

Jouni Ojala

Ekonomisen ja optimaalisen eräkoon määrittäminen

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Konetekniikka

Tekijä: Jouni Ojala

Työn nimi: Ekonomisen ja optimaalisen eräkoon määrittäminen

Ohjaaja: Heikki Heiskanen

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 62

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän työn tarkoitus oli kartoittaa erilaisia eräkokoja ja sen määrittämiseen vaikuttavia tekijöitä ja luoda niiden pohjalta laskentatyökalu eräkokojen määrittämiseen.

Työn toimeksiantajana oli Relicomp Oy, joka on Kurikassa ja Suolahdessa toimiva ohutlevyteknologiaan erikoistunut, noin 130 työntekijän perheyrittäjä. Työ tehtiin palvelemaan yrityksen tuotannonohjausta ja -suunnittelua, myyntiä sekä yleistä tuotannonkehitystä.

Työssä perehdyttiin Lean-ajattelun perusteisiin, tuotannonohjaukseen ja sen ristiriitoihin ja menetelmiin, sekä varastoon ja sen etuihin sekä haittoihin. Työssä avattiin myös läpimenoaikaan ja tuotantoon liittyviä termejä sekä laskennallisia kaavoja. Työn merkittävin osio liittyy EOQ- ja ELS -laskentamalleihin, joilla kummallakin pyritään määrittelemään optimaalinen erä koko suhteuttamalla asetuskustannukset ja varastokustannukset toisiinsa.

Työssä luotiin työkalu eräkokojen määrittämiseen, ja tätä EOQ- ja ELS -laskentaa hyödyntävää työkalua käytettiin kahden tuotteen eräkokojen määrittämiseen. Tuotteista toinen oli tilaus- ja toinen varasto-ohjautuva tuote. Eräkokolaskennan avulla saatiin selvitettyä, että jo yksittäisen tuotteen valmistuseriä optimoimalla saatetaan saavuttaa tuhansien eurojen säästö vuositasolla.

Avainsanat: Optimointi, taloudellisuus, valmistus, varastointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: Seinäjoki University of Applied Sciences

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Machine and Production Engineering

Author: Jouni Ojala

Title of thesis: Economic and optimal lot size

Supervisor: Heikki Heiskanen

Year: 2017

Number of pages: 62

Number of appendices: 2

The purpose of the thesis was to identify factors affecting lot sizes, and to create a calculation tool to calculate the optimum lot size.

The work was commissioned by Relicomp Ltd. Relicomp is a family company that is specialized in working with sheet metals, and it has about 130 employees. The work was done for Relicomp Kurikka, and it was done to improve the production, and to serve the company's enterprise resource planning and marketing.

As a part of the work, the basic principles of Lean, enterprise resource planning, and storages were studied. The work opened up the basics of lead time and factory throughput, and formulas used to measure and control them. The most important part of the work focused on EOQ- and ELS-calculations. The calculations were used to determine the most economic lot size by comparing setting costs to storage costs.

A part of the work was to create a calculation tool for calculating lot sizes, and the tool was used to determine the optimum lot size for two different assemblies. Using the calculation tool, it was found that by optimizing lot sizes, the savings can be thousands of euros for just one assembly.

Keywords: Economy, optimizing, production, storage

HUOMAUTUS

Osa tämän opinnäytetyön sisällöstä on piilotettu Relicomp Oy:n ja sen asiakkaiden edun takaamiseksi.

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
HUOMAUTUS	3
SISÄLTÖ	4
KUVIOLUETTELO.....	7
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta ja tutkimusongelma.....	9
1.2 Työn tavoitteet.....	10
1.3 Toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi.....	10
1.4 Työn rajaukset.....	11
1.5 Yritysesittely	11
1.5.1 Yleistä	11
1.5.2 Historiaa.....	12
2 TEORIA	14
2.1 Lean.....	14
2.1.1 Määritelmä	14
2.1.2 Historia.....	14
2.1.3 Tehokkuustarkastelu.....	15
2.2 Tuotannonohjaus	17
2.2.1 Määritelmä	17
2.2.2 Järjestelmät.....	18
2.2.3 Ohjausmenetelmät.....	19
2.3 Varasto.....	21
2.3.1 Tarkoitus ja luokitus	21
2.3.2 Syitä pitää pientä varastoa.....	22
2.3.3 Syitä pitää suurta varastoa.....	23
2.3.4 Varastonpitokustannukset.....	24
2.4 Läpimenoaika ja jaksoaika	25

2.4.1	Yleistä	25
2.4.2	Littlen laki	26
2.4.3	Kingmanin yhtälö	27
2.4.4	Tahtiaika ja tahtikuva	28
2.4.5	Pisto	29
2.4.6	Pullonkaulat	30
2.4.7	Kriittinen WIP	30
2.4.8	Varmuusvarasto	31
2.5	Eräkoon määrittäminen EOQ-mallilla	31
2.6	Eräkoon määrittäminen ELS-mallilla	33
3	NYKYTILA	35
3.1	Tuotannon eräkoolliset ongelmat	35
3.2	Tuotannonohjaus Relicompilla	36
3.3	Eräkokojen määrittäminen Relicompilla	36
4	LASKENTATYÖKALUN LUOMINEN	38
4.1	Työn rajaaminen ja tarkastelutavan valinta	38
4.1.1	Pakoputken kannake	39
4.1.2	Xxx hytti	40
4.2	Laskentatyökalun luominen.....	41
4.2.1	Varastopaikan arvo	42
4.2.2	EOQ.....	45
4.2.3	ELS	46
4.2.4	Varmuusvarasto	46
4.2.5	Optimaalinen erä koko usealle vaiheelle.....	47
4.3	Laskennan testaaminen	48
5	ERÄKOKOLASKENTA.....	49
5.1	Eräkokojen laskeminen	49
5.2	Pakoputken kannatin.....	49
5.3	Xxx hytti	54
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	57
6.1	Laskentatyökalu	57
6.2	Eräkokojen laskenta.....	58

7 YHTEENVETO.....	59
LÄHTEET	61
LIITTEET	62
LIITE 1. Usean vaiheen eräkolaskennan työkalu	1
LIITE 2. Laskennan apusivu	2

KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Relicompin Kurikan toimipisteen julkisivu.....	12
Kuvio 2. Resurssitehokkuus vs. virtaustehokkuus	16
Kuvio 3. Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuus.....	18
Kuvio 4. Enterprise resource planning -järjestelmä ja sen alaosat.....	19
Kuvio 5. Työntö- ja imuohjauksien ohjausimpulssit.....	20
Kuvio 6. Tahtikuva	29
Kuvio 7. Optimaalisen eräkoon muodostuminen.....	33
Kuvio 8. Kuorman jakautuminen hitsauksessa.....	35
Kuvio 9. Xxx pakoputken kannattimia hitsattuna.....	39
Kuvio 10. Xxx hytti hitsattuna	41
Kuvio 11. Varastopaikan arvon laskentatyökalu.....	44
Kuvio 12. Eräkokolaskennan työkalun rakenne	47
Kuvio 13. Pakoputken kannakkeen vuoden 2016 valmistusajat ja eräkoot.....	50
Kuvio 14. Pakoputken kannakkeen käsin hitsauksen eräkokolaskenta	51
Kuvio 15. Pakoputken kannakkeen robottihitsaus.....	53
Kuvio 16. Xxx hyttien vuoden 2016 valmistusajat ja eräkoot	54
Kuvio 17. Xxx hyttien eräkokolaskenta	56

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

ELS	Economic Lot Size eli taloudellinen valmistusmäärä. Matemaattinen kaava.
EOQ	Economic Order Quantity eli taloudellinen tilauserä. Käytetty myös muodossa EPQ, Economic Production Quantity, suomeksi taloudellinen tuotantoerä. Matemaattinen kaava.
ERP	Enterprise resource planning eli tuotannonohjaus.
Jaksoaika	Tarkasteltavan kappaleen kuluttama aika tietyssä prosessissa.
LEAN	Japanilainen tuotantofilosofia.
Läpimenoaika	Kappaleen kuluttama aika tuotannossa.
Parannusvipu	Projektin osa-alue, joka mahdollistaa tavoitteen saavuttamisen.
Pääomakustannus	Sidotun pääoman tuottamattomuuden aiheuttama tappio.
Resurssitehokkuus	Resurssin käyttöaste ja tehokkuus.
ROTI	LEAN-filosofiaan perustuva, Relicompin olosuhteisiin muokattu projekti. Lyhenne sanoista <i>Relicomp Operative Transformation and Improvement program</i> .
Vaihtoehtokustannus	Kustannus, joka muodostuu tuotannossa ja varastoissa kiinniolevasta rahasta. Rahaa ei tällöin voida käyttää investointeihin tai muihin vaihtoehtoisin kohteisiin.
Virtaustehokkuus	Aika tarpeen tunnistamisen ja sen tyydyttämisen välillä.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tutkimusongelma

Työn taustalla on suurempi, Lean-tuotantofilosofiaan pohjautuva, tuotannon kehittämiseen ja jatkuvaan parantamiseen tähtäävä projekti. Nimeksi projektille on annettu ROTI, joka tulee sanoista *Relicomp Operative Transformation and Improvement program*.

Yksi tämän projektin parannusvivuista on tuotannon eräkokojen optimointi, joka on tämän opinnäytetyön aihe. Eräkokojen optimoinnilla pyritään kasvattamaan työn tuottavuutta ja sujuvuutta sekä tasapainottamaan varastointia ja sen aiheuttamia kuluja sekä ongelmia.

Tällä hetkellä Relicompin varastot ovat hyvin suuret, ja erityisen hyvin tämä näkyy hitsaamon välivarastoissa. Hitsaamoon tulevat puolivalmisteet tulevat pääsääntöisesti levyleikkauksesta tai särmäyksestä, joissa kummassakin korostuvat suuret eräkoot. Tästä seuraa se, että tiettyjä puolivalmisteita saattaa olla varastossa pitkäksi aikaa, mikä kasvattaa hitsaamon keskeneräisen tuotannon määrää. Hitsaamosta tuotteet lähtevät joko maalaukseen, kokoonpanoon tai asiakkaalle.

Tällä hetkellä hitsaamon viikoittainen kokonaiskuorma saattaa olla rajojen sisäpuolella, mutta yksittäisten päivien kuormitukset alittavat tai ylittävät kapasiteetin. Tämän korjaaminen vaatii eräkokojen optimointia ja kuorman tasaamista, sillä hitsaamossa henkilöstön osaaminen ja hitsausluokat eivät mahdollista täydellistä joustoa töiden välillä.

Tämä aiheuttaa myös sen, että joidenkin tuotteiden kohdalla tuotanto saattaa olla hyvinkin paljon edellä, kun taas toiset tuotteet jäävät näiden jalkoihin.

Tämä työ tehdään palvelemaan ensisijaisesti hitsaamon tarpeita, ja tuotteet, joiden kautta eräkokojen optimointia lähdetään tekemään, ovat hitsattavia kappaleita.

1.2 Työn tavoitteet

Tavoitteena tällä työllä on luoda toimiva järjestelmä tuotannon eräkokojen optimointiin. Järjestelmän pohjalla tulee olemaan Excel-taulukko, jonne tietoja syöttämällä voidaan laskea optimaalinen erä koko kullekin tuotteelle.

Järjestelmästä ja toimintatavoista on pyrkimys tehdä mahdollisimman selkeitä ja helppokäyttöisiä kuitenkin toiminnallisuudesta tinkimättä. Työkalun tulisi myös olla käytettävissä ilman pohjatietoa optimaalisen eräkoon muodostumisesta. Kaikki laskentaan tarvittavat pohjatiedot tulisi myös pyrkiä rajaamaan niin, että ne löytyvät helposti nykyisiä järjestelmiä käyttäen.

Toissijaisena tavoitteena on luoda pohja järjestelmän jatkojalostukselle, joka mahdollistaisi järjestelmän käytön kaikissa työvaiheissa.

1.3 Toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi

Toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi ovat seuraavat:

1. Ensimmäinen vaihe tutkimuksessa on teoriaan perehtyminen ja sen kirjoittaminen auki.
2. Toisessa vaiheessa kerätään tietoa eräkokojen ongelmista ja parannuksen kohteista. Tässä vaiheessa myös valitaan tuotteet, joiden kautta asiaa peilataan.
3. Kolmannessa vaiheessa teoriaa ja kertynyttä tietoa sovelletaan, ja siitä muodostetaan työkalu eräkokojen laskentaan.
4. Neljännessä vaiheessa työkalun toimintaa testataan käytännössä.

Luonnollisena jatkumona työkalu otetaan käyttöön myynnissä ja tuotannosuunnittelussa, ja sen kehitys jatkuu käytön ohella.

1.4 Työn rajaukset

Tässä työssä keskitytään lähtökohtaisesti ainoastaan hitsaamon tuotantoerien määrittämiseen. Hitsaamo valittiin siksi, että siellä tuotannon eräkoot aiheuttavat eniten ongelmaa tuotannon tasapainolle. Muut osastot jätetään lähtökohtaisesti tutkimuksen ulkopuolelle, mutta työ pyritään toteuttamaan siten, että sitä on mahdollista kehittää käytettäväksi myös muilla osastoilla.

1.5 Yritysesittely

1.5.1 Yleistä

Relicomp Oy on ohutlevyteknoologiaan erikoistunut, noin 130 työntekijää työllistävä alihankintaa tekevä perheyrittäjä. Relicompin liikeideana on tarjota asiakkaille kokonaisvaltaisia ohutlevyratkaisuja aina suunnittelusta painomuovauksen kautta koonpanoon ja maalaukseen.

Relicompin toimipisteet sijaitsevat Suolahdessa ja Kurikassa, mutta kaikki tuotanto on keskitetty Kurikkaan. Palkka-, talous- ja henkilöstöhallinto sijaitsevat tällä hetkellä Suolahdessa, mutta myös nämä toiminnot siirtyvät pääsääntöisesti Kurikkaan alkukesästä 2017. Kuviossa 1 on kuvattuna Relicompin Kurikan toimipisteen julkisivu.

Relicomp Oy:n tärkeimpiä asiakkaita ovat mm. xxx. Liikevaihtoa yrityksellä oli vuonna 2015 14,9 miljoonaa euroa.

Relicompin myyntivalttina on aina ollut kokonaisvaltaiset tuotantoratkaisut ja valmiina toimitettavat tuotteet. Relicompilta löytyy esimerkiksi Amino-painomuovauskone, jollaisia ei Euroopassa ole tuotantokäytössä kuin yksi kyseisen yksilön lisäksi. Kone mahdollistaa erilaisten muotojen painamisen levystä ilman kalliita muotteja, eli se on optimaalinen pienten sarjojen ja prototyyppien tekemiseen.

Relicompilla on useita laatu- ja ympäristöstandardeja, ja yritys kehittää jatkuvasti toimintojaan.



Kuvio 1. Relicompin Kurikan toimipisteen julkisivu.

1.5.2 Historiaa

Niskanen (2012) kertoo teoksessaan ”Pojan tie – Rompalta Relicompille: Relicomp Oy 1992-2012” Relicompin historiasta aina vuoteen 2012 asti, jolloin yritys täytti kaksikymmentä vuotta.

Yrityksen perusti vuonna 1992 Reino Kangas, jolloin yritys toimi nimellä Relika. Yrityksen toimipiste sijaitsi Kauhajoella. Vuonna 1995 Valtrasta tuli merkittävä asiakas, ja Relikan yhtiömuoto muuttui kommandiittiyhtiöstä osakeyhtiöksi.

Vuonna 1998 perustettiin Suolahteen tehdas palvelemaan eritoten Valtran kasva-neita tilausmääriä, ja yrityksen nimeksi tuli Relicomp Oy. Tähän halliin hankittiin myös uusi maalaamo.

Vuonna 2001 toteutettiin tytäryhtiöiden fuusio, jossa Relika ja Relicomp yhdistyivät. Fuusion myötä yrityksen nimeksi kirjattiin Relicomp, ja sen kotipaikaksi Suolahti.

Vuonna 2011 yrityksessä oli ennätysellinen vuosi, ja tämä mahdollisti sukupolvenvaihdoksen. Tässä yhteydessä ulkopuoliset investoijat ostettiin ulos, ja Relicompista tuli 100-prosenttisesti perheyrittäjä.

2 TEORIA

2.1 Lean

2.1.1 Määritelmä

Lean on japanilaisen Toyotan kehittämä toimintastrategia, joka ennen kaikkea korostaa virtaustehokkuutta. Hukkieliminoinnin, vähentämisen ja hallinnan kautta pyritään jatkuvaan parantamiseen virtaustehokkuudessa sekä kapasiteetin hallinnassa. (Modig & Åhlström 2013, 127.)

Leanissa asiakkaan näkökulma muodostaa palvelun tai tuotteen arvon. Sen muodostavat ominaisuudet, laatu ja toimitusaika ja -varmuus. Asiakaslähtöisyys voidaan Leanissa tiivistää siihen, että ymmärretään asiakkaan tarpeet ja kohdistetaan voimavarat tuottamaan arvoa asiakkaalle poistamalla tai vähentämällä hukkaa. Tämä arvon kasvaminen suhteessa toiminnan kustannuksiin parantaa kilpailukykyä ja yrityksen menestystä nyt ja tulevaisuudessa. Lean näkyy yrityksen toimintamalleissa, organisoinneissa, ja jatkuvassa kehitystyössä jokaisena päivänä. (Kouri 2009, 6-7.)

2.1.2 Historia

Lean juontaa juurensa vuoteen 1896 Toyotan tekstiilitehtaille. Toyotan autotehtailla se on ollut käytössä vuodesta 1935 eteenpäin. (Korpela 2017, 1.7/6.)

Lännessä Lean on löydetty huomattavasti myöhemmin, ja käsitteeksi se nousi vasta 1980-luvun lopulla Massachusettsin teknillisen korkeakoulun (MIT) tekemän auto-teollisuutta tutkivan tutkimuksen myötä. Tätä ennen Leanin käyttäjiä lännessä ovat olleet lähinnä yritykset, joilla on ollut vahvat suhteet Japaniin, kuten Hewlet-Packard. (Korpela 2017, 1.7/5.)

Tällä hetkellä Lean-toimintamalli on johtava tuotannon periaate lähes alasta riippumatta, ja Lean-periaatteilla toimivat yritykset ovat usein menestyneitä ja kasvavia yrityksiä omilla toimialoillaan (Kouri 2009, 6).

2.1.3 Tehokkuustarkastelu

Perinteisesti tuotannossa keskitytään usein resurssitehokkuuteen, jossa pyritään mahdollisimman tehokkaaseen käytössä olevien resurssien hyödyntämiseen. Resurssitehokkuutta korostettaessa päähuomio kiinnittyy tuotteen tai palvelun tuottamiseen tarvittaviin resursseihin, kuten esimerkiksi koneisiin, työkaluihin, tiloihin tai henkilöstöön. (Modig & Åhlström 2013, 9-10.)

Resurssitehokkuustarkastelussa mitataan tuotannon resursseja ja niiden käyttöasetta annetulla ajanjaksolla. Taloudellisesti resurssien maksimaalinen käyttö on järkevää, sillä tyhjän panttina seisovat resurssit synnyttävät vaihtoehtokustannuksia, jotka aiheuttavat yritykselle tulonmenetyksiä. (Modig & Åhlström 2013, 10-11.)

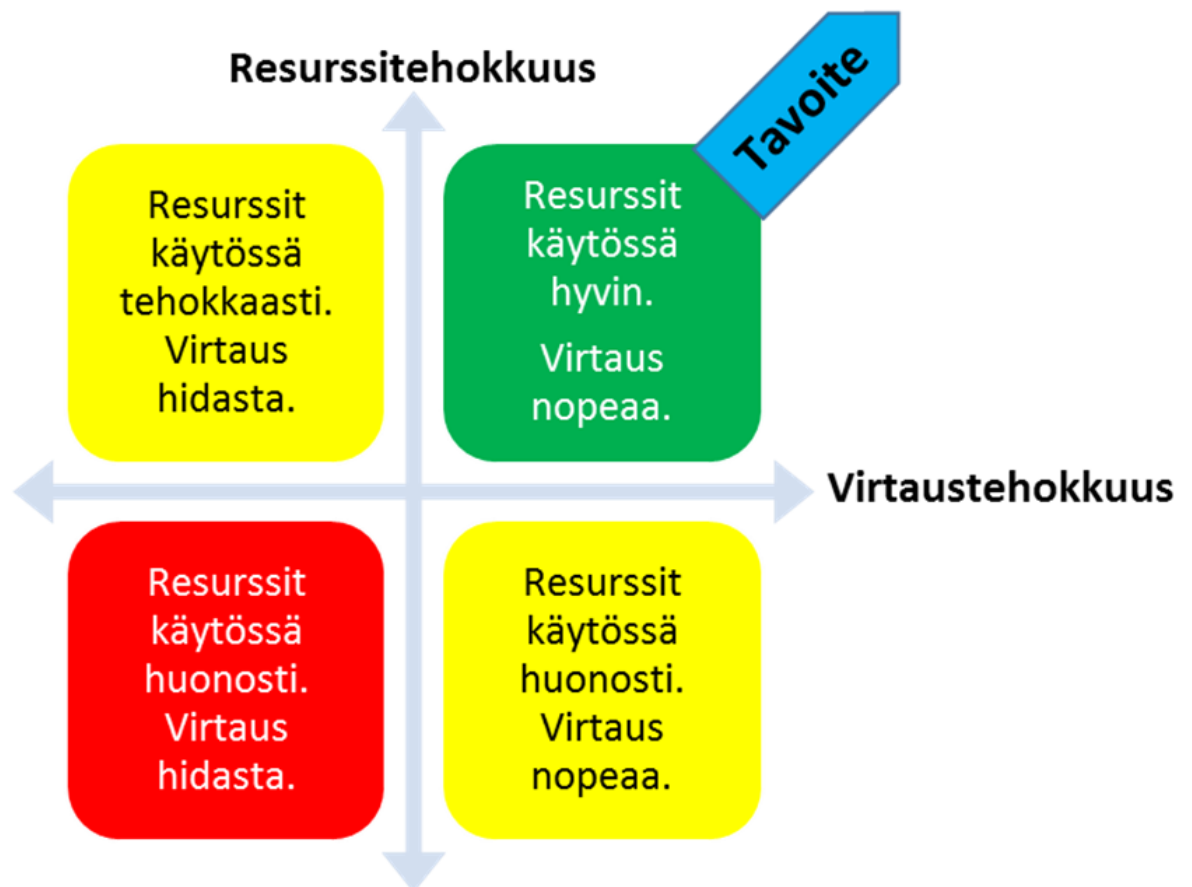
Virtaustehokkuus. Virtaustehokkuus määritellään uudeksi tehokkuuden muodoksi, jossa huomio kiinnittyy jalostettavaan yksikköön resurssien sijasta. Virtaustehokkuudessa nk. virtausyksikkö, eli jalostettava yksikkö, "virtaa" organisaation ja sen resurssien läpi. (Modig & Åhlström 2013, 13.)

Virtaustehokkuustarkastelussa mitataan yksittäisen virtausyksikön jalostumista ajanjaksolla, joka alkaa tarpeen tunnistamisesta ja päättyy tarpeen tyydyttämiseen. Toisin sanoen, virtaustehokkuustarkastelussa arvo määräytyy sen ajan mukaan, jona jalostettava yksikkö saa lisäarvoa. Tämä kertoo sen, seisovatko työn alla olevat yksiköt tyhjän panttina vai saavatko ne arvoa. (Modig & Åhlström 2013, 13-14.)

Resurssitehokkuus. Vallalla oleva tehokkuustarkastelun muoto on resurssitehokkuus, ja resurssien tehokas käyttö onkin menestyvälle yritykselle ensiarvoisen tärkeää. Kuitenkin myös yksittäisen jalostettavan yksikön läpimenoajan lyhentäminen on tärkeää, sillä se kannattavuuden lisäksi vaikuttaa myös asiakastyytyväisyyteen. (Modig & Åhlström 2013, 15-16.)

Parasta olisi saada nämä kaksi tehokkuuden muotoa yhdistettyä, mutta virtaustehokkuuden ja resurssitehokkuuden yhdistäminen on mahdollista vain teoriassa. Niiden yhdistäminen vaatisi täydellistä resurssien juostavuutta sekä tarkkaa tietoa asiakkaiden nykyisistä ja tulevista tarpeista. Koska asiakkaan tarpeet sekä organisaation resurssit vaihtelevat, muodostuu täydellisen virtaus- ja resurssitehokkuuden yhdistäminen mahdottomaksi käytännön tasolla. (Modig & Åhlström 2013, 16; 102.)

Resurssitehokkuuden ja virtaustehokkuuden nelikenttä on esitettyinä kuviossa 2.



Kuvio 2. Resurssitehokkuus vs. virtaustehokkuus (Modig & Åhlström 2013, 103).

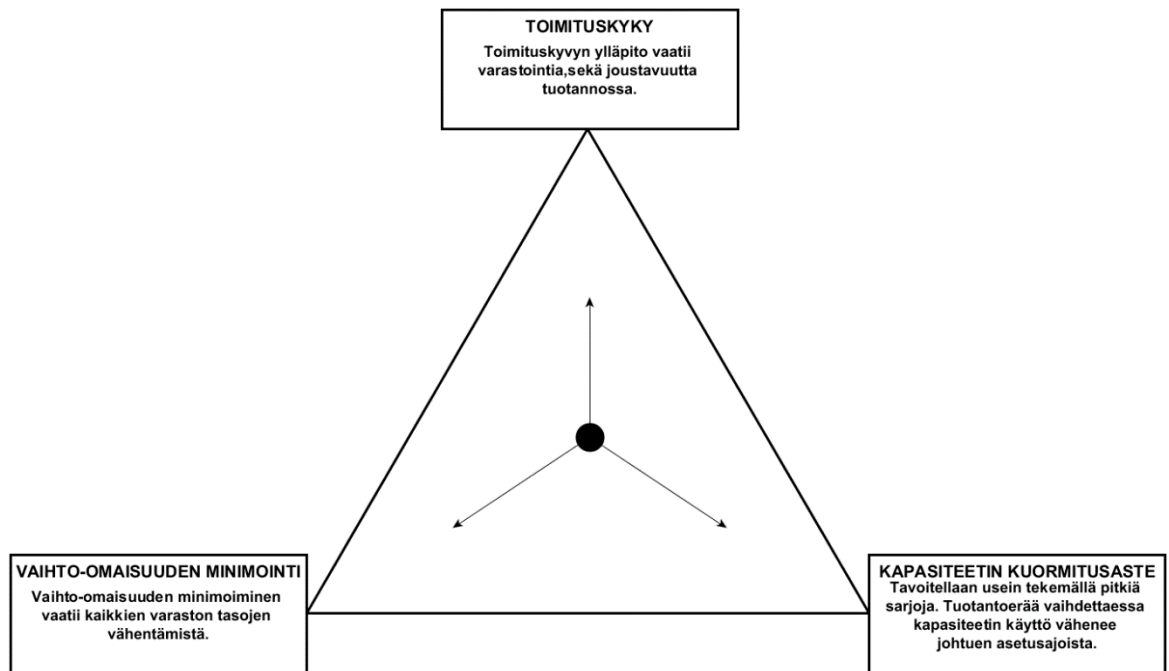
2.2 Tuotannonohjaus

2.2.1 Määritelmä

Tuotannonohjausta voidaan pitää yrityksen ytimenä, joka ohjaa yrityksen eri toimintoja. Tuotannonohjauksessa myyntiä ja ennusteita seuraamalla työ jaksotetaan ja aikataulutetaan, jotta työltä vaadittavat ominaisuudet täyttyvät ja jotta tuotteen toimitus asiakkaalle pystytään toteuttamaan aikataulussa. Tavoitteen saavuttamiseksi täytyy tuotannonohjauksella olla keinot hallita yrityksen eri toimintoja, jotta tarvittavat resurssit ja materiaalit saadaan ajoissa oikeaan paikkaan. Tuotannonohjaus itsessään on prosessi, jota voidaan analysoida ja seurata. (Krajewski, Ritzman ja Malhotra 2013, 564.)

Haverila ym. (2009, 402-403) asettaa toiminnanohjauksen tärkeimmiksi tavoitteiksi seuraavat:

1. **Kapasiteetin korkea tuottavuus.** Yrityksen resursseihin ja kapasiteettiin sidottu pääoma tuottaa sitä paremmin, mitä suurempi käyttöaste on. Tuotantoa pyritään suunnittelemaan niin, että resurssitehokkuus olisi mahdollisimman hyvä.
2. **Vaihto-omaisuuden minimointi.** Varastoihin sidottu pääoma muodostaa huomattavan osan yrityksen pääomasta. Tuotantoa tulisi ohjata niin, että materiaaleihin ja tuotteisiin olisi sidottuna mahdollisimman vähän pääomaa.
3. **Toimitusvarmuus.** Asiakastyytyväisyyden ylläpitämiseksi yrityksen tulee huolehtia toimitusvarmuudesta ja asiakkaan tarpeista.
4. **Läpäisyajan lyhentäminen.** Kuten kuviosta 3 selviää, ovat kohdat 1-3 selkeästi ristiriidassa keskenään. Läpäisyajoja lyhentämällä voidaan näiden ristiriitaisuuksien merkitystä vähentää. Muita läpimenoaikojen lyhentämisen positiivisia vaikutuksia käsitellään tarkemmin luvussa 2.4.



Kuvio 3. Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuus (Haverila ym. 2009, 402-404).

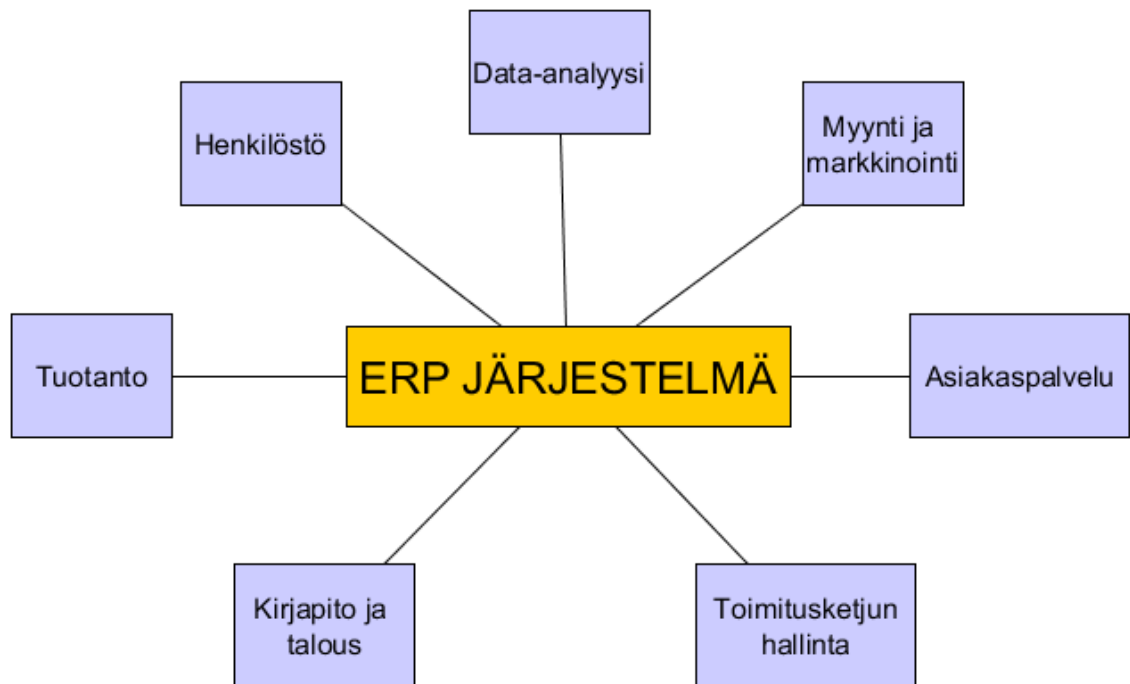
2.2.2 Järjestelmät

Toiminnan- ja tuotannonohjauksessa käytettävät järjestelmät ovat laajoja, koko yrityksen kattavia integroituja kokonaisuuksia, jotka mahdollistavat prosessien hallinnan ja tiedon tallennuksen. Laaja yrityksen toimintoihin integroitu järjestelmä antaa yritykselle keinon tarkastella toimintojaan yhtenä kokonaisuutena. Kokonaisuus saattaa muodostua yrityksen sisäisistä työvaiheista tai henkilöistä, tai esimerkiksi suuren multikansallisen yrityksen eri toimipisteistä. (Krajewski ym. 2013, 564-565.)

Tuotannonohjauksessa käytettäviä järjestelmiä kutsutaan yleisesti ERP-järjestelmiksi, ja ne sisältävät kaikki yrityksen toiminnallisessa ohjauksessa tarvittavat atk-ohjelmistot. ERP on lyhenne sanoista Enterprise Resource Planning eli yrityksen resurssien suunnittelu. (Haverila ym 2009, 430.) Kuviossa 4 on esitetty ERP-järjestelmien sisältämät osiot.

Koska ERP yhdistää kaikki yrityksen toimintojen ohjaukset samaan pakettiin, yrityksen toiminnan ohjaus tehostuu merkittävästi. Keskeisiä hyötyjä järjestelmästä saa-

daan esimerkiksi tietojenkäsittelyyn ja -hallintaan, suunnitteluun, resurssien hyödyntämiseen sekä raportointiin. Kaiken kattavien, integroitujen järjestelmien suurimpia ongelmia ovat kallis hinta, pitkä käyttöönottoaika sekä monimutkaisuus. (Haverila ym. 2009, 431.)



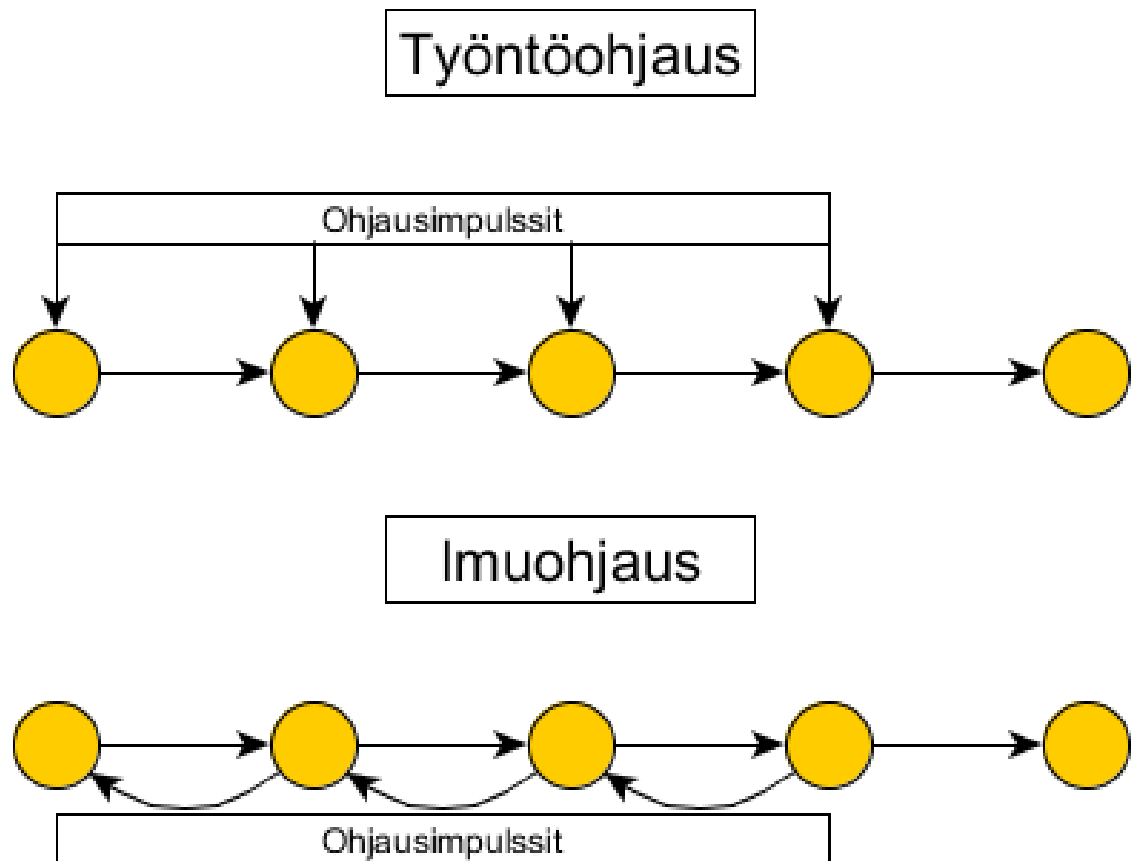
Kuvio 4. Enterprise resource planning -järjestelmä ja sen osa-alueet (Krajewski ym. 2013, 565).

2.2.3 Ohjausmenetelmät

Työntöohjaus on ohjausmenetelmistä eniten käytetty, eikä se ole tuotantomenetelmäriippuvainen. Työntöohjaus perustuu suunnitelmiin, jotka ohjaavat tuotantoa ja siirtävät tuotantoerää eteenpäin tuotannossa. Työntöohjauksen ongelmana on suunnitelmien ja todellisten valmistustilanteiden välinen ristiriita, joka syntyy suunnitelmien epätarkkuudesta ja suunnitelmien noudattamisen ajoittaisesta vaikeudesta. Tämä aiheuttaa välivaraston ja läpimenoajan kasvua, joka lisää hallittavien asioiden määrää ja sitä kautta suunnittelun ja hallinnan hankaloitumista entisestään. Työntöohjaus on toimiva suunnittelumenetelmä, mutta se vaatii selkeää ja kurinalaista tuotantoa. (Haverila ym. 2009, 422.)

Imuohjaus on todelliseen osatarpeeseen perustuva malli, jossa tuotteita valmistetaan vain välittömän tarpeen verran. Tarveimpulssit etenevät lopusta alkuun päin, ja ohjaus toteutetaan pienten nopeasti kiertävien välivarastojen avulla. Ohjaus on puskuroitua, ja tilausimpulssit välittyvät automaattisesti tuotannossa taaksepäin. Jotta imuohjauspuskurit toimisivat, käytetään imuohjausta pääsääntöisesti vakio-osilla ja -materiaaleilla, joilla menekki on tasainen. Imuohjaus vaatii nopeaa läpimenoaikaa, ja virheet tuotannossa pysäyttävät nopeasti koko tuotantoketjun. (Haverila ym. 2009, 422-423.)

Työntö- ja imuohjauksen ohjausimpulssien eroavaisuudet on esitetty kuviossa 5.



Kuvio 5. Työntö- ja imuohjauksien ohjausimpulssit (Haverila ym. 2009, 423).

Krajewskin ym. (2013,116) mukaan tuotannossa tuotteet voidaan jakaa myös niiden ohjautuvuuden mukaisesti varasto- ja tilausohjautuviin tuotteisiin.

Varasto-ohjautuvat tuotteet. Varasto-ohjautuvat tuotteet ovat tuotteita, joita yritys pitää varastossaan tuotteiden nopean toimituksen takaamiseksi. Nämä tuotteet ovat pääsääntöisesti vakaan menekin omaavia standardituotteita. (Krajewski ym. 2013,117.)

Tilausohjautuvat tuotteet. Tilausohjautuvat tuotteet ovat tuotteita, joiden valmistus aloitetaan lähtökohtaisesti vasta tilauksen saavuttua. Tuotanto saatetaan aloittaa täysin puhtaalta pöydältä tai esimerkiksi varastoon tehdyistä alikokoonpanoista. Tilausohjautuvien tuotteiden spesifikaatiot saattavat muuttua eri tilauksien välillä. (Krajewski ym. 2013,116-117.)

2.3 Varasto

2.3.1 Tarkoitus ja luokitus

Varaston tarkoituksena on mahdollistaa tuotteiden tai palveluiden tuotanto ja valmiiden tuotteiden toimittaminen asiakkaalle. Varaston koon määrittäminen vaatii aina kompromisseja suurien ja pienien varastojen etujen ja haittojen välillä. (Krajewski ym. 2013, 329.)

Haverila ym. (2009, 445-446) toteavatkin, että varastot ovat aina osa yrityksen kokonaissuunnittelua, ja oleellisinta on yrityksen halutun palvelutason ylläpito mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Erilaisia perusteita varaston koon määrittämiseen käydään läpi luvuissa 2.3.2 ja 2.3.3.

Krajewskin ym. (2013, 331) mukaan teollisuudessa varasto jaetaan pääsääntöisesti seuraavaan kolmeen eri luokkaan, joiden tarkastelu on mahdollista myös kirjanpöydöllisesti.

Raaka-ainevarasto. Tuotteiden tai palveluiden tekemiseen tarvittavien tuotteiden varasto. Varaston ensimmäinen taso.

Keskeneräinen tuotanto. Varasto, joka koostuu puolivalmisteista sekä komponenteista, joita vaaditaan lopputuotteen tekemiseen. Tätä varastoa kutsutaan usein nimellä *WIP*, joka muodostuu kyseisen varaston englanninkielisestä nimestä *work-in-process*. Suomessa käytetään myös lyhennettä *KET*, joka muodostuu suoraan sanoista keskeneräinen tuotanto.

Valmisvarasto. Valmisvarasto koostuu tuotteista, jotka yritys toimittaa asiakkaalleen. Nämä tuotteet saattavat olla toisen yrityksen raaka-aineita. Valmisvarastoa saattaa olla yrityksen itsensä lisäksi esimerkiksi toimituskeskuksissa tai myyjien toimipisteissä.

2.3.2 Syitä pitää pientä varastoa

Krajewski ym. (2013, 329-330) luettelee seuraavia syitä, jotka puoltavat varaston pienentämistä tai jopa sen poistamista kokonaan.

1. **Pääomakustannukset.** Varastoissa kiinnioleva raha ei tuota yritykselle voittoa, ja tämä on merkittävä syy pitää varastoa mahdollisimman pienenä. Pääomakustannukset muodostavat usein suurimman osan pitokustannuksista.
2. **Varastointi- ja käsittelykustannukset.** Varastoidut tuotteet vievät tilaa, ja tilan ylläpitäminen maksaa. Myös tuotteiden käsittely (siirrot, lastaukset yms.) maksaa.
3. **Vakuutukset ja hävikki.** Varaston vakuuttaminen on, toki tuotteesta riippuen, kallista. Varaston kasvaessa myös hävikki lisääntyy. Hävikki voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan:
 - Tuotteiden katoaminen eli varkaudet. Suuri ongelma tietyillä toimialoilla.

- Tuotteiden vanheneminen. Esimerkiksi uuden revision tai mallimuutoksen myötä tuotteiden jälleenmyyntiarvo tippuu.
- Tuotteiden huononeminen. Pitkäaikainen varastointi saattaa aiheuttaa vaurioita tuotteille, johtuen esimerkiksi käsittelystä tai olosuhteista. Tämä saattaa tehdä tuotteesta täysin arvottoman.

- 4. Virheellisten tuotteiden merkityksen pieneneminen.** Hopp ja Spearman (2008, 518) lukevat pienen varaston eduksi myös sen, että virheen paljastuttua on varastossa pienempi määrä kyseistä tuotetta, joten virheen merkitys on vähäisempi.

2.3.3 Syitä pitää suurta varastoa

Krajewski ym. (2013, 330-331) luettelee seuraavia syitä, jotka puoltavat suuren varaston ylläpitoa.

1. **Asiakaspalvelu.** Suuri varasto voi nopeuttaa toimitusaikoja ja parantaa yrityksen toimitusvarmuutta. Tämä parantaa myös asiakastyytyvyyttä.
2. **Tilaukustannukset.** Aina kun yritys tilaa tuotetta varastoon, syntyy tilaukustannuksia. Tietyin tuotteen tilaukustannukset pysyvät samana riippumatta tilauksen määrästä. Tilaukustannukset muodostuvat esimerkiksi paperitöistä, kilpailutuksesta sekä tuotteiden vastaanotosta.
3. **Asetuskustannus.** Asetuskustannus muodostuu työn valmisteluun kuluvan ajan, eli asetusajan, muodostamasta kuluerästä. Asetuskustannus tietylle työkappaleelle ja -vaiheelle on aina sama riippumatta erän koosta. Tämä luo painetta tehdä isoja eriä, jolloin asetuskustannuksen merkitys yksittäisen kappaleen hinnan muodostumisessa jää mahdollisimman pieneksi.
4. **Työntekijöiden ja laitteiden käyttöaste.** Kasvattamalla varastoa voidaan kasvattaa myös tuottavuutta ja käyttöastetta kolmella eri tavalla:
 - Suurten, harvemmin käytäntöön tulevia tilausten käyttö vähentää tuottamattomia toimintoja, jotka eivät lisää arvoa tuotteelle.

- Varasto vähentää tarvetta muuttaa töiden työjärjestystä, jos tietty komponentti ei valmistu ajallaan, koska se voidaan ottaa käyttöön varastosta.
- Varastoon tekeminen parantaa resurssitehokkuutta, koska vaihtelevassa kysyntäsyklissä voidaan työtä tehdä tasaisesti niin, että kysyntäpiikit eivät vaikuta juurikaan tuotantoon. Näin voidaan vähentää tarvetta hiljaisten aikojen lomautuksille ja karsimiselle sekä kiireisten aikojen ylitöille ja pakkoinvestoinneille.

5. **Kuljetuskustannukset.** Joissakin tilanteissa yrityksen ulospäin suuntautuvia kuljetuskustannuksia voidaan pienentää pitämällä tuotteita varastossa. Varasto saattaa mahdollistaa täysien autokuormien lähettämisen, ja poistaa tarvetta yksittäisien ja kalliiden kuljetusten käyttöön. Myös sisäänpäin tulevien kuljetusten hintaan voidaan vaikuttaa ottamalla suurempia varastoja, koska kuljetusten määrä vähenee.
6. **Hinta.** Tilattaessa tuotteita yrityksen ulkopuolelta, on suurien erien tilaaminen varastoon usein halvempaa kuin pienten erien tilaaminen. Tämä johtuu määräalennuksista, joita monet toimittajat tarjoavat tuotteilleen. Myös mahdollista hintojen nousua voidaan suuremmilla varastoon ostoilla tasoittaa.

2.3.4 Varastonpitokustannukset

Varaston ylläpidosta syntyvää kustannuserää kutsutaan nimellä pitokustannus. Pitokustannus muodostuu varaston sitomasta arvosta (pääoma- ja vaihtoehtokustannukset) ja vaihtelevasta arvosta, joka muodostuu varastoinnin muista kuluista. Pitokustannusta tietylle aikavälille seurataan usein prosentuaalisena arvona tuotteen myyntihinnasta. Pitokustannukset ovat useissa yrityksissä korkeita, ja ne vaikuttavat suoraan yrityksen tuottoon. Tämä aiheuttaa suoraan sen, että varastoja pyritään pääsääntöisesti pitämään mahdollisimman pienenä. (Krajewski ym. 2013, 329.)

2.4 Läpimenoaika ja jaksoaika

2.4.1 Yleistä

Modigin ja Åhlströmin (2013, 22) mukaan läpimenoajalla tarkoitetaan tuotteen tai palvelun etenemiseen kuluvaan aikaan, kun se liikkuu määritellyn prosessin alusta loppuun. Tämä prosessi on usein määritelty alkavaksi tilauksen saapumisesta ja loppuvaksi tilauksen toimittamiseen asiakkaalle (Krajewski ym. (2013, 29).

Jaksoajalla tarkoitetaan aikaa, joka kappaleella kuluu yksittäisen työvaiheen läpäisemiseen (Krajewski ym. (2013, 276).

Kuten jo aikaisemmin todettiin, on toimintojen ohjaamisen ristiriitaisuuksien poistaminen yksi merkittävimmistä syistä pyrkiä lyhyempään tuotantoaikaan. Tuotantoon kuluvan ajan lyhentämiseen on myös useita muita merkittäviä tuotannollisia syitä, joista Hopp ja Spearman (2008, 518) luettelevat seuraavat:

1. Parempi vasteaika asiakkaan vaatimuksiin.
2. Tuotannon joustavuus. Lyhyemmät tuotantoajat lisäävät tuotannollista joustoa.
3. Laadun paraneminen. Lyhyemmät valmistusajat lyhentävät aikaa virheen tapahtumisesta sen huomaamiseen.
4. Ennusteperusteisen valmistuksen väheneminen. Jos valmistukseen kuluu enemmän aikaa kuin asiakas on valmis odottamaan, täytyy tuotteita tehdä ennusteiden perusteella asiakastyytyväisyyden takaamiseksi.
5. Tarkempien ennusteiden luominen. Vaikka tuotantoon kuluvan ajan lyhentäminen ei yltäisikään pisteeseen, jossa ennusteita ei enää tarvita, lyhentää se tarvittavien ennusteiden aikahorisonttia. Ennusteiden lyheneminen parantaa merkittävästi niiden tarkkuutta.

2.4.2 Littlen laki

Littlen lakia voidaan kuvailla läpimenoajan kulmakiveksi ja perustaksi. Se on nimetty sen kehittäjän John Littlen mukaan, ja se esiteltiin vuonna 1954. Vuonna 1961 esitettiin matemaattiset todisteet, jotka osoittivat, että suoraviivaista tilannetta, jossa Littlen lain mukaiset yhteydet eivät päde, ei ole olemassa. (Quality Knowhow Karjalainen Oy, Litten laki.)

Littlen laki osoittaa selkeästi sen, että läpimenoaikaan vaikuttavat virtausyksiköiden määrä ja jaksoaika (Modig & Åhlström 2013, 36).

Littlen lain mukaan

$$TH = WIP * CT \quad (1)$$

missä

TH on läpimenoaika

WIP on keskeneräinen tuotanto

CT on jaksoaika

(Modig & Åhlström 2013, 34).

Littlen lain etuna käytännön sovellutuksissa on se, että kolmannen muuttujan arviointiin ei tarvitse tietää kuin kaksi muuttujaa. Vaikka Littlen laki onkin pätevä monissa tilanteissa tuotteiden tai palveluiden tuotantoa arvioitaessa, se ei ota huomioon asiakkaiden rajallista määrää. (Krajewski ym. 2013, 254-255.)

2.4.3 Kingmanin yhtälö

Kingman esitteli vuonna 1961 yhtälön, joka esittää läpimenoajan muodostumista. Kaava kuvaa välivaraston kertymistä läpimenoajan ja kysynnän vaihdellessa.

Kingmanin kaavassa sidotaan yhteen ulkoinen ja sisäinen vaihtelu, resurssitehokkuus sekä keskimääräinen prosessiaika. Näiden perusteella saadaan muodostettua läpivirtaukseen kuluva aika. (Quality Knowhow Karjalainen Oy, Kingmanin kaava.)

Kingmanin yhtälöstä voidaan nähdä, että läpimenoajan ja käyttöasteen välinen yhteys on eksponentiaalinen. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä suurempi käyttöaste on, sitä enemmän sen muuttuminen vaikuttaa läpimenoaikaan. (Modig & Åhlström 2013, 43.)

Kingmanin yhtälön mukaan

$$CT_q = VUT \quad (2)$$

missä

CT_q on prosessiajan jonotus

V on muuttujatermi

U on käyttöastetermi

T on aikatermi

(Hopp & Spearman 2008, 289.)

Kun kaavan termien sisältöön pureudutaan tarkemmin, voidaan Kingmanin yhtälö kirjoittaa muotoon

$$CT_q = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e \quad (3)$$

missä

CT_q on prosessiajan jonotus

c_a on saapuvan tuotteen $\frac{\text{keskihajonta}}{\text{keskiarvo}}$

c_e on jaksoajan $\frac{\text{keskihajonta}}{\text{keskiarvo}}$

u on käyttöaste, eli $\frac{\text{läpimeno}}{\text{kysyntä}}$

t_e on keskimääräinen tehollinen tuotantoaika

(Hopp & Spearman 2008, 288.)

2.4.4 Tahtiaika ja tahtikuva

Tahtiajalla tarkoitetaan tuotannon astetta, johon sen täytyy kyetä tilauksien täyttämiseksi ja asiakastarpeen tyydyttämiseksi. Toisin sanoen se kertoo, miten kauan yhden tuotteen valmistamiseen saa kulua aikaa, jotta tuotanto pysyy aikataulussa ja asiakastarve voidaan tyydyttää. Tahtiaikaa voisikin kuvata asiakaskysynnän ”rytmiksi”. (Piirainen 2014, 10.)

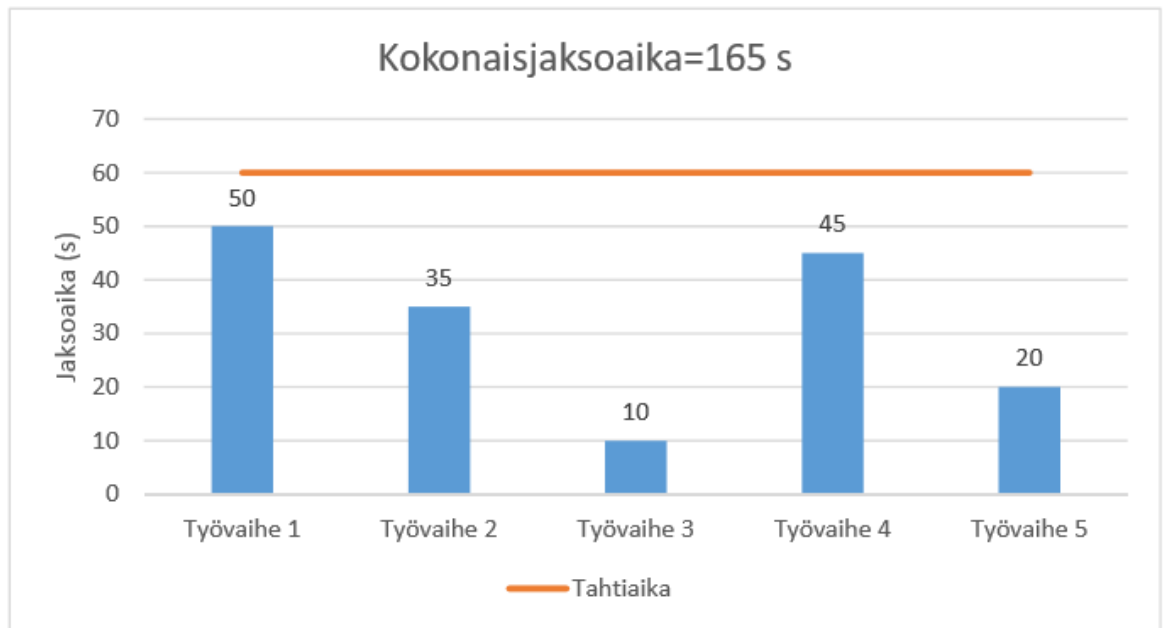
Tahtiaika ei ole pysyvä määre, sillä siihen vaikuttavat kysynnän muutokset. Kysynnän ja tuotannon tasapainottamiseksi sitä päivitetään tietyin väliajoin (Piirainen 2014, 11–16.)

Tahtiaika lasketaan jakamalla käytettävissä oleva aika tarvittavien tuotteiden määrällä, eli

$$\text{Tahtiaika} = \frac{\text{Aika}}{\text{Volyyymi}} \quad (4)$$

(Piirainen 2014, 11.)

Kun tahtiaika on laskettu, voidaan jaksoajoista ja tahtiajasta muodostaa kuviossa 6 esitetty tahtikuva, jossa eri työvaiheiden jaksoajat ovat asetettuna rinnakkain. Kuvasta voidaan helposti laskea kokonaisjaksoaika ja arvioida kapasiteetin käyttöä. Tuotannon pullonkaula on tahtikuvan korkein pylväs. (Piirainen 2014, 44.)



Kuvio 6. Tahtikuva

2.4.5 Pisto

Pisto on tahtiaikaan perustuva aikamääre, joka vaaditaan tuote-erän kulkemiseen tuotantovaiheesta toiseen. Pisto on siis toisin sanoen tahtiaika useamman tuotteen kokonaisuudelle. (Piirainen 2014, 34.)

Pisto voidaan laskea kaavasta

$$Pisto = Tahtiaika \times Eräkoko \quad (5)$$

Ideaalitilanteessa kaikki tuotannon hukat on poistettu, ja materiaalivirta liikkuu yksittäisen kappaleen virtauksena imuohjauksella läpi tuotannon. Normaalitilassa asiakas tilaa kuitenkin useimmiten yhden tuotteen sijasta erän tuotteita, jolloin pisto toimii kompromissina yksittäisen kappaleen virtauksen ja suuren erän välillä. (Piirainen 2014, 34–35.)

2.4.6 Pullonkaulat

Pullonkaula on prosessi, johon muodostuu jonoa ja joka rajoittaa läpimenon nopeutta. Pullonkaulana toimii se prosessin vaihe, jonka jaksoaika on pisin. (Modig & Åhlström 2013, 38–39.)

Modigin ja Åhlstömin (2013, 38) mukaan kaikilla prosesseilla, joissa on pullonkaula, on kaksi ominaispiirrettä:

1. **Jono.** Riippumatta prosessin läpi virtaavista yksiköistä, muodostuu ennen pullonkaulaa jono. Varsinkin materiaalia ja ihmisiä käsiteltäessä on jonon havaitseminen helppoa.
2. **Odottaminen.** Pullonkaulan jälkeiset toiminnot ja prosessit joutuvat odottamaan vuoroaan, ja niiden hyödyntäminen ei tästä syystä ole niin tehokasta kuin se voisi olla.

Pullonkaulanopeudella tarkoitetaan tuotannossa sitä toimipistettä tai työvaihetta, jonka kappaletta per aika -lukema on huonoin (Uitto 9.6.2015).

2.4.7 Kriittinen WIP

Kriittinen WIP on tilanne, jossa keskeneräisen tuotannon määrä mahdollista maksimaalisen tuotannon minimaalisessa ajassa. Ehtona on, että tuotanto on stabiilia ja muuttumatonta. (Uitto 9.6.2015.)

Kriittinen WIP saadaan kaavasta

$$W_0 = r_b * t_0 \quad (6)$$

missä

r_b on pullonkaulanopeus

t_0 on raakaprosessiaika

(Uitto 9.6.2015.)

2.4.8 Varmuusvarasto

Krajewski ym. (2013, 332) kertoo varmuusvaraston olevan ylimääräistä varastoa, jota ylläpidetään siksi, että voitaisiin suojautua kysynnän, valmistusaikojen ja saatavuuden vaihtelun luomaan ongelmaan.

Varmuusvaraston luomiseksi tilaukset ja tuotanto ajoitetaan aikaisemmaksi kuin on alun perin suunniteltu, ja tästä ylimääräisestä osuudesta muodostuu varmuusvarasto (Krajewski ym. 2013, 332).

2.5 Eräkoon määrittäminen EOQ-mallilla

Eräkoon määrittämisessä käytetään pääsääntöisesti EOQ-kaavaa. EOQ on lyhenne sanoista economic order quantity, joka suomeksi tarkoittaa taloudellista tilausmäärää. Kaavassa yhdeksän esitellyn laskentamallin avulla pyritään löytämään optimaalinen tilausmäärä ja tilauksien välinen aika vertaamalla varastointikustannuksia ja tilaus- tai asetuskustannuksia toisiinsa (Krajewski ym. 2013, 335). Kaavan kehitti vuonna 1913 Ford W. Harris tilauserien optimointiin, ja se on yksi vanhimmista tehdasmatematiikan sovellutuksista (Hopp & Spearman 2008, 50). Kaavaa voidaan soveltaa suoraan valmistuserien optimoimiseen (Haverila ym. 2009, 456–457).

Varastokustannusten suhde eräkokoan määritetään kaavalla

$$\frac{Q}{2}(H) \quad (7)$$

missä

Q on erä koko

H on vuotuiset pitokustannukset

Asetuskustannusten suhde eräkokoan määritetään kaavalla

$$\frac{D}{Q}(S) \quad (8)$$

missä

D on vuotuinen tarve

Q on eräkkö

S on yksittäisen erän asetuskustannukset

Näiden kahden kuvaajan leikkauspiste, eli optimaalinen eräkkö, määritetään Krajewskin ym. (2013,338) mukaan kaavalla

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (9)$$

missä

A on tilaus – tai asetuskustannus

D on kulutus

h on varastointikustannus

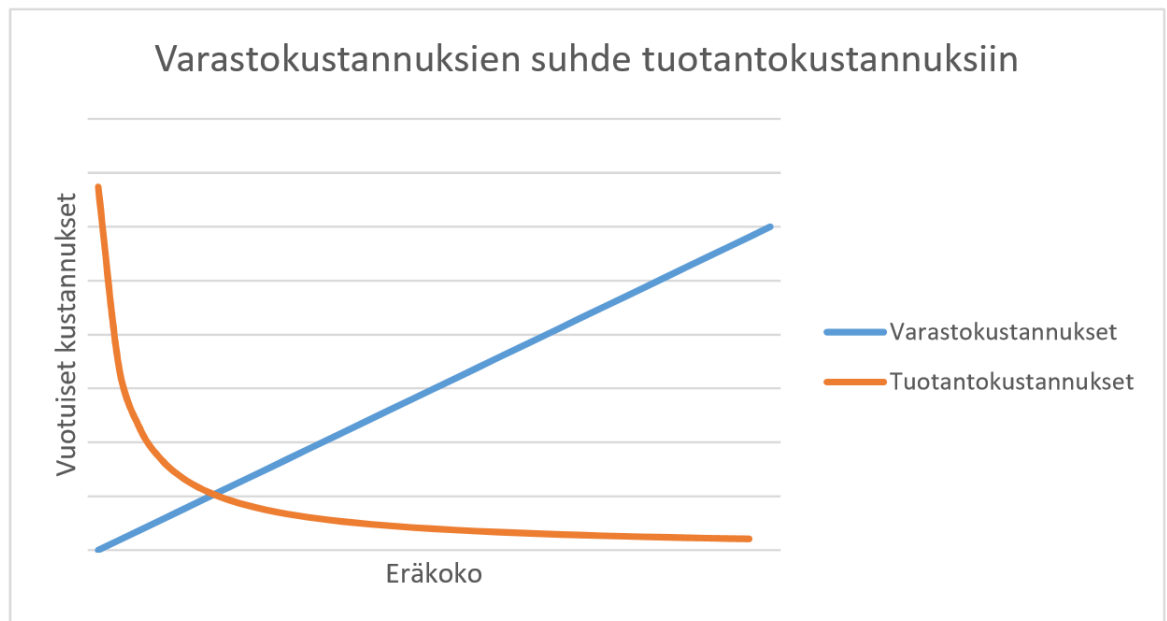
Optimaalisen eräkkön laskenta on graafisesti esitettyä kuviossa 7, jossa näkyvien varasto- ja asetuskustannusten kuvaajien leikkauspiste on optimaalinen eräkkö.

Jotta laskentakaavasta saatava eräkkö olisi optimaalinen, täytyy Krajewskin ym. (2013, 335) mukaan seuraavien ehtojen täytyä:

1. Kysyntä on varma ja täysin vakaa.
2. Eräkköön ei liity fyysisiä rajoitteita.
3. Ainoat relevantit kustannuserät ovat varastonpitokustannukset sekä kiinteät asetus- tai tilauskustannukset.
4. Päätös tuotteesta voidaan tehdä itsenäisenä muista tuotteista irrallaan eli esimerkiksi eri tuotteiden tilauksia yhdistelemällä ei saavuteta etua.
5. Koko tuote-erä saapuu aina ajallaan ja kokonaisuena.

Todellisuudessa harvassa tilanteessa kaikki nämä ehdot täyttyvät (Krajewski ym. 2013, 335).

Kaavasta saatavaa arvoa voidaan pitää turvallisena pienimpänä eräkokona. Tällöin tuotanto toimii mahdollisimman tehokkaasti mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Toki on syytä muistaa, johtuen kaavan tiukoista ehdoista, että useimmiten kaavasta saadaan vain suuntaa antava määrä. Määrä on silti useassa tapauksessa käyttökelpoinen arvio. (Piirainen 2014, 37.)



Kuvio 7. Optimaalisen eräkoon muodostuminen (Krajewski ym. 2013, 337).

2.6 Eräkoon määrittäminen ELS-mallilla

ELS-laskentamalli lähtee oletuksesta, että valmistettavaa tuotetta lähdetään käyttämään välittömästi, ennen koko tuotantoerän valmistumista.

Krajewski ym. (2013, 365) antaa esimerkiksi kokin, jolle on annettu tehtäväksi paistaa viisi pellillistä sämpylöitä. Kun kokki saa ensimmäisen pellillisen paistettua, alkavat ravintolan muut työvaiheet käyttää valmiita tuotteita, vaikka koko viiden pellillisen erä ei olekaan vielä valmistunut. ELS-malli osaa siis ottaa huomioon seuraavan työvaiheen tarpeen tuotteelle ennen koko erän valmistumista.

ELS-mallin mukaan täytyy valmistusnopeuden olla suurempi kuin kulutusnopeuden, ja tuotanto jatkuu yhtäjaksoisena niin kauan, että koko erä on valmistettu. Tämän jälkeen päivittäinen tarve lähtee kuluttamaan kertynyttä varastoa, ja kun varasto saavuttaa nollapisteen, alkaa sykli alusta. (Krajewski ym. 20013, 366.)

ELS määritetään kaavasta

$$ELS = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \sqrt{\frac{p}{p-d}} \quad (10)$$

missä

D on vuotuinen tarve

S on asetuskustannus

H on $\frac{\text{Varastointikustannus}}{\text{tuote}}$

p on valmistusmäärä päivässä

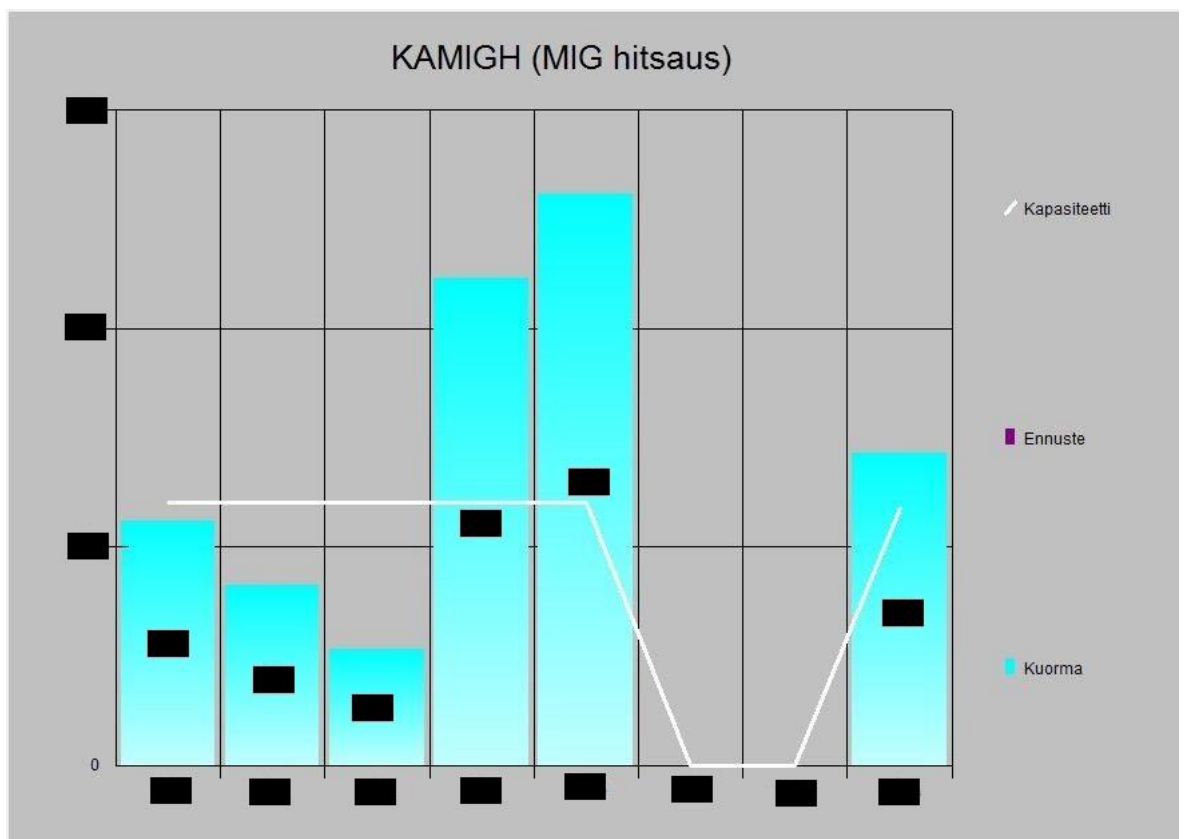
d on menekki päivässä

(Krajewski ym. 2013, 366.)

3 NYKYTILA

3.1 Tuotannon eräkoolliset ongelmat

Kuten tutkimusongelmassa todettiin, on nykyisessä tuotannossa ongelmallista kuorman epätasaisuus. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että tuotannonohjausjärjestelmä Visma L7 ei osaa ottaa huomioon työvaiheen kapasiteettia töitä kuormitettaessa, vaan kuormituksen aikataulutus perustuu täysin töiden limitykseen. Limityksen tarkoituksena on antaa liikkumatilaa töiden valmistumiselle ja jakaa kuormaa aikatauluttamalla työt jokaisen tuotteen omalla limitysarvolla. Tämä aiheuttaa sen, että isot erät kasaantuvat kuormassa yhdelle päivälle. Kuorman epätasaisuus selviää hyvin kuviosta 8, josta voidaan todeta töiden olleen hyvin tasapainossa viikkotasolla, mutta yksittäisten päivien kuormitus on selkeästi yli kapasiteetin.



Kuvio 8. Kuorman jakautuminen hitsauksessa.

Töiden jakaminen usealle päivälle itse tuotannossa ei läheskään aina ole mahdollista, sillä tuote harvoin saapuu etuajassa edellisestä vaiheesta. Töiden siirtäminen ja jakaminen on mahdollista tehdä tuotannonohjauksessa, mutta se täytyy tehdä manuaalisesti koko työn aikataulutusta siirtämällä. Tämä lisää tuotannonohjaajien työtaakkaa ja saattaa aiheuttaa resurssiongelmia muissa työvaiheissa.

Tuotannon eräkokoja pienentämällä voidaan resurssien päivittäistä kuormaa tasata. Tämä perustuu siihen, että pienemmillä eräkoilla työt jakautuvat luonnollisesti useammalle päivälle, jos vuosittainen tarve pysyy samana.

3.2 Tuotannonohjaus Relicompilla

Tuotannonohjausta Relicompilla hoitaa nelihenkinen tuotannonohjaustiimi, joka hoitaa töiden aikataulutuksen ja tuotannon kuormituksen. Töiden aikataulutus perustuu tilausohjautuvilla tuotteilla asiakkaille luvattuihin toimituspäiviin tai varasto-ohjautuvilla tuotteilla ennusteisiin ja hälytysrajoihin. Varasto-ohjautuvilla tuotteilla järjestelmä seuraa tuotteen saldoa ja antaa hälytyksen, kun tuote uhkaa loppua. Hälytysrajat ovat aina tuotekohtaisia.

Relicompin ERP-järjestelmänä toimii Visma L7, jota käytetään kaikkiin yrityksen hallinnallisiin ohjelmistotarpeisiin. Järjestelmä on vuoden 2017 aikana päivittymässä joltain osin Delfoi-järjestelmään. Tarkka aikataulu päivitykselle on kuitenkin vielä epäselvä.

3.3 Eräkokojen määrittäminen Relicompilla

Aikaisemmin eräkoot on laskettu lähtökohtaisesti myynnissä tarjouksia tehtäessä. Erien määrittely on yleensä tehty ns. ”näppituntumalla” perustuen asiakkaan arvioituun vuositarpeeseen. Erä koko on määritetty esimerkiksi jakamalla vuositarve kahdellatoista, ja näin saatua kuukausittaista tarvetta on käytetty erähintoja laskettaessa nostoen ja laskien hintaa eräkoon muuttuessa. Hintaa määritettäessä on kui-

tenkin otettu huomioon käytännössä vain asetusajan merkitys, eikä suurien eräkojen aiheuttamaa varastokustannusta ole otettu erikseen huomioon käytännössä mitenkään.

Kun ensimmäiset erät tuotetta on tehty, jälkilaskennan perusteella hintoja ja työaikoja on korjattu. Jälkilaskenta antaa todellisen kuvan tuotannon kuluista, mutta siinäkin ei ole otettu erikseen huomioon varastokustannuksia. Jälkilaskennan suorittamiseksi täytyy tuote-eriä olla tehtynä valmiiksi asti ainakin yksi.

Vaikka jälkilaskennan tarkkuus onkin hyvä määritettäessä hintoja, on sen käyttö hintoja määritettäessä aina myöhäistä, sillä varsinkin hintojen korottaminen jälkikäteen on asiakkaalle usein punainen vaate.

4 LASKENTATYÖKALUN LUOMINEN

4.1 Työn rajaaminen ja tarkastelutavan valinta

Työn rajaamisesta pidettiin palaveri tuotantojohtaja Arto Pitkämön sekä tuotannon-suunnittelijoiden Timo Rantalan ja Jani Lepolan kanssa 15.3. Palaverissa päätettiin ottaa tarkasteltavaksi kaksi hitsattavaa tuotetta, joista toinen oli tilausohjautuva ja toinen varasto-ohjautuva. Tuotteiden valinnassa pyrittiin ottamaan mahdollisimman hyvin huomioon kappaleen menekki sekä menekin tasaisuus ja toistuvuus, jotta eräkokolaskennan vaatimat oletukset ja yksinkertaistamiset vaikuttaisivat laskennan tulokseen mahdollisimman vähän.

Pohdinnan ja keskustelun jälkeen päädyttiin tuotteiksi valitsemaan xxx pakoputken kannake sekä xxx hytti. Tuotteiden valinnan jälkeen kävimme läpi eräkokolaskentaan tarvittavia perusteita, jotka tuotannonohjaajat lupasivat toimittaa. Työkalun kehittämiseen tarvittaviksi perusteiksi määritettiin seuraavat:

1. Menekki
2. Työkustannukset
3. Oheiskustannukset
4. Valmistus- ja asetusajat
5. Hint.

Laskennan pohjana päätettiin käyttää sekä EOQ- että ELS-mallia. Tähän ratkaisuun päädyttiin, jotta saataisiin mahdollisimman monipuolinen järjestelmä, jonka soveltaminen eri työvaiheisiin olisi sujuvaa. Eräkokolaskennan lisäksi päätettiin järjestelmään liittää varastopaikan arvon määrittämisen työkalu sekä varmuusvaraston laskenta, sillä nämä vaikuttavat kiinteästi tuotteiden eräkoon muodostumiseen.

4.1.1 Pakoputken kannake

Xxx metsäkoneen pakoputken kannake (piirustusnumero xxx) on tilausohjautuva tuote, jonka menekki vuonna 2016 oli xxx kappaletta. Tuote tehdään tilauksesta xxx toimitusajalla, ja sen menekki vaihtelee vain hieman. Yleisin tilauskoko kyseiselle tuotteelle vuonna 2016 oli xxx kappaletta.

Tuote on hitsattu aikaisemmin käsin, mutta sen hitsaaminen on robotisoitu tammi-kuussa 2017. Hitsaustavan muutos antaa lisää näkemystä eräkokojen määrittelyyn, sillä se mahdollistaa perinteisen käsin hitsaamisen ja robotihitsaamisen erojen tarkastelun myös eräkokojen kautta. Kuviossa 9 on kuvattuna pakoputken kannakkeita hitsattuna.

Tarkasteltavaksi ajanjaksoksi tälle tuotteelle päätettiin ottaa kalenterivuosi 2016 käsin hitsauksen osalta, ja robotihitsauksesta kaikki 20.3.2017 mennessä tehdyt robotihitsaukset.



Kuvio 9. Xxx pakoputken kannattimia hitsattuna (Korpela 2017).

4.1.2 Xxx hytti

Xxx hytti (piirustusnumero xxx) on xxx asennettava turvahytti. Sen valmistus on varasto-ohjautuvaa, ja sen menekki on tasainen. Vuonna 2016 Relicomp hitsasi xxx kappaletta kyseistä tuotetta. Tuotteen valmistuserät ovat pitkiä, ja yksittäisen tuotteen valmistamiseen kuluva aika on muihin kevyen hitsauksen tuotteisiin verrattuna korkea, keskimäärin xxx minuuttia. Hitsattavat erät tälle tuotteelle ovat olleet pitkiä, xxx tai xxx kappaletta vuonna 2016. Kuviossa 10 on kuvattuna hitsattu hytti.

Tuotteen valintaan tarkasteltavaksi vaikutti myös sen koko. Hyttejä ei sovi eurolavalle kuin yksi, ja sille on tehty erilliset normaalia korkeammat varastopaikat. Tämä lisää varastoinnin kustannuksia ja seuraavaan työvaiheeseen kertyvää materiaalin määrää.

Hytit menevät hitsauksen jälkeen maalaamoon, jossa ne ovat välivarastoituna tilauksen tulemiseen asti. Tällainen menettely on käytössä siksi, että hyttien valmistus asiakkaan vaatimalla toimitusajalla ei ole mahdollista nykyisessä tuotannossa, mutta koska asiakkaan toimittamat ennusteet ovat hyvin tarkkoja, voidaan tuotetta tehdä varastoon.



Kuvio 10. Xxx hytti hitsattuna.

4.2 Laskentatyökalun luominen

Laskentatyökalun luominen aloitettiin teorian kertaamisella, jonka jälkeen lähdettiin luomaan tarvittavaa pohjaa dynaamiselle laskentatyökalulle. Ohjelmistona työkalun luomiseen päätettiin käyttää Microsoft Exceliä, sillä se on helppokäyttöinen ja yleisesti tunnettu. Excel mahdollistaa myös erilaisten komentorivien ajamisen, jos tarve laajemmalle toiminnallisuudelle ilmenee. Excel myös mahdollistaa työkalun käytön prosessin eri vaiheissa, koska sitä ei ole sidottu ohjelmistolisensseihin tai tiettyihin

tietokoneisiin. Tämä lisää työkalun tarkoituksenmukaisuutta ja hyötykäyttöä, sillä samalla työkalulla voidaan laskea eräkokoja niin hallinnossa kuin tuotannossakin.

Työkaluun päätettiin liittää myös EOQ-laskentaan nykytilan vertailu, jotta eräkokojen optimoinnista saatavan hyödyn suuruus olisi helposti todettavissa.

Työkalun luominen täysin automaattiseksi osaksi tuotannonsuunnittelujärjestelmää oli mahdotonta tai ainakin hyvin haasteellista, eli lähtöarvot työkaluun tulee syöttää aina käsin.

Vaikka työn ensisijaisena tavoitteena oli luoda laskentatyökalu hitsauksen eräkokojen määrittelyyn, rakentui työkalu kuitenkin jo alusta lähtien niin modulaariseksi, että se voidaan, ilman muutoksia laskentaan tai rakenteeseen, ottaa suoraan käyttöön myös muissa työvaiheissa.

Valmiin työkalun laskentasolut lukittiin, ja EOQ-laskennan kuvaajan piirtämiseen tarkoitettu erillinen laskentasisivu piilotettiin näkyvistä. Liitteessä 2 on kuvattuna erillisen laskentasisivun rakenne.

4.2.1 Varastopaikan arvo

Varastopaikan arvon määrittäminen päätettiin liittää kiinteästi eräkolaskentaan käytettävään työkaluun, jotta mahdollisilta ristiriidoilta työkalujen ja järjestelmien välillä vältyttäisiin.

Varastopaikkojen määrä oli päivitetty syksyn ja talven mittaan uusituille hyllypaikoille, joten hyllypaikkojen uudelleen laskemiseen ei nähty tarvetta. Perusteet yksittäisen varastopaikan arvon määräytymisestä saatiin tuotantojohtaja Arto Pitkämöltä. Arvot syötettiin uuteen taulukkoon, joka on erillisenä välilehtenä eräkolaskennan Excelissä. Taulukon laskenta-arvot jätettiin lukitsematta, eli arvojen muokkaaminen on mahdollista suoraan taulukkoon. Tämä tehtiin siksi, että osa varastopaikan arvoon vaikuttavista tekijöistä saattaa muuttua, jolloin laskenta ei enää pidä paikkaansa.

Varastopaikan arvon määrittämisessä huomioon otettiin seuraavat tekijät:

1. Toimitilan vuokra
2. Kiinteistön verot
3. Kiinteistön huolto
4. Sähkö
5. Lämmitys
6. Vakuutukset
7. Vartiointi
8. Varastohallintajärjestelmä
9. Varastointityö
10. Konevuokrat.

Eräkokolaskennan taulukkoon haettiin varastoinnin hyllypaikan ja lattiapaikan hinta näkyviin tältä sivulta, mutta arvon syöttäminen päätettiin silti jättää käyttäjän tehtäväksi. Tämä siksi, että käyttäjä voi tarpeen vaatiessa muokata arvoa esimerkiksi yksittäisten, isojen tuotteiden vaatiman varastotilan mukaisesti, ilman tarvetta muuttaa varastopaikan arvon laskentaperusteita. Kuviosta 11 selviää valmiin työkalun rakenne ja käytetyt laskenta-arvot.

Varastopaikan arvo

Arvo määritetty: 22.3.2017
Määrittelyn tekijä: JoO

Varastopaikan hinta

Aika	Hyllypaikka	Halli m ²
Vuodessa	€	€
Kuukaudessa	€	€
Viikossa	€	€
Päivässä	€	€

Varastotilan ylläpito

Aika	Yhteensä
Vuodessa	€
Kuukaudessa	€
Viikossa	€
Päivässä	€

Laskennan perusteet

Tilan ja varastoinnin kustannukset

Kustannuserä	€/Vuosi
Toimitilavuokra	€
Kiinteistön verot	€
Kiinteistön huolto	€
Sähkö	€
Lämmitys	€
Vakuutukset	€
Vartiointi	€
Varastonhallintajärjestelmä	€
Varastointityö	€
Kiinteistö ja varastointi yhteensä:	€

Hallin tiedot

Tarvittava tieto	Määrä
Hallin pinta-ala, m ²	
Hyllypaikkoja lavoille	
Hyllytasoja keskimäärin/hylly	
Lattiapaikkoja	

Kuvio 11. Varastopaikan arvon laskentatyökalu.

4.2.2 EOQ

Työn rajauksessa päätettiin ottaa ensisijaiseksi tarkastelun välineeksi EOQ-laskenta, sillä sitä pidetään kappaletavaratuotannossa pätevänä keinona eräkokojen määrittelyyn, vaikka kaavan ehdot ovatkin tiukat.

Kaavan luominen aloitettiin tarvittavien lähtöarvojen tarkastamisella lähdekirjallisuudesta, jotta virheitä välttyttäisiin. Nämä lähtöarvot kirjattiin omalle Excelin välilehdelle, jonka nimeksi kirjattiin "Erä koko".

Lähtöarvojen nimeämisessä pyrittiin käyttämään suomenkielistä, mahdollisimman selkeää sanavalintaa. Yksiköiden valinnassa pyrittiin käyttämään sellaisia yksiköitä, joita tuotannonohjausjärjestelmä Visma L7 käyttää. Käytännössä kaikki laskentaan tarvittavat tiedot ovat löydettävissä käyttämällä järjestelmän tuotannonohjaukseen ja tuoterekisterin tarkasteluun tarkoitettuja näkymiä. Käyttämällä samoja yksiköitä kuin Visma L7 voidaan arvojen syöttämisessä sattuvien inhimillisten virheiden määrää vähentää.

Kaksi EOQ-laskentaan vaadituista termeistä hajotettiin pienempiin osiin, jotta niiden ymmärtäminen olisi helpompaa ja arvojen löytäminen järjestelmästä ei vaatisi tietoa termien muodostumisesta. Arvojen pilkkominen osiin vaati termin sisällön sisäistämistä ja tarkkaavaisuutta laskukaavojen kirjoittamisessa, mutta sen tuoma hyöty työkalun käyttäjälle on ilmeinen.

Pienemmiksi osiksi pilkottiin seuraavat termit:

1. **Asetuskustannukset.** Asetuskustannuksien määrittäminen laskentataulukossa tehtiin vaatimalla arvoa sekä asetusajalle että tuntihinnalle.
2. **Yksittäisen tuotteen varastokustannukset.** Yksittäisen tuotteen varastokustannukset määritetään laskennassa lava- tai lattiapaikan hinnan sekä tuotteiden pakkauskoon mukaan.

Arvojen pilkkominen laajentaa toki myös laskennan modulaarisuutta, sillä se sallii laskentaan käytettävien termien laajemman muokkaamisen. Tämä on merkityksellistä esimerkiksi tuotantoa kehitettäessä, jolloin voidaan helposti nähdä eri termien muuttumisen vaikutus tuotannon kustannuksiin ja sitä kautta eräkokoihin.

Laskentatyökalu piirtää kuvaajaa sekä varasto- että asetuskustannuksista, joka tuo selkeyttä laskentaan. Kuvaajan arvot lasketaan yhden yksikön välein. Laskenta suoritetaan erillisellä, piilotetulla välilehdellä.

EOQ-laskentaan päätettiin liittää myös nykytilan vertailu, jotta eräkokojen muuttamisen vaikutukset olisivat konkreettisesti nähtävillä.

Työkalun rakenne sekä EOQ-laskennan tulosten näyttö selviää kuviosta 12.

4.2.3 ELS

ELS-laskenta päätettiin rajauksessa ottaa toissijaiseksi laskennan malliksi työkaluun. ELS-mallin soveltuminen kappaletavaratuotantoon ei ole niin selkeää kuin EOQ-mallissa, mutta sitä voidaan tietyissä työvaiheissa soveltaa. ELS olettaa seuraavan työvaiheen käyttävän valmistuvaa tuotetta heti sen valmistuttua. Relicom-pilla tämä saattaa olla tilanne esimerkiksi maalaamossa, jossa kiireellisissä tapauksissa tuotteita haetaan maalauslinjalta seuraavaan työvaiheeseen ilman, että niitä varastoitaisiin välillä.

Työkalun rakenne sekä ELS-laskennan tulosten näyttö selviää kuviosta 12.

4.2.4 Varmuusvarasto

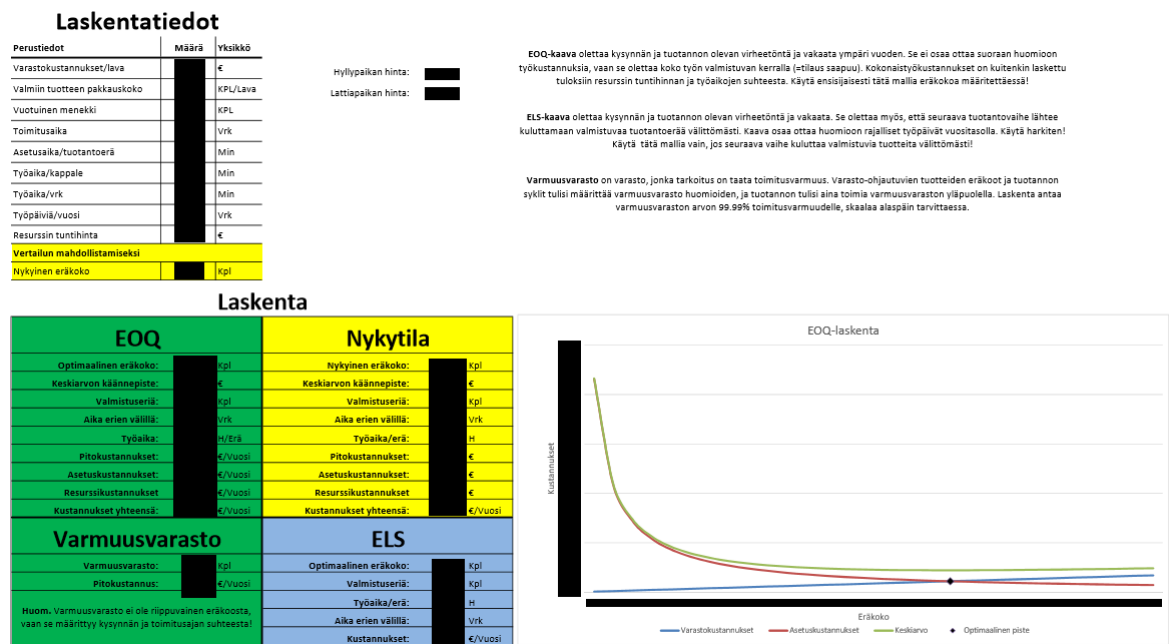
Varmuusvaraston laskenta liitettiin osaksi eräkokojen työkalua, vaikka se ei olekaan suoraan riippuvainen eräkoon muutoksista. Varmuusvarasto on kuitenkin oleellinen osa yrityksen toimitusvarmuutta, ja kaiken tuotannon pitäisi toimia varmuusvaraston ”yläpuolella”. Kun varmuusvarasto määritetään eräkokojen kanssa samassa yhteydessä, se ei jää huomiotta tuotantoa suunniteltaessa.

Varmuusvaraston laskemisessa käytettiin tuotantojohtaja Arto Pitkämön antamaa laskukaavaa, joka Relicompilla on käytössä.

Kaavan mukaan

$$\text{Varmuusvarasto} = \text{Päivittäinen menekki} * \text{Toimitusaika} \quad (11)$$

Työkalun rakenne sekä varmuusvaraston laskennan näyttö selviää kuviosta 12.



Kuvio 12. Eräkkökolaskennan työkalun rakenne.

4.2.5 Optimaalinen eräkkoko usealle vaiheelle

Koska laskentatyökalusta tuli lähtökohtaisesti hyvin muokattava, päätettiin siitä kehittää myös usean vaiheen keskimääräistä eräkkökoä mittaava versio. Tämä tehtiin uutena Excelin välilehtenä, joka sai nimekseen "Eräkkoko usealle vaiheelle". Tälle sivulle tehtiin neljä saraketta, joissa on laskennan perusteet kahdelle, kolmelle, neljälle ja viidelle työvaiheelle. Lähtötiedot ovat samat kuin yksittäistä eräkkökoäkin laskettaessa, mutta eri vaiheille syötetään eri tiedot omiin tietueisiinsa. Enimmäismäärä työvaiheille on viisi, koska yrityksen tuotteista harvalla on yli viittä työvaihetta yksittäisellä työkortilla. Tämä myös yksinkertaistaa laskentaa.

Kun tiedot eri työvaiheista on syötetty, työkalu laskee optimaaliset eräkoot kaikille työvaiheille ja laskee näiden keskiarvon. Tämän jälkeen työkalu laskee kaikkien työvaiheiden kokonaisajat ja kustannukset yhteen käyttäen kertoimena tätä keskimääräistä optimaalista eräkokoja.

Tällainen laskennan soveltaminen on täysin tämän opinnäytetyön tekemisen yhteydessä tehtyä kehitystyötä, ja johtuen alkuperäisten kaavojen tiukoista ehdoista sekä niiden soveltamisesta, täytyy tämän työkalun antamiin tuloksiin suhtautua varauksella. Koska optimaalisen eräkoon määrittäminen usealle vaiheelle ei kuulunut alkuperäiseen työn rajaukseen, ei sen toimintaa käsitellä tässä työssä tarkemmin. Työkalun rakenne on kuitenkin kuvattu liitteessä 1.

4.3 Laskennan testaaminen

Varastopaikan arvon laskennan oikeellisuus tarkastettiin kahteen kertaan, käymällä laskennan perusteet läpi erikseen sekä tuotantojohtaja Arto Pitkämön että menetelmäkehittäjä Toni Korpelan kanssa. Tällä pyrittiin eliminoimaan mahdollisia virheitä kaavoissa, sillä laskennassa käytettyjen kaavojen oikeellisuutta ei muuten voinut tarkistaa.

EOQ- ja ELS-laskentojen paikkansapitävyyttä testattiin Krajewskin ym. kirjasta Operations Management löytyvien esimerkkien avulla. Tällä varmistettiin, että kaavojen kirjoitusasu on oikea ja termit haetaan oikeista paikoista. Syöttämällä kirjassa annettuja arvoja saatiin tulokseksi sama optimaalinen eräkkö kuin kirjassakin. Tämä varmisti kaavojen oikeellisuuden.

Usean vaiheen eräkkökolaskennan oikeellisuutta ei niin ikään pystynyt varmistamaan, sillä se oli omaa kehitystyötä. Sen pohjana oleva yhden vaiheen eräkkökolaskenta kuitenkin tarkistettiin ja todettiin paikkansapitäväksi jo aikaisemmin, ja tähän lisätyt kaavat ja oletukset käytiin läpi tuotantojohtaja Arto Pitkämön kanssa.

5 ERÄKOKOLASKENTA

5.1 Eräkokojen laskeminen

Työn viimeisenä vaiheena oli laskea eräkokoja luvuissa 4.1.1 ja 4.1.2 esitellyille tuotteille ja verrata näitä nykyisin käytössä oleviin eräkokoihin. Tuloksien perusteella tehtiin myös valmistuksellista analyysia pohjautuen eräkokoihin.

5.2 Pakoputken kannatin

Xxx pakoputken kannatin on tilausohjautuva tuote, joten sen valmistuseriä ei voida säädellä niin tarkasti kuin varasto-ohjautuvien tuotteiden. Sen menekki on kuitenkin hyvin tasainen, eli tarpeen vaatiessa sen valmistaminen varastoon voisi olla mahdollista, jos se eräkolaskennan perusteella on järkevää.

Pakoputken kannattimia tehtiin vuonna 2016 yhteensä xxx kappaletta. Valmistuserien koot ja tuotantoon käytetty aika ilmenevät kuvioista 13. Valmistuksen työaikojen kuittauksessa oli muutamia selkeitä virheitä, joita ei huomioitu keskimääräistä tuotantoaikaa laskettaessa. Kuviossa esiintyvät suunnitellun tuotantoajan muutokset johtuvat käytösuhdemuutoksesta sekä tuotteen arvioidun valmistusajan säätämisestä.

VAIN RELICOMP OY:N SISÄISEEN KÄYTTÖÖN

Kuvio 13. Pakoputken kannakkeen vuoden 2016 valmistusajat ja eräkoot.

Optimaalisen eräkoon määrittämiseksi syötettiin aikaisemmin luotuun järjestelmään kuvion neljätoista vasemmassa yläreunassa näkyvät lähtöarvot, jotka olivat löydettävissä suoraan tuotannonohjausjärjestelmästä. Valmistusaikana käytettiin vuoden 2016 keskimääräistä valmistusaikaa.

Kuviossa 14 on myös esitetty laskennan tulokset. Kuten kuvasta ilmenee, antaa EOQ-laskenta optimaaliseksi eräkooksi xxx kappaletta, eli kyseisen tuotteen kohdalla valmistuserien kokoa voisi kasvattaa. On kuitenkin syytä muistaa, että tuotteiden varastoinnin kustannukset laskettiin hyllypaikan hinnalla, ja lattioille varastoitavien kappaleiden aiheuttamat varastokustannukset ovat yli viisinkertaiset verrattuna hyllyvarastointiin.

Tämän tuotteen kohdalla EOQ- ja ELS-mallien antamat erot yksittäisen tuotantoerän optimaaliselle koolle olivat hyvin samaa kokoluokkaa.

Laskentatiedot

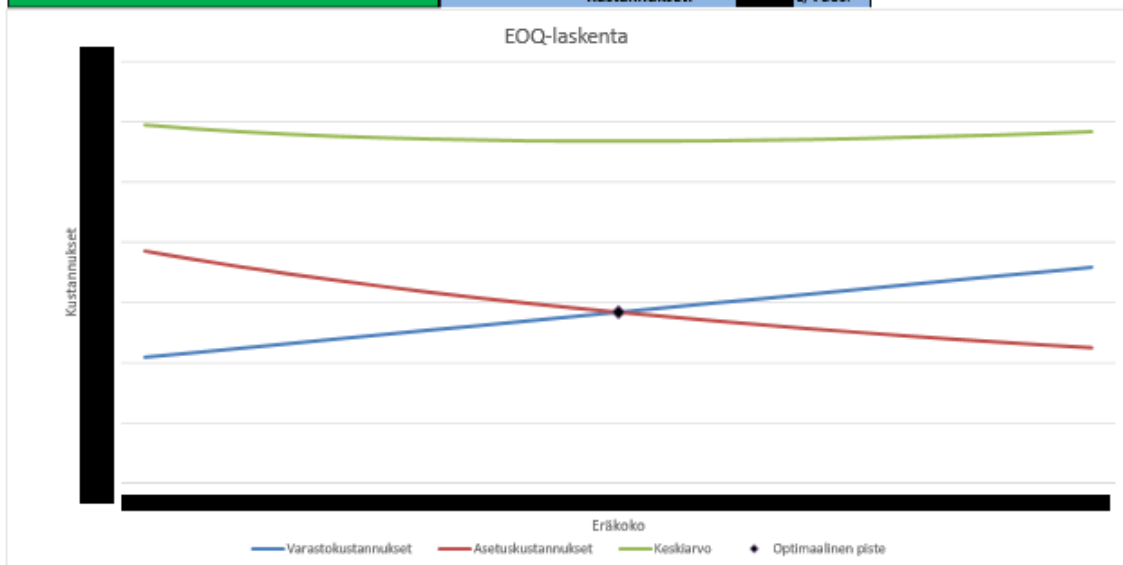
Perustiedot	Määrä	Yksikkö
Varastokustannukset/lava		€
Valmiin tuotteen pakkaukoko		KPL/Lava
Vuotuinen menekki		KPL
Toimitusaika		Vrk
Asetusaika/tuotantoerä		Min
Työaika/kappale		Min
Työaika/vrk		Min
Työpäiviä/vuosi		Vrk
Resurssin tuntihinta		€
Vertailun mahdollistamiseksi		
Nykyinen eräkkoko		Kpl

Hyllypaikan hinta: [] €

Lattiapaikan hinta: [] €

Laskenta

EOQ		Nykytila	
Optimaalinen eräkkoko:	[] Kpl	Nykyinen eräkkoko:	[] Kpl
Keskiarvon käännepeiste:	[] €	Keskiarvon käännepeiste:	[] €
Valmistuseriä:	[] Kpl	Valmistuseriä:	[] Kpl
Aika erien välillä:	[] Vrk	Aika erien välillä:	[] Vrk
Työaika:	[] H/Erä	Työaika/erä:	[] H
Pitokustannukset:	[] €/Vuosi	Pitokustannukset:	[] €
Asetuskustannukset:	[] €/Vuosi	Asetuskustannukset:	[] €
Resurssikustannukset:	[] €/Vuosi	Resurssikustannukset:	[] €
Kustannukset yhteensä:	[] €/Vuosi	Kustannukset yhteensä:	[] €/Vuosi
Varmuusvarasto		ELS	
Varmuusvarasto:	[] Kpl	Optimaalinen eräkkoko:	[] Kpl
Pitokustannus:	[] €/Vuosi	Valmistuseriä:	[] Kpl
		Työaika/erä:	[] H
		Aika erien välillä:	[] Vrk
		Kustannukset:	[] €/Vuosi



Kuvio 14. Pakoputken kannakkeen käsin hitsauksen eräkkökolaskenta.

Pakoputken kannattimien hitsaustapa on vuonna 2017 siirretty käsin hitsauksesta robottihitsaukseen. Robottihitsauksessa eräkoot ovat pysyneet samana, mutta hitsaustavan muutoksesta johtuen valmistusajat ja -kustannukset ovat muuttuneet. Robottihitsauksen laskenta-arvot ja laskennan tulokset tulevat ilmi kuviossa 15. Työajan laskennassa käytettiin kirjoittamishetkellä valmiiksi hitsattujen kolmen robottihitsauserän keskiarvoa, joka oli xxx minuuttia/kappale.

Robottihitsauksessa eräkolaskennan perusteella tulisi eräkojoja nostaa noin xxx kappaleeseen. Tämä johtuu erosta asetusajoissa ja robottihitsauksen noin xxx minuuttia nopeammasta työajasta.

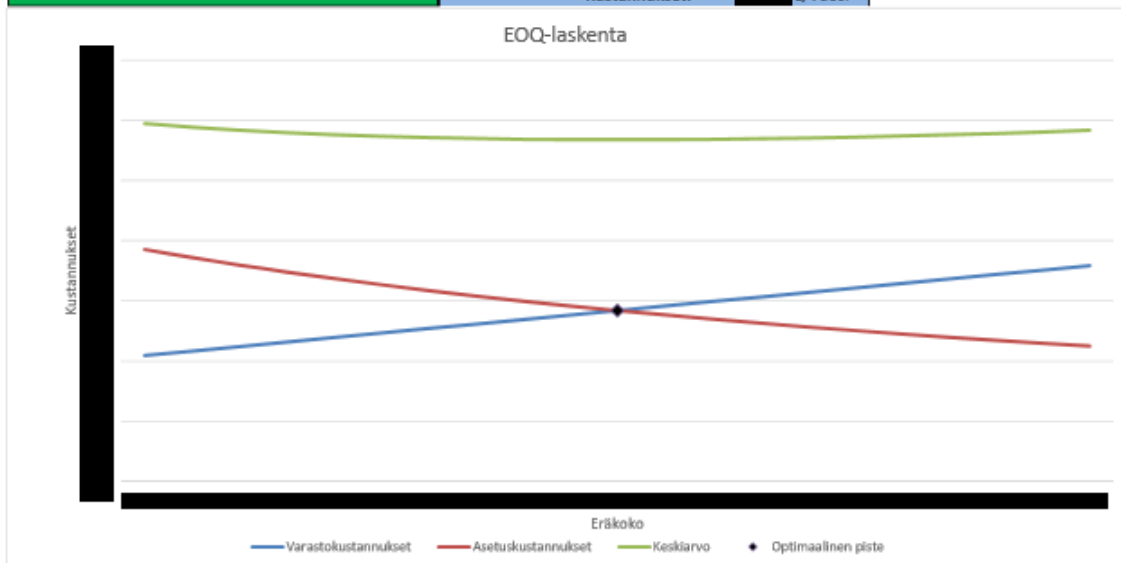
Laskentatiedot

Perustiedot	Määrä	Yksikkö
Varastokustannukset/lava		€
Valmiin tuotteen pakkausko		KPL/Lava
Vuotuinen menekki		KPL
Toimitusaika		Vrk
Asetusaika/tuotantoerä		Min
Työaika/kappale		Min
Työaika/vrk		Min
Työpäiviä/vuosi		Vrk
Resurssin tuntihinta		€
Vertailun mahdollistamiseksi		
Nykyinen eräko		Kpl

Hyllypaikan hinta: ■ €
Lattiapaikan hinta: ■ €

Laskenta

EOQ		Nykytila	
Optimaalinen eräko:	■ Kpl	Nykyinen eräko:	■ Kpl
Keskiarvon käännepeiste:	■ €	Keskiarvon käännepeiste:	■ €
Valmistuseriä:	■ Kpl	Valmistuseriä:	■ Kpl
Aika erien välillä:	■ Vrk	Aika erien välillä:	■ Vrk
Työaika:	■ H/Erä	Työaika/erä:	■ H
Pitokustannukset:	■ €/Vuosi	Pitokustannukset:	■ €
Asetuskustannukset:	■ €/Vuosi	Asetuskustannukset:	■ €
Resurssikustannukset:	■ €/Vuosi	Resurssikustannukset:	■ €
Kustannukset yhteensä:	■ €/Vuosi	Kustannukset yhteensä:	■ €/Vuosi
Varmuusvarasto		ELS	
Varmuusvarasto:	■ Kpl	Optimaalinen eräko:	■ Kpl
Pitokustannus:	■ €/Vuosi	Valmistuseriä:	■ Kpl
		Työaika/erä:	■ H
		Aika erien välillä:	■ Vrk
		Kustannukset:	■ €/Vuosi



Kuvio 15. Pakoputken kannakkeen robottihitsaus.

5.3 Xxx hytti

Xxx hytti on varasto-ohjautuva tuote, joten sen eräkokojen muokkaaminen on helpompaa kuin tilausohjautuvien tuotteiden. Tuotteen vaatima työaika ja varastointitila antavat oman haasteensa eräkokojen määrittämiselle.

Hyttejä tehtiin xxx kappaletta vuonna 2016, ja sen menekki oli tasainen. Eräkoot vaihtelivat hieman, yleisimpien eräkokojen ollessa xxx ja xxx kappaletta. Kuviosta 16 ilmenee hyttien hitsausajat ja erien koot. Kuten pakoputken kannakkeenkin kohdalla johtuvat suunnitellun ajan muutokset käyttösuhdemuutoksesta sekä arvioidun työajan säätämisestä. Myös tämän tuotteen kohdalla valmistusajoissa oli muutamia selkeitä virheitä, joita ei keskiarvoa laskettaessa otettu huomioon.

VAIN RELICOMP
OY:N SISÄISEEN
KÄYTTÖÖN

Kuvio 16. Xxx hyttien vuoden 2016 valmistusajat ja eräkoot.

Hyttien optimaalisen eräkoon määrittämiseksi syötettiin kuvion seitsemäntoista vasemmassa yläkulmassa näkyvät arvot laskentatyökaluun. Myös hytin lähtöarvot olivat löydettävissä suoraan tuotannonohjausjärjestelmästä. Nykytilan laskenta tehtiin

käyttämällä työaikana vuoden 2016 keskimääräistä työaikaa. Varastopaikan hintana käytettiin kolminkertaista lavapaikan hintaa, sillä hyteille on omat erikoiskorkeat hyllypaikat.

Myös laskennan tulokset ilmenevät kuviosta 17. Kuten kuvasta ilmenee, on hyttien nykyiset xxx ja xxx kappaleen eräkoot aivan liian suuria suhteessa laskennalliseen xxx kappaleen optimaaliseen eräkokoon. Jos hyttejä joudutaan varastoimaan lattialla, kasvavat varastokustannukset vielä lisää.

Vertailtaessa optimaalista EOQ-laskennan antamaa xxx kappaleen eräkokoja esimerkiksi nykyisin käytössä olevaan xxx kappaleen eräkokoon voidaan taulukosta laskea saavutettava taloudellinen etu, jos valmistus muutettaisiin optimaaliseen eräkokoon. Jos käytetään absoluuttisia arvoja eikä esimerkiksi keskiarvokäyrän käännekohtaa, saadaan vuotuisiksi säästöiksi lähes xxx €. Jos vertaillaan keskiarvoa, huomataan myös kustannusten laskennallisen keskiarvon laskevan eräkoon pienentyessä. Keskiarvoa vertailtaessa on pienemmän eräkoon tuoma taloudellinen etu yli xxx euroa.

ELS-laskenta antaa tämän tuotteen kohdalla optimaaliseksi eräkooksi xxx kappaletta, eli xxx kappaletta enemmän kuin EOQ-laskenta. Tämä johtuu ELS-laskennan oletuksesta, jonka mukaan valmistuneita tuotteita käytetään tasaiseen tahtiin koko ajan, mutta niiden valmistusaika on rajallinen. Tämä johtaa suurempiin eräkokoihin.

Laskentatiedot

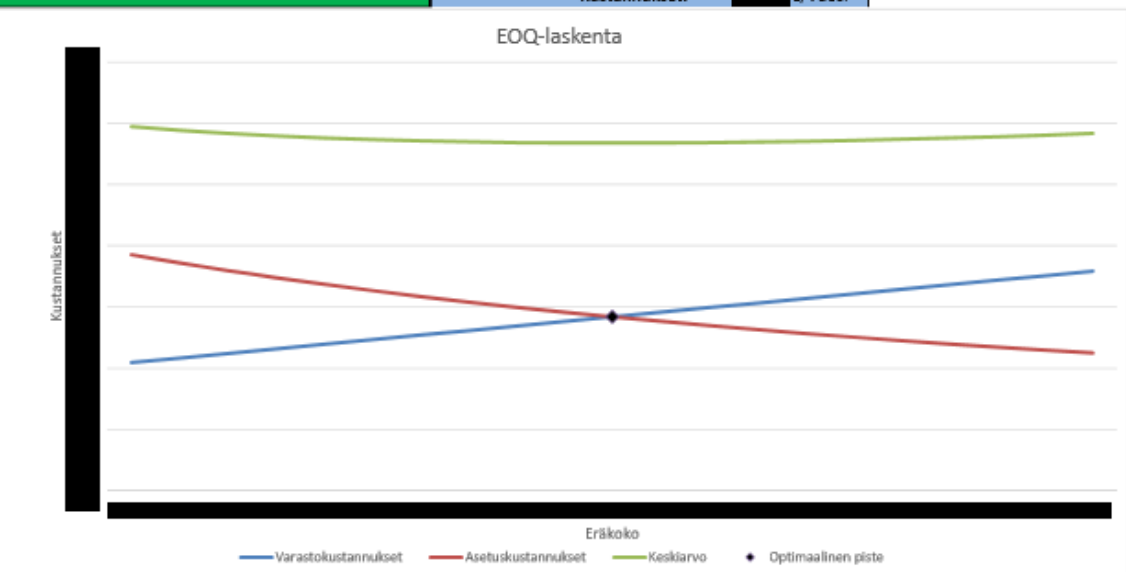
Perustiedot	Määrä	Yksikkö
Varastokustannukset/lava		€
Valmiin tuotteen pakkaukoko		KPL/Lava
Vuotuinen menekki		KPL
Toimitusaika		Vrk
Asetusaika/tuotantoerä		Min
Työaika/kappale		Min
Työaika/vrk		Min
Työpäiviä/vuosi		Vrk
Resurssin tuntihinta		€
Vertailun mahdollistamiseksi		
Nykyinen eräkoko		Kpl

Hyllypaikan hinta: [] €

Lattiapaikan hinta: [] €

Laskenta

EOQ		Nykytila	
Optimaalinen eräkoko:	[] Kpl	Nykyinen eräkoko:	[] Kpl
Keskiarvon käännepeiste:	€	Keskiarvon käännepeiste:	€
Valmistuseriä:	Kpl	Valmistuseriä:	Kpl
Aika erien välillä:	Vrk	Aika erien välillä:	Vrk
Työaika:	H/Erä	Työaika/erä:	H
Pitokustannukset:	€/Vuosi	Pitokustannukset:	€
Asetuskustannukset:	€/Vuosi	Asetuskustannukset:	€
Resurssikustannukset:	€/Vuosi	Resurssikustannukset:	€
Kustannukset yhteensä:	€/Vuosi	Kustannukset yhteensä:	€/Vuosi
Varmuusvarasto		ELS	
Varmuusvarasto:	[] Kpl	Optimaalinen eräkoko:	[] Kpl
Pitokustannus:	€/Vuosi	Valmistuseriä:	Kpl
		Työaika/erä:	H
		Aika erien välillä:	Vrk
		Kustannukset:	€/Vuosi



Kuvio 17. Xxx hyttien eräkolaskenta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

6.1 Laskentatyökalu

Mielestäni laskentatyökalusta tuli lähtökohtaisesti hyvin toimiva, ja työn tavoitteet saavutettiin. Laskentatyökalusta lähti muodostumaan jo heti alussa hyvin modulaarinen, ja siihen tuli ominaisuuksia enemmän kuin oli alun perin tarkoitus.

Työkalua on myös tarpeen vaatiessa helppo kehittää eteenpäin. Tässä työssä eräkoon laskentamalleina käytettiin vain EOQ- ja ELS-laskentaa. Olemassa on myös hyvinkin pitkälle vietyjä malleja, joissa tuotannon, toimitus- ja tilausaikojen sekä valmistuksen muutoksia on otettu mukaan laskentaan. Nämä kuitenkin vaativat laajaa tietoa tuotannon toiminnoista ja virheistä, jolloin laskennan helppous kärsii. Näitä malleja ei tässä työssä käsitelty. Kaikki luodun työkalun kaavat ovat kuitenkin muokattavissa lukituksen poistamalla, joka mahdollistaa työkalun muokkaamisen ja parantelun jatkossa, jos siihen nähdään tarvetta.

Laskentatyökaluun tehtiin myös usean työvaiheen laskentaa varten oma osionsa, mutta jos työkalua haluaa käyttää laajamittaisesti useamman vaiheen eräkokojen laskentaan, tulisi ensin laskea yksittäisten vaiheiden tiedot erikseen sekä tämän jälkeen verrata tuloksia ristiin. Näin saataisiin vertailukelpoista tietoa useamman vaiheen yhtäaikaisesta laskennasta, ja mahdolliset tarpeet työkalun hienosäätöön tulisivat ilmi.

Excelin rajoitteet eivät mahdollistaneet automaattista EOQ-kuvaajan skaalausta optimaalisen eräkoon suhteen, mutta ilmeisesti tällainen automaatio saattaisi olla mahdollista saada aikaan Excelin koodieditoria käyttämällä. Jos tällainen automaatio nähdään tarpeelliseksi, jää sen luominen IT-tuen hoidettavaksi.

6.2 Eräkokojen laskenta

Työn aikana ilmeni, että eräkokoja ei ole aikaisemmin määritetty kovinkaan tarkasti. Tässä työssä tarkastelluista kahdesta osasta toisen, eli pakoputken kannattimen, nykyinen erä koko oli laskennallisesti liian pieni, ja optimaalinen erä koko olisi lähes kaksinkertainen. Hytin kohdalla asia oli täysin päinvastainen, ja eräkoot olivat lähes kolminkertaiset verrattuna laskennalliseen optimiin.

Tämän työn perusteella sanoisin, että varsinkin varasto-ohjautuvien, suurissa erissä tehtävien tuotteiden eräkokojen tarkastelu olisi hyvä tehdä nopealla aikataululla. Näin saataisiin ylimääräiset varastoinnin kuluerät kuriin, ja varastoon sidottu pääoma saataisiin käyttöön.

Varastointiin käytetyn tilan ylläpito on yritykselle ylimääräinen kuluerä, ja varastoa pienentämällä vapautettua tilaa voisi käyttää tuottavaan työhön. Näin saavutettaisiin taloudellista hyötyä mahdollisten koneinvestointien ja kasvaneen kapasiteetin myötä. Varaston pieneneminen vaikuttaisi positiivisesti myös yleiseen siisteyteen, sillä tällä hetkellä lattialle varastoidut tuotteet vaikeuttavat siivoamista ja yleistä liikumista alueella.

Tarkastelua voitaisiin lähteä tekemään esimerkiksi liikevaihdoltaan suurimmista tuotteista, ja tuotteen koko tuotantoketju tulisi käydä läpi. Yrityksen tuoterekisteriä tarkastelemalla voitiin todeta tilausohjautuvia tuotteita olevan noin xxx kappaletta, ja näistä tuotteista karkean arvion mukaan noin xxx-xxx prosenttia on tuotteita, joiden ohjattavuus ja menekin tasaisuus mahdollistaisivat eräkokojen optimoinnin. Koska tuotteita on paljon, kasvaa optimoinnin tarjoama suora säästöpotentiaali suureksi.

Tarkastelun ohessa myös työkaluun luotua usean vaiheen eräkolaskentaa voisi käyttää hyväksi, vaikka sen antamat tulokset vaativatkin kriittistä tarkastelua, kuten luvussa 4.2.5 kerrotaan.

Kiinnittäisin myös huomiota tuotteiden asetusajkojen oikeellisuuteen ja ajantasaisuuteen. Eräkokoja laskettaessa asetusajkojen oikeellisuus ja tarkkuus korostuvat, sillä epätarkkuus sekä virheet vääristävät laskennan tulosta.

7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoitus oli kartoittaa erilaisia eräkoon ja sen määrittämiseen vaikuttavia tekijöitä ja luoda niiden pohjalta laskentatyökalu eräkojen määrittämiseen.

Työn toimeksiantajana oli Relicomp Oy, joka on Kurikassa ja Suolahdessa toimiva ohutlevyteknologiaan erikoistunut, noin 130 työntekijän perheyrittäjä. Työ tehtiin palvelemaan yrityksen tuotannonohjausta ja -suunnittelua, myyntiä sekä yleistä tuotannonkehitystä.

Työn taustalla oli yrityksessä käynnissä oleva, Lean-ajatteluun pohjautuva tuotannonkehitysprojekti, jonka yhtenä parannusvipuna on tuotannon eräkojen optimointi. Eräkojen optimointi on parannusprojektin yhteydessä nähty tarpeelliseksi, koska Relicompin varastot ovat suuret ja työvaiheiden kuormat jakautuvat suurien eräkojen vuoksi epätasaisesti.

Työssä perehdyttiin Lean-ajattelun perusteisiin, tuotannonohjaukseen ja sen ristiriitoihin ja menetelmiin sekä varastoon ja sen etuihin sekä haittoihin. Työssä avattiin myös läpimenoaikaan ja tuotantoon liittyviä termejä sekä laskennallisia kaavoja.

Työn merkittävin osio liittyy EOQ- ja ELS-laskentamalleihin, joilla kummallakin pyritään määrittelemään optimaalinen eräko suhteuttamalla asetuskustannukset ja varastokustannukset toisiinsa. Työssä perehdyttiin laskentamallien vaatimiin yksinkertaistuksiin sekä niiden käyttökohteisiin. Näitä malleja käytettiin eräkojen optimointityökalun pohjana.

Työn tutkimusvaiheessa pureuduttiin tarkemmin suurten eräkojen aiheuttamaan resurssiongelmaan sekä eräkosuunnittelun nykytilaan.

Vaikka tarkoituksena oli ensisijaisesti tehdä työkalu hitsauksen eräkojen määrittämiseen, muodostui työkalusta alusta alkaen hyvin monikäyttöinen ja modulaarinen. Luotu työkalu mahdollistaa laskennan työvaiheesta riippumatta. Työkaluun päätettiin liittää myös varastopaikan arvon laskenta sekä varmuusvaraston laskenta. Työkaluun liitettiin myös eräkovertailu annetun eräkojen ja laskennallisen optimin välillä.

Luotua työkalua käytettiin kahden tuotteen eräkokojen määrittämiseen. Tuotteista toinen oli tilaus- ja toinen varasto-ohjautuva tuote, ja laskennassa käytettiin vuoden 2016 keskiarvoja. EOQ- ja ELS-laskentojen tuloksia analysoimalla todettiin, että tilausohjautuvan tuotteen nykyinen yleisin eräkkö, xxx kappaletta, oli liian pieni. Optimaalinen eräkkö tälle tuotteelle olisi xxx kappaletta.

Varasto-ohjautuvan tuotteen optimaalinen eräkkö oli xxx kappaletta, eli vuoden 2016 yleisimmät eräkoot, xxx ja xxx kappaletta, olivat kumpikin reilusti yli optimaalisen tilanteen. Pelkästään tämän tuotteen kohdalla yritykselle aiheutuu satojen eurojen menoerä vuositason tasolla.

Tarkasteltujen tuotteiden ELS-laskennan antamat tulokset verrattuna EOQ-laskentaan olivat hyvin samansuuntaisia molemmissa tapauksissa., ELS-laskennan antamassa hieman suurempia eräkköjä. Tämä johtuu laskennan oletuksesta, jonka mukaan tuotetta kulutetaan koko ajan tasaiseen tahtiin.

Eräkkökolaskennan työkalun jatkokehityksestä sekä eräkkökolaskennan käytännön suorittamisesta tehtiin työn lopussa johtopäätöksiä ja suosituksia. Työkalun toiminnallisuuden jatkokehityksen todettiin vaativan IT -alan syvempää tuntemista. Eräkköjen laskennassa kehoitettiin ottamaan erityisesti liikevaihdoltaan suurten tuotteiden laskenta pikimmiten tehtäväksi, jotta varastoon sidoksia olevaa taloudellista pääomaa saataisiin vapautettua, ja jotta tuotteiden varastointiin vaadittava tila saataisiin käyttöön tuottavaan työhön.

LÄHTEET

- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Tampere: Infacs Oy.
- Hopp, W. & Spearman, M. 2008. Factory physics. 3. painos. Illinois: Waveland press Inc.
- Korpela, T. 2017. Menetelmäkehittäjä. Relicomp Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Jouni Ojala. Koulutusmateriaalia. Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.
- Kouri, I. 2009. Lean Taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova OY.
- Krajewski, L., Ritzman, L. & Malhotra M. 2013. Operations management: Processes and supply chains. 10. painos. Essex: Pearson Education Limited.
- Modig, N. & Åhlström P. 2013. Tätä on LEAN: Ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Suomentaja Maarit Tillman. Tukholma: Rheologica publishing.
- Niskanen, H. 2012. Pojan tie – Rompalta Relicompille: Relicomp Oy 1992-2012. Suolahti: Relicomp Oy.
- Piirainen, A. 2014. Lean johtajan kansio. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy. Vain yrityksen sisäiseen käyttöön.
- Uitto, J. 9.6.2015. Miten keskeneräinen tuotanto vaikuttaa? [Blogikirjoitus]. [Viitattu 11.3.2017] Saatavana: <http://jesseuitto.fi/miten-keskenerainen-tuotanto-vaikuttaa/>
- Quality Knowhow Karjalainen Oy, Kingmanin kaava. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.3.2017] Saatavana <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/kingmanin-kaava/>
- Quality Knowhow Karjalainen Oy, Littlen laki. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.3.2017] Saatavana <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/littlen-laki/>

LIITTEET

LIITE 1. Usean vaiheen eräkolaskennan työkalu

**VAIN RELICOMP OY:N
SISÄISEEN KÄYTTÖÖN**

LIITE 2. Laskennan apusivu

VAIN RELICOMP OY:N
SISÄISEEN KÄYTTÖÖN