

**Jemiina Isokääntä**

## **SIMULOIDEN KOHTI VIRTASTEHOAKUUTTA**

**Lean-periaattein tehostettu tuotanto**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Tuotantotalouden koulutusohjelma  
Kesäkuu 2017**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Helmikuu 2017	<b>Tekijä/tekijät</b> Jemiina Isokääntä
<b>Koulutusohjelma</b> Tuotantotalous		
<b>Työn nimi</b> SIMULOIDEN KOHTI VIRTAAUSTEHOKKUUTTA. Lean-periaattein tehostettu tuotanto		
<b>Työn ohjaaja</b> Jari Kaarela, Martti Jokinen		<b>Sivumäärä</b> 31 + 6
<b>Työelämäohjaaja</b> Tarmo Hihnala		
<p>Opinnäytetyön tilaajana toimi Sievin Jalkine Oy. Yritys valmistaa työ-, turva- ja vapaa-ajan jalkineita, Sievin Asemakylän ja Oulaisten tehtaalla. Sievin Jalkine Oy on Pohjois-Euroopan suurin kenkävalmistaja.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena on löytää vaihtoehtoisia ratkaisuja pinkomon virtaustehokkuuden edistämiseksi. Virtaustehokkuuden tulisi parantua annettujen ideoiden avulla noin 10% lähtötilanteesta. Työn teoriaosuudessa tarkastellaan Lean-toimintastrategian peruseriaatteita ja simuloinnin käytänteitä. Työn empiirinen osuus perustui yrityksessä saatuihin vaiheaikakellotuksiin, joiden avulla selvitettiin kuinka nykyinen tuotantotyyli kuormittaa tuotantolinjastoa. Tämän pohjalta tehtiin kohdelinjastolta simulointi, jonka tarkoituksena on havainnollistaa tuotannon virtausta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena esiteltiin muutamia läpimenoa vaikuttavia tekijöitä. Simulointimallin avulla saatiin selville että työvaiheiden välistä kuormitusta tulisi tasoittaa, jotta tuotanto virtaisi paremmin. Simulointikierrosten perusteella saatiin selvitettyä, kuinka suuri merkitys vaihtelulla ja pullonkaulojen avartamisella on tuotannon toimintaan.</p> <p>Opinnäytetyön esittely versiosta on poistettu yritykselle tärkeitä tietoja.</p>		

<b>Asiasanat</b> Lean, simulointi, tuottavuus, vaihtelu
--

## ABSTRACT

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> February 2017	<b>Author</b> Jemiina Isokääntä
<b>Degree programme</b> Industrial Management		
<b>Name of thesis</b> THROUGH SIMULATING TOWARDS FLOW EFFICIENCY. Lean-inspired production		
<b>Instructor</b> Jari Kaarela, Martti Jokinen		<b>Pages</b> 31 + 6
<b>Supervisor</b> Tarmo Hihnala		
<p>This thesis was commissioned by Sievin Jalkine Oy. The Company produces safety, professional and casual shoes at Sievi and Oulainen. Sievin Jalkine Oy is the largest shoemaker in northern Europe.</p> <p>The aim of the thesis was to find alternative solutions to promote the flow efficiency of the stretching line. The flow efficiency should increase about 10% from the original production efficiency.</p> <p>The theoretical part of the work discusses the basic principles of the Lean strategy and the simulation practices. The empirical part of the work was based on the timing of the current production style loads the production line. Based on that information, a simulation of the production line was designed to illustrate the flow of production.</p> <p>As a result of this thesis a few of the factors influencin the lead time are presented. The simulation model showed that the load between the work stages should be smoothen in order to increase the production line`s flow efficiency Based on the simulation rounds, it was possible to find the factors that affected the lead time. Those factors where phase variation and bottlenecks.</p> <p>Important company information has been removed from this version of the thesis.</p>		
<b>Key words</b> Lean, productivity, simulation, variance		

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

5S	Organisointimenetelmä järjestyksen, siisteyden ja suunnitelmallisen työskentelyn edistämiseen ja ylläpitoon.
Käyttöaste	Kuvaa suhteellista osuutta kalenteriajasta, jolloin tuotantokoneella tehdään todellista tuottavaa työtä.
Layout	Työpisteiden tai tuotteen valmistuspolun sijoittelu tuotantotilassa.
Lean	Japanissa kehitetty toimintastrategia jonka tavoitteena on kasvattaa yrityksen virtaustehokkuutta.
Pingotus	Kengän työstövaihe jossa ommeltu kenkäneulos kiinnitetään lestin ympärille.
Simulointi	Todellisen prosessin jäljittelyä
Systeemi	Toisista riippuvien osien joukko, jolla on yhteinen tavoite esimerkiksi tuotantolinjasto.

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Työn tausta .....	1
1.2 Työn rajausta .....	1
1.3 Työn tavoite .....	2
<b>2 LEAN .....</b>	<b>3</b>
2.1 Arvon määrittäminen .....	4
2.2 Vaihtelu .....	5
2.3 Jatkuva parantaminen - Kaizen .....	9
2.4 Työn vakiinnuttaminen .....	10
2.5 Linjan balansointi .....	10
2.6 Laadunvarmistus .....	11
2.7 Tuotannon virtauttamisen työkalut .....	12
2.7.1 Imuohjaus .....	12
2.7.2 5S .....	13
<b>3 TUOTANNON SIMULOINTI .....</b>	<b>15</b>
3.1 Simulointiprojektin tyypilliset vaiheet .....	16
3.2 Hyödyt ja haasteet .....	16
<b>4 TUOTANNON ANALYSOINTI JA KEHITTÄMINEN+ .....</b>	<b>18</b>
4.1 Työntutkimus .....	18
4.2 Tarkasteltavien tuotteiden valinta .....	19
4.3 Pinkomon valmistusvaiheet .....	21
4.4 Simulaation rakentaminen .....	23
<b>5 TULOKSET JA YHTEENVETO .....</b>	<b>25</b>
5.1 Simulaatiokierros 1 .....	25
5.2 Simulaatiokierros 2 .....	26
5.3 Simulaatiokierros 3 .....	26
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>28</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Vaihtelun syntyminen .....	6
KUVIO 2. Vaihtelun vaikutustuotannon läpivirtaukseen .....	8
KUVIO 3. Käyttöasteen ja jaksonajan avulla parempaa tuottavuuteen .....	9
KUVIO 4. Imuohjaus tuotannon sisällä .....	13
KUVIO 5. Pussituskengän valmistuksen vaiheet .....	21
KUVIO 6. Allepinnattavan kengän valmistuksen vaiheet .....	22
KUVIO 7. Pinkomon rakenne .....	23
KUVIO 8. Simulaation vaiheajojen laskentalogiikka .....	23
KUVIO 9. Simulaatiokierrosten tulokset .....	29

## **TAULUKOT**

TAULUKKO 1. Simulaatiokierros 1 tulokset .....	26
TAULUKKO 2. Simulaatiokierros 2 tulokset .....	27
TAULUKKO 3. Simulaatiokierros 3 tulokset .....	28
TAULUKKO 4. Pinkomon todellinen päivätuotanto .....	29

## **KUVAT**

KUVA 1. Kenkä 1, Sieviar Roller XLS1 49-52524-183-92M .....	19
KUVA 2. Kenkä 2, Sieviar Roller XL S1P 49-52523-383-92M .....	19
KUVA 3. Kenkä 3, Elixir XL + S3 49-52772-153-08M .....	20
KUVA 4. Kenkä 4, 97-62196-728-55M .....	20

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii turva-, ammatti-, ja vapaa-ajanjalkineisiin erikoistunut yritys. Tuotevalikoima koostuu noin 122, erilaisesta kenkämallista. Yrityksen asiakaskunta rakentuu sekä yrityksistä, että yksityishenkilöistä ympäri maailman. Merkittävimmät vientimaat sijaitsevat lähellä Suomea, esimerkiksi Ruotsi, Norja, Tanska, Saksa ja Hollanti. Valmiit kengät päätyvät sekä vaativiin ammatti- ja harrastetehtäviin, että myös kevyempiin suoritteisiin.

Lean on kansainvälisesti tunnistettu tuotannon kehitystapa. Se koostuu erityisestä filosofiasta ja metodeista sekä erityisistä tekniikoista ja työkaluista. Leanin perimmäisenä ideana on tuotannon virtaustehokkuus ja sen kehittäminen yrityksen arvomaailman pohjalta. Leanin kaltainen tuotantomuoto syntyi yli 50 vuotta sitten Japanissa. Kuitenkin vasta 1980-luvulla se levisi muualle Lean-nimellä. Lean on käytössä suuressa osassa maailman johtavista yrityksistä, ja viime vuosina se on saanut jalansijaan myös Pohjoismaissa.

Työn layoutehdotusta testattiin simuloimalla. Simulaation tarkoituksena on jäljitellä todellista prosessia. Simuloinnin avulla on mahdollista tutkia pitkälle kehittyneitä ympäristöjä, joiden analyyttinen tulkinta on mahdotonta. Simulaation ansioista voidaan tarkastella pienten muutosten vaikutusta tuotantoon suuremmassa mittakaavassa. (Law & Kelton 2000, 670.)

## 1.2 Työn rajaus

Sievin Jalkineen tuotannossa on tällä hetkellä useita samankaltaisia pingoituslinjastoja, joten tutkimuskohteeksi rajattiin yksi tällainen linjasto. Työn kohteena olevassa linjastossa valmistetaan lähinnä turva- ja ammattijalkineita. Linjastolla tuotetaan noin 85 erilaista jalkinetta sesongin mukaan. Yrityksessä on vahvasti käytössä työntutkimus, jonka avulla on pystytty määrittämään alustavasti linjaston kapasiteetti. Yrityksen tarkoituksena on soveltaa tässä työssä esitettyjä kehitysideoita myös muihin linjastoihin.

### 1.3 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli löytää keinoja, joiden avulla valittua pingotuslinjaa voidaan kehittää. Tällä tavoin yritys pystyisi myös supistamaan pingotuslinjastojen määrää ja kohdistamaan vapautuneen kapasiteetin tuotekehitykseen. Tällä hetkellä tehostettava tuotantolinjasto ei tuota käytännössä niin paljon kenkiä kuin sen laskennallisesti pitäisi. Tuotannon virtausta hidastavia seikkoja pyrittiin tämän opinnäytetyön avulla tunnistamaan ja minimoimaan virtauksen parantamiseksi. Kohdeyrityksen työntekijöiltä saatujen vaihe aikojen avulla pyrittiin rakentamaan simulaatio valmistusympäristöstä. Toteutettu simulaatio pyrittiin dokumentoimaan niin, että se on toistettavissa.



## 2 LEAN

Seuraavissa kahdessa pääluvussa käsitellään kohdeyrityksessä toteutetun työn läpiviemiseksi ja ymmärtämiseksi tarvittava teoria.

Yksinkertaistetusti Leanin voidaan sanoa olevan toimintamalli, jolla pyritään kehittämään yritystoimintaa tarkoituksenmukaisemmaksi, täsmällisemmäksi ja järkevämmäksi asiakasnäkökulmasta (Kouri 2014, 6). Tuotannossa tämä tarkoittaa hyvää virtaustehokkuutta. Lean pyrkii siis vastaamaan kysymykseen: Miten organisaatio tuottaa arvoa? Toimintastrategian tavoitteena on kasvattaa yrityksen virtaustehokkuutta, jotta erilaiset lisätyöt ja tarpeeton tuhlaus vähentyisivät. Lisätyön vähentyminen voi näkyä myös koko tuotannon resurssitehokkuuden parantumisenä, koska virtaustehokkuuden ansiosta tuotannon eri resurssiyksiköt muodostuvat kokonaisvaltaiseksi järjestelmäksi. Toisin sanoen tuotannosta poistuvat omat osaoptimoidut saarekkeet, jotka usein aiheuttavat toistensa välille lisätyötä ja hukkaa. Virtaustehokas tuotantoketju luo perustan resurssitehokkuuden kasvulle. (Modig & Åhlström 2013, 123-125.)

Lean on alkujaan Japanissa toisen maailman sodan jälkeen kehitetty tuotantoideologia. Tuona aikana Japanissa vallitsi heikko taloustilanne, joka pakotti myös Toyota Motor Corporationin kehittämään tuotantometodeitaan. Yritys halusi panostaa tuotannossaan vain olennaiseen jättäen arvoa tuottamattomia elementtejä pois tuotantoketjusta. Tästä johtuen tuotteita pyrittiin valmistamaan vain todellisen asiakastarpeen mukaan. Ajatuksena oli se, että minimaalista pääoma ei sidottaisi varastoihin, vaan tarkoituksena oli muuttaa tuotteisiin sidottu pääoman mahdollisimman nopeasti tuloksi. Tämä tarkoitti läpivirtauksen kehittämistä niin, että tuote ei viivy kovin kauan tuotannossa, vaan päätyy nopeasti asiakkaalle. Toyotan tiedosti, että heillä ei ollut vara virheellisiin tuotteisiin, joten laadunvarmistus ja osittainen tuotannonohjaus jäivät työntekijöiden vastuulle. (Modig & Åhlström 2013, 71-76.) Tästä ajatusmaailmasta Toyota kehitti Toyota Production System (TPS) tuotantofilosofian, josta länsimaalaiset tutkijat kiinnostuivat luoden tuotantojärjestelmän nimeltä Lean (Modig & Åhlström 2013, 78-79).

Lean on tavoite, ei keino. On tärkeä tiedostaa, miksi tietyt työkalut ovat käytössä, eli mitä näiden Lean työkalujen käytöllä tavoitellaan. Usein Lean menetelmistä tulee itsessään tavoite, ja tavoite työkalun takana unohtuu. Leanin perimmäinen tarkoitus ei ole implementoida tuotantoon tiettyjä työkaluja vaan rakentaa tuotanto, jonka jokainen toiminta kumpuaa yrityksen arvomaailmasta. Toyotalla näitä arvoja olivat muun muassa asiakkaan tarpeiden täyttyminen. Kun asiakkaat ovat tyytyväisiä, yritys kasvaa.

Näiden arvojen pohjalta voidaan luoda tiettyjä periaatteita, jotka auttavat yritystä näkemään, mitä ja miten tulisi priorisoida organisaatiossa. Näin edelleen pystytään myös luomaan yritykselle sopivia menetelmiä ja sitä kautta työkaluja, jotta yrityksen arvot toteutuvat. Voidaan siis sanoa, että yrityksen arvomaailmasta ja yrityksestä riippuen kaikkia Leanin periaatteita, menetelmiä ja työkaluja ei voida universaalisti soveltaa. (Modig & Åhlström 2013, 92-94;130-138.)

## 2.1 Arvon määrittäminen

Lean toiminnassa ideana ei ole juosta nopeampaa, vaan kävellä lyhempi matka. Matkan lyhentäminen tuotannossa tapahtuu hukan lähteitä poistamalla. (Kouri 2014, 10.) Palvelun tai tuotteen arvo määritellään asiakasnäkökulmasta. Arvo muodostuu tuotteen laadusta, ominaisuuksista, toimitusajasta ja varmuudesta. Arvon määrittelyn tarkoituksen on ohjata kehitystoimintaa oikeisiin asioihin. (Kouri 2014, 6-8.) Jotta tuotteen arvo voitaisiin määrittää, tulee selvittää, mitkä toimet tuottavat asiakkaalle arvoa ja mitkä eivät. Lean- ajatusmaailmassa arvoa tuottavat toimet ovat seuraavia: asiakas on valmis maksamaan siitä, toiminta muuttaa tuotetta ja prosessi tehdään ensimmäisellä kerralla oikein. Jotta voidaan määritellä yrityksen sisällä ne toiminnot ja prosessit, joista asiakkaan saama arvo muodostuu, on näistä vaiheista aiheellista muodostaa arvoketju. Tämä menetelmä auttaa karsimaan lisäarvoa tuottamattomat prosessit ja tehostamaan niitä toimintoja jotka tuottavat arvoa. (Kouri 2014, 8.)

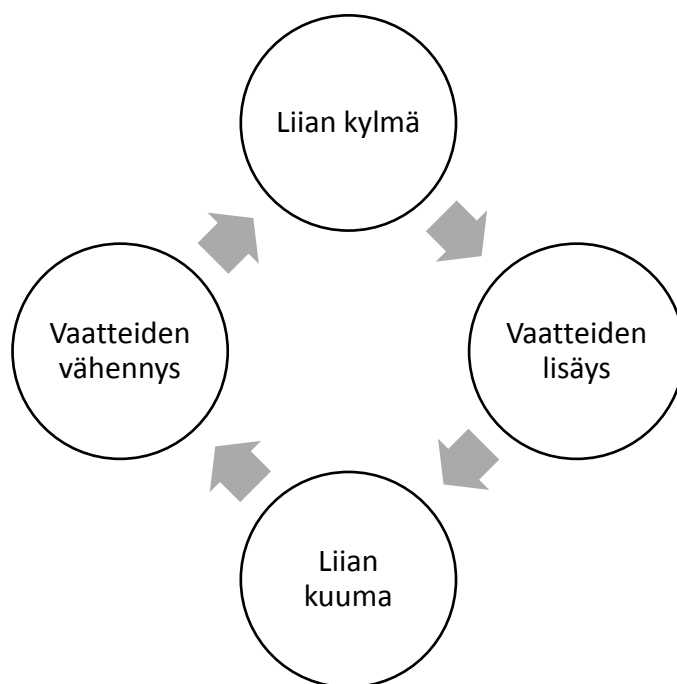
On olemassa myös toimia, jotka eivät täytä edellä mainittuja kriteereitä. Nämä ovat arvoa tuottamattomia toimia. Lean maailmassa arvoa tuottamatonta toimintaa nimitetään sanalla hukka. Hukka voidaan jäsentellä kolmen japaninkielestä tulevan termin alle: *muda*, *mura* ja *muri*. Näistä kaikista *muda* on hukan muotona tunnetuin. Se käsittää taakseen toiminnan, joka käyttää resursseja mutta ei lisää tuotteelle arvoa. Tarkemmin eriteltynä nämä toimet ovat: ylituotanto, odottelu ja viivästykset, tarpeeton kuljetus, yliprosessointi, tarpeeton varasto, tarpeeton liike, laatuvirheet sekä osaamisen vajaa käyttö. Toiset kaksi hukkaa ilmenevät huonosti tasapainotetuissa työprosessissa. *Muri* –termin käsitetään sisältävän resurssien ylikuormittamista. Työntekijöiden ylikuormittaminen aiheuttaa laatu- ja turvallisuusongelmia, ja vastaavasti taas koneiden ylikuormittaminen aiheuttaa vikoja ja katkoksia (Liker 2011, 114). Termiä *mura* käytetään prosessin sisällä syntyvän vaihtelun aiheuttamasta hukasta. Tämä voi tarkoittaa työvaiheiden ryhmittämistä niin, että tiettyä ajan hetkenä tuotanto on ylikuormitettu ja toisena kapasiteettia on vapaana. (Piirainen 2014a.) Kaikki kolme hukan muotoa rakentavat kokonaisuuden, josta vain yhtä hukan muotoa on mahdollista poistaa. Mikäli hukasta haluaa päästä eroon, tulee keskittyä kaikkien hukan muotojen eliminointiin.

Oleennaista Leanissa on tunnistaa ja poistaa hukka nopeasti ja tehokkaasti leikaten kustannuksia sekä kohentaen laatua. Jotta hukan syntyminen voidaan ymmärtää, tulee tiedostaa prosessissa tapahtuva vaihtelu. Hukka on seuraus vioista ja virheistä, jotka prosessin vaihtelu aiheuttaa. Jos prosessista poistetaan vain hukka, hukka ilmenee uudestaan. Jos perehdytään hukan taustoihin ja minimoidaan prosessin vaihtelu, hukan syntyminen vähenee. Voidaankin sanoa, että ongelmat ovat seurausta vaihtelusta, ja tästä syystä on hyvin tärkeää tiedostaa vaihtelun merkitys. (Lean ja johtaminen, 2017.)

## 2.2 Vaihtelu

Toimitusketjun tuottavuuden ja tehokkuuden tarkastelun kannalta merkittävimmät elementit ovat läpimeno, jaksonaika, varastot, käyttöaste ja vaihtelu. Näillä tekijöillä on välillään lukuisia riippuvuussuhteita, jotka on aiheellista ymmärtää. Kaikissa prosesseissa on vaihtelua, joka vaikuttaa mm. jaksoaikoihin ja ulostulonmäärään eli organisaation suorituskykyyn. Vaihtelun lajit voidaan luokitella erityisyysvaihteluun ja satunnaiseen vaihteluun. Jokaisella prosessilla on satunnaisvaihtelua, jota ei pyritä poistamaan, mutta on tärkeä ymmärtää mikä on satunnaisvaihtelua ja mikä erityisyysvaihtelua. Yrittäessä poistaa satunnaisvaihtelua se kasvattavat koko prosessin vaihtelua. Jotta prosessia voidaan parantaa, tulee ymmärtää ulostulon muodostuminen ja sen vaihtelu. (Piirainen 2014b, 43.)

Ennen kuin vaihtelun lähteisiin voidaan puuttua, tulee ymmärtää mistä syistä vaihtelu syntyy. Tuotanto on suuri kokonaisuus erilaisia riippuvuussuhteita. Siksi on tärkeä ymmärtää kuinka asiat liittyvät toisiinsa ja kuinka toimenpiteet vaikuttavat tarkasteltavaan kokonaisuuteen. Nämä riippuvuussuhteet ovat usein erittäin haastavia ymmärtää, sillä suurissa kokonaisuuksissa ne eivät välttämättä ole ilmeisiä. Asioihin puututaan yleensä ongelman havaitsemistasolla: mikäli ruumiin lämpötila laskee, lisätään vaatetta (KUVIO 1). On kuitenkin muistettava, että havaittu ongelma on aina seurausta systeemistä ja sen osien riippuvuussuhteista. (Piirainen 2014b, 29.) Systeemiajattelu auttaa käsittämään asioiden väliset sisäiset riippuvuudet ja aikariippuvuudet yksittäisten havaintojen sijaan. Systeemin sisällä on kahdenlaista monimutkaisuutta: tasapainottavaa ja vahvistavaa. Vaatetukseen panostaminen on vahvistavaa toimintaa. (Piirainen 2014b, 30-31.) Tasapainottava tekijä on taas systeemissä muutosta hillitsevä tekijä eli ruumiinlämpö.



KUVIO 1. Vaihtelun syntyminen (mukaillen Piirainen 2014b, 31-32)

Systeemin muutokset eivät tapahdu heti, vaan toimenpiteiden ja asioiden välillä on olemassa viive. Viive yhdessä muutosten aiheuttavan ja tasapainottavan tekijän kanssa aiheuttavat vaihtelun. Vaihtelu voi johtua joko systeemin riippuvuussuhteista, laiterikoista, asetusviiveistä, pysähdyksistä, alentuneesta nopeudesta, prosessivioista tai laatuhävikistä. Vaihtelun hallinta tapahtuu investoimalla kapasiteettiin, muuttamalla varastointi tyyliä tai käyttämällä toimintaan enemmän aikaa. Vaihtelun pienentämisellä taas tarkoitetaan toimia prosessin ulkoisen tai sisäisen vaihtelun pienentämiseksi. Vaihtelun hallinnalla ja pienentämisellä on selkeä ero. Vaihtelun hallinta on reagoivaa toimintaa, kun taas vaihtelun pienentäminen on ennakoivaa toimintaa. Molempia toimia tarvitaan ylläpitämään ja parantamaan nykyistä toimintaa. (Piirainen 2014b, 31-32)

Erityisen tärkeää vaihtelun kannalta on ymmärtää riippuvuussuhteet materiaalin varastojen, läpimenon ja jaksonajan välillä. Nämä kolme elementtiä voidaan yhdistää Littlen lain avulla:

$$WIP = TH * CT$$

jossa WIP on tuotannon varastot eli tuotannon raaka-aineet, prosessin sisällä olevat komponentit, puolivalmisteet ja valmiit tuotteet. TH on taas läpimeno. Läpimenolla tarkoitetaan arvon muodostumisen nopeus eli pitkän aikavälin keskimääräistä valmistumisnopeutta (kpl/aikayksikkö). CT kuvastaa taas

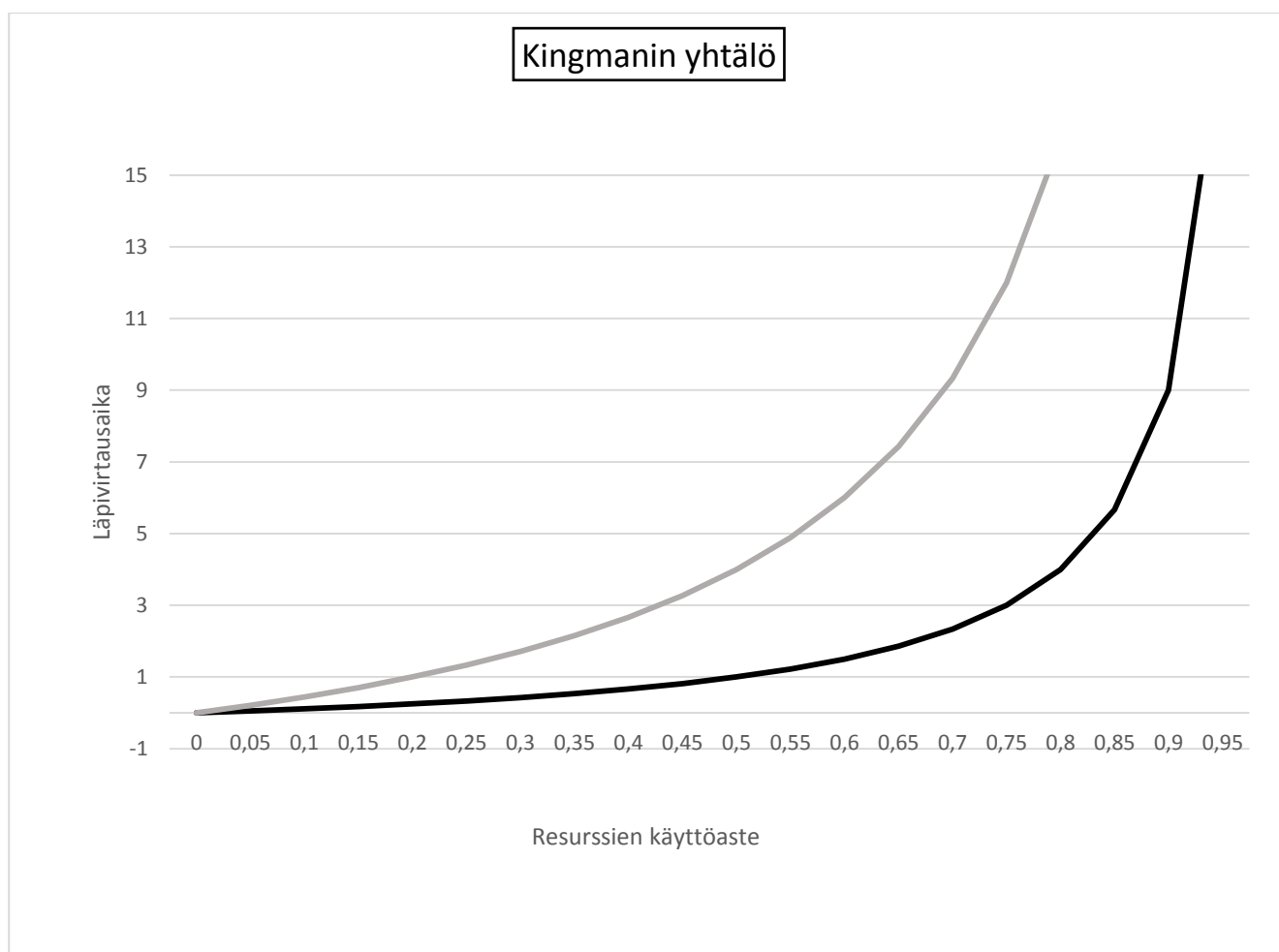
keskimääräistä jaksonaikaa eli kuinka kauan materiaalilla kestää kulkea prosessin alkupisteestä loppupisteeseen. Tässä yhteydessä voidaan myös puhua raaka-ainasta prosessointiajasta, joka tarkoittaa ominaispiirteen muodostumista kuvaavaa aikaa. Tämä voidaan laskea, joko koko prosessi tai yksittäiselle prosessin vaiheelle. Aika muodostuu pitkän aikavälin keskiarvoista ja vastaavasti koko prosessin raaka-aika lasketaan näiden keskiarvojen summasta. Jos näissä ajoissa lasketaan satunnaiset ja ei-satunnaiset häiriöt on mahdollista laskea myös prosessin tehollinen aika. Tämä laki selostaa varastojen ja läpimennon vaikutusta läpimenoaikaan, mutta se ei selvitä, kuinka WIP prosessissa syntyy. (Piirainen 2014b, 84-85.)

Tuotannon varastojen eli WIP:n syntymistä, kuvaa Kingmanin yhtälö. Siinä nivoutuvat yhteen prosessin ulkoinen ja sisäinen vaihtelu, resurssien käytöntehtokkuus sekä palvelevan prosessin keskimääräinen tehollinen prosessiaika. Kingmanin laki:

$$\text{Odotusaika} = \left( \frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left( \frac{u}{1-u} \right) T \approx V \left( \frac{u}{1-u} \right) T$$

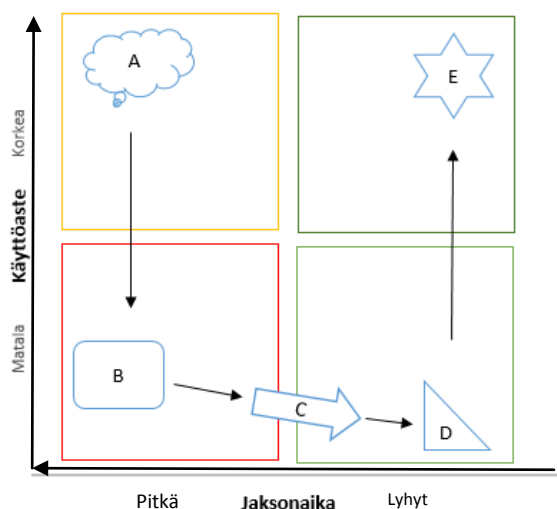
Jossa V on vaihtelun kerroin, u kuvastaa resurssien käyttöastetta ja T on prosessin tehollinen ominaispiirteenmuodostumisaika. (Piirainen 2014b, 99.)

Tuotannon joka päiväisissä toimissa on aina vaihtelua joka ilmenee valmistettavien tuotteiden läpimenoajan vaihteluna. Tuotannon läpimenoaika rakentuu tehokkaasta prosessointiajasta ja odotusajasta. Tarkasteltaessa Kingmanin yhtälöä ja oletettaessa aikakerroin vakioiksi saadaan käyttöasteen vaikutuksesta läpimenoaikaan (KUVIO 2). Kuvaajasta huomataan, että läpimenoaika kasvaa käyttöasteen kasvaessa. Mitä lähemmäksi mennään 100% käyttöastetta, sitä räjähdysmäisemmin läpimenoaika kasvaa. Kuvaajasta voidaan nähdä myös se, että mitä suurempi vaihtelu prosessissa on, sitä kauemmin tuotteen läpimeno kestää. Harmaa viiva kuvastaa prosessia, jossa vaihtelu on suurempaa kuin prosessissa jota kuvastaa musta viiva. (Kingmanin kaava 2017.)



KUVIO 2. Vaihtelun vaikutus tuotannon läpivirtaukseen (mukaillen Piirainen 2014b, 99)

Tuottavuudella ja tehokkuudella on vaikutusta tuotannonvirtauksen ajan vaihteluun. Tuottavuuden parantamisessa tulee olla erittäin tarkkana sen suhteen, ovatko parannustoimet oikeita. Tuottavuuden parantaminen on haastavaa, kun tarkastellaan sitä jaksonajan ja resurssien käytön avulla. (Piirainen 2014B, 109.) Mikäli kaikkia prosessintekijöitä kuormitetaan maksimaalisesti, se johtaa kuviossa 3 esitettyyn tilanteeseen A. Tästä johtuen jokainen on kiireinen ja aikaa käytetään toimintoihin, jotka eivät tuota tuotteelle arvoa. Kuvan tilanteessa B käyttöaste on alhainen, mutta jaksonaika pitkä. Kingmanin kaavan mukaan tämä tarkoittaa sitä, että prosessissa on paljon vaihtelua. Jotta prosessia voidaan kehittää tuottavammaksi, täytyy toimenpiteet kohdistaa tehollisen ajan lyhentämiseen ja vaihtelun pienentämiseen. Nämä toimet näkyvät kuvaajassa kohdassa C. Tehollisen ajan lyhentäminen mahdollistaa valmistusnopeuden kasvun. Läpimenon pidentäminen ja käyttöasteen alentaminen mahdollistavat jaksonajan lyhenemisen ja asiakkaiden palvelun paranemisen. Kun prosessiin kohdistuvaa vaihtelua on pienennetty, voidaan aloittaa resurssitehokkuuden nostaminen. (Piirainen 2014b, 120-121.)



KUVIO 3. Käyttöasteen ja jaksonajan avulla parempaan tuottavuuteen (mukaillen Piirainen 2014b, 120)

Vaihtelun ymmärtäminen, Kingmanin yhtälö ja Littlen laki ovat keskiössä, kun halutaan tutkia resursien- ja ajankäytön tehokkuuden merkitystä tuottavuuteen. Nämä toimintaa ohjaavat peruslainalaisuudet auttavat tuottavuusongelmin havainnoimisessa ja toimenpiteiden ohjaamisessa ongelman lähteelle. (Piirainen 2014B, 116.)

### 2.3 Jatkuva parantaminen - Kaizen

Lean-toiminta perustuu ajatukselle, että kaikkia prosesseja voidaan parantaa joka päivä. Kaizen on filosofia, joka rohkaisee kaikkia työntekijöitä tuotannosta ylimpään johtoon asti kehittämään työpisteensä arvovirtaa ja ehdottamaan parannuksia muihin pisteisiin. Jatkuva parantaminen ei ole vain hetkittäistä toimintaa, vaan se on läsnä jokapäiväisessä työssä. Parannusprojekteja voidaan toteuttaa joko, yksilön tai ryhmän tasolla. Kuitenkin näille on yhteistä se, että työntekijät tekevät kaiken itse, kehitystyötä eivät tee ulkopuoliset specialistit. Kaizen on keino parantaa tuotteen arvovirtaa, eli eliminoida hukkaa. Hukan eliminointiin Lean-toimintastrategiassa on useita työkaluja, kuten työpisteen organisointi, imuohjaus sekä keskeneräisen tuotannon ja varastojen vähentäminen. Kaizen filosofiassa arvostetaan ensin ihmisiä ja sen jälkeen tulevat koneet, tuotantotilat ja prosessit. Kaizen fokusoi inhimillistämään työpisteitä ja vähentämään työntekijöihin kohdistuvaa rankkaa henkistä sekä fyysistä työkuormaa. (Sayer & Williams 2012, 181-183; 190-191.)

Muutettaessa yrityksen toimintaan Leanmäiseksi nousee esille myös uusia ongelmia ja kehityskohteita. Usein nämä haasteet ilmenevät siinä vaiheessa, kun tuotantoa virtautetaan ja varastoja poistetaan. Kyseiset ilmentymät tulee nähdä mahdollisuutena kehittää työskentelytehokkuutta, laatua ja työturvallisuutta. Jotta nämä haasteet saataisiin ratkaistua, on käytännöllistä hyödyntää työntekijän omaa tunte-  
musta prosessista ja sen kulusta. Suuremmassa mittakaavassa katsottuna prosessien laadun ja toimivuuden kehittäminen parantaa koko yrityksen toimintaa ja ennen kaikkea kannattavuutta. (Kouri, 2014,14.) Muutettaessa toimintastrategiaa kohti Leania vastaan tulee usein haasteita, jotka ovat todennäköisesti olleet olemassa yrityksessä jo ennen strategiamuutosta.

## **2.4 Työn vakiinnuttaminen**

Jotta työmenetelmiä ja –tapoja voidaan kehittää, tulee ne ensin vakioida. Kun kaikki työvaiheet tehdään samoin menetelmin, on mahdollista selvittää, mikä menetelmä palvelee parhaiten tuotannon tar-  
koituksenmukaisuutta. Tällä tavoin on mahdollista tutkia, miten työmenetelmä vaikuttaa tuottavuuteen, laatuun ja turvallisuuteen. Selkeä ja havainnollinen työohje on erinomainen keino vakiinnuttaa työ. Ohjeen tulee sisältää yksinkertaisesti ilmaistuna työn päävaiheet sekä niihin liittyvät laadun, turvalli-  
suuden ja tuottavuuden edellytykset. Työohje kuuluu sijoittaa siten, että se on helposti työntekijän saa-  
tavilla ja lähellä työpistettä. Kun hyvät työskentelytavat on vakiinnutettu, on mahdollista alkaa kehittää toimintaa haluttuun suuntaan. Vakiinnutettu työ tukee myös tiedon kulkua ja oppimista työympäristös-  
sä, kun uusin ja sen hetkinen paras tapa toimia on kaikkien nähtävillä. Hyvien työtapojen kehittämisen ja tiedon jakamisen ansiosta myös työnlaatu ja tuottavuus parantuvat samalla, kun työtapaturmat vä-  
henevät. (Kouri 2014, 16-17.)

## **2.5 Linjan balansointi**

Tuotannon balansoimisella on mahdollista estää tuotteiden turhaa varastointia ja supistaa keskeneräi-  
sen tuotannon kokonaismäärää. Tuotannon balansointi tapahtuu pienentämällä eräkokoja ja säätelemäl-  
lä tuotettujen erien valmistusjärjestystä. Tämä kuitenkin edellyttää sitä, että tuotannon asetusajat ovat  
mahdollisimman lyhyitä ja asetuskustannukset pieniä. Lean-ajatusmaailmassa on ymmärretty, että ase-  
tusajat ovat keskeisessä asemassa tuotannon tasoituksen kannalta. On harhaanjohtavaa ajatella, että  
tuotannon tasoitus lisää kustannuksia supistaen samalla kapasiteettia. Keskittymällä asetusajojen ja -



kustannusten pienentämiseen voidaan saavuttaa parempi tuottavuus koko tuotannossa. Tuotantolinjan balansoimisella on myös vaikutuksia työntekijän kokemaan työhön, sillä pienerätuotanto tasoittaa työtahtia, systematisoi ja vakauttaa tuotantoa samalla luoden paremmat edellytyksen vastata kysyntään. (Kouri 2014, 18-19.) Tuotteiden valmistukselle on hyödyllistä tunnistaa tuoteperheet, jolloin tuoteperheen valmistamiseen tarkoitetut koneet voidaan sijoitella lähekkäin. Tällä tavoin on mahdollista luoda tuotanto, jossa tuotantoreitit ovat selkeitä. Tällä tavoin voidaan linjaston tasapainottamisen lisäksi myös vähentää odottelua, varastoja, parantaa laatua ja säästää tuotantotilaa. (Sayer & Williams 2012, 220-221.)

Yksi keino virtauttaa tuotantoa ja selvittää asiakastarpeeseen perustuva valmistustahti on laskea tuotteen tahtiaika. Tahtiaika lasketaan jakamalla käytettävissä oleva työaika asiakastarpeella. Tämän jälkeen on mahdollista suunnitella tuotanto niin, että tuotteet valmistuvat tahtiajassa. Mikäli tuotanto pysyy suorittamaan valmistuksen nopeammin mitä laskettu tahtiaika, työpisteellä on ylimääräistä kapasiteettia. Tämä viittaa siihen, että työvaiheiden yhdistäminen on mahdollista. Näissä tilanteissa on hyvä muistaa se, että ylimääräisiä tuotteita ei valmisteta kerryttämään varastoja. Jos taas työpisteellä kuluu tuotteiden valmistamiseen kauemmin kuin on laskettu tahtiaika, tulee selvittää tuotannon kriittiset vaiheet ja pullonkaulat, jotta tuotanto saavuttaa tahtiajan. (Wilson 2015, 194–196; Sayer & Williams 2012, 220–221.)

## **2.6 Laadunvarmistus**

Tinkimätön laatuajattelu on keskeinen osa Lean-toimintaa. Tämä tarkoittaa sitä, että yrityksessä tehdään kaikki mahdollinen toiminnan ja tuotteen laadun varmistamiseksi. (Kouri 2014, 6.) laadun varmistuksen keskeisimpiä termejä on jidoka. Jidoka tarkoittaa laadun luomista työpisteellä, sillä laatua ei voida enää liittää mukaan myöhemmin. Jokapäiväisessä toiminnassa jidoka tarkoittaa: älä hyväksy, tee tai jatkojalosta virheellistä tuotetta. Työtä suorittava henkilö on vastuussa laadusta ja sen ylläpitämisestä. Mikäli virhe ilmenee, on työntekijän vastuulla ratkaista ongelma tai pysäyttää prosessi (virhe ei etene arvovirrassa) ja etsiä ongelman ratkaisija. (Wilson 2015, 144.)

Laatuongelmien havainnointia ja ratkaisua voidaan helpottaa erilaisilla menetelmillä. Yksi keino on kirjata välittömästi syntyneet ongelmat työalueen ongelmataululle. Tällä tavoin voidaan tarkastella ongelmien syntyä ajantasaisesti ja puuttua ongelmiin välittömästi niiden syntyessä. Lean-toiminnassa ongelmat pyritään ratkaisemaan systemaattisesti, jotta niistä päästään eroon pysyvästi. Tästä syystä

ongelmien selvittämisessä käytetään yksinkertaista 5 kertaa miksi –tekniikkaa. Ideana on kysyä viisi kertaa: miksi kyseinen ongelma on syntynyt? Tarkoituksena on jokaisen kysymys kerran jälkeen päästä lähemmäs ongelman ydintä. Kun ongelman ytimen uskotaan löytyneen, tehdään tarvittavat korjaustoimenpiteet ja tarkistetaan taululta ongelman häviäminen. Tämän jälkeen vakioidaan uusi toimintatapa. (Kouri 2014, 30–31.) Lean tyylisessä toiminnassa tarkoituksena on poistaa visuaaliset ja ihmisten tekemät tarkastukset ja kehittää valmistustekniikoita, joiden ansioista työ on mahdotonta tehdä väärin. Näitä tekniikoita ja niksejä kutsutaan poka-yoke:ksi. Poka-yoke:n ansioista koneet tekevät yksinkertaisen tarkistamisen, jotta työntekijät voivat keskittyä suuremman arvon tuottaviin toimiin. (Wilson 2015, 57;194.)

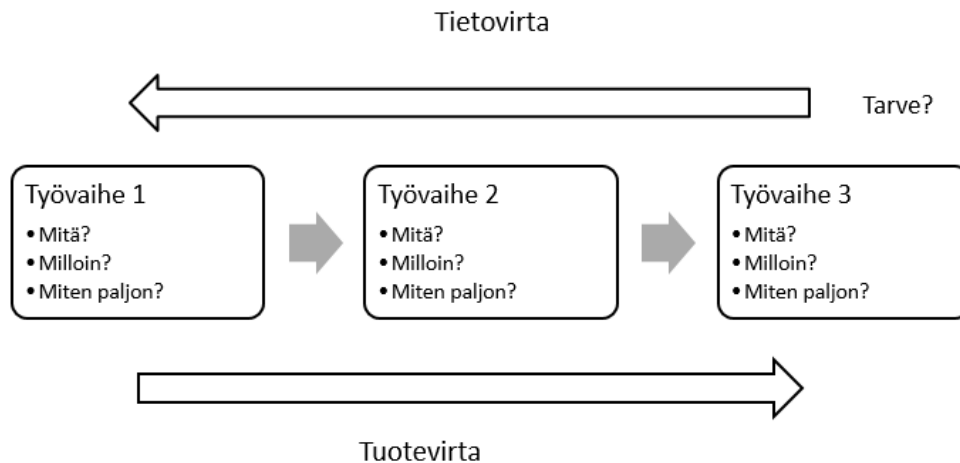
## **2.7 Tuotannon virtauttamisen työkalut**

Lean-tehtaissa olennaista on hyvin virtaava tuotanto, jonka avulla on mahdollista vastata nopeasti asiakaskysyntään. Tämä tarkoittaa sitä, että varastot ja tuotannon määrä pidetään pienenä, jotta tuotteet virtaisivat tuotannon läpi pysähtymättä. Virtauksen tehostaminen tuo selkeästi esille tuotantoprosessin ongelmat, kuten laadulliset puutteet tai konehäiriöt. Virtauttaminen haastaa yrityksen kehittämään tuotannon luotettavuutta, lisäämään toiminnan suunnitelmallisuutta ja eliminoimaan laatuhäiriöitä. Tuotannon virtauksen tehokkuutta mitataan läpäisyajalla, joka mitataan tuotteen valmistuksen alkamisesta siihen hetkeen, kun tuote on valmis. Läpäisyajan lyhentäminen perustuu odotusaikojen poistamiseen valmistuksessa. (Kouri 2014, 20-21.)

### **2.7.1 Imuohjaus**

Imuohjaus on tuotannonohjauskeino, jossa tuotetta ei valmisteta, ennen kuin siitä on tehty tilaus. Kun tilaus on tehty, sen tiedot kulkevat tuotannon vastavirtaa läpi koko tuotantoprosessin. Lean-ajatusmallissa jokaisen tuotannonvaiheen ajatellaan olevan yrityksen sisäinen toimittaja seuraavalle tuotantoyksikölle. Samalla tavalla myös jokainen tuotannon vaihe toimii sisäisenä asiakkaana aikaisemmalle tuotantoyksikölle. Tällä tavoin yrityksen sisälle muodostuu joukko lyhempiä tilaus-toimitusketjuja, jotka kokonaisuutena muodostavat yrityksen tuotannon (KUVIO 4). Jotta jokainen tuotannonvaihe pystyy toimittamaan halutun kaltaisen tilauksen, tulee sen tietää tarkoin mitä siltä odotetaan. Kaikkien tuotantoyksiköiden tulee tietää, mitä he tekevät seuraavaksi, milloin sen pitää olla tehtynä ja mitä materiaaleja tilauksen tekemiseen tarvitaan. (Modig & Åhlström 2013, 72-74.) Imuoh-

jauksen avulla on mahdollista karsia varastoja, yksinkertaistaa materiaalihoausta, leikata läpäisyaikaa ja selventää tuotantoa. Mikäli yrityksen valmistamien asiakaskohtaisen tuotteiden tuottamisessa ei ole mahdollista käyttää imuohjausta, tuotteet pyritään valmistamaan lyhyen ajanjakson tuotantosuosittelun perusteella (Kouri 2014, 9).



KUVIO 4. Imuohjaus tuotannon sisällä (mukaillen Modig & Åhlström 2013, 72-74)

Jotta saadaan aikaan toimiva imuohjaus, on aiheellista luoda imuohjausimpulssi, joka voi tulla seuraavalta työvaiheelta. Leanissa imuohjausimpulssiksi on kehitetty Kanban- kortti, jonka tehtävänä on määrittää valmistettava tuote ja valmistettava kappalemäärä. Näiden korttien määrä luonnollisesti määrittelee, kuinka monta erää kyseistä tuotetta voi olla varastossa. On kuitenkin huomioitava että Kanban kortit soveltuvat vain sellaisten tuotteiden imuohjausimpulssiksi, joita valmistetaan tuotannossa säännöllisesti lähes vakiomääriä. (Kouri 2014, 22-23.) Lean-toiminnan pyrkimyksenä on luoda yksinkertainen tuotannonohjausjärjestelmä, joka pystyy nopeasti reagoimaan tuotantoympäristön muutoksiin.

### 2.7.2 5S

5S on viisiportainen työympäristön organisointimenetelmä. Kehitystyökalun tarkoituksena on nopeuttaa tuotannon virtausta ja lyhentää läpimenoaikaa organisoimalla työpiste toimivaksi. (Väisänen 2013.) 5S-prosessin ensimmäinen vaihe on kaikkien työpisteen tavaroiden järjestäminen, eli *seiri*. Tässä vaiheessa tavarat järjestellään kolmeen kategoriaan: säilytää, palauttaa ja hävittää. Päivittäin käytettävät, työpisteen toiminnalle tärkeät tavarat tulee säilyttää. Toiselle työpisteelle tai osastolle kuuluvat asiat tulee

palauttaa. Kaikki ne esineet ja asiat poistetaan, joita ei tarvita käsillä olevaan työhön. (Sayer & Williams 2012, 216-218; Väisänen 2013.) Jäljelle jääneille tavaroille tulee muodostaa standardipaikka *seiton*, joka on helppo tunnistaa. Standardipaikkoja mietittäessä on myös hyvä ottaa huomioon tavaroiden tehokas ja turvallinen palautus, jotta järjestys säilyy. Kolmas porras organisointimenetelmässä on puhdistaminen eli *seiso*. Järjestämisen jälkeen on tärkeää siivota työpisteen koneet, työvälineet ja kehittää järjestelmä, jonka avulla siisteys pysyy yllä. (Väisänen 2013.)

Edellä mainittujen kolmen portaan jälkeen vuorossa on standardointi eli *Seiketsu*, joka on vahvasti kytköksissä aiempiin vaiheisiin. Työpisteelle tulee luoda siisteystaso, jotta järjestys säilyy ja asiat pysyvät oikeilla paikoilla. Standardointiin voidaan käyttää kylttejä, värejä tai infotauluja, jotka osoittavat, missä kaiken pitää olla. Kun edellä mainitut vaiheet on implementoitu tuotantoon, tulee työntekijät sitouttaa, näihin toimintatapoihin. Sitoutumisella, josta käytetään termiä *shitsuke*, tarkoitetaan sitä, että menetelmää pidetään rutiininomaisesta ja tällä tavoin varmistetaan jatkuva onnistuminen. Tämä on haastavin osa viidestä ässästä, sillä jos tämä ei toimi, koko organisointimenetelmä kaatuu. (Väisänen 2013.) 5S-organisointimenetelmän avulla kaikella on paikkansa, joten kenen tahansa tulisi siis pystyä vaivatta huomaamaan, mikäli jokin työkalu on hukassa tai se on väärässä paikassa. (Mann 2010, 262–263.) Tähän kytkeytyy myös kuudes ulottuvuus, turvallisuus. Tämä porras tulee sivuilmiönä viiden muun mukana, sillä järjestys ja siisteys luovat stabiilit ja turvalliset puitteet työskentelylle. 5S-kehitystyökalun käyttö paljastaa mahdolliset ongelmat, kuten laiteviat, hukatut osat tai puuttuvat varoituskyltit. (Väisänen 2013.) Lean-toiminnan perustana ovat tarkkaan, mutta yksinkertaisesti määritellyt standardit. Näiden standardien toteutumisen varmistaa 5S. 5S-menetelmän tarkoituksena on tehdä erilaiset standardit näkyviksi, kuten esimerkiksi työkalujen paikat työpisteellä. 5S-menetelmällä luodun siisteyden ja järjestyksen avulla on helppo havainnoida standardien toteutumista. (Dennis 2007, 31.)

Edellä mainitut Lean- työkalut kattavat tämän opinnäytetyön läpiviennin kannalta oleelliset toimenpiteet. On kuitenkin muistettava, että Lean työkalupakista löytyy vielä useita työkaluja, joita ei tässä työssä ole mainittu.

### 3 TUOTANNON SIMULOINTI

Työkaluna tässä työssä on käytetty simulointia. Tuotannosta valittiin neljä valmistustavaltaan yleisintä kenkää tutkimukseen. Tuotannon vaiheajat saatiin selville työntekijöiden tekemistä tutkimuksista. Näiden kenkien tuotantoa simulointiin ja pyrittiin selvittämään, kuinka tuotantolinjaston virtaustehokkuutta voitaisiin kehittää.

Simulointi on turvallinen, edullinen ja nopea tapa tutkia pitkälle kehitettyjen systeemien toimintaa. Tietokonesimulointi voi tarkoittaa suunnitellun tai todellisen järjestelmän toiminnan jäljittelemistä ajassa. Tuotannonsimuloinnin päämääränä on tuottaa taloudellisia ja teknisiä tunnuslukuja tuotannonohjaukseen ja investointisuunnitteluun. Simuloinnilla voidaan tarkoittaa kolmiulotteista mallia, jonka avulla simuloinnin tulosten tulkinta on helppoa ja nopeaa. Samaa mallia ymmärtävät siis sekä työntekijät että johtajat. (Delfoi Oy.) Voidaan sanoa, että simuloinnilla on neljä erilaista käyttötarkoitusta: ennustaminen, vaihtoehtojen selvittäminen, mitä-jos –analyysit ja kommunikointivälineenä toimiminen.

Simuloitavat systeemit voidaan kategoroida erilaisiin malleihin. Simuloitavat systeemit voivat olla dynaamisia-, staattisia-, stokastisia tai deterministisiä malleja. Dynaamisissa malleissa jäljitellään systeemiä, jossa tapahtuu muutos ajan kuluessa, kun taas staattisessa mallissa tutkitaan mallin käytöstä tietyllä ajan hetkellä. Deterministisessä mallissa kaikki on ennalta määritettävissä, kun taas stokastisessa mallissa systeemi ohjautuu satunnaisesti syötetyillä arvoilla. Arkielämässä nämä systeemit voivat olla välitöntä toimintaa vaativia systeemeitä, kuten säätimet, autot, matematiikka tai poliittinen puolue. Myös edellä mainituista systeemeistä voidaan muodostaa kombinaatiota kuten esimerkiksi tuotantolinja, joka on sekä ihmisen välitöntä toimintaa vaativa systeemi että fyysinen systeemi. (Robinson 2004, 2-3.)

Simulointimalleja voidaan myös erotella tilanteisiin joissa järjestelmän tila muuttuu tietyin lainalaisuuksin ajan muuttuessa. Jatkuvien järjestelmien mallissa muuttujat kehittyvät jatkuvasti ajan myötä. Diskreetissä simulointimallissa järjestelmän tila muuttuu diskreetin askelin, eli järjestelmän muutokset ovat äkillisiä, eivät jatkuvia. Tyypillisesti diskreetillä simuloinnilla tarkoitetaan jonojen ja jonoverkkojen malleja. Diskreetille simulointimallille voidaan määritellä muutamia yleisimpiä piirteitä. Malli sisältää odotusaikoja, jotka johtuvat järjestelmän luontaisista epävarmuustekijöistä. Näitä epä-

varmuustekijöistä ei voida poistaa, sen sijaan simuloinnilla pyritään odotusaikojen aiheuttamien kustannusten minimointiin.

### 3.1 Simulointiprojektin tyypilliset vaiheet

Simulointiprojekti sisältää useita vaiheita, joiden kesto riippuu täysin projektin luonteesta. Projekti lähtee liikkeelle ongelma määrittelystä ja tavoitteiden asettelusta. Tämän jälkeen vuorossa on systeemin tietojen keruu, jotta mallintaminen on mahdollista. Näitä tietoja ovat tuotannon layout, vaihe- ja asetusajat, prosessinvälisten varastojen koot, työntekijöiden määrä ja vuorot, tilausten eräkoot ja toimitusajat (osat/tuotteet). Ennen simuloinnin aloitusta tulee olla varma, että lähtötiedot mallista ovat paikansäilyttäviä ja erilaiset satunnaisuuden on otettu mallissa huomioon. Jokainen valinta malliin pitää olla perusteltu. Mielivaltaisesti eri tekijöitä ei saa valita, vaan niiden tulee perustua mittaukseen tai empiiriseen tietoon. Kun on saatu riittävästi lähtötietoja systeemistä, tulee suorittaa simulointi. Simulaatiomallin ollessa valmis täytyy tarkistaa, että simulaatio on toimiva ja tulokset ovat riittävän tarkkoja. Seuraavana tulee laatia simulointiajosuunnitelma, jotta tutkimus on myöhemmin toistettavissa. Kun suunnitelma on valmis, suoritetaan simulointiajot ja niiden analysointi. Viimeisenä tulokset tulee dokumentoida ja esitellä. (Kareinen 2009, 4-5.)

### 3.2 Hyödyt ja haasteet

Usein matemaattisesti laaditut mallit eivät riitä tutkittavan prosessin analyttiseen arvioimiseen, joten simulointi on ainut mahdollinen tutkimusmetodi. Muutosten testaaminen todellisella järjestelmällä edellyttää järjestelmän pysäyttämistä, mikä aiheuttaa esimerkiksi tuotannollisille järjestelmille tappiota. Simuloimalla tällaiset tulonmenetykset vältetään, ja järjestelmän toimintaa voidaan nopeuttaa niin, että testin tuloksia ei tarvitse odottaa useita kuukausia. (Robinson 2004, 4-11.) Simulointi sallii myös testiolosuhteiden hallinnan, mikä mahdollistaa toistettavuuden halutuilla systeemin arvoilla ja näin saadaan luotettavaa dataa lopputulosten vertailuun. (Law & Kelton 2000, 91-92.)

Simulaatiossa käytetään tilastomatemattisia kaavoja havainnollistamaan simuloitavien olosuhteiden muutoksia. Ilman oikein tulkittuja tilastollisia ominaisuuksia simuloinnin tuloksia on mahdotonta pitää oikeellisinä. (Law & Kelton 2000, 670.) Simulaation oikeellisuuden varmentaminen on haastavaa, sillä on vaikea varmistaa, että kaikki järjestelmään vaikuttavat tekijät ovat otettu huomioon tai että mate-

maattisen jakaumat kuvastavat todellisuutta. Oikeellisuuden varmentamisen lisäksi simulaatiomallien kehitys on aikaa vievää ja kallista. Oleellista simulaatiota rakentaessa on muistaa pitää rakenne riittävän yksinkertaisena, jotta tarkasteltavat seikat eivät katoa suureen kokonaisuuteen. Yksinkertainen malli mahdollistaa myös kommunikoinnin mallin avulla, ja johtopäätökset ovat helposti esitettävissä ilman väärin käsityksen mahdollisuutta. (Robinson 2004, 4-11.)

Tulosten mittaamisessa tulee olla ensisijaisen tarkkana, että käyttää mitattavan lopputuloksen kannalta oikeita tulostittareita. Tulosten mittauksessa on myös otettava huomioon, että jokainen simulaatiokierros ainoastaan ennustaa ajassa sattumanvaraisesti etevän prosessi lopputuloksen, sen hetkisillä syöttöparametreilla. Tästä syystä on aiheellista suorittaa useita simulaatiokierroksia eri syöttöparametreilla. On kuitenkin muistettava, että simulaation tarkoituksen ei ole oikeiden syöttöparametrien määrittäminen, vaan järjestelmän suunnittelullisten vaihtoehtojen vertailu. Siksi onkin syytä käyttää simulaation rinnalla myös analyyttistä mallia, jotta lopputulosten virheiden mahdollisuus vähenee ja väärin tulkinnalle ei jää tilaa. Voidaan siis sanoa, että jos on olemassa tarkka analyyttinen malli tai malli joka on helposti kehitettävissä, on se yleensä parempi mitä simulointimalli. (Law & Kelton 2000, 92-93.)

## 4 TUOTANNON ANALYSOINTI JA KEHITTÄMINEN+

Työntekijöiltä saadun datan perusteella pystyttiin kokoamaan kohdeyrityksen kenkätuotannon nykytilasta kokonaiskuva, joka esitellään tässä luvussa pääpiirteittäin. Myös simuloinnissa käytettyjä esimerkkikenkiä kuvataan lyhyesti.

### 4.1 Työntutkimus

Simulointiin tarvittavat aikatiedot otettiin yrityksen työntekijöiden tekemistä työvaihekellotuksista. Työntutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa ja kehittää tutkittavan työvaiheen menetelmiä, ajankäyttöä ja ergonomiaa. Työntutkimuksessa analysoidaan työtä eri näkökulmista. Tutkimukseen katsotaan kuuluvan neljä eri osa-aluetta, jotka ovat menetelmätutkimus, työnvakiinnuttaminen, työnopastus ja työnmittaus. Menetelmätutkimuksen tarkoituksena on kehittää työtapa, joka on mahdollisimman turvallinen, taloudellinen ja tehokas. Tästä johtuen myös työntutkimuksen osa-alueisiin kuuluu työnvakiinnuttaminen, eli silloin kun paras työtapa on löytynyt, se vakiinnutetaan. Tämän seurauksena työntutkimuksen tehtävänä on myös parhaan työtavan opastaminen työntekijöille. Viimeisimpänä osa-alueena on työnmittaaminen, eli työhön tarvittavan ajan selvittäminen. (EK-SAK tuottavuustyöryhmä 2011, 6.) Kohdeyrityksessä työntutkimusta hyödynnetään yllämainituilla aloilla, mutta yrityksen toiminnassa työntutkimuksen merkitys näkyy erityisesti urakkapalkkauksessa ja hinnoittelussa.

Työntutkimuksessa tutkitaan työn etenemisvauhtia. Tätä vauhtia käsitellään työntutkimuksessa nimellä joutuisuus. Joutuisuus tarkoittaa työntekijän tekemää suhteellista työmäärää aikayksikössä. Mittausaika on lyhyt eikä sisällä taukoja. Joutuisuus mitataan, jotta työsuorituksen mitattu aika voidaan normalisoida. Normalisoinnin tarkoituksena on saada selville, kuinka kauan kestää harjaantuneella työntekijällä suorittaa sama työ samoilla menetelmillä. Joutuisuuteen siis vaikuttavat työntekijän työinnokkuus, taidot sekä olosuhteet. Mikäli työntekijä ei ole harjaantunut tehtävässään, se tulee ottaa huomioon työn normalisoinnissa. Normalisoinnilla asetettu normaalisuoritusasteella työ suoritetaan keskinkertaisella teholla ja taidolla. Tästä johtuen jokainen keskimääräisen ammattitottumuksen ja -taidon saavuttanut työntekijä alittaa normiajan keskimäärin 15-20 prosentilla. Joutuisuudenmäärittäminen perustuu työntutkijan harjaantumisen myötä syntyneisiin käsityksiin ja työntutkijan ammattitaidon kautta syntyneeseen mielikuvaan normaalijoutuisuudesta ja normaalisuorituksesta. (EK-SAK tuottavuustyöryhmä 2011, 16.) Pinkomon työntekijät alittavat normiajan keskimäärin 20–30 prosentilla (Sydänmetsä 2017).



## 4.2 Tarkasteltavien tuotteiden valinta

Kohdeyrityksen kenkätuotteisiin kuuluvat turva-, ammatti-, ja vapaa-ajankengät. Opinnäytetyöhön rajatulla tuotantolinjastolla valmistetaan vain osaa tuotevalikoiman kengistä. Kohdelinjastolle olevien kenkien valmistus riippuu kengän neuloksen mallista, kengän solmimismekanismista ja kengän rakenteisiin lisättävistä elementeistä. Tästä syystä työssä tarkasteltiin kenkiä vain niiden tuotantovaiheiden mukaan. Tämän ansiosta kaikki kenkämallit voitiin yleistää muutamahan kenkätyyppiin. Yleistämisen ansiosta simuloinnissa saatu data on riittävän selkeä ja informatiivinen. Alla on esitelty kenkätyyppejä edustamaan valikoidut kengät.



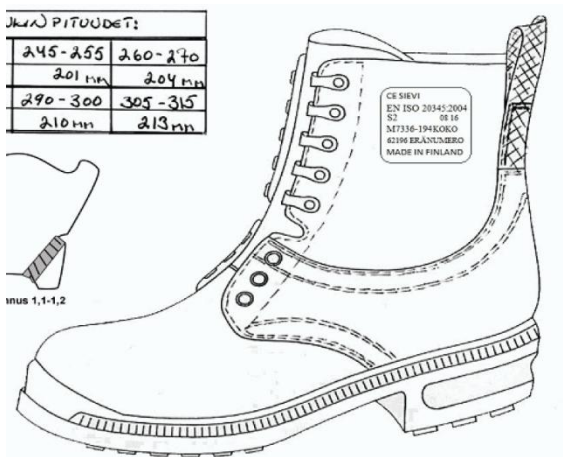
KUVA 1. Kenkä 1, Sieviar Roller XLS1 49-52524-183-92M



KUVA 2. Kenkä 2 Sieviar Roller XL S1P 49-52523-383-92M



KUVA 3. Kenkä 3 Elixir XL + S3 49-52772-153-08M



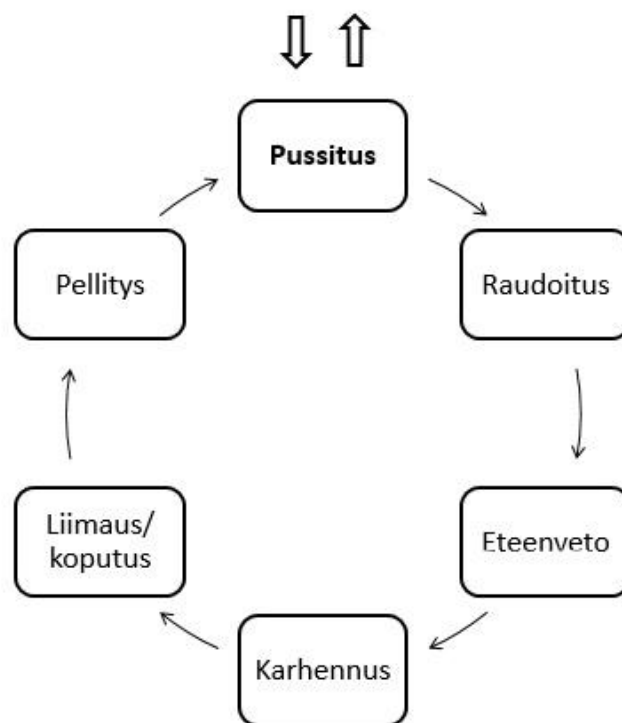
KUVA 4. Kenkä 4 97-62196-728-55M

Kengät voivat olla joko niin sanottuja allepinnattavia kenkiä (KUVA 4) tai pussikenkiä (KUVAT 1,2 ja 3). Allepinnattavissa kengissä kengän pintamateriaali kiinnitetään kauttaaltaan kengän pohjalliseen kiinni liimalla tai nauloilla. Pussikengissä taas kengän pohjallinen kiinnitetään kenkään ompelella, joten vain kengän karkiosa kiinnitetään erikseen liimalla pohjaan kiinni. Tutkimuksissa käytetyt esimerkkikengistä Kenkä 1 (KUVA 1) edustaa kenkää, johon tuotannossa asetetaan huopa. Kenkä 2 kuvassa 2 edustaa Air-kenkää, johon asetetaan tutkimuslinjastolla huovan lisäksi myös naulaanastumis-pelti. Huovan tarkoituksena on lisätä kengän hengittävyyttä käytön aikana. Kenkä 3 kuvastaa tuotannosta sellaista kenkää, johon ei aseteta huopaosaa tai peltiä (KUVA 3). Kenkä 4 edustaa kenkää, joka on allepinnattava (KUVA 4).

### 4.3 Pinkomon valmistusvaiheet

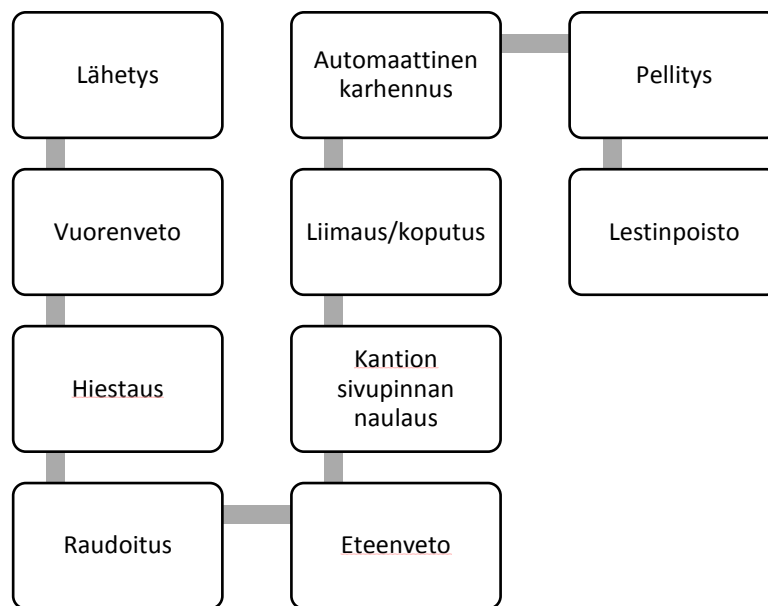
Kohdeyrityksen pingotuslinjaston materiaalivirta kiertää tuotantolinjastolla ympyrän päätyen lopulta samalle työpisteelle kuin kengän saapuessa siihen. Kyseinen tuotantomalli näkyy erityisesti pussikengän valmistuksessa.

Pussitusvaiheessa työntekijät hakevat linjastolle meneviä kenkäneuloksia varastosta, toimittavat ne työpisteen välittömään läheisyyteen ja ”pukevat neuloksen” linjastolta vapautuvalle lestille (KUVIO 5). Tämän jälkeen kengän kärkeen liimataan kärkirauta raudoituspisteessä, minkä jälkeen kärkiraudan päälle pingotetaan kengän pintamateriaali liimaamalla se pohjaan kiinni. Seuraavana kengän pohjaan liimattu materiaali karhennetaan, jotta myöhemmin valettava pohja kiinnittyy siihen. Karhennuksen jälkeen kenkä asetetaan kuljettimelle, minkä avulla se kulkee uunin läpi. Uunin jälkeen kengän reunat koputetaan erillisellä koputuskoneella. Tällä varmistetaan että pintanahka on tiiviisti pingotettu kannan osalta ja lisää liimaa vaativat kohdat liimataan käsin, jotta kenkään myöhemmin valettava pohja kiinnittyy. Näiden vaiheiden jälkeen kenkään liimataan pohjahuopa ja naulaanastumispelti. Tämän jälkeen kenkä voidaan irrottaa lestistä ja siirtää varastoon odottamaan pohjan valamista.



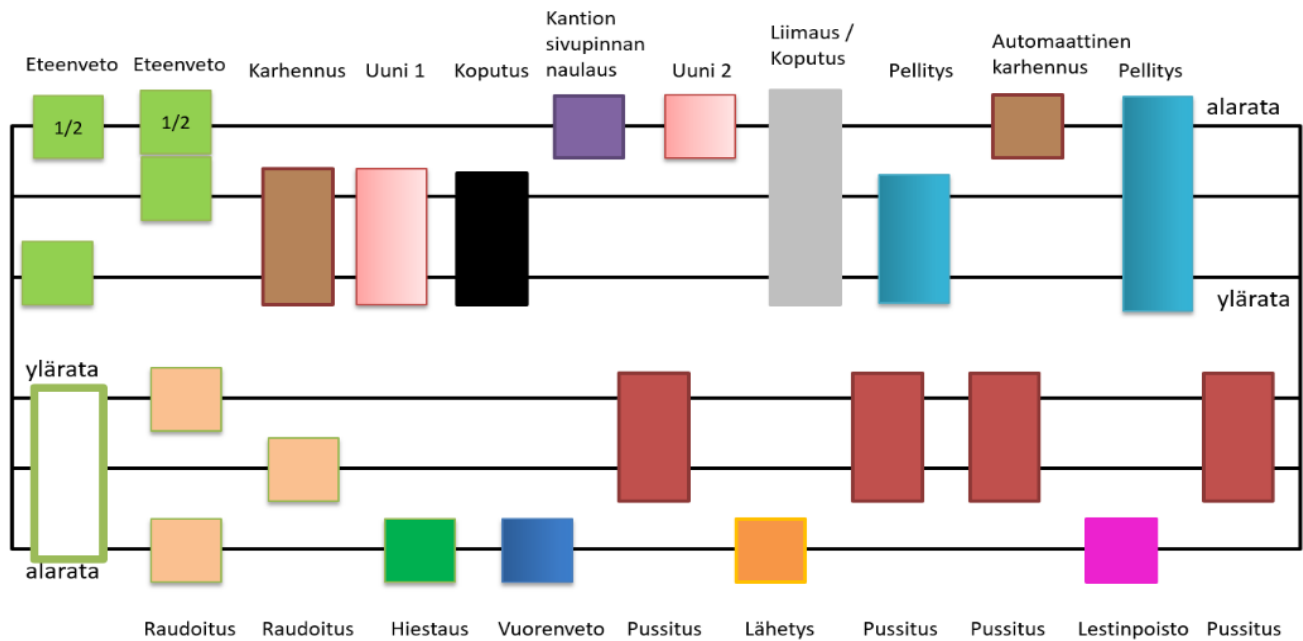
KUVIO 5. Pussituskengän valmistuksen vaiheet

Allepinnattavan kengän valmistusvaiheet eroavat pussikengästä siten, että lähetysvaiheessa kengän neulosta ei ole kiinnitetty pohjalliseen (KUVIO 6). Lestille asettaminen tapahtuu siis niittien ansioista, joiden avulla pohjallinen kiinnitetään lestiin kiinni. Seuraavassa, eli eteenvetovaiheessa kengän kärjen vuori vedetään lestinpäälle ja sitä kautta kengän vuori liimautuu pohjalliseen kiinni. Tämän jälkeen pohjallisen alle kiinnitetty vuori hiotaan niin, että kengän pohjan valaminen onnistuu myöhemmässä vaiheessa. Seuraavana kengän kärkeen kiinnitetään karkivahvike, jonka päälle vedetään kengän pintanahka. Tämän jälkeen kengän kantaosan nahka kiinnitetään nauloilla pohjaan, ja kenkä läpäisee uunin. Seuraavana kengälle suoritetaan koputus ja pohjaan asetetaan liima, jotta valettava pohja kiinnittyy paremmin. Tämän jälkeen pohjaan kiinnitetyt pintamateriaalin rippeet hiotaan sileäksi, jotta valaessa vaiheessa pohja kiinnittyy paremmin. Seuraavana pohjaan kiinnitetään naulaan astumispelti min-  
kä jälkeen kenkä poistetaan linjastolta.



KUVIO 6. Allepinnattavan kengän valmistuksen vaiheet

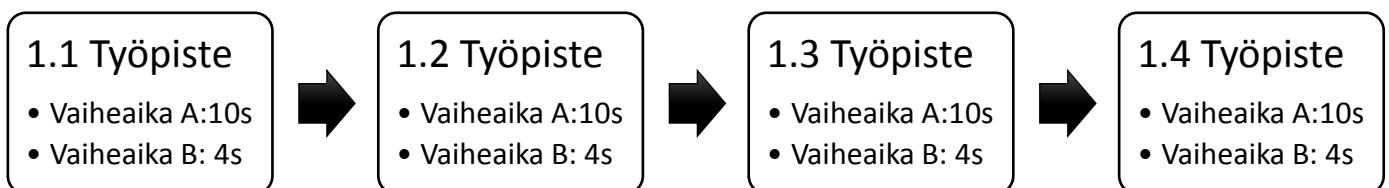
Linjaston lähtötilanteen rakenteessa molempien kenkien valmistustavat on yhdistetty yhdelle osastolle (KUVIO 7). Linjastolla on siis kolme hyllyä, joista alimmalla kiertävät allepinnattavat kengät. Värilaa-  
tikoilla on pyritty kuvastamaan, miltä hyllyiltä kyseinen työpiste poimii kengät.



KUVIO 7. Pinkomon rakenne

#### 4.4 Simulaation rakentaminen

Jotta pystyttiin rakentamaan mahdollisimman yksinkertainen mutta havainnollistava simulaatio kohdelinjastosta, vaiheajoja jouduttiin käsittelemään simulaatiota tukeviksi. Simulaatiossa tarkoituksena on tarkastella, kuinka tutkimuskengät kuormittavat tutkimuslinjastoa. Jotta kaikkia kenkiä valmistustavasta ja –ajasta riippumatta voitiin simuloida samalla simulointi mallilla, oli laskettava kaikille kengille yhteinen vaiheaja. Vaiheajan laskeminen aloitettiin selvittämällä, minkä verran jokainen tutkimuskengä kuormittaa pinkomon työpisteitä. Tästä syystä yhden kengän työvaiheessa 1 tehtävän työn vaiheaja jaettiin kaikkien samankaltaisten työpisteiden kesken. Normaalisti siis A kengän valmistamiseen kuluu 40 sekuntia, mutta simulaatiossa tämä aika on jaettu kaikkien neljän työpisteen kesken (KUVIO 8). Samoin on myös tehty B-kengälle, jonka vaiheaja on 16 sekuntia.



KUVIO 8. Simulaation vaiheajojen laskentalogiikka

Tällä tavoin laskettuna yhden työpisteen työstöajaksi saadaan 14 sekuntia ja kokonaisvalmistusajaksi 56 sekuntia. Tämä kuitenkin tarkoittaa sitä, että tällä vaiheajalla jokainen tuotannon kenkä viipyy tuotannossa enemmän kuin normaalisti, joten vaiheajoissa tulee ottaa huomioon kengän prosentuaalinen osuus päivä tuotannosta. Mikäli siis päivän aikana tuotannosta kenkää A valmistetaan 50% ja kenkää B 50% vaiheajoista otetaan vain puolet laskelmiin, eli todellisuudessa vaiheaika on  $5s+2s=7s$  yhdelle työpisteelle, ja kenkä viipyy aikaa työpisteillä 1 kokonaisuudessaan 28 sekuntia. Tässä tapauksessa olettamana on, että todellisuudessa työpisteet 1.1, 1.2, 1.3 ja 1.4 työstävät päivän aikana yhtä paljon kenkiä. Simulointikierrosten pituudeksi määriteltiin 20 työpäivää, joiden kesto oli 455min ja lämmittelykierroksen kesto 10 tuntia. Tehollinen työpäivä laskettiin poistamalla työpäivän pituudesta tauot. Pitkäkestoisella simulaatiokierroksella haluttiin varmistaa simulaatiotulosten oikeellisuus.

Edellä mainittua logiikkaa ei käytetty linjastolla olevien uunitustyöpisteiden vaiheaikojen laskentaan. Uunitustyöpisteillä ei ole omaa työntekijää, vaan ennen uunitusta oleva työntekijä asettaa uuniin kengän ja uunin jälkeen oleva työntekijä poistaa sen uunista. Perusolettamana on, että sillä hetkellä kun uuniin asetetaan kenkä, niin samaan aikaan uunin toisesta päästä poistuu kenkä. Teoriassa uunitustyöpiste hidastaa vain linjaston ensimmäisen ja viimeisen kengän valmistusta. Tähän perustuen uunitustyöpistettä ei tarkastella tutkimuksissa. Tutkimuskengän 4 uuniin asettaminen oli kelloitettu, joten tämä aika on lisätty uunia ennen olevan työpisteen vaiheaikaan.

## 5 TULOKSET JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka pinkomon toimintaa voitaisiin tehostaa 10 prosentilla. Yhteensä 21 työpistettä sisältävän pinkomon päivätuotanto ei saavuta laskennallisesti sille asetettua kapasiteettia. Pinkomon toimintaa tutkittiin simuloimalla, mitä varten opinnäytetyön tilaaja antoi työpisteiden vaiheajat. Pinkomon tehokkuutta tutkittiin kohdeyrityksen työntutkijoiden tekemille vaiheai-  
kakellotuksilla neljästä tutkimuskengästä. Näistä kellotuksista tutkimukseen valikoitui vain sellainen aika, joka tuottaa kengälle arvoa Lean-periaatteiden mukaisesti. Yhden työvaiheen yhden erän kellotuksista laskettiin keskiarvo, ja jokaisesta työvaiheesta saatu keskiarvo toimi simulaation perustana.

### 5.1 Simulaatiokierros 1

Kaikilla simulaatiokierroksilla työvaiheiden vaiheaikoina käytettiin tasaisesti jakautunutta vaiheaikaa (LIITE 3). Ensimmäisellä kierroksella vaiheajojen ylärajana käytettiin työntutkijoiden kellottamia vaiheajoja. Vaihtelun alarajana käytettiin 30 %:n tehostusta kellotetusta ajasta eli yrityksen määrittämää normaalitehokkuuden linjastolle. (LIITE )

TAULUKKO 1. Simulaatiokierroksen 1 tulokset

	<b>Kenkä 1 Huopa</b>	<b>Kenkä 2 Huopa+Pelti</b>	<b>Kenkä 3 lenkkituki</b>	<b>Kenkä 4</b>	<b>Yhteensä</b>
Prosentuaalinen osuus päivätuotannosta	20%	30%	10%	40%	100%
Läpimeno (Kenkä/päivä)	581	872	291	1162	2906
Raaka prosessointiaika lyhyin (s)	66,3	75,2	69,7	105,4	
Raaka prosessointiaika pisin (s)	94,8	107,4	99,6	150,6	

Vaiheaikojen vaihteluväli tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kengän 4 valmistamiseen kuluva raaka prosessointiaika voi vaihdella 105,4 sekunnista 150,6 sekuntiin. Simulaation avulla havaittiin, että raudotus on tuotannon pullonkaula. Tämän osoittaa myös vaiheaikojen vertailu. (LIITE 4) Seuraavaksi on aiheellista tutkia, kuinka pullonkaulojen avartaminen vaikuttaa tuotannon läpimenoon.

## 5.2 Simulaatiokierros 2

Simulaatiokierroksella 2 pinkomoon lisättiin 3. raudoitustyöpiste tasoittamaan raudoittajien työtaakkaa. Lisäyksen ansioista pinkomon läpimeno kasvoi 4300 kenkään/päivä. Näin ollen voidaan todeta, että raudoituspisteen lisäämisellä on 48 prosentin kasvattava vaikutus päivätuotantoon. Tämä tarkoittaa vastaavasti sitä, että tuotannon pullonkaula siirtyy toisaalle tuotantoketjussa ja vaikutus näkyy raudoituksen jälkeen tulevien työpisteisen käyttöasteissa. Kyseisen havainnon jälkeen on aiheellista tutkia millainen vaikutus on tuotannon vaihtelulla läpimenon määrään.

TAULUKKO 2. Simulaatiokierroksen 2 tulokset

	<b>Kenkä 1 Huopa</b>	<b>Kenkä 2 Huopa+Pelti</b>	<b>Kenkä 3 lenkkituki</b>	<b>Kenkä 4</b>	<b>Yhteensä</b>
Prosentuaalinen osuus päivätuotannosta	20%	30%	10%	40%	100%
Läpimeno (Kenkä/päivä)	860	1290	430	1720	4300

## 5.3 Simulaatiokierros 3

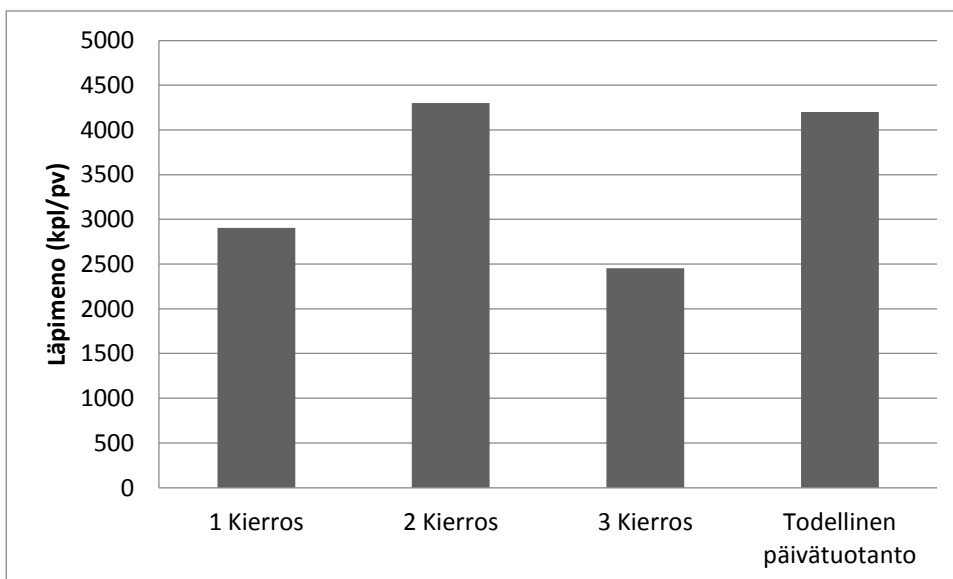
Vaihtelun merkitystä tutkittiin muuttamalla ensimmäisen simulaation vaihteluväliä siten, että ylärajaa kasvatettiin koe mielessä 30% ja alaraja pidettiin edelleen yrityksen normaalissa vaiheajassa. (LIITE 5) Tässä tapauksessa simulaation läpimenoksi saatiin 2455 kenkää/päivä, mikä on huomattavasti vähemmän mitä pienemmällä vaihteluvälillä simuloituna (TAULUKKO 3). Simulaatio toteutti Kingmanin yhtälön osoittaman logiikan. Vaihtelun kasvaessa riittävästi prosessin odotusaika kasvaa eksponentiaalisesti.



TAULUKKO 3. Simulaatiokierroksen 3 tulokset

	<b>Kenkä 1 Huopa</b>	<b>Kenkä 2 Huopa+Pelti</b>	<b>Kenkä 3 lenkkituki</b>	<b>Kenkä 4</b>	<b>Yhteensä</b>
Prosentuaalinen osuus päivätuotannosta	20%	30%	10%	40%	100%
Läpimeno (Kenkä/päivä)	491	737	245	982	2455
Raaka prosessointiaika lyhyin (s)	66,3	75,2	69,7	105,4	
Raaka prosessointiaika pisin (s)	123,2	139,62	129,5	195,8	

Vertailtaessa simulaatiokierrosten läpimenoa huomataan että vaihtelun kasvattamisella on negatiivinen vaikutus tuotettujen kenkien määrään. Simulaatiokierroksella 3 tutkimuskengän 4 raaka prosessointiaika kasvoi jopa xx sekuntiin. Simulaatiokierrosten perusteella voidaan vastaavasti taas havaita, että pulonkaulan avartaminen kasvattaa merkittävästi läpimenon määrää.



KUVIO 9. Simulaatiokierrosten tulokset

TAULUKKO 4. Pinkomon todellinen päivätuotanto

	<b>Kenkä 1 Huopa</b>	<b>Kenkä 2 Huopa+Pelti</b>	<b>Kenkä 3 lenkkituki</b>	<b>Kenkä 4</b>	<b>Yhteensä</b>
Prosentuaalinen osuus päivätuotannosta	20%	30%	10%	40%	100%
Läpimeno (Kenkä/päivä)	-	-	-	-	-
Jaksonaika (min)	-	-	-	-	

Simuloitaessa pinkomon toimintaa havaittiin, että tuotannon läpimeno ei saavuta todellisuutta vastaavaa kappalemäärää (KUVIO 9). Tästä johtuen on aiheellista tarkastella pinkomoa simuloinnin kohteena. Kohdelinjaston työ perustuu ihmisen tekemään työhön, mistä johtuen työtavoissa on useita vaihtoehtoja. Näiden vaihtoehtojen simuloiminen ei kuulunut tämän opinnäytetyön rajaukseen, vaan tarkoituksena oli tutkia pinkomon toimintaa kokonaisuutena. Vertailtaessa kaikkien simulaatiokierrosten tuloksia voidaan todeta, että vaihtelulla ja pullonkaulojen avartamisella on suuri merkitys tuotannon virtaukseen. Mikäli simulaation haluttaisiin täysin vastaamaan todellisuutta, täytyisi tulokset todentaa nykypäivänä otetuilla mittauksilla, ottaen huomioon tuotannon vaihtelun. Tällä tavoin olisi mahdollista minimoida virheet, valmistaa tulosten oikeellisuus ja perehtyä vaihtelun syihin.

Peilaten pinkomon toimintaa Lean-ajatusmaailmaan voidaan nostaa esille muutamia kehityskohteita. Näitä ovat kuljetinlinjaston ja layoutin joustavuuden lisääminen. Kenkiä kuljettava linjaston korvaaminen kuljettimella, jonka avulla kenkä kulkisi tuotannossa vain arvoa tuottaville työpisteille. Näin ollen kengän virtaaminen tuotannossa nopeutuu, kun kengät eivät ruuhkauta työpisteitä ja ne kulkevat loogisen reitin tuotannossa. Pinkomon virtausta on mahdollista kehittää uudella layoutilla. Lean-tuotannolle tyypillistä on tuoteperhekohtaiset tuotantolinjat, joissa valmistetaan vain tuotteita, jotka omaavat keskenään samat työvaiheet (Wilson 2015, 139). Tämän lisäksi myös jokaisen työpisteen työ olisi suotavaa tasapainottaa niin, että jokaisella työpisteellä on lähes sama vaiheaika. Tasapainottaminen voidaan toteuttaa, joko yhdistelemällä tai eriyttämällä työvaiheita. Nämä edellä mainitut seikat antavat tuotteille tilaisuuden virrata tuotannon läpi keskeytyksettä.



## LÄHTEET

Bicheno, J. & Holweg, M. 2009. The Lean toolbox. Neljäs painos

Delfoi Oy. Tuotannon simulointi, Tuotantojärjestelmien suunnittelua simuloinnilla.  
[https://www.delfoi.com/web/solutions/Tuotanto/fi\\_FI/tuotannonsimulointi/](https://www.delfoi.com/web/solutions/Tuotanto/fi_FI/tuotannonsimulointi/). Viitattu 8.8.2017

Dennis, P. 2007. Lean Production Simplified. Toinen painos. Yhdysvallat: Taylor & Francis Group, LLC

EK-SAK tuottavuustyöryhmä. 2011. Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Teknologiateollisuus ry. Saatavissa:  
[http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file\\_attachments/tyomarkkinat\\_kannustava\\_palkkaus\\_palkkaustapoja\\_tyontutkimuksen\\_menettelytavat.pdf](http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/tyomarkkinat_kannustava_palkkaus_palkkaustapoja_tyontutkimuksen_menettelytavat.pdf). Viitattu 24.7.2017.

Kareinen, A. 2009. Tuotantolinjaston simulointi ja optimointi. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Insinööritoimisto.

Kingmanin kaava. Webrosensor. 2017. www-dokumentti. Saatavissa:  
<http://www.webrosensor.fi/blogi/kingmanin-kaava/> Viitattu 21.10.2017

Kouri, I. 2014. Lean-taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy

Law, A. & Kelton, W. 2000. Simulation Modeling and Analysis. Kolmas painos.

Lean ja johtaminen. 2017. Www-dokumentti. Saatavissa:  
<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/yleinen/lean-ja-johtaminen/>. Viitattu 24.7.2017

Liker, J. 2011. Toyotan tapaan. Toinen painos. Jyväskylä: Bookwell Oy

Mann, D. 2010. Creating a Lean Culture – Tools to Sustain Lean Conversions. Toinen painos. Yhdysvallat: Taylor and Francis Group

Modig, N. & Åhlström, P. 2013. Tätä on Lean – ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Viides painos. Tukholma: Rheologica Publishing.

Piirainen, A. 2014. Lean ja hukka – Muda, Mura ja Muri. Saatavissa:  
<http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/lean-ja-hukka-muda-mura-ja-muri/>. Viitattu 2.6.2017

Piirainen, A. 2014. Vaihtelu. Ensimmäinen painos. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy

Robinson, S. 2004. Simulation – The Practise of Model Development and Use. England: John Wiley & Sons Ltd.

Sayer, N. & Williams, B. 2012. Lean for dummies. 2. painos. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, Inc.

Sydänmetsä, E. 2017 Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 24.11.2017

Väisänen, J. 2013. Viiden ässän kehitystyökalu. Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/viiden-aessaen-kehitystyoevalu/>. Viitattu 20.3.2017.

Wilson, L. 2015. How to Implement Lean Manufacturing. 2. painos. Yhdysvallat: McGraw-Hill Education.

**Työvaihenumerot**

<b>Työvaihe</b>	<b>Tutkimuskenkä</b>	<b>Työvaihenumero</b>
Pussitus	123	511044
Lestipoisto	4	511196
Lähetys	4	511010
Vuorenveto	4	520538
Hiestaus	4	525001
Raudoitus	123	529103
Raudoitus	4	29101
Eteenveto	1234	530100/30040
Karhennus	123	540008
Kantion naulaus	4	535193
Uuniin laittaminen	4	575010
Liimaus/koputus	123	540300
Pellitys	2	555018
Huovan laitto	12	555101
Automaattinen karhennus	4	540193
Lenkkituen liimaus	3	575016

Liite salattu

LIITE 2

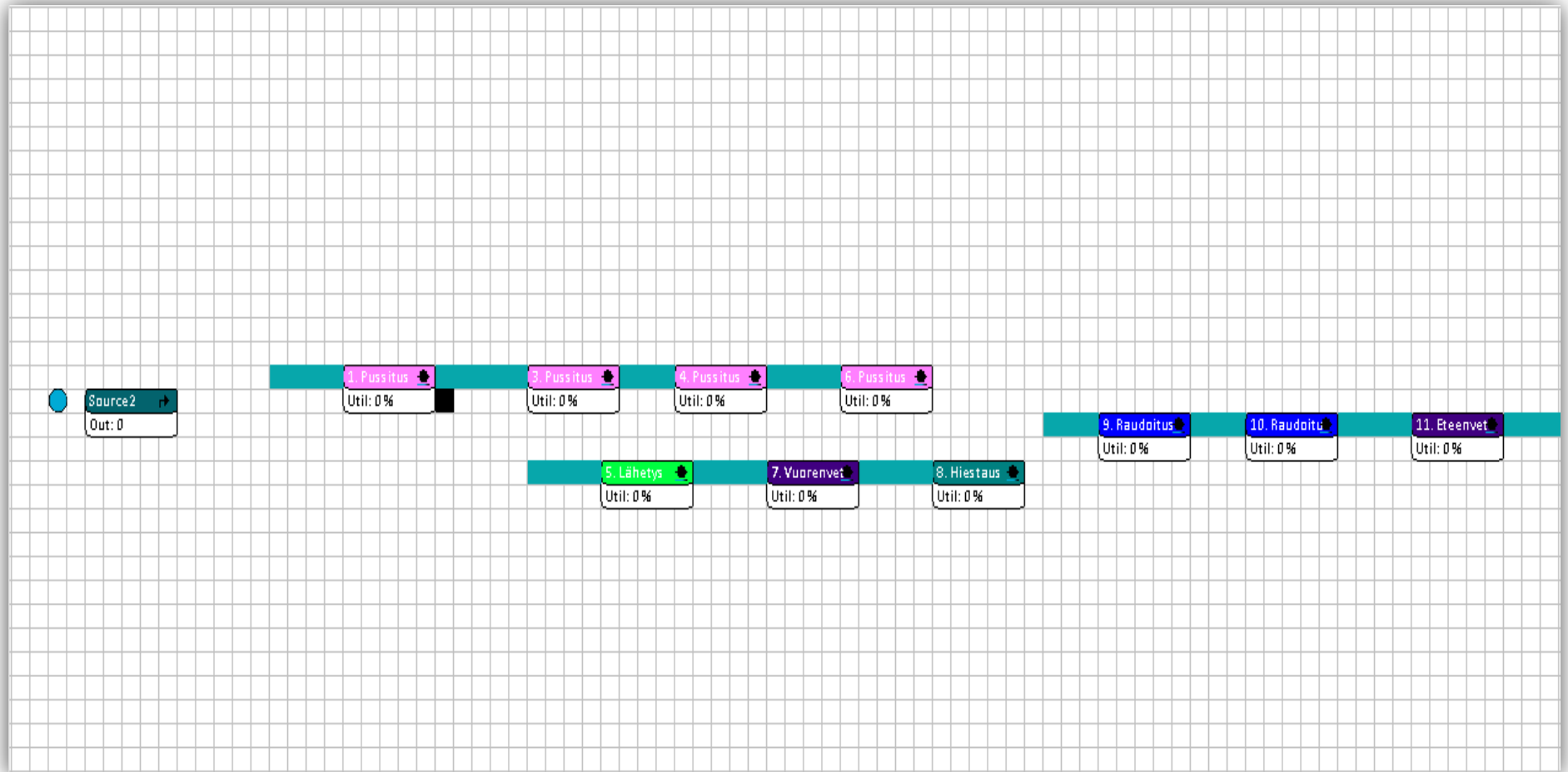
Liite salattu



Liite salattu

Liite salattu

## Simulaatio



Simulaatio

