiseerimine

Tootmises liikuvate detailide ja pooltoodete jälgitavust ja liikumise organiseerimist tuleb parandada selliselt, et ühe toote detailid liiguksid koos ning oleksid koheselt tuvastavad. Autor soovib kasutusele võtta raadiosagedus tuvastussüsteemi (ingl. k. *Radio Frequency Identification; RFID*). *RFID* süsteem võimaldab detaili spetsiaalse märgistuskleebise ja raadiolaineid püüdva skaneerimisseadme abil hõlpsalt leida. Süsteem tuvastab kleebise kontaktivabalt ja ilma optilise silmsideta.

Laod

Ettevõttes tuleb luua ühtne laosüsteem, kus füüsilised ladustamiskohad on pakkeüksuste täpsusega adresseeritud ning vastav info *ERP* süsteemis jälgitav. Iga liikumine lattu ja laost välja peab olema *ERP*-is kajastatud. Selliselt näeb igal ajahetkel materjali asukohta laos ning tootmistöötajal on see kiirelt kätte saadav. Pulbervärvide ladustamiseks soovib autor kasutusele võtta automaatlaosüsteemi, mis on ühendatud *ERP* süsteemiga selliselt, et tootmistellimuse numbrit sisestades antakse töötajale ette õige värvitoon.

Suluste komplekteerimine

Nii intervjuude käigus kui ka vaatlusel tuli probleemina välja komplekteerimise osakonnas liigseid tõrkeid põhjustanud suluste ja muude komponentide valmis panemine kastidesse. Autor soovib luua süsteem, kus laotöötajale antakse *ERP* süsteemist ette toote koosluse nimekiri, mille järgi vajalikud komponendid

komplekteeritakse. Materjal tuleb komplekteerida toote tüübi põhiselt ehk projekti kohta kaks eraldi kasti, kui projektis esineb nii SMU kui PROF tooteid.

TO-BE spageti diagramm

Autor soovib teha ümberkorraldused tootmises vastavalt koostatud *TO-BE* kaardile. See vähendab materjalide, detailide, pooltoodete ja toodete transportimist rohkem kui kaks kilomeetrit päevas ning kaubad on liikumises 39 minutit vähem. Suurem osa distantist väheneb käsitsi kaupade teisaldamisest, mis on tervist säästvam töötajale ning aega kokkuhoidvam.

Valideerimine

Uurimustöö tulemuste valideerimiseks on küsitud hinnang *Lean* mõtlemise, projektijuhtimise ning äriprotsesside juhtimise eksperdilt Roman Zahharovilt. Tal on ulatuslikud töötamise ja nõustamise kogemused tootmissektoris (peamiselt projektipõhine tootmine), nii Eesti kui ka välisettevõtetes.

Roman Zahharovi hinnangul on autori poolt läbiviidud analüüs konkreetse organisatsiooni jaoks aktuaalne ning kindlasti kasulik. Magistritöö tulemusena välja toodud kriitilised probleemid kauvaboos on ettevõttele hea lähtekoht olukorra parendamiseks tootmises. Teise tulemusena loodud *TO-BE* kaart materjali voogude muutmiseks annab väikese kokkuhoiu, samas väljapakutud muudatusis on lihtne ellu viia. Lisaks tõi ekspert positiivse aspektina eraldi käigus teostatud *ABC_XYZ* analüüsi, mida võiks ettevõtte jaoks edasi arendada varudejuhtimiseks. Kriitikana tõi Roman Zahharov välja ettevõttes tõhususe mõõtmise alused ning autori järeldused selle baasilt.

KOKKUVÕTE

Üha globaliseeruv ja volatiilsem majanduskeskkond esitab tootmisettevõtetele tõsiseid väljakutseid, et püsida konkurentsivõimel. Kliendid soovivad järjest enam spetsiaalselt neile tehtud tooteid ning võimalikult lühikese tarneaajaga. Tootmisettevõtted on seetõttu sunnitud tegutsema tipptasemel, parandades pidevalt kvaliteeti, vähendama opereerimiskulusid ning lühendama tarneaegu. Ettevõtted peavad välja töötama keerulisemaid tooteid, arendama tehnoloogiaid, meetodeid, äriprotsesse ja tõhustama logistikat kogu tarneahelas.

Käesolev uurimistöö viidi läbi terasest avatäidete ja vaheseinte tootmisega tegelevas ettevõttes Tammer OÜ. Ettevõtte on tegutsenud 25 aastat ning asutamise aastast kuni magistriröö kirjutamise aastani pidevalt kasvanud. Viimased viis aastat (2014-2019) on olnud käibe kasv keskmiselt 14 % aastas. Tammer OÜ pidev ja kiire kasvamine on toonud kaasa palju investeringuid, tehase plaani ümber tegemise, tekitanud vajadusi muutusteks ning sundinud tõhustama mitmeid protsesse tootmises, juurutades kulusäästlikku mõtteviisi. Tammer OÜ toodab projektipõhiselt vastavalt kliendi etteantud parameetritele. keskmine partii suurus on seitse toodet.

Käesoleva magistriröö uuritavaks probleemiks oli ajakulu materjalide ja pooltoodete liikumisel töökeskustesse ja töökeskuste vahel. Palju aega kulus töökeskustes sisendmaterjalide otsimisele või ootamisele. Toote valmimise protsessi teekond oli pikk ja kulud raisatud aja tõttu suured. Eelnevat toetas asjaolu, et ettevõtte tootmine töötas negatiivse tõhususe näitajaga. See tähendab, et tegelikult tööks kulus rohkem aega, kui normeeritud ehk eelarvestatud aeg ette nägi.

Autor seadis lõputöö eesmärgiks vähendada ajakulu tootmises, mis on põhjustatud kaupade liikumisest ja ladustamise asukohtade valikust. Eesmärgini jõudmiseks töötas autor läbi töö teoreetilises osas teemakohast kirjandust. Peatükis anti ülevaade tootmise olemusest ja tootmissüsteemidest, tutvustati tootmise ja sisemise logistikaga seotud protsesse ning materjalide juhtimist ja kaubavoogude tähendust. Raiskamise tuvastamise toetamiseks toodi välja kulusäästliku mõtlemise ja timmitud tootmise seisukohad.

Uurimisprobleemi lahendamiseks ja eesmärgini jõudmiseks püstitas autor järgnevad uurimisülesanded:

1. tuvastada sujuvat töövoogu takistavad tegurid materjalivoos;
2. tuvastada raiskavad tegevused materjalide liikumises;
3. selgitada materjalide liikumist ja õigeaegsust põhjustavad tõrked;

4. leida lahendused materjalivoos raiskamiste vähendamiseks.

Uurimuse edukaks läbiviimiseks valiti uurimisstrateegiaks praktiline juhtumiuuring. Uurimismeetoditena kasutati kvantitatiivse ja kvalitatiivse meetodite kombinatsiooni ehk kombineeritud uurimismeetodeid. Vajalikke andmeid koguti ettevõtte majandustarkvarast (statistilised andmed), mitteosalusega vaatluste teel ning ekspertintervjuudega. Intervjuude tekste ja vaatluse tulemusi analüüsiti kvalitatiivse sisuanalüüsi meetodil. Leidmaks tõrkeid ja kõrvalekaldeid materjalide liikumises ladustamiskohtadest tootmisesse ja tootmise sees, kaardistati spageti diagrammi meetodil *AS-IS*, millele arvutati statistiliste andmete kaudu kaupade liikumiste arv ning teepikkused. *TO-BE* kaardistuse välja töötamiseks tehti kaupadele *ABC_XYZ* analüüs.

Magistritöö tulemusena koostati kaubavoo *TO-BE* kaart, mis vähendas kaupade transportimise kordi 5,9% ning lühendas kogu distantssi 6,9%. Intervjuude ja vaatluste analüüsimise abil selgitati välja probleemsed kohad ning raiskavad tegevused nendes. Selgelt kerkisid esile sellised raiskamise liigid, nagu ootamine ja liigsed liigutused (transport), mille põhjusteks olid raskesti tuvastatavad detailid, pooltooted ja materjalid, protsessis olevate kaupade otsimine puhveraladelt järgmise töökeskuse tarbeks ning eelnevast protsessis kaupade hilinemine ja õigeaegne informatsiooni puudumine hilinemiste kohta.

Toetudes lõputöö tulemustele, tegi autor järgmised ettepanekud ettevõtte juhtkonnale:

- Juurutada ettevõttes *Just-in-Time (JIT)* tootmist, mis eemaldab vajaduse otsida ja oodata protsessis olevaid kaupu.
- Luua tootmisprotsessis olevate pooltoodete ja detailide jälgitavuse süsteem, mis vähendab otsimisi.
- Luua ettevõttes ühtne laosüsteem, mis vähendab otsimisi ja liigseid liigutusi õigete materjalide leidmiseks.
- Luua materjalide laost noppe süsteem toote tüübi põhisel. See välistab olukorra, kus komplekteeritud materjalidest on komponente puudu.
- Teha ümberkorraldused vastavalt koostatud *TO-BE* spageti diagrammile.

Autor hindab lõputöö järeldusi ja tulemusi heaks ning ettepanekud teostatavateks. Töös välja toodud lahendused aitavad vähendada raiskamisi materjalivoos ning tootmises. Tulemuseks lühenevad toodete valmimise ajad, paraneb tootmise tõhusus ja suureneb ettevõtte konkurentsivõime.

Edasisteks uurimissuundadeks oleksid kulusäästliku tootmise tööriistade, seal hulgas *JIT* tootmise juurutamine Tammer OÜ-s ning materjalide juhtimise strateegia loomist.

SUMMARY

The manufacturing companies have faced many challenges to remain competitive in the markets due to the more globalizing and volatile economic environment. Clients wish to get more specific products manufactured just for their needs with a very short delivery time. Because of that manufacturing companies have forced to act at an excellent level by improving constantly the quality, reducing operative costs, and shorten the delivery times. Companies must design more complex products, develop technologies, methods, business processes, and enhance logistics in the whole supply chain.

A Current thesis has been carried out in a manufacturing company called Tammer OÜ which produces different steel openings and partitions. The company has been operating in 25 years and has been growing constantly. Last five years (2014-2019) the turnover has been growing by about 14% in a year. The continuous and rapid growth of Tammer OÜ has led to many investments, changes to the factory plan, and created need for overall changes. There has been a need to improve the efficiency of several processes and introduce a cost-effective way of thinking in production. The company has manufactured the products project-based according to the client's needs and the amount of average batch has been about seven products.

The research problem of this master's thesis was the excessive time spent on the movement of materials and semi-finished products to and between work centers. A lot of time in work centers was spent on searching or waiting for an input materials. The product completion process was long and the costs were high due to wasted time. This was also supported by the fact that the company's production has operated with a negative efficiency indicator meaning that the actual work has taken more time than previously planned.

The aim of this thesis was to find out what needs to be done in order to reduce the time spent in production caused by the movement and location of the storage of goods. To achieve the aim of the thesis the author first investigated the relevant literature in the theoretical part. In this chapter, the overview of the nature of production and production systems was given and the production and internal logistics processes were introduced. Also, the materials management and the meaning of trade flow was explained. In order to support the identification of waste, the perspectives of cost-effective thinking were highlighted.

The author set four research tasks to solve the research problem and to achieve the set goal:

1. Identify obstacles in the material flow that are impeding the smooth workflow;
2. Identify non-value-added activities in material movement;
3. Find out what are the errors affecting material movement and on-time delivery;
4. Find solutions to reduce non-value-added activities in material flow.

A practical case study was chosen as the research strategy for the successful completion of the study. Both quantitative and qualitative research methods were used in the work. Needed statistical data for the research was collected from the company's business software and also observations and expert interviews were carried out. The results of interviews and observations were analyzed using the qualitative content analysis method. The spaghetti diagram was used to map the AS-IS process in order to find errors and deviations in the movement of materials from storage sites to and within production. The number of movement of goods and distances covered were calculated using the statistical data. All in all, in order to work out the TO-BE map, the goods were analyzed using the ABC_XYC analysis.

As a result of the master thesis, the TO-BE map was drawn up. The new map helped to reduce the number of times goods were transported by 5,2% and shortened the entire distance by 6,2%. The analysis of interviews and observations identified problem areas and wasteful activities in them. Types of waste such as waiting and excessive movements (transport) came to light. The reasons that caused the waste were hard-to-identify parts, semi-finished products, and need to search the pending goods in buffer zones for the next work center. Also, delays in goods in the previous process and a lack of timely information about delays affected the emergence of waste.

Based on the results of the thesis, the following suggestions were made:

- Introduce *Just-in-Time (JIT)* production which eliminates the need to search and wait for goods in the process;
- Establish a traceability system for semi-finished products and parts which reduces the need to search;
- Create a unified warehouse system in the company, which reduces searches and excessive movements to find the right materials;
- Create a material pickup system based on the type of product. This eliminates the situation where components are missing from the assembled materials;
- Rearrange according to the prepared TO-BE spaghetti diagram.

The author thinks that wise results and conclusions were found and made proposals were feasible. The solutions presented in the work would help to reduce the waste in material flow and in production. As a result, product completion times are shortened,

production efficiency is improved and the company's competitiveness increases. Further research areas would be the introduction of cost-effective production tools, including JIT production at Tammer OÜ and the creation of a materials management strategy.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] G. Kovács, „Logistics and Production Processes Today And Tomorrow“, *International Scientific Journal about Logistics*, vol. 3, iss. 4, pp 1-5, 2016.
- [2] G. Hoellthaler *et al.*, „Reconfiguration of production systems using optimization and material flow simulation“, in *52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, vol 81, pp. 133-138, 2019
- [3] I. Belekoukias, J. G. Garza-Reyes, V. Kumar, „The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations“, *International Journal of Production Research* vol. 52(18), 2014.
- [4] J. M. Rohani, S. M. Zahraee, „Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry,“ *2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015*, Bali Indonesia, 2015.
- [5] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.
- [6] J. Riives. J. Lavin, *Tootmise korraldamine. Õppematerjal kutsekoolidele*. Tallinn: AS Atlex 2014.
- [7] K. K. Boyer, M. W. Lewis, „Competitive Priorities: Investigating the Need for Trade-Offs in Operations Strategy,“ *Journal of Production and Operations Management*, vol. 11, no. 1, pp. 9–20, 2002.
- [8] G. Kovác, S. Kot, „Facility Layout Redesign For Efficiency Improvement And Cost Reduction,“ *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, vol. 16, no 1, pp. 63-74, 2017
- [9] P. F. Ostwald, J. Muñoz, *Manufacturing Processes and Systems*, 9th ed., John Wiley & Sons, 1997.
- [10] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 4th ed. Upper Saddle River: Pearson Higher Education, 2015.
- [11] P. Vrat, *Materials Management. An Integrated Systems Approach*. Springer India, 2014.
- [12] G. Kovác, P Tamá, „Introduction and Analysis of Production Processes“, University of Miskolc, Institute of Logistics, 2015.
- [13] T. Ohno, *The Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*, Portland : Productivity Press, 1988.
- [14] K-h. Lai, T. C. E. Cheng, *Just-in-time logistics*, Surrey: Gower Publishing Limited, 2009.
- [15] J. Jane, A. de Ochoa, *The Handbook of Logistics Contracts : A Practical Guide to a Growing Field*, New York: Palgrave Macmillan, 2006.

- [16] T. Ran, „Internal Logistics as a Part of Supply Chain. Case: Nokia- China, Dongguang Branch“, thesis, Lahti University Of Applied Sciences, Lahti, Finland 2019.
- [17] M. Christopher, D. R. „Towill, Developing Market Specific Supply Chain Strategies,“ *The International Journal of Logistics Management*, vol. 13(1), pp. 1-14, 2002.
- [18] P. Baker, „Designing distribution centres for agile supply chains,“ *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 9(3), pp. 207-221, 2006.
- [19] T. Gudehus, H. Kotzab, „Planning and scheduling production systems from a logistics perspective,“ *Journal of Logistics Research*, vol. 1(3) pp 163-172, 2009.
- [20] E. Michlowicz, K. Smolińska, Research „On The Flow Of Material In Production Logistics“, Research Paper, Poznan University of Technology, Poznan, Poland, 2015.
- [21] P. Nyhuis & H. P. Windhal, *Fundamentals of Production Logistics. Theory, Tools and Applications*, Berlin: Springer, 2009.
- [22] H. Gudehus, H Kotzab *Comprehensive logistics*, Berlin: Springer, 2009
- [23] E. Michlowicz, „Logistics in Production Processes,“ *Journal of Machine Engineering*, vol. 13, no. 4, 2013.
- [24] K. Atlendorfer, *Capacity and Inventory Planning for Make-to-Order Production Systems. The Impact of a Customer Required Lead Time Distribution*, Springer International Publishing Switzerland, 2014.
- [25] J. P. Womack, D. T. Jones. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, New York: Free Press, 2008.
- [26] J. R. Arnold, S. N. Chapman, L. M Clive, *Introduction to Materials Management*, 6td ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2008.
- [27] E. C. Mercado, *Hands-on Inventory Management*, Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2008.
- [28] P. Jonsson, *Logistics and Supply Chain Management*, 1st ed, Berkshire: McGraw-Hill Education, 2008.
- [29] D. Menart, M. Starbek, „The Optimization Of Material Flow In Production,“ *International Journal of Machine Tools & Manufacture* vol. 40 pp. 1299–1310, 2000.
- [30] F. E. Meyers, J. R. Stewart, *Motion And Time Study For Lean Manufacturing* 3rd ed., New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [31] J. C. Green, J. Lee, T. A. Kozman, „Managing Lean Manufacturing In Material Handling Operations,“ *International Journal of Production Research*, vol. 48(10), pp. 2975-2993, 2010.
- [32] M. Starbek, D. Menart, „Influence Of Production Flow Analysis On Lead Times,“ *25th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, Bled: 1993.

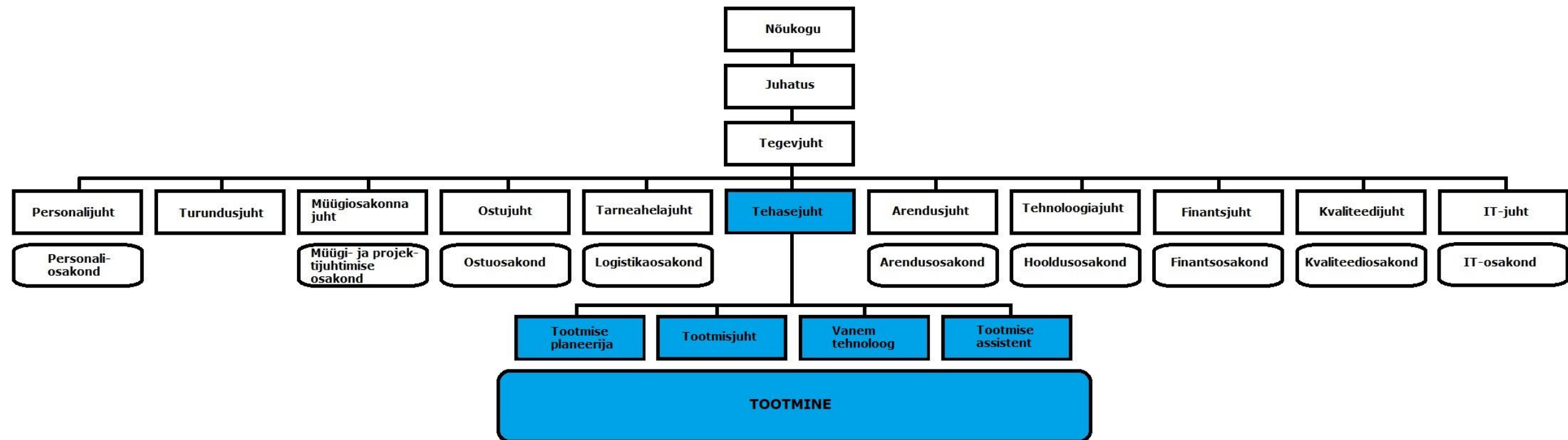
- [33] E. Nilsson, „Improving material flow and production layout using Value Stream Mapping“, M.S. thesis, Jönköping University, Jönköping, Sweden, 2018.
- [34] M. Christopher, *Logistics & supply chain management*. 4th ed., Harlow: Pearson Education, 2011.
- [35] M. M. Hassan, „A framework for selection of material handling equipment in manufacturing and logistics facilities,“ *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol., 21(2), pp. 246-268, 2010.
- [36] D. E. Mulcahy, *Materials handling handbook*, New York: McGraw-Hill, 1999.
- [37] N. V. Jasti, A. „Sharma Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry,“ *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 5(1), pp. 89-116, 2014.
- [38] R. Domingo, R. Alvarez, M. M. Peña, R. Calvo, „Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study,“ *Assembly Automation*, vol. 27(2), pp. 141-147, 2007.
- [39] A. Harrison, R. v. Hoek, H. Skipworth, *Logistics management and strategy - competing through the supply chain*. 5th ed., Harlow: Pearson Education, 2014.
- [40] B. Öjmertz, „Materials Handling from a Value-Adding Perspective“. Department of Transportation and Logistics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 1998.
- [41] K. Kanarik, „Äriprotsesside juhtimise juurutamine kontserni xyz näitel“, magistritöö, Tallinna Ülikool, Tallinn, Eesti 2013.
- [42] „Infosüsteemi kasutamine ja juhtimine,“ [Online] <https://eopearhiiv.edu.ee/e-kursused/eucip/juhtimine/index.html> (15.05.2020)
- [43] P. J. Womack, D. T. Jones, D. Roos, *The Machine That Changed The World*, New York: Macmillan Publishers, 1990.
- [44] A. Miina, Critical Success Factors of Lean Thinking Implementation in Estonian Manufacturing Companies. Ph.D disseration, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia 2012.
- [45] J. Santos, R. Wysk, J. M. Torres. *Improving production with Lean Thinking*. Hoboken: Wiley and Sons. 2006.
- [46] D. Seth, V. Gupta, „Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study,“ *Production Planning & Control*, vol. 16(1), pp. 44-59, 2005.
- [47] J. A. Garza-Reyes, I. Orafige, H. Soriano-Meier, P. L. Forrester, D. Harmanto, „The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods,“ *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 23, no. 2, pp. 178-197, 2012.

- [48] P. Pozo, O. Silva, T. Tachizawa, „The influence of performance objectives on the implementation of lean manufacturing practices: An analysis based on strategic groups,” *Cogent Business & Management*, vol. 4(1), pp. 1-18, 2017.
- [49] J. K. Liker, W. M. Fruin, P. S. Adler, *Remade in America. Transplanting and Transforming Japanese Management Systems*, New York: Oxford University Press, 1999.
- [50] P. Dennis, *Lean Production Simplified. A Plain-language Guide to the World's Most Powerful Production System*, 3rd ed., Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2015.
- [51] A. K. Elshennawy ja G. S. Weheba, *Manufacturing Processes and Materials*, 5th ed., Michigan: Society of Manufacturing Engineers (SME), 2015
- [52] J. W. Davis, *Progressive Kaizen. The Key to Gaining a Global Competitive Advantage*, New York: Taylor and Francis Group, 2011.
- [53] T. Tsõgankova, „Lean implementation in Eestonian SEMs based on the example of Narva Tes Plus,” M.S. thesis. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Eesti 2014.
- [54] M. Eaton, *The Lean Practitioner's Handbook*. London: Kogan Page Limited 2013.
- [55] J. P. Womack, D. T Jones, *Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, New York: Simon & Schuster, 2003.
- [56] M. Säinas, „Tõmmitud tootmise ja piirangute teooria koosrakendamise tootmisprotsesside juhtimises AS Saku Metall Allhanke Tehas näitel”, magistritöö, Tartu Ülikool, Tartu, Eesti 2014.
- [57] J. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, New York: McGraw-Hill Education, 2004
- [58] N. Slack, S. Chambers, R. Johnston, *Operations Management*, Essex: Pearson Education, 2010.
- [59] M. Rother, J. Shook, *Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda*. 2nd ed. Brookline: The Lean Enterprise Institute Inc, 1999
- [60] J. P. Womack, D. T. Jones, *Lean Solutions: How Companies and Customers Can Create Wealth Together*, New York: Simon & Schuster, 2005.
- [61] S. Taghizadegan, *Essentials of Lean Six Sigma*, Oxford: Elsevier, 2006.
- [62] A. Marmor, „Kvaliteedikulude juhtimissüsteemi loomine tootmisettevõttes T-Tammer OÜ näitel,” magistritöö, Tartu Ülikool, Tartu, Eesti, 2015.
- [63] V. Zhukov, „Снижение текучести персонала на предприятии Т-TAMMER OÜ с помощью внедрения системы 5S,” lõputöö, Eesti Ettevõtluskõrgkool Mainor, Tallinn, Eesti, 2018.
- [64] T. Riisberg, „Materjalivoo-gude analüüs ettevõttes E-Betoonelement AS: Tamsalu tehase näide,” magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Eesti 2017.
- [65] I. Korjus, „Favor AS Metaformi ärisuuna tootmisvoo analüüs,” magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Eesti 2018.

- [66] A. Ahlstedt, „Improving inventory management in a small manufacturing company: a case study,” bakalaureuse töö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Eesti, 2019.
- [67] S. Kurzbach, J. Nillegard, Internal logistics. „Optimizing the flow of goods with milk runs”, thesis, University of Borås, Borås, Sweden 2016.
- [68] S. Luht, „Varude juhtimise mudeli väljatöötamine ettevõttele Peterson Chemical Technology LLC”, magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Eesti, 2019.
- [69] A. Susilawati, A. Tasri, A. Sofyan, Yohanes, „Wastes Analysis to Improve the Productivity and Sustain-ability in Manufacturing Industry,” *Journal of Physics: Conference Series* 1351, 2019.
- [70] M. Särg, „Puitaknatehase tootmise kaardistamine ja optimeerimine”, magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Eesti 2018.
- [71] A. Chiarini, „Waste savings in patient transportation inside large hospitals using lean thinking tools and logistic solutions,” *Leadership in Health Services*, vol. 26(4), pp. 1751-1879, 2013.
- [72] Tammer OÜ kodulehekül. [Online] <http://www.tammer.ee/> (23.03.2020).
- [73] Tammer OÜ, „Tammer OÜ strateegiakava 2018-2020,” Tallinn 2018 [ettevõtte valduses].
- [74] Tammer OÜ, „Tammer OÜ esitlus 2020,” Tallinn 2020 [autori valduses].
- [75] Tammer OÜ majandusaasta aruanne 2018 [autori valduses].
- [76] Tammer OÜ sisedokumentatsioon [ettevõtte valduses].
- [77] Tammer OÜ majandusaasta aruanne 2017 [autori valduses].
- [78] Tammer OÜ siseveeb (21.04.2020).
- [79] S. Hirsjärvi, P. Remes, P. Sajavaara. *Uuri ja kirjuta*, Tallinn: Medicihana, 2010.
- [80] P. Ghauri, K. Gronhaug, *Äriuuringute meetodid. Praktilisi näpunäiteid*, Tallinn: Külim, 2004.
- [81] R. K. Yin, *Case Study Reserch. Disign and Methods*, 4th ed. California: Sage Publications, 2009
- [82] S. L. Golicic, D. F. Davis, „Implementing mixed methods research in supply chain management,” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 42, iss 8/9, pp. 727-733, 2012.
- [83] J. Smith, *Qualitative psychology. A practical guide to research methods*. London: Sage, 2006
- [84] N. Denzin, Y. Lincoln, *Handbook of qualitative research*, 2nd ed. Thousand Oaks: Sage 2000.
- [85] M-L. Laherand, *Kvalitatiivne uurimisviis*, Tallinn: Infotrükk, 2008.
- [86] J. Creswell, *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed method approaches*, Thousand Oaks: Sage, 2003.

- [87] E. Uussalu, „Omamise kogukulu hindamine hankimisel,” magistritöö, Tallinna Tehnika Ülikool, Tallinn, Eesti 2019.
- [88] Fortesearch.com, <https://fortesearch.com/news/clinical-research-sites-cant-improve-dont-measure-2/> [Online] (27.01.2020)
- [89] Intervjuu, vaatlus ja sisuanalüüs [Online] https://www.tlu.ee/~sirvir/Intervjuu_vaatlus_ja_sisuanals/intervjuu_sisuanals.html (30.03.2020)
- [90] A. Bryman, *Research Methods and Organization Studies*, New York: Routledge, 1989.
- [91] L. Cohen, L. Manion, K. Morrison, *Research methods in education*, 7th ed. Abingdon: Routledge 2011.
- [92] U. Flick, *An introduction to qualitative research*, London: Sage, 2006
- [93] P. Ruiz-de-Arbulo-Lopez, J. Fortuny-Santos, L. Cuatrecasas-Arbos, „Lean manufacturing: costing the value stream,” *Industrial Management & Data Systems*, vol. 113, no. 5, pp. 647-668, 2013
- [94] K. Senderska, A. Amreš, Š Václav, „Spaghetti Diagram Application For Workers Movement Analysis,” *U.P.B Science Bulletin, Series D*, vol. 79, 2017.
- [95] K. Kanaganayagam, S. Muthuswamy, P. Damoran, „Lean methodologies to improve assembly line efficiency: An industrial application,” *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 20, iss, 1, pp. 104-116, 2015.
- [96] *Avaliku sektori äriprotsessid. Protsessianalüüsi käsiraamat*, Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium.
- [97] J. L. Cavinato, R. G. Kauffman, *The purchasing handbook* 6th ed., USA: The McGraw-Hill, 2000.
- [98] J. Ossipova, „ABC_XYZ meetodid,” Õppematerjal. 2018
- [99] E. Hofmann, D. Maucher, M. Kotula, O. Kreienbrink, *Performance Measurement and Incentive Systems in Purchasing. More Than Just Savings*, Berlin: Springer-Verlag, 2014.
- [100] D. K. Dhoka, Y.L Choudaty, „“XYZ” Inventory Classification & Challenges”, *Journal of Economics and Finance*, vol. 2, pp. 23-26, 2013.

LISAD



Lisa 2. Poolstruktureeritud intervjuu küsimused

INTERVJUU OSAKONDADE MEISTRITEGA

Küsimused lähtuvad uurimisülesannetest.

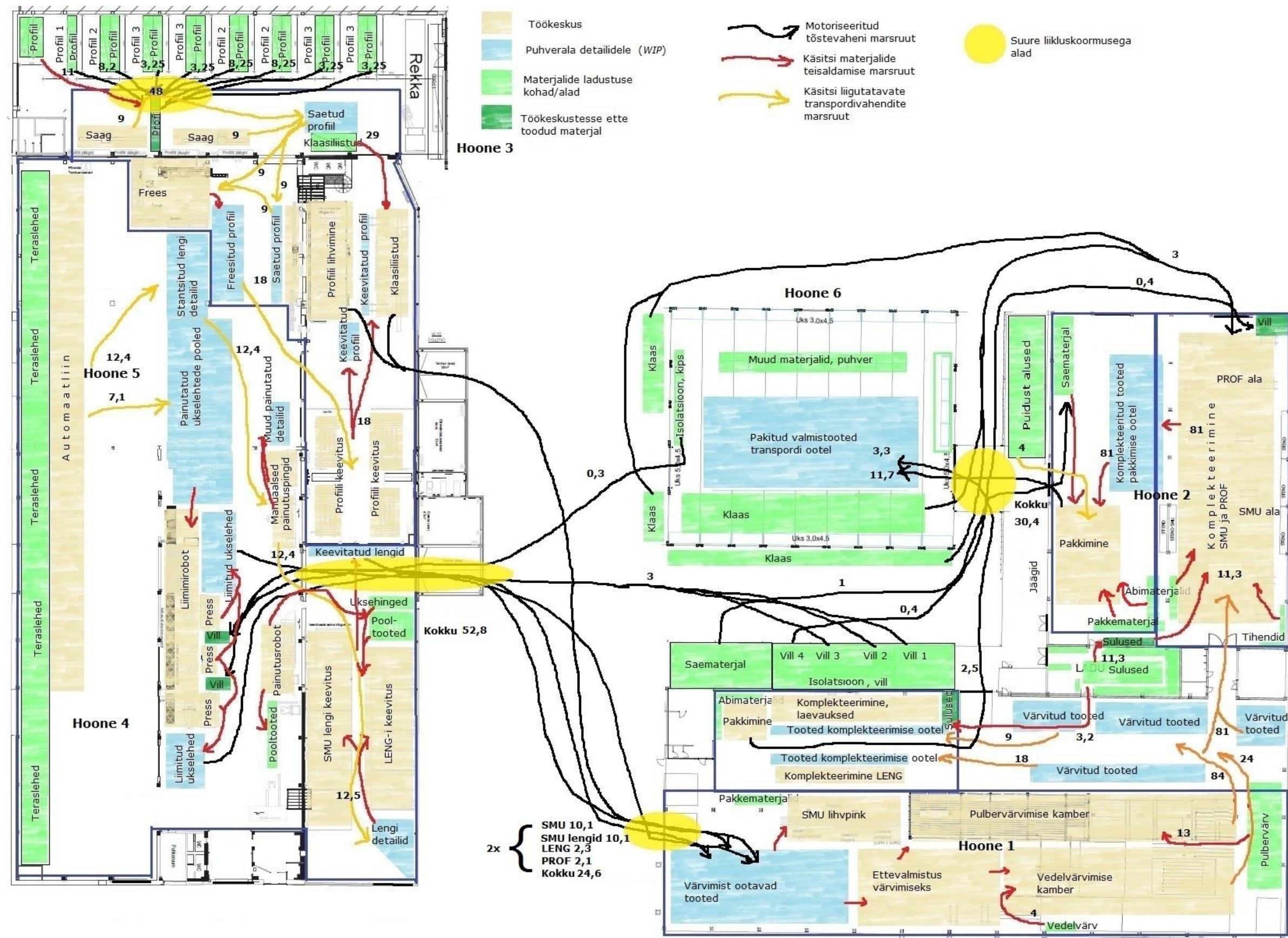
- **Kuidas on Sinu osakonnas korraldatud materjali ette toomine?**
- **Mis on peamised põhjused, mis takistavad sujuvat ja pideva töövoogu?**
- **Kui tihti esineb Sinu osakonnas töö seisakuid materjali puuduse tõttu?**
- **Kui tihti esineb Sinu osakonnas töö seisakuid eelnevast protsessist viibiva pooltoote tõttu?**
- **Kui tihti peab otsima materjali?**

Lisa 3 Intervjuude ja vaatluste kokkuvõte

Esinenud probleem	Hinnanguline esinemise sagedus	Tagajärg, raiskav tegevus	Osakond, meetod
Kvaliteet	3x kuus	Materjali lisa kulu	Automaatliin, intervjuu
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Ootamine, Liigsed liigutused	Komplekteerimine, intervjuu
Materjali kompleksus	3x nädalas	Liigsed liigutused	Komplekteerimine, intervjuu
Materjalide ette toomine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Komplekteerimine, intervjuu
Vaid nädala tööd ette komplekteeritud	3x kuus	Ootamine	Komplekteerimine, intervjuu
Ostetava materjali puudumine	2x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Komplekteerimine, intervjuu
Eelnevast protsessist detaili puudumine	3x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Komplekteerimine, intervjuu
Detailide sorteerimine ja kokku sobitamine	3x kuus	Otsimine	Komplekteerimine, intervjuu
Materjali kompleksus	3x nädalas	Liigsed liikumised	Komplekteerimine, intervjuu tootmisjuhiga
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Komplekteerimine, vaatlus
Puhverala kaugel	Igapäevane	Liigsed liigutused	Komplekteerimine, vaatlus
Sõltuvus ühest komplekteeritud kastist	3x nädalas	Liigsed liigutused, ootamine	Komplekteerimine, vaatlus
Materjali raskelt tuvastatav	Igapäevane	Otsimine	Komplekteerimine, vaatlus
Sõltuvus ühest tihendirullist	Igapäevane	Ootamine	Komplekteerimine, vaatlus
Materjali kompleksus	Igapäevane	Liigsed liigutused	Komplekteerimine, vaatlus
Tõsteseadme puudumine	Igapäevane	Ootamine	Komplekteerimine, vaatlus
Eelnevast protsessist detaili puudumine	Igapäevane	Ootamine, liigsed liigutused	Mitmed, intervjuu planeerijaga
Ostetava materjali puudumine	2x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Mitmed, intervjuu tootmisjuhiga
Laokorralduslik puudujääk	Igapäevane	Otsimine	Mitmed, tootmisjuht
Informatsioon ei liigu	Igapäevane	Liigsed tegevused, seisakud	Mitmed, tootmisjuht
Õige info puudumine	1x nädalas	Ootamine	Pakkimine, intervjuu
Eelnevast protsessist detaili puudumine	2x nädalas	Ootamine	Pakkimine, intervjuu
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Ootamine	Pakkimine, intervjuu
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Pakkimine, vaatlus
Ruumipuudus	Igapäevane	Liigsed liigutused	Pakkimine, vaatlus

Tõsteseadme puudumine	Igapäevane	Ootamine	Pakkimine, vaatlus
Detailide sorteerimine ja kokku sobitamine	Igapäevane	Otsimine, liigsed liigutused	Pinnatöötlemine, intervjuu
Detailidest ülevaate puudumine	Igapäevane	Otsimine	Pinnatöötlemine, intervjuu
Laokorralduslik puudujääk	Igapäevane	Otsimine	Pinnatöötlemine, intervjuu
Eelnevast protsessist detaili puudumine	5x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Pinnatöötlemine, intervjuu
Kvaliteet	Igapäevane	Materjali lisa kulu	Pinnatöötlemine, intervjuu
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Pinnatöötlemine, vaatlus
Materjali raskelt tuvastatav	Igapäevane	Otsimine	Pinnatöötlemine, vaatlus
Kvaliteet	5x nädalas	Materjali lisa kulu	Profiil, intervjuu
Ostetava materjali puudumine	2x kuus	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Profiil, intervjuu
Eelnevast protsessist detaili puudumine	1x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Profiil, intervjuu
Vead tööjoonistes	8x nädalas	Ootamine	Profiil, intervjuu
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Profiil, vaatlus
Vale laojääk, materjali puudumine	1x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Profiil, vaatlus
Väikeste detailide otsimine	Igapäevane	Otsimine, liigsed liigutused	Silemetall, intervjuu
Ühe projekti detailid erinevatel alustel	Igapäevane	Otsimine, liigsed liigutused	Silemetall, intervjuu
Detailide sorteerimine ja kokku sobitamine	Igapäevane	Otsimine, liigsed liigutused	Silemetall, intervjuu
Eelnevast protsessist detaili puudumine	2x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Silemetall, intervjuu
Masinate ümberseadistused	Igapäevane	Ootamine	Silemetall, intervjuu planeerijaga
Puhveralast otsimine	Igapäevane	Liigsed liigutused	Silemetall, vaatlus
Järgnev töökeskus aeglasem	Igapäevane	Ootamine	Silemetall, vaatlus

Lisa 4 AS-IS spageti diagramm



Lisa 5 AS-IS kaupade liikumised ja distantsid

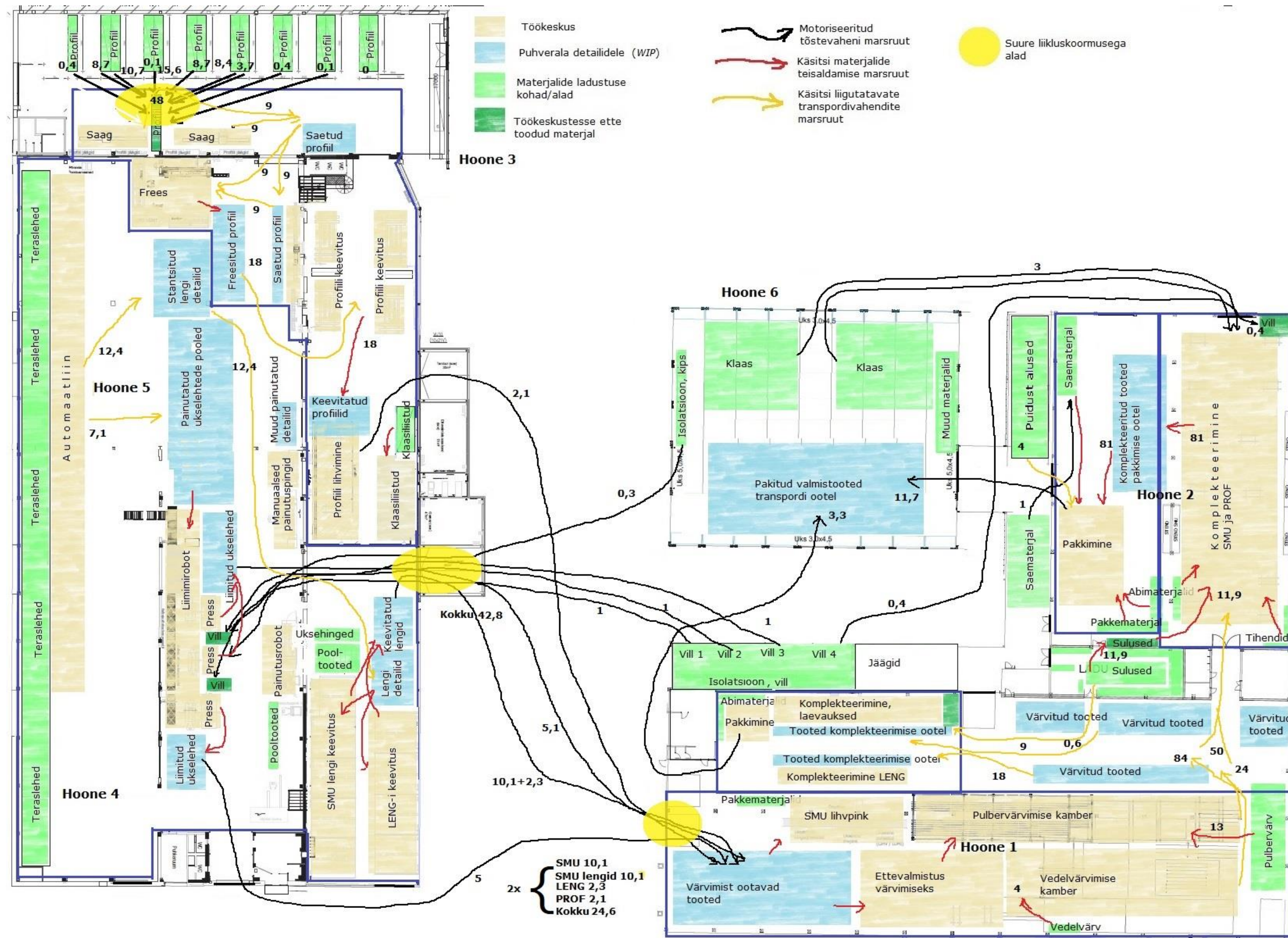
Kauba nimetus	Kaup	Lähtekoht	Sihtkoht	Liikumiste arv päevas	Topelt liikumine	Liikumisviis	Distants, m	Distants päevas, m
Vill 1	Materjal	Isolatsiooni ladu	Liimimise töökeskus	1	0	Tõstuk, diisel	109	109
Vill 2	Materjal	Isolatsiooni ladu	Liimimise töökeskus	1	0	Tõstuk, diisel	100	100
Vill 3	Materjal	Isolatsiooni ladu	Liimimise töökeskus	1	0	Tõstuk, diisel	90	90
Vill 4	Materjal	Isolatsiooni ladu	Pakkimise osakond SMU ja PROF	0,4	0,4	Tõstuk, diisel	89	71
Saematerjal	Materjal	Saematerjali ladu	Pakkimise osakond	0,4	0	Tõstuk, diisel	66	26
Puitalused	Materjal	Aluste ladu	Pakkimise osakond	4	4	Tõstuk	7	56
Klaas	Materjal	Klaasi ladustamise kohad	Komplekteerimise osakond	3	3	Tõstuk, diisel	86	516
Kips	Materjal	Hoone 6	Liimimise töökeskus	0,3	0,3	Tõstuk, diisel	72	43
Profiil	Materjal	Profiili ladu	Saagimise töökeskus	48	48	Tõstuk	12	1152
Pulbervärv	Materjal	Pulbervärvi ladu	Pulbervärvimine	13	13	Käsitsi	12	312
Vedelvärv	Materjal	Vedelvärvi ladu	Vedelvärvikamber	4	4	Käsitsi	6	48
Saetud profiil	Pooltoode	Saagimise töökeskus	Saetud profiili puhverala	18	18	Ratastega riul	17	594
Saetud profiil	Pooltoode	Saagimise töökeskus	Freesimise töökeskus	18	18	Ratastega riul	24	864
Klaasiliistud	Pooltoode	Profiili ladu	Liistu töökeskus	29	29	Käsitsi	12	696
Freesitud profiil	Pooltoode	Freesimise töökeskus	Keevitamise töökeskus	18	18	Ratastega riul	48	1728
Keevitatud profiil toode	Pooltoode	Keevitamise töökeskus	Lihvimise töökoht	18	18	Käsitsi	30	1080
Lihvitud profiil toode	Pooltoode	Profiili lihvimise töökoht	Pinnatöötuse osakonna puhverala	2,1	2,1	Tõstuk, diisel	120	504
Ukselehe pooled	Pooltoode	Automaatliin	Painutatud ukselehe poolte puhverala	7,1	7,1	Ratastega riul	18	256

Ukselehed	Pooltoode	Liimitud ukselede puhverala	Pinnatöötuse osakonna puhverala	10,1	10,1	Tõstuk, diisel	110	2222
Stantsitud lengi detailid	Pooltoode	Automaatliin	Stantsitud lengide puhverala	12,4	12,4	Ratastega riul	12	298
Stantsitud lengi detailid	Pooltoode	Stantsitud lengide puhverala	Manuaalse painutuse töökeskus	12,4	12,4	Ratastega riul	60	1488
Painutatud lengi detailid	Pooltoode	Manuaalse painutuse töökeskus	Lengidetailide puhverala	12,4	12,4	Ratastega riul	84	2083
Lengid	Pooltoode	SMU ja LENG keevituse töökeskus	Pinnatöötuse osakonna puhverala	12,4	12,4	Tõstuk, diisel	78	1934
Värvitud tooted	Pooltoode	Vedelvärvikamber	Värvitud toodete puhverala	24	24	Ratastega riul	32	1536
Värvitud tooted	Pooltoode	Pulbervärvikamber	Värvitud toodete puhverala	84	84	Ratastega riul	24	4032
Värvitud tooted SMU ja PROF	Pooltoode	Värvitud toodete puhverala	SMU ja PROF komplekteerimine	81	81	Ratastega riul	42	6804
Värvitud tooted	Pooltoode	Värvitud toodete puhverala	LENG komplekteerimine	18	18	Ratastega riul	36	1296
Värvitud tooted	Pooltoode	Värvitud toodete puhverala	Laevauste komplekteerimine	9	9	Ratastega riul	36	648
Komplekteeritud sulused	Materjal	Suluste riul komplekteerimises	SMU ja PROF komplekteerimine	11,3	11,3	Käsitsi	18	407
Komplekteeritud sulused	Materjal	Komponentide ladu	Laev ja LENG komplekteerimine	3,2	3,2	Käsitsi	36	230
Komplekteeritud tooted	Pooltoode	SMU ja PROF komplekteerimine	Pakkimise osakond SMU ja PROF	81	81	Ratastega riul	10	1620
Komplekteeritud tooted	Pooltoode	LENG komplekteerimine	Pakkimise osakond LENG ja laev	18	18	Ratastega riul	10	360
Komplekteeritud tooted	Pooltoode	Laevauste komplekteerimine	Pakkimise osakond LENG ja laev	9	9	Ratastega riul	10	180
Pakitud tooted, SMU ja PROF	Pooltoode	Pakkimise osakond SMU ja PROF	Valmistoodete ladu	11,7	11,7	Tõstuk, diisel	36	842
Pakitud tooted, LENG	Pooltoode	Pakkimise osakond LENG ja laev	Valmistoodete ladu	2,3	2,3	Tõstuk, diisel	90	414
Pakitud tooted, laev	Pooltoode	Pakkimise osakond LENG ja laev	Valmistoodete ladu	0,2	0,2	Tõstuk, diisel	90	36

Lisa 6 Poolstruktureeritud intervjuude kokkuvõte

Esinenud probleem	Hinnanguline esinemise sagedus	Tagajärg, raiskav tegevus	Osakond, meetod
Kvaliteet	5x nädalas	Materjali lisa kulu	Profiil
Ostetava materjali puudumine	2x kuus	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Profiil
Eelnevast protsessist detaili puudumine	1x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Profiil
Vead tööjoonistes	8x nädalas	Ootamine	Profiil
Kvaliteet	3x kuus	Materjali lisa kulu	Automaatliin
Väikeste detailide otsimine	Iga päev	Otsimine, liigsed liigutused	Silemetall
Ühe projekti detailid erinevatel alustel	Iga päev	Otsimine, liigsed liigutused	Silemetall
Detailide sorteerimine ja kokku sobitamine	Iga päev	Otsimine, liigsed liigutused	Silemetall
Eelnevast protsessist detaili puudumine	2x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Silemetall
Detailide sorteerimine ja kokku sobitamine	Iga päev	Otsimine, liigsed liigutused	Pinnatöötlemine
Detailidest ülevaate puudumine	Iga päev	Otsimine	Pinnatöötlemine
Laokorralduslik puudujääk	Iga päev	Otsimine	Pinnatöötlemine
Eelnevast protsessist detaili puudumine	5x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Pinnatöötlemine
Kvaliteet	Iga päev	Materjali lisa kulu	Pinnatöötlemine
Puhveralast otsimine	Iga päev	Liigsed liigutused	Komplekteerimine
Materjali kompleksus	3x nädalas	Liigsed liigutused	Komplekteerimine
Materjalide ette toomine	Iga päev	Liigsed liigutused	Komplekteerimine
Vaid nädala tööd ette komplekteeritud	3x kuus	Ootamine, kuna ei saa valida uud tööd	Komplekteerimine
Ostetava materjali puudumine	2x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Komplekteerimine
Eelnevast protsessist detaili puudumine	3x nädalas	Ümberplaneerimine, liigsed liigutused	Komplekteerimine
Detailide sorteerimine ja kokku sobitamine	3x kuus	Otsimine	Komplekteerimine
Õige info puudumine	1x nädalas	Ootamine	Pakkimine
Eelnevast protsessist detaili puudumine	2x nädalas	Ootamine	Pakkimine
Puhveralast otsimine	Iga päev	Ootamine	Pakkimine

Lisa 7 *TO-BE* spageti diagramm



Lisa 8. ABX_XYZ analüüs profiilile ja villale

Kaup	Kasutatud 2019.a	Osakaal	Kumulatiivne osakaal	ABC	Standardhälve	XYZ	ABC_XYZ	Päeva keskmine etteviimine, ühikut
Prof 76500	26 194	32,48%	32,5%	A	10%	X	AX	15,6
Prof 35000	17 925	22,22%	54,7%	A	12%	Y	AY	10,7
Prof 57000Z	14 578	18,07%	72,8%	A	6%	X	AX	8,7
Prof 79000	14 123	17,51%	90,3%	C	36%	Z	CZ	8,4
Prof 59000Z	6 176	7,66%	97,9%	C	37%	Z	CZ	3,7
Prof s76500	618	0,77%	98,7%	C	64%	Z	CZ	0,4
Prof 35000Z	609	0,76%	99,5%	C	55%	Z	CZ	0,4
Prof s57000	222	0,28%	99,7%	C	13%	Y	CY	0,1
Prof 75000	211	0,26%	100,0%	C	70%	Z	CZ	0,1
Prof 97900	0	0,00%	-	C	-	S	CS	0,0
Prof kokku	80 656							
Vill 1	23 000	46,00%	46,0%	A	10%	X	AX	1,1
Vill 4 leng	10 000	20,00%	66,0%	A	25%	Z	AZ	0,4
Vill 2	9 000	18,00%	84,0%	B	16%	Y	BY	1,2
Vill 3	8 000	16,00%	100,0%	C	21%	Y	CY	0,6
Vill kokku	50 000							

Lisa 9 TO-BE kaupade liikumised ja distantsid

Kauba nimetus	Kaup	Lähtekoht	Sihtkoht	Liikumiste arv päevas	Topelt liikumine	Liikumis-viis	Distsants, m	Distsants päevas, m
Vill 1	Materjal	Isolatsiooni ladu	Liimimise töökeskus	1	0	Tõstuk, diisel	62	62
Vill 2	Materjal	Isolatsiooni ladu	Liimimise töökeskus	1	0	Tõstuk, diisel	71	71
Vill 3	Materjal	Isolatsiooni ladu	Liimimise töökeskus	1	0	Tõstuk, diisel	80	80
Vill 4	Materjal	Isolatsiooni ladu	Pakkimise osakond SMU ja PROF	0,4	0,4	Tõstuk, diisel	75	60
Saematerjal	Materjal	Saematerjali ladu	Pakkimise osakond	0,4	0,4	Tõstuk, diisel	30	24
Puitalused	Materjal	Aluste ladu	Pakkimise osakond	4	4	Ratastega riul	7	56
Klaas	Materjal	Klaasi ladustamise kohad	Komplekteerimise osakond	3	3	Tõstuk, diisel	65	390
Kips	Materjal	Hoone 6	Liimimise töökeskus	0,3	0,3	Tõstuk, diisel	72	43
Profiil	Materjal	Profiili ladu	Saagimise töökeskus	48	48	Tõstuk	11	1056
Pulbervärv	Materjal	Pulbervärvi ladu	Pulbervärvimine	13	13	Käsitsi	12	312
Vedelvärv	Materjal	Vedelvärvi ladu	Vedelvärvikamber	4	4	Käsitsi	6	48
Saetud profiil	Pooltoode	Saagimise töökeskus	Saetud profiili puhverala	18	18	Ratastega riul	17	594
Saetud profiil	Pooltoode	Saetud profiili puhverala	Freesimise töökeskus	18	18	Ratastega riul	24	864
Klaasiliistud	Pooltoode	Profiili ladu	Liistu töökeskus	0	0	Käsitsi	0	0
Freesitud profiil	Pooltoode	Freesimise töökeskus	Keevitamise töökeskus	18	18	Ratastega riul	36	1296
Keevitatud profiil toode	Pooltoode	Keevitamise töökeskus	Keevitatud profiilid lihvimises	18	18	Käsitsi	25	900
Lihvitud profiil toode	Pooltoode	Profiili lihvimise töökoht	Pinnatöötuse osakonna puhverala	2,1	2,1	Tõstuk, diisel	108	454

Ukselehe pooled	Pooltoode	Automaatliin	Painutatud ukselehe poolte puhverala	7,1	7,1	Ratastega riul	18	256
Ukselehed	Pooltoode	Liimitud ukselede puhverala	Pinnatöötuse osakonna puhverala	10,1	10,1	Tõstuk, diisel	100	2020
Stantsitud lengi detailid	Pooltoode	Automaatliin	Stantsitud lengide puhverala	12,4	12,4	Ratastega riul	12	298
Stantsitud lengi detailid	Pooltoode	Stantsitud lengide puhverala	Manuaalse painutuse töökeskus	12,4	12,4	Ratastega riul	60	1488
Painutatud lengi detailid	Pooltoode	Manuaalse painutuse töökeskus	Lengidetailide puhverala	12,4	12,4	Ratastega riul	72	1786
Lengid	Pooltoode	SMU ja LENG keevituse töökeskus	Pinnatöötuse osakonna puhverala	12,4	12,4	Tõstuk, diisel	78	1934
Värvitud tooted	Pooltoode	Vedelvärvikamber	Värvitud toodete puhverala	24	24	Ratastega riul	32	1536
Värvitud tooted	Pooltoode	Pulbervärvikamber	Värvitud toodete puhverala	84	84	Ratastega riul	24	4032
Värvitud tooted SMU ja PROF	Pooltoode	Värvitud toodete puhverala	SMU ja PROF komplekteerimine	81	81	Ratastega riul	42	6804
Värvitud tooted	Pooltoode	Värvitud toodete puhverala	LENG komplekteerimine	18	18	Ratastega riul	36	1296
Värvitud tooted	Pooltoode	Värvitud toodete puhverala	Laevauste komplekteerimine	9	9	Ratastega riul	36	648
Komplekteeritud sulused	Materjal	Suluste riul komplekteerimises	SMU ja PROF komplekteerimine	11,9	11,9	Käsitsi	18	428
Komplekteeritud sulused	Materjal	Komponentide ladu	Laev ja LENG komplekteerimine	0,6	0,6	Ratastega riul	36	43
Komplekteeritud tooted	Pooltoode	SMU ja PROF komplekteerimine	Pakkimise osakond SMU ja PROF	81	81	Ratastega riul	10	1620
Komplekteeritud tooted	Pooltoode	LENG komplekteerimine	Pakkimise osakond LENG ja laev	18	18	Ratastega riul	10	360
Komplekteeritud tooted	Pooltoode	Laevauste komplekteerimine	Pakkimise osakond LENG ja laev	9	9	Ratastega riul	10	180

Pakitud tooted, SMU ja PROF	Pooltoode	Pakkimise osakond SMU ja PROF	Valmistoodete ladu	11,7	11,7	Tõstuk, diisel	36	842
Pakitud tooted, LENG	Pooltoode	Pakkimise osakond LENG ja laev	Valmistoodete ladu	2,3	2,3	Tõstuk, diisel	80	368
Pakitud tooted, laev	Pooltoode	Pakkimise osakond LENG ja laev	Valmistoodete ladu	0,2	0,2	Tõstuk, diisel	80	32