



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Kristian Kiviranta

# **Tuotannon kustannusparametrit ja valmistuserän optimointi**

Tekniikan ja innovaatiojohtami-  
sen yksikkö

Pro gradu -tutkielma  
Kauppatieteiden maisteri

Vaasa 2020

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Kristian Kiviranta	
<b>Tutkielman nimi:</b>	Tuotannon kustannusparametrit ja valmistuserän optimointi	
<b>Tutkinto:</b>	Kauppätieteiden maisteri	
<b>Oppiaine:</b>	Tuotantotalous	
<b>Työn ohjaaja:</b>	Petri Helo	
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2020	<b>Sivumäärä:</b> 91

---

**TIIVISTELMÄ:**

Tuotannonohjaus on päivittäin tapahtuvaa toiminnan johtamista, jonka tavoitteena on varmistaa resurssien ja materiaalien riittävyys tuotannolle, jotta voidaan vastata asiakkaiden kysyntään ja ylläpitämään hyvä toimitusvarmuus. Haasteena on kysynnän vaihtelu, jolloin materiaaleja ja resursseja tarvitaan vaihtelevia määriä. Konkreettisinta tuotannonohjausta on tuotannon päivittäinen kuormittaminen. Vaihtelun ennustaminen tekee kuormittamisesta haastavaa, jolloin paras tapa on kehittää prosesseja entistä joustavimmiksi. Optimaalisella eräkoolla voidaan vaikuttaa tuotannon joustavuuteen, jolloin vaihtelevaan kysyntään reagoiminen helpottuu. Eräkokoon vaikuttavat tuotannon kustannukset, joita ovat esimerkiksi asetus- ja varastointikustannukset. Tuotteen hintaan vaikuttavat näiden lisäksi esimerkiksi työ- ja materiaalikustannukset, joiden päälle lasketaan vielä toiminnan muista kuluista aiheutuva yleiskustannuslisä.

Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää yhdessä toimeksiantoyrityksen kanssa heille optimaalinen eräko tuotannossa. Optimaalisen eräkoon selvittämiseksi on perehdyttävä yrityksen kustannusparametreihin ja mahdollisesti päivittää niitä. Tutkielman teoreettinen viitekehys rakentuu pääosin tuotannonohjauksen ja optimaalisen eräkoon teorian ympärille. Toiminnan kannalta optimaalista eräkoko on tutkittu teollisuudessa läpi historian, joka luo tutkielmalle teoriapohjan. Lisäksi teoriaosuudessa käsitellään myös kustannuslaskentaa, jotta saadaan riittävä ymmärrys siitä, mistä rakentuu tuotteen hinta. Tutkielma on tapaustutkimus, jossa on tarkoitus kehittää toimeksiantoyrityksen toimintaa. Globaalisti kehittyvä ala pakottaa miettimään jatkuvasti keinoja toiminnan tehostamiseen. Tutkimusaineisto kerätään yrityksen toiminnanohjausjärjestelmistä ja dataa analysoidaan Excelin avulla. Analysoitu tulos pyritään esittämään mahdollisimman havainnollistavassa muodossa.

Tutkielmassa todettiin, että tällä hetkellä yrityksen eräko käyttäytyy riittävän dynaamisesti, jos eräko on määritelty oikein. Eräkoon määrittely nimikkeille on tehty varastotavoitteita noudattaen. Tutkielmassa havaittiin, että eräkojoja on edelleen mahdollista päivittää taloudellisen eräkoon kaavan avulla. Kustannusparametrien päivityksen todettiin olevan hyvin haastavaa, mutta osasta parametreista pystyttiin luomaan malli, jolla yleiskustannuslisää olisi mahdollista tarkentaa. Koska optimaalisen eräkoon kaava optimoi asetusten ja varastoinnin kustannuksia, todettiin asetusajkojen päivityksellä olevan konkreettisia vaikutuksia kaavalla laskettuun optimaaliseen eräkokoon. Dynaamisesti päivittyvän eräkoon mahdollistaminen vaatisi päivityksiä järjestelmiin, eikä sitä toteutettu tämän tutkielman yhteydessä.

---

**AVAINSANAT:** Tuotannonohjaus, kustannuslaskenta, tuotantokustannus, taloudellisuus

## Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Taustaa	7
1.2	Tavoite	7
1.3	Rajaus ja tutkimuskysymykset	8
1.4	Tutkielman rakenne	9
1.5	Toteutus	11
2	Tuotannonohjaus	12
2.1	Tuotannonohjaus osana toiminnanohjausta	12
2.2	Tuotannonohjaus käytännössä	13
2.3	Tuotantoverkot	15
2.4	Tuotannon epävarmuus	15
2.5	Tuotannonohjauksen tavoitteet	17
2.5.1	Vaihtelun ennustaminen	18
2.5.2	Varastonohjausmallit	19
2.6	Eräkkö	20
2.6.1	EOQ	21
2.6.2	EOQ-kaavasta johdetut kaavat	25
2.7	Tuotannon dynaamisuus	26
3	Kustannukset	28
3.1	Kustannusten synty ja minimointi	28
3.1.1	Muuttuvat ja kiinteät kustannukset	28
3.1.2	Kustannuskäsitteet	29
3.2	Kustannuslaskenta	30
3.3	Toimintolaskenta	31
3.4	Toimintolaskennan hierarkiatasot	34
3.5	Käyttämätön kapasiteetti	35
3.5.1	Jonotusaika	37
3.5.2	QRM kapasiteetin vaikutus eräkköön	38
3.6	Tuotekustannuslaskenta	41

3.7	Takaisinmaksuaika	42
4	Kohdeyrityksen nykytila	44
4.1	Yleiskuvaus	44
4.2	Toteutetut tehostamistoimet	45
4.3	Tulevaisuus	48
4.4	Eräkoko nyt	49
4.4.1	ABC-luokitus	50
4.5	Tämän hetkiset tuotekustannukset	50
5	Optimaalinen eräkoko yrityksessä	52
5.1	Kokoonpanotiimin optimointi	53
5.2	Ruiskuvalutiimin optimointi	56
5.3	EOQ yhteenveto	57
5.3.1	Asetusaikojen tarkistus	61
5.4	Alempien luokkien käyttäytyminen	65
5.5	Taloudellisen eräkoon pätevyys	66
5.6	Economic production quantity EPQ	68
5.6.1	Eräkoon dynaamisuus	70
5.7	Tuotekustannuslaskenta	70
6	Tutkimustulokset	75
6.1	Optimaalinen valmistuserä	75
6.1.1	Huomioitavat asiat taloudellisen eräkoon kaavasta	75
6.1.2	Taloudelliset vaikutukset	76
6.1.3	Optimaalisen eräkoon mahdollisuudet	77
6.1.4	Kustannusten muutosten vaikutus valmistusrään	78
6.1.5	QRM tutkimus	81
6.2	Kustannusparametrit	81
6.3	Asetusajat	82
7	Yhteenveto	85
	Lähteet	88

## Kuvat

Kuva 1 Operatiivisen johtajan hallitsevat tuotannon tekijät.....	14
Kuva 2 Tilausvälimenetelmä .....	19
Kuva 3 Tilauspistemenetelmä.....	20
Kuva 4 EOQ-kuvaaja.....	23
Kuva 5 Kustannusten kohdistaminen toimintolaskennassa.....	32
Kuva 6 Hierarkiatasot.....	35
Kuva 7 Kapasiteetin käyttöaste.....	38
Kuva 8 Eräkoon vaikutus kapasiteetin käyttöasteeseen .....	39
Kuva 9 Eräkoon vaikutus läpimenoaikaan .....	40
Kuva 10 Tuotantolaitoksen mallinnettu pohjapiirros .....	45
Kuva 11 Herkkyysanalyysi.....	80

## Taulukot

Taulukko 1 Tuotantoverkot .....	15
Taulukko 2 EOQ mallin käyttäytyminen .....	24
Taulukko 3 Kapasiteettisuunnittelun vaihtoehdot.....	27
Taulukko 4 Tuotekohtaiset kustannukset.....	34
Taulukko 5 QRM esimerkki jonotusaikojen muutoksesta.....	41
Taulukko 6 Ensimmäisen kokoonpanotiimin optimoinnit .....	54
Taulukko 7 Toisen kokoonpanotiimin tulokset .....	55
Taulukko 8 Ruiskuvalutiimin eräkoon muutokset.....	56
Taulukko 9 Kokoonpanotiimin kierron muutokset .....	58
Taulukko 10 Tiimin 2 EOQ-laskut .....	59
Taulukko 11 Varaston arvon muutos .....	60
Taulukko 12 Kokonaiskustannusten muutos prosentteina .....	61
Taulukko 13 Tarkistettujen asetusaikojen suhteellinen muutos asetusten kokonaiskustannuksiin.....	63
Taulukko 14 Asetusaikojen tarkistusten vaikutus .....	64

Taulukko 15 Eräkoon lisätarkastelu ruiskuvalutiimissä.....	65
Taulukko 16 Alemman luokan asetusajat .....	66
Taulukko 17 Kappalehintojen muutos .....	68
Taulukko 18 Tiimin 2 kiertonopeuden vertailu eri optimointitavoilla .....	69
Taulukko 19 Kohdistetut kustannukset.....	71
Taulukko 20 Tuotekohtaiset kohdistukset.....	73
Taulukko 21 Taloudelliset vaikutukset prosentuaalisina muutoksina .....	77
Taulukko 22 Tulokset vaihtoehtoisilla kustannuksilla .....	79
Taulukko 23 Asetusajan muutos pienemmän valmistuserän tuotteella .....	83

## Lyhenteet

**RFID** – Radio frequency identification, radiotaajuinen tunnistusmenetelmä

**SAP** – Kohdeyrityksen Toiminnanohjausjärjestelmä

**EOQ** – Economic order quantity, taloudellisen eräkoon kaava

**EPQ** – Economic production quantity, EOQ-kaavasta johdettu laskukaava

**NPV** – Nettonykyarvo

**QRM** – Quick response manufacturing

# 1 Johdanto

## 1.1 Taustaa

Sain graduaiheen toimeksiantona teollisuudessa toimivan yrityksen Suomen toimipisteeltä. Yritys toimii rakennusalalla ja on kasvanut tehden hyvää tulosta useamman vuoden ajan. Tulevaisuuden näkymät rakennusalalla ovat kuitenkin tuoreimpien ennustusten mukaan hiipumaan päin ja tämän vuoksi toimeksiantoyritys on jo tehnyt toimenpiteitä omassa tuotannossaan samalla silmällä pitäen alan kehitystä. Toimintaa on tehostettu niin terävöittämällä prosesseja kuin automatisoimalla tehdasta. Yksi näkyvimmistä muutoksen aiheuttajista liittyy uusiin vuodelle 2019 asetettuihin varastotavoitteisiin. Yrityksessä on alennettu varastotasoja merkittävästi jo aiempina vuosina, mutta vuoden 2019 varastonalentamistavoitteet ovat vaatineet nimikkeiden reititysten ja ohjauksen tarkastelua. Varastotasojen alentamisen tarkoituksena on saavuttaa entistä parempaa kassavirtaa ja pienempää sitoutunutta pääomaa. Varastotasojen alentamisen eteen ja prosessien tehostamiseen on käytetty paljon työtunteja, joka on myös tuottanut toivottua tulosta. Tämä herätti kysymyksen, että millä muilla kustannusparametreilla toimintaa voisi ohjata kuin vain seuraamalla varastotasoja. Mistä muualta toiminnan kulut tulevat? Koska toimintaa pyritään tehostamaan jokaisella osa-alueella, ovat tuotantoa ohjaavat kustannusparametrit oleellisia. Optimaalinen eräko teollisuusyrityksessä ei ole uusi juttu, vaan sitä on pohdittu tuotantotaloudessa ympäri maailmaa vuosikymmenet. Ehkä tunnetuin uranuurtaja on Ford W. Harris, joka kehitti taloudellisen eräkoon (EOQ) -mallin (Hopp & Spearman, 2008). Tähän malliin perehdytään myös tässä tutkielmassa.

## 1.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on löytää optimaalinen valmistuserä tutkimuskohteelle, tutkien samalla tuotannosta aiheutuvia kustannuksia. Näiden kustannusten perusteella tut-

kitaan optimaalista eräkoko. Tarvittavaa dataa saadaan pääasiassa kohdeyrityksen toiminnanohjausjärjestelmistä. Kirjallisuutta aiheesta löytyy paljon, mutta oleellisen tiedon etsiminen juuri tätä tutkielmaa varten on haaste. Tutkielma kietoutuu tuotantotalouden aihealueeseen loistavasti, mutta lisäksi tutkimuksessa sivutaan kustannuslaskentaa. Kustannuslaskentaa on erityisesti aiheet, joissa selvitetään, mistä tuotteiden hinta koostuu. Näitä kustannusparametreja on tarkoitus tarkastella ja jos mahdollista, tarkentaa. Kun tarkennukset on tehty, voidaan laskea tuotannon kannalta optimaalisen eräkoko. Lisäksi eräkoon dynaamisuutta tutkitaan eli sitä, kuinka saataisiin eräkoko vastaamaan juuri sen hetken kysyntää ja miten se käytännössä tapahtuisi. Esimerkkeiksi otetaan eri tiimien nimikkeitä ja tutkielman tavoitteena on tuottaa yrityksen toiminnan kannalta validia dataa, jota voitaisiin implementoida käytäntöön. Tutkielman haasteena on jalostaa datasta olemassa olevan tiedon perusteella käytäntöön soveltuvia tuloksia. Tutkielman tekemistä helpottaa se, että yrityksellä on aito halu kehittyä ja mennä eteenpäin juuri tutkielman aihepiiriin asioissa.

Tutkielman tavoitteena on myös syventää henkilökohtaista osaamista, valmistaa itseäni kohti työelämää ja saada entistä parempi kuva siitä, mitä kaikkea tuotantolaitoksen toiminta pitää sisällään. Yliopisto-opiskeluiden aikana olen saanut kattavan kuvan siitä mitä liiketoiminta on, mutta uskon että tutkielman tekeminen auttaa syventämään myös omaa osaamista. Koulussa perehdytään usein keksittyihin tapauksiin ja onkin mielenkiintoista päästä perehtymään oikeaan tapaukseen. Kustannuslaskenta on itselle suurimmaksi osaksi uutta asiaa, joten sen opiskelu on osa tutkielmaa. Työtä tutkielman tekemisessä tulee olemaan, mutta luotto on siihen, että yhdessä yrityksen ammattitaitoisen henkilöstön kanssa löydämme ne asiat, joista yritys voi oikeasti hyötyä.

### **1.3 Rajaus ja tutkimuskysymykset**

Tutkielman aiheen rajaaminen oli aluksi haaste. Tutkimusmahdollisuuksia tuotantoon liittyen monia, mutta lopulta aiheen rajaamisessa päädyttiin miettimään tuotannon kustannusparametrien avulla optimaalista eräkoko. Aihe on rajattu koskemaan opti-



maalista valmistuserää nimenomaan niiden kustannusparametrien avulla, jotka tutkimuksessa selvitetään. Tämä siksi että esimerkiksi toimintolaskentaan kuuluu useampi osa-alue ja on vaara, että tutkielma laajenee liian suureksi. Tässä tapauksessa rajaaminen on tärkeää myös yrityksen kannalta, koska halutaan selvittää nimenomaan tätä tutkielman aiheena olevaa asiaa. Tutkimuksen ei ole määrä keskittyä kaikkiin osa-alueisiin, jotka vaikuttavat tuotantolaitoksen toimintaan, vaan keskittyä olennaiseen ja pyrkiä löytämään niitä ratkaisuja, joita kohdeyritys tällä hetkellä tarvitsee. Tutkimus on rajattu koskemaan valmistuseriä tehtaalla ja kustannuksia, jotka aiheutuvat tuotteiden valmistuksesta.

Päätutkimuskysymys on: *Mikä on kustannusten kannalta optimaalisin eräkoko tuotannossa?* Jotta pystyy vastaamaan pääkysymykseen, on vastattava myös seuraaviin pääkysymyksen apukysymyksiin:

- *Mitkä ovat kustannusparametrit, joiden perusteella tuotantoa optimoidaan?*
- *Kuinka optimointi vaikuttaa olemassa oleviin prosesseihin?*
- *Mitä hyötyä tarkennetuista kustannusparametreista on?*

Tutkimuskysymykset liittyvät toisiinsa ja luovat rakenteen tutkielmalle. Apukysymysten vastauksista voidaan luontevasti jatkaa pureutumista pääkysymyksen tutkimusongelmaan. Vastausten löytämiseen on tutkittava olemassa olevaa teoriaa kustannusten syntymisestä ja tuotantolaitoksen johtamisesta. Vastausten löytäminen vaatii myös paljon dataa yrityksen toiminnanohjausjärjestelmistä. Tähän saanen apua ohjaajaltani ja muilta yrityksen työntekijöiltä.

## **1.4 Tutkielman rakenne**

Tutkielma jakautuu helposti hahmotettavaan rakenteeseen. Aluksi tutkielmassa perehdytään aihealueen teoriaan ja teoriaa seuraa soveltava osuus. Tarkemmin tutkielma jakautuu seitsemään lukuun, joista ensimmäinen on johdanto ja viimeinen on yhteen-

veto. Toinen ja kolmas kappale esittelee aiheen teoriaa. Toinen kappale keskittyy aiheeseen tuotantotalouden näkökulmasta ja tarkemmin tuotannonohjauksen näkökulmasta. Toimiva tuotannonohjaus on tehtaan elinehto ja siksi se luo perustan koko tutkimukselle. Tuotannonohjauksessa keskitytään valmistuseräkokoön ja siihen, kuinka optimoida valmistuserää. Tuotannonohjaus sisältää muutamia eri kaavoja, joita voidaan hyödyntää. Kolmas kappale keskittyy enemmän kustannuksiin ja on se tutkielman kappale, jonka käsittelyssä perehdytään kustannuslaskentaan. Tarkoituksena on esitellä teoriaa, jonka perusteella tuotteen kustannukset syntyvät ja kuinka voidaan minimoida kustannuksia. Jotta ei käydä koko kustannuslaskennan teoriaa läpi, on teoria rajattu koskemaan pääosin toimintolaskentaa. Toimintolaskennasta on valittu vielä tarkemmin tasoksi yksikkö- ja erätasot.

Neljäs kappale esittelee tutkielman kohdeyrityksen. Kappaleessa esitellään kohdeyritys ja käydään läpi sitä, mitä on jo saatu aikaan. Tarkoitus on selventää mitä ja miten asioita tehdään nyt, ja mihin on tarkoitus mennä tulevaisuudessa. Perehtyminen yrityksen toimintatapoihin ja teoriaan eräkoon laskentamalleista auttaa ymmärtämään paremmin, mistä tutkielmassa on kyse. Viidennen kappaleen on tarkoitus keskittyä kohdeyrityksen tuotannon optimointiin aiemmin esitetyn teorian ja yrityksestä saadun datan perusteella. Jotta saadaan tutkimustuloksia, täytyy tässä kappaleessa suorittaa laskutoimenpiteitä ja verrata tuloksia löydettyyn teoriaan Exceliä ja toiminnanohjausjärjestelmiä hyödyntäen. Yritys laskee esimerkiksi tuotekohtaisia kustannuksiaan omilla kaavoillaan, jotka täytyy selvittää, jotta pääsee käsiksi yksikkötasolla kustannusten koostumiseen. Kuudes kappale esittelee tutkimuksen tulokset ja tarkoitus on pohtia kappaleessa sitä, mitä hyötyä tutkimuksesta on yritykselle ja kuinka tutkielmassa esitetyt asiat voidaan käytännössä mahdollisesti soveltaa käyttöön. Viimeinen kappale on tutkielman yhteenveto.

## 1.5 Toteutus

Tutkielma toteutetaan kvalitatiivisin tutkimusmenetelmin. Tarkoituksena on hyödyntää yrityksessä olevaa ammattitaitoa mahdollisimman paljon. Teoriaa ja suoritettavaa tutkielmaa on tarkoitus yhdistää mahdollisimman hyvin. Tutkielma toteutetaan siten, että olen kolme päivää viikossa paikan päällä yrityksessä. Tämä auttaa pitämään tuntuman tutkielman tekoon ja helpottaa myös tiedon keräämistä kohdeyrityksestä ja kommunikointia yrityksen henkilöstön kanssa. Onnistuneen päämäärän saavuttamiseksi on oleellista, että validia dataa ja lähteitä kerätään riittävästi. Tutkielman kannalta tärkeitä henkilöitä voin haastatella lyhyellä aikataululla ja ote tutkielmaan pysyy hyvänä läpi tutkielman. Tutkielman kirjoittamiseen on varattu aikaa neljä kuukautta, jonka pitäisi riittää mainiosti, sillä minulla ei ole muita kursseja ja tai projekteja menossa samaan aikaan. Yrityksen puolesta saan käyttööni kaiken tarpeellisen tutkielman tekoa varten. Minulla on ohjaaja tutkielmaan sekä koulun, että yrityksen puolesta.

## 2 Tuotannonohjaus

### 2.1 Tuotannonohjaus osana toiminnanohjausta

Tuotannonohjaus on hyvin käytännönläheistä työtä, jossa operatiivisen johtamisen rooli liiketoimintastrategian suunnittelussa ja toteuttamisessa on erittäin tärkeä. Tuotannon tehtävänä on tehdä tuotteet tai palvelut, joita yritys valmistaa ja saada ne toimitettua asiakkaalle niin, että asiakas on tyytyväinen. Toiminnanohjauksella pyritään takaamaan yrityksen tuotteille hyvä toimitusvarmuus (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001). Tuotteiden valmistaminen on tärkeä osa yrityksen toimintaa, koska niiden myynti tuo yritykselle liikevaihtoa. Ennen kuin tuote päätyy valmistukseen, sen eteen on tehty suunnittelu ja kehitystyötä, joka on syytä tehdä hyvin, sillä yleensä yritykset eivät ole markkinoilla yksin vaan kilpailevat yritykset kamppailevat samoista asiakkaista. Toimintastrategiat auttavat yrityksiä kohtaamaan kilpailun luottavaisesti (Aswathappa & Shridhara Bhat, 2009). Liiketoimintakulttuuri on muuttunut siten, että nykyään pyritään saamaan pidempiaikaista kilpailuetua lyhyen aikavälin nopeiden voittojen sijaan (Magon;Tavares;Ferrer;& Scavarda, 2018).

Tuotannonohjaus on osa toiminnanohjausta. Yrityksen ohjausta voidaan tehdä usealla tasolla. Strategisella tasolla tehdään pitkäaikaisimmat päätökset. Suunnittelu ja toimintatasolla tehdään toiminnanohjauksen päätöksiä. Tällä tasolla ohjaukseen käytetään toiminnanohjausjärjestelmiä, mutta myös strategisella tasolla päätöksien tueksi tarvitaan tietoja toiminnanohjausjärjestelmistä. Toiminnanohjausjärjestelmällä ei tarkoiteta pelkästään yrityksen käytössä olevaa ERP-järjestelmää, vaan sillä tarkoitetaan myös menetelmiä ja periaatteita, joita käytetään prosessien ohjaamiseen (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001).

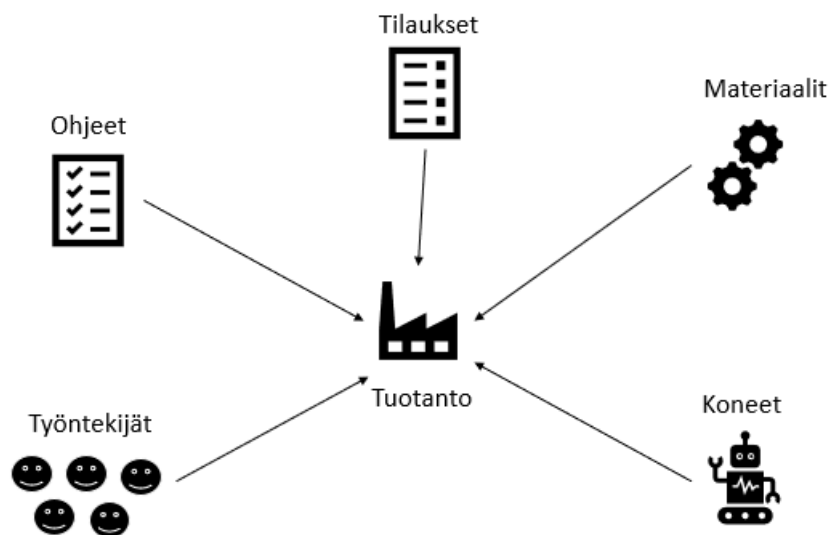
## 2.2 Tuotannonohjaus käytännössä

Tuotannonohjaus on pitkälti johtamista ja yleisesti kaikista johtamisalueista tuotantoa pidetään ratkaisevan tärkeänä teollisissa organisaatioissa. Tuotannonohjauksen tarkoituksena on saada tuotannon eri palaset toimimaan saumattomasti yhdessä. Tuotanto on prosessi, jolla raaka-aineet ja muut tuotantotekijät muunnetaan valmiiksi tuotteiksi. Tuotannon ydin on se prosessi, jossa työntekijöitä, materiaaleja ja koneita käytetään muuntamaan tuotantopanokset tuotteiksi ja palveluiksi. Voidaan sanoa, että tällainen prosessi tapahtuu jokaisessa liiketoimintaa harjoittavassa organisaatiossa jollain tasolla (Aswathappa & Shridhara Bhat, 2009).

Tuotannossa operatiivisen johtajan tehtävä on johtaa tuotantoa. He suunnittelevat tuotantoa ja organisoivat henkilökuntaa tekemään oikeita asioita. Suunnittelu ja organisointi sisältää paljon erilaisia päätöksiä. Osa päätöksistä on lyhyen aikavälin päivittäin tapahtuvia päätöksiä ja osa on pitkän aikavälin strategisia päätöksiä. Heidän vastuullaan on ohjata ja hallita kaikkia tuotannon prosesseja niin, että tuotantopanokset saadaan muutettua tuotteiksi tai palveluiksi oikeaan aikaan kustannustehokkaasti, niin että asiakas on tyytyväinen (Aswathappa & Shridhara Bhat, 2009).

Tuotannon tärkein yksittäinen henkilö on tuotannon operatiivinen johtaja. Operatiivinen johtaja tekee päätöksiä yleensä kolmella tasolla. Ensimmäisellä tasolla hän tekee tuotteita, prosesseja ja itse tuotantolaitosta koskevia strategisia päätöksiä. Nämä päätökset ovat tärkeimpiä, koska niillä on strategisesti pitkäaikaisin vaikutus tuotantolaitoksen toimintaan. Toisella tasolla tehdään tuotannon suunnitteluun liittyviä päivittäisiä päätöksiä esimerkiksi tuotannon kuormittamista. Näiden päätösten tärkeimpänä ohjaavana tekijänä on asiakkaan toiveiden täyttäminen. Tehtaalla on oltava oikea määrä työntekijöitä, vapaita koneita ja muita tuotantotekijöitä, jotta tavara saadaan lähettämään ajoissa. Nämä päätökset ovat välttämättömiä sen kannalta, että asiakas saa tarvitsemansa tuotteen ajoissa ja jotta tehtaalla tuottama tuotteiden määrä vastaa kysyntää. Kolmannen luokan päätökset liittyvät operaatioiden suunnitteluun ja hallintaan. Nämä päätökset koskevat työntekijöiden päivittäistä toimintaa, tuotteiden laatua,

yleiskustannuksia ja koneiden ylläpitoa. Kuten eri tasoista huomaa, operatiivisen johtajan työn kuva on hyvin laaja ja päätöksiä on tehtävä monista asioista. Päivittäin hänen tehtävänsä on koordinoida tuotantoa niin että tuotannolla on edellytykset toimia. Alla oleva kuva esittää tuotannon sisältämät asiat yksinkertaisesti mukailleen Lehtosen (2004) esittämää kuvaa (Aswathappa & Shridhara Bhat, 2009).



**Kuva 1** Operatiivisen johtajan hallitsevat tuotannontekijät (Lehtonen, 2004)

Tuotannonohjauksen ymmärtäminen on tärkeää sen takia, että ymmärretään mitä tuotannossa tapahtuu, mihin prosesseihin menee aikaa ja mitkä asiat maksavat. Prosessien ymmärtäminen auttaa ymmärtämään tuotteen myyntihinnan ja sen valmistamisesta syntyvien kustannusten yhteyden. Perusajatus on helposti maalaisjärjellä ymmärrettävissä. Esimerkiksi jos tuotteen myyntihinta nousee, mutta tuotteen valmistuskustannukset pysyvät samana, saadaan tuotteesta enemmän katetta ja päinvastoin (Pound;Bell;& Spearman, 2014).

## 2.3 Tuotantoverkot

Yritykset keskittyvät omaan ydinosamiseksi saavuttaakseen kilpailuetua kilpailijoihinsa nähden. Ydinosamisen jalostamista varten tarvitaan kuitenkin toimiva verkosto, joka tukee yritystä toiminnoissaan. Yrityksen tuotantoverkot rakentuvat suhteista, joita yritys luo. Verkosto pyritään luomaan yrityksen arvojen mukaan. Verkostojen välillä liikkuu esimerkiksi tietoa, palveluita, rahaa ja materiaaleja. Mitä suurempi yritys, sitä suuremmat verkostot ja sitä enemmän verkostojen välillä liikkuu asioita. Tätä verkkoa hallitakse yrityksillä on käytössä toiminnanohjausjärjestelmiä. Verkot jakautuvat suunnitteluprosessiin ja toimintoprosessiin, kuten sivulla 15 olevassa kuvassa on havainnollistettu. Toimintoprosessit ovat yleensä paremmin hiottuja, koska suunnitteluprosessiin liittyy aina riski ennusteen epävarmuudesta (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001).

**Taulukko 1** Tuotantoverkot (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001)



## 2.4 Tuotannon epävarmuus

Tuotantoon liittyy aina epävarmuustekijöitä. Tuotannon kehittäminen liittyy olennaisesti näiden epävarmuustekijöiden minimoimiseen. Yksi tuotannonohjauksen päätavoitteista on löytää kompromissi kustannusten, läpimenoajan ja laadun välillä. Kuitenkin

useimmat tuotannon suunnittelun matemaattiset mallit rajoittuvat vain kustannusten ja läpimenoajan hallintaan. Itse asiassa perinteisissä tuotantosuunnittelumalleissa pääasiallisena tavoitteena on minimoida kustannukset tai maksimoida voitot tyydyttämällä samalla asiakkaiden kysyntä. Useita yksinkertaistavia oletuksia tehdään useimmissa tuotannon suunnittelumalleissa. Yksi yleisimmistä oletuksista on, että tuotantojärjestelmä on täydellinen ja että siinä ei esiinny virheitä. Käytännössä tuotantojärjestelmät ovat epätäydellisiä ja viallisia yksiköitä tuotetaan yleensä luontaisesti. Siksi ei ole järkevää sivuuttaa tuotantoprosesseissa olevia laadullisia näkökulmia (Bettayeb;Brahimi;& Lemoine, 2018).

Tuotannossa on mahdollisuus virheille eri tavoin. Vaikka tuotanto suunniteltaisiin kuinka tarkasti, ennalta-arvaamattomia virheitä ilmenee. Yleisimpiä tuotannon toimintaa haittaavia virheitä Kumarin (2007) mukaan ovat:

- Materiaalipuutokset
- Koneiden häiriöt
- Kysynnän muutokset, kampanjat ja kiireelliset tilaukset
- Työntekijöiden poissaolot
- Kommunikaation puute

Inhimillisten virheiden lisäksi koneiden virheet aiheuttavat kapasiteettihukkaa. Yllättävät koneiden rikkoontumiset aiheuttavat ylimääräisiä huoltotöitä, joka on kokonaisuudessaan poissa tuotannon kapasiteetista, etenkin silloin, jos kyseistä tuotetta ei voida tehdä toisella koneella. Toinen yleinen koneiden hukkaa aiheuttava virhe on virheelliset tuotteet. Virheellisten tuotteiden valmistamiseen kuluva aika hukkaa kapasiteettia suoraan koneen käytöltä. Lisäksi virheistä aiheutuu mahdollisia materiaali menetyksiä ja ylimääräistä työtä (Ciarillo;Akella;& Morton, 1994).

Oleellista tuotannonohjaamisessa on olemassa olevan datan hyödyntäminen. Käytössä olevat järjestelmät keräävät massoittain dataa, mutta pelkästä datasta ei ole hyötyä, jos



sitä ei osata analysoida oikein. Dataa voidaan seurata ja analysoida erilaisilla mittareilla. Datan seurantaan tulisi olla kuitenkin jokin tavoite, jotta on jokin syy, miksi juuri tätä dataa seurataan. Hyvä toimintaa seuraava mittaristo antaa tuen kerättävälle tiedolle. Mittaristo pitää pystyä esittämään tarpeeksi selkeässä muodossa, jotta tärkeänä pidetty tieto on saatavilla niin, että sitä voidaan tulkita ja hyödyntää oikein. Kaikkea tietoa ei tarvitse seurata mittareilla, vaan osa tiedosta liittyy vain henkilöstön osaamisen kehittämiseen. Henkilöstön osaamisen ja työtehtävien onnistuneen suorittamisen kannalta on tärkeää, että heillä on tiedossa tai ainakin saatavilla oleellista tietoa oman työtehtävänsä kannalta (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001).

## 2.5 Tuotannonohjauksen tavoitteet

Tuotannon suunnittelu ja hallinta on tarpeen seuraavien tavoitteiden saavuttamiseksi:

- Tuotantoresurssien tehokas käyttö
- Tuotannon laadun, määrän, kustannusten ja toimitusajan tavoitteiden saavuttaminen
- Jatkuvan tuotantovirran saaminen asiakkaiden tyydyttämiseksi
- Laadukkaiden tuotteiden toimittaminen asiakkaille kilpailukykyisin hinnoin

Tuotannon suunnittelu on tuotantoa edeltävä toiminta. Se on valmistusvaatimusten, kuten työvoiman, materiaalien, koneiden ja valmistusprosessin toiminnan suunnittelemista. Tuotannonohjauksen tavoitteena on reagoida mahdollisesti ilmeneviin virheisiin ja tehdä tarvittavat toimenpiteet, jotta tuotanto jatkuu mahdollisimman häiriöttä (Kumar, 2007).

Tuotannonohjauksen haasteena on yleensä kysynnän vaihteluihin varautuminen. Kysyntä on hyvin harvoin tasaista, joka aiheuttaa haasteita ennustamiseen ja tuotannon suunnitteluun. Ennusteet eivät ole tarkkoja ja ne sisältävät virheitä. Tämän takia valmis-

tusprosessiin yritetään luoda joustavuutta, jotta voidaan reagoida kysynnän vaihteluun. Tavallisimpia keinoja joustavuuden luontiin ovat varastot ja resurssit (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001).

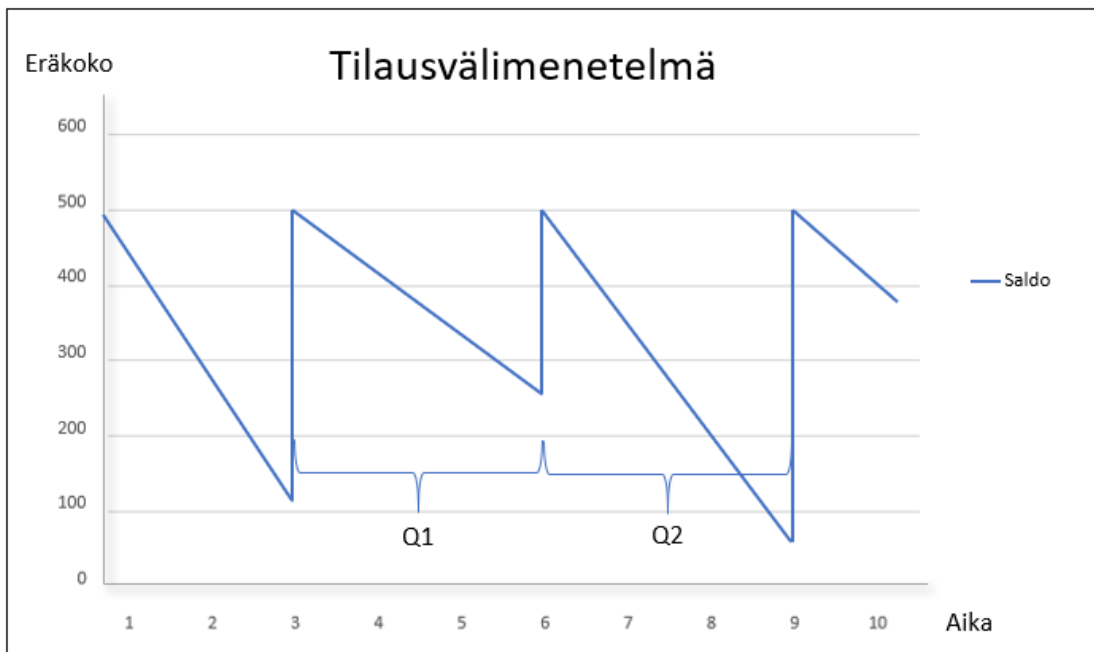
### **2.5.1 Vaihtelun ennustaminen**

Teollisessa tuotannossa, jossa tuotanto tapahtuu varasto-ohjautuvasti, ennusteet tuotannon oikein kuormittamiseksi ja materiaalien oikean saatavuuden takaamiseksi ovat tärkeitä. Yleensä ennustaminen tapahtuu toiminnanohjausjärjestelmän tietojen avulla. Mitä kauemmaksi nykyhetkestä ennuste kohdistuu, sitä enemmän siinä esiintyy epävarmuutta. Ennusteiden avulla tuotantoa voidaan kuormittaa oikein. Tuotantoa suunnitellaan karkeasuunnittelulla ja hienosuunnittelulla. Yksityiskohtaisempia ennusteita tarvitaan, kun tehdään hienosuunnittelua. Hienosuunnittelu on lähemmäksi nykyhetkeä kohdistuvaa (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001).

Tuotannon tehokkuus ja kapasiteettisuunnittelu ovat synnyttäneet monia ideoita siitä, kuinka seurata markkinatilannetta, tuotantoa ja varastoa. Yksi innovaatioista on RFID teknologia. Artikkelin mukaan RFID-tunnistusteknologialla on saavutettu hyviä tuloksia materiaalin ja tuotteiden seurannassa. Teknologia perustuu siihen, että yrityksellä on tiedossa reaaliaikainen määrä jäljellä olevista tuotteista. Tällöin voidaan tuottaa juuri oikea määrä oikeaan paikkaan oikeaa tuotetta. Koska ennustamisen tiedetään olevan vaikeaa, on tästä teknologiasta hyötyä nimenomaan kapasiteettisuunnittelussa. RFID-tekniikalla saatujen tulosten mukaan, sitä voidaan käyttää tehostamaan tuotantoa ja parantamaan toimitusketjun suorituskykyä vähentämällä varastotappioita, lisäämällä prosessien tehokkuutta ja parantamalla tietojen tarkkuutta (Gu;Visich;Li;& Wang, 2017). RFID mahdollistaa etenkin tehokkaan varastonhallinnan, koska on saatavissa jatkuvaa tietoa siitä missä tavarat menevät (Aboelmaged & Hashem, 2018).

## 2.5.2 Varastonohjausmallit

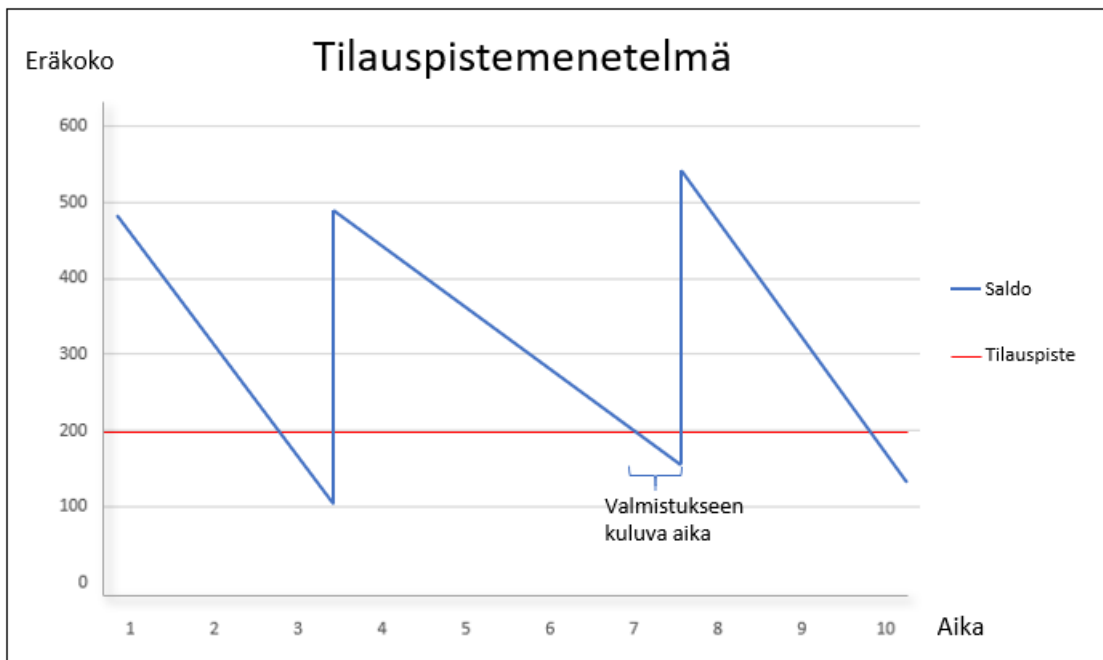
Yksi vanhimmista varastonohjausmalleista on kiinteän tilausvälin menetelmä. Tässä menetelmässä tilausväli pysyy vakiona, mutta toimitettava määrä vaihtelee. Mikäli varastotasot eivät ole riittäviä tilausten välillä, täytyy tehdä täydennystilauksia. Tilausvälimenetelmä soveltuu käyttöön erityisesti silloin, kun tuotteet saapuisivat tilauspisteelle eri aikaan, mutta lähtisivät samalla kuljetuksella eteenpäin. Tällöin tilausvälimenetelmää käyttämällä voidaan suunnitella työt paremmin samaan aikaväliin (Chapman;Arnold;Gatewood;& Clive, 2017). Kuvasta kaksi voi havainnoida kuinka valmistuserän koko vaihtelee, mutta tilausväli pysyy samana.



**Kuva 2** Tilausvälimenetelmä (Sanders, 2014)

Toinen yleisesti käytössä oleva varasto-ohjaamisen malli on kiinteän valmistuserän menetelmä tai toiselta nimeltään tilauspistemenetelmä, jossa valmistuserä koko pysyy vakiona, mutta tilausväli vaihtelee. Tällaisessa menettelyssä on määritetty tilauspiste,

joka ilmoittaa varastotason, jolloin uusi erä täytyy valmistaa. Tilauspiste on määritelty siten, että tuotteita riittää varastossa niin kauan, että uusi erä saadaan toimitettua (Gourdin, 2001). Kuvassa kolme on tilauspistemenetelmän peruseriaate. Tilauspisteen kohdalla tuotantoon tulee kehoitus valmistaa tuotetta. Tilauspisteen ja uuden erän välinen aika on tuotteen valmistamiseen kuluva aika.



**Kuva 3** Tilauspistemenetelmä (Taylor, 2006)

## 2.6 Eräkkoko

Erätuotanto on tuotantotapa, jota nykyään käytetään tuotannon jakamiseen pieniin eriin suuren massatuotannon sijasta. Tuotetta valmistetaan erissä toistuvasti, mutta tuotetta ei kuitenkaan valmisteta koko aikaa. Joskus tuotteiden valmistaminen erissä on välttämätöntä, koska esimerkiksi valmistuksessa käytettävät materiaalit voivat pitkällä aikavälillä vanhentua. Erätuotanto myös mahdollistaa tuotemuutokset. Jos tehtäisiin koko vuoden kysyntä kerralla varastoon, olisi tuotteeseen tulevat päivitykset vaikeampi

toteuttaa. Täten myös asiakkaalla on parempi vaikutusmahdollisuus tuotteeseen, koska siihen on mahdollista tehdä muutoksia erien välissä (Slack;Chambers;& Johnston, 2001).

Tuotannosta vastaavien johtajien on kestettävä painetta siitä, kuinka pitää tuotteiden valmistusmäärät riittävän alhaisina, jotta pääomaa ei sitoudu turhaan varastoitaviin tuotteisiin ja taas toisaalta painetta siitä, että tuotteita valmistetaan tarpeeksi, jotta asiakas pysyy tyytyväisenä, eikä tilaamisesta tai valmistamisesta aiheudu liiallisia kustannuksia. Valmistuseräkoon optimointi on haastavaa, mutta siihen on olemassa kaavoja, joilla se voidaan laskea. Optimaalinen eräkooko pitää tuotteen valmistamisen järkevänä niin taloudellisesti kuin tuotannollisesti. Usein ajatellaan pelkkää taloutta, mutta ymmärtääkseen miten tuotteista saatava raha saadaan, on ymmärrettävä ne prosessit, joilla tuotteet tehdään (Krajewski;Tirzman;& Malhotra, 2006).

Eräkooko vaikuttaa myös tuotteen läpimenoaikaan. Mitä pidempi sarja, sitä kauemmin sen valmistaminen kestää ja sitä enemmän se kuluttaa kapasiteettia. Tuotteen läpimenoaika tarkastelemalla saadaan käsitys siitä, kuinka paljon kustannuksia tuotteen valmistaminen aiheuttaa. Mitä enemmän on asetuksia, sitä pidemmäksi tuotteen keskimääräinen läpimenoaika kasvaa. Läpimenoaika seuraamalla voidaan myös suunnitella tuotantoa. Kun tiedetään, kuinka kauan tietyllä tuotteella kestää valmistua, voidaan tuotanto suunnitella tarkemmin. Prosesseissa tapahtuva vaihtelu, aiheuttaa myös ylimääräisiä kustannuksia. Sen vuoksi prosessit yritetään vakioida. Mitä pidempi läpimenoaika on, sitä enemmän se mahdollistaa vaihteluita prosessiin (Slack;Chambers;& Johnston, 2001).

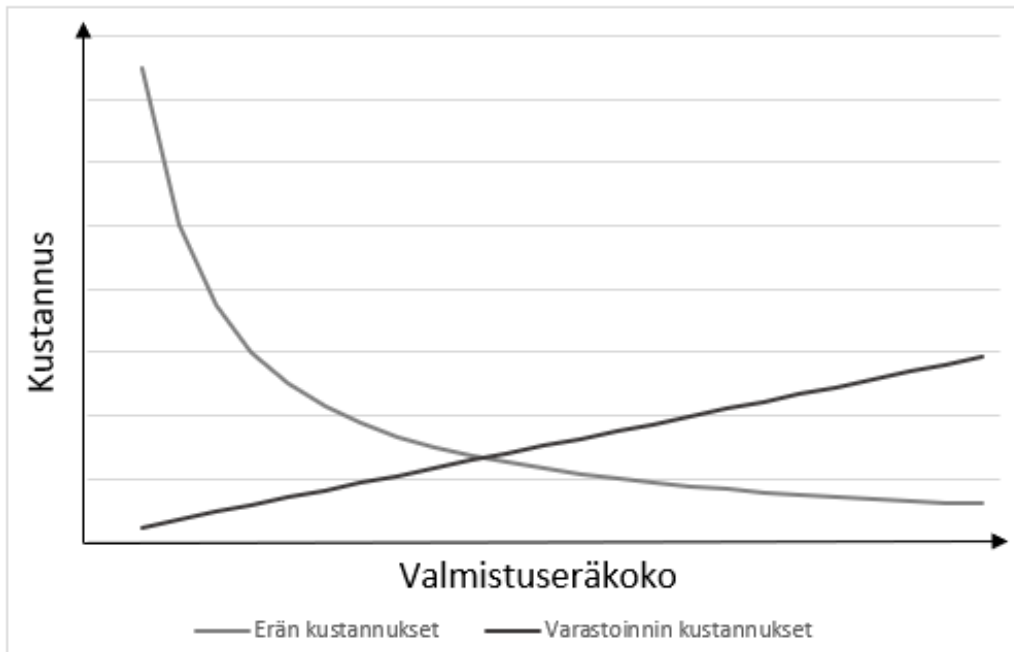
### **2.6.1 EOQ**

Yksi tuotantotalouden käsitellyimpiä aiheita on taloudellinen eräkooko. Se on kysymyksenä haastava, koska yksiselitteistä vastausta ei ole olemassa. Matemaattisten mallien haasteena on, että ne yleensä olettavat kysynnän olevan tasaista. Kuten aiemmin tut-

kielmassa mainittiin, yksi tunnetuimmista optimaalisen eräkoon laskentamalleista on EOQ. Mallin on kehittänyt Ford W. Harris ja hänen kuvailema ongelmansa oli, että palkkoihin, materiaaleihin ja yleiskustannuksiin sitoutunut pääoma asettaa rajat sille, minkä kokoinen erä on kannattavaa tuottaa kerralla. Perusajatuksena mallissa on, että kun tehdään suuria eriä, sarjojen vaihtoja tarvitsee tehdä vähemmän, joten asetuskustannukset pienenevät. Jos taas tehdään pieniä sarjoja, varastotasot alenevat ja tilattavat ja säilötyt komponentit menevät nopeammin tuotantoon. Harris käytti EOQ-mallia tasapainottamaan näitä kahta asiaa. Voidakseen hahmottaa ajatuksensa matemaattiseksi kaavaksi, hänen täytyi tehdä yleistyksiä tuotannosta:

- Tuotannon kapasiteetilla ei ole rajoituksia ja koko erä tehdään kerralla
- Tuotteiden toimitus tapahtuu heti
- Tuotteen kysyntä on vakio ja jatkuva
- Asetuskustannus on vakio
- Tuotteet voidaan analysoida yksilöinä

EOQ-kaavan hyviä puolia ovat, että se on hyvin yksinkertainen mallintaa ja sen lopputulos ei ole kovin herkkä lähtöarvojen muutoksille. Täten se antaa eräkoolle oikean kokoisuuden suuruusluokan, vaikka mallin laskemiseen tarvittavat varasto- ja asetusrvot eivät olisikaan aivan tarkasti tiedossa (Karjalainen;Blomqvist;& Suolanen, 2001). Kuvassa neljä on EOQ-kaavan perusidea.



**Kuva 4** EOQ-kuvaaja (Hokkanen & Virtanen, 2013)

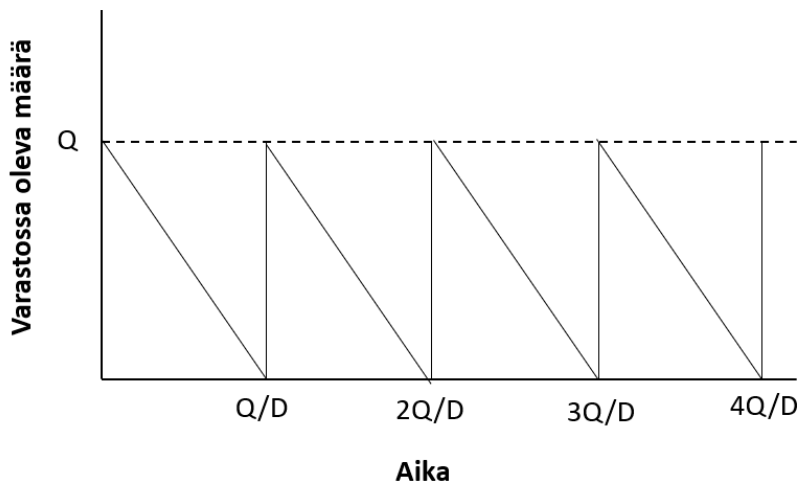
EOQ optimoi varastoinnista aiheutuvia kustannuksia ja valmistuserän teosta aiheutuvia kustannuksia. EOQ-kaavan tulos on kuvaajien leikkauspiste. Leikkauspisteessä kokonaiskustannukset ovat vuositasolla alhaisimmat. Kaavan haasteita ovat nopeat vaihtelut. Kuvaajasta voidaan huomata, että kun varastoinnin kustannukset kasvavat, erän kustannukset laskevat. Sama tapahtuu käänteisesti kuvaajaa katsottaessa, jolloin varastoinnin kustannukset laskevat ja eräkustannukset nousevat (Harrison; Remko; & Heather, 2014).

Kaavan merkinnät ovat:

- D = Kysyntä
- c = Yksikön tuotantokustannus, ei paljousalennuksia tai varastointikustannuksia
- A = Kiinteä asetuskustannus
- h = Säilytyskustannus
- Q = Erätkoko

Taulukossa kaksi on kuvailuna EOQ-mallin käyttäytyminen. Mallin muodostamisessa varastoinnin keskikustannus on  $hQ/2$ . Koska mallin mukaan kysyntä on vakio, niin keskivarastoksi muodostuu erän koko jaettuna kahdella (Hopp & Spearman, 2008).

**Taulukko 2** EOQ mallin käyttäytyminen (Hopp & Spearman, 2008)



Kokonaisvuosikustannusten kaava:

$$Y(Q) = \frac{hQ}{2} + \frac{AD}{Q} + cD \quad (1)$$

Valmistuseräkoon kaava, joka minimoi vuosikustannukset saadaan tuosta kokonaiskustannusten kaavasta derivoimalla  $Y$  valmistuseräköön eli  $Q$ :n suhteen. Tämä neliöjuurikaava tunnetaan parhaiten nimellä EOQ (Hopp & Spearman, 2008):

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



### 2.6.2 EOQ-kaavasta johdetut kaavat

EOQ-kaavasta on johdettu muita kaavoja, jotka ottavat asioita hieman eri tavalla huomioon. Toinen yleinen taloudellisen eräkoon kaava on EBQ (economic batch quantity), joskus myös nimellä EMQ (economic manufacturing quantity) tai POQ (production order quantity). Tämä malli laskee valmistuseräköön, joka minimoi kokonaiskustannukset, ottaen huomioon paremmin valmistuksen aikaisen kysynnän. Tämä malli laskee eräkoon siten, että varasto täydentyy samalla kun tuotetta tehdään ja kysyntä jatkuu saamaan aikaan (Slack;Chambers;& Johnston, 2001).

Kaavan merkinnät ovat:

- M = maksimi varasto
- P = Varaston arvo
- A = Asetuskustannus
- D = Kysyntä
- Q = Eräkkö
- s = Menetetystä myynnistä aiheutuneet kustannukset

Kaavat:

$$- \text{Täydennyksen aikainen kysyntä} = P - D, M / \frac{Q}{P} \text{ tai } \frac{MP}{Q} \quad (3)$$

$$- \frac{MP}{Q} = P - D \quad (4)$$

$$- M = \frac{Q(P-D)}{P} \quad (5)$$

$$- \text{Keskivarasto} = \frac{M}{2} = \frac{Q(P-D)}{2P} \quad (6)$$

EBQ- kaava:

$$Q = \sqrt{\frac{2AD}{h(1-\frac{D}{P})}} \quad (7)$$

EBQ-kaavasta on myös johdettu kaava, joka ottaa laskuihin mukaan myynnin menetyksistä aiheutuneet kustannukset tilanteessa, joissa asiakas joutuu odottamaan tuotetta, koska sitä ei ole varastossa saatavilla. Kaava on nimeltään EPQ ja itse kaava on (Slack;Chambers;& Johnston, 2001):

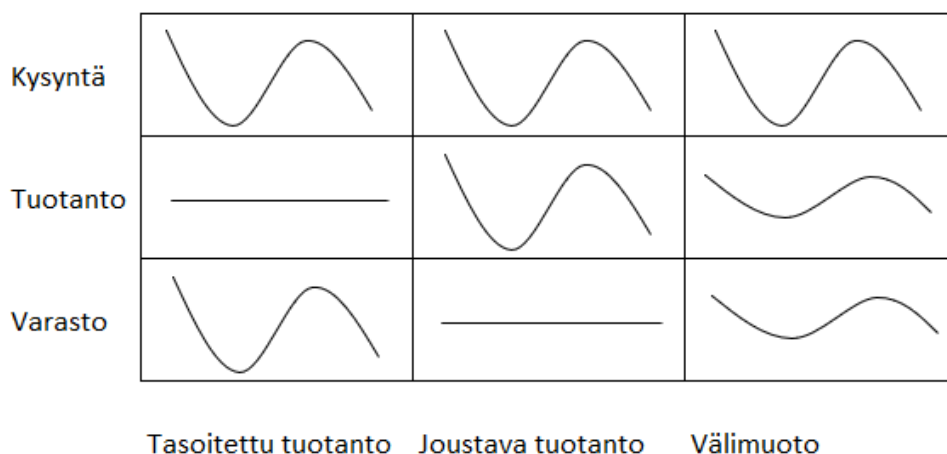
$$EPQ = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \sqrt{\frac{h+s}{s}} \quad (8)$$

## 2.7 Tuotannon dynaamisuus

Kysynnän satunnainen vaihtelu luo haasteita tuotannolle. Tähän vaihteluun pyritään varautumaan siten, että tuotanto on tilanteen tullen tarpeeksi joustava. Joustavuuden hallitsemisessa on tärkeää ymmärtää asiakkaan tarpeet ja kyky tyydyttää heidän tarpeet jatkuvasti kehittyvillä keinoilla. Tuotantojärjestelmän kaikilla tasoilla tarvitaan joustavuutta. Joskus onnistunut strategiamuutos voi muuttaa koko alan toimintatapoja, koska kilpailijat tarkkailevat tarkasti toisiaan. Tuotannossa voidaan joustaa tuotannon määrällä eli kuinka paljon voidaan ja halutaan tuottaa. Kyky hallita tuotannossa olevaa laajaa tuotevalikoimaa on toinen joustamisen vaihtoehto. Oleellista tässä on strateginen päätös siitä, halutaanko keskittyä vain suppeaan määrään tuotteita vaiko tuoda tarjolle laaja määrä eri tuotteita. Laajasta tuotevalikoimasta aiheutuu helposti lisäkustannuksia toimintaan. Materiaalin käytön joustavuus on kolmas joustamisen tyyppi. Tällä tarkoitetaan toimitusketjua eli kuinka voidaan hallita toimitusketjuun liittyviä epävarmuustekijöitä. Neljäs joustavuustyyppi on tuotteiden vaihtoon liittyvä joustavuus. Tällä ei nyt tässä tapauksessa tarkoiteta asetuksia vaan uusien tuotteiden saamista tuotantoon ja loppuasiakkaalle mahdollisimman nopeasti. Jos tuotantoja verrataan, se tuotanto on joustavampi, kumpi pystyy hallitsemaan laajempaa epävarmuutta tai kykenee reagoimaan tapahtuviin muutoksiin nopeammin. Kun kyseessä on erätuotanto, olennaista jouston kannalta on asetuksista aiheutuvat kustannukset ja niihin kuluva aika (Heikkilä & Ketokivi, 2005).

Vaihtelun määrä voi vaihdella esimerkiksi tuotteen, asiakkaan tai toimialan mukaan. Rakennusala on yksi sellainen ala, jossa kysyntä vaihtelee usein sesonkien mukaan. Kysyntää voidaan yrittää ennustaa esimerkiksi rakennusalalla myönnettyjen rakennuslupien mukaan. Tuotantokapasiteettia voidaan suunnitella esimerkiksi seuraavalla kolmella perinteisellä tavalla. Tasoitetussa tuotannossa pyritään varastojen avulla hallitsemaan kysynnänvaihtelua. Joustava tuotanto taas pitää varastotasot samoina, mutta tuotanto joustaa. Kolmas vaihtoehto on ehkä yleisin. Se on kahden ensin mainitun mallin välimuoto ja sen avulla pyritään sekä varastojen että tuotannon avulla reagoimaan kysynnän vaihteluihin. Lehtosen (2004) mukainen taulukko kolme antaa hyvän yleiskäsityksen siitä, mistä on kyse. Satunnainen kysyntä aiheuttaa vaikeuksia kysynnän ennustamiseen, koska sitä on vaikea ennustaa (Lehtonen, 2004).

**Taulukko 3** Kapasiteettisuunnittelun vaihtoehdot (Lehtonen, 2004)



## **3 Kustannukset**

### **3.1 Kustannusten synty ja minimointi**

Kustannusten vähentäminen on ehdottoman tärkeää jokaiselle valmistajalle kilpailussa mukana pysymiseksi. Useiden tekijöiden vuoksi kilpailutilanne muuttuu jatkuvasti ja myös asiakkaiden odotukset muuttuvat yrityksiä kohtaan. Huomenna ei välttämättä riitä enää se mikä tänään riitti. Tämän vuoksi on olemassa tuotannosuunnittelu. Sen tehtävänä on kehittää tuotantoa kohtaamaan huomina päivä ja suunnitella tuotanto niin, että se on kilpailukykyinen, mutta myös inhimillinen paikka työskennellä. Yrityksen strategiasta riippumatta, kustannustehokkuus on avainasia kilpailuedun saamiseksi (Aswathappa & Shridhara Bhat, 2009). Markkinoilla vallitseva kova kilpailu on yksi syy, miksi yritysten kannattaa kohdistaa resurssinsa sinne, missä niistä saa parhaimman hyödyn eli tuoton irti (Kremic;Tukel;& Rom, 2006).

Globalissa kilpailussa työvoiman kustannuksilla on suuri merkitys. Kallis työvoima korreloi aina tuotteen hintaan, joten mitä halvemmalla tuotteen saa tehtyä, sitä halvemmalla sitä voi myös myydä tekemättä tappiota (Aswathappa & Shridhara Bhat, 2009). Tästä johtuen yritykset siirtävät tuotantonsa yhä useammin halvan tuotannon maihin ja lähemmäksi asiakaskeskittymiä. Kustannustehokkuuden lisäksi olennaisia asioita menestymisen kannalta on aika, innovaatiot ja laatu. Kaikki nämä edellyttävät jatkuvaa kehittymistä ja ketteryyttä muutosten hetkellä (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

#### **3.1.1 Muuttuvat ja kiinteät kustannukset**

Kustannukset voidaan luokitella kahteen eri kategoriaan, muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin. Muuttuvat kustannukset muuttuvat tuotantomäärän mukaan. Muuttuvia kustannuksia ovat esimerkiksi raaka-aineet ja suoritukseen perustuvat työvoimakustannukset. Kiinteiden kustannusten määrä ei muutu tuotannon määrän muuttuessa.

Tällaisia kustannuksia ovat esimerkiksi pääomakustannukset. Näiden kahden lisäksi on olemassa myös puolimuuttuvia kustannuksia. Tällöin tuotannon määrän muuttuessa osa kustannuksista pysyy muuttumattomina ja osa muuttuu. Tällainen kustannus voi olla esimerkiksi sähkölasku, jossa on kiinteä kuukausihinta, johon lisätään käytön mukaan määräytyvä kustannus. Tuotteen yksikkökustannus saadaan, kun muuttuvista ja kiinteistä kustannuksista muodostuva kokonaiskustannus jaetaan valmistettavalla määrällä. Valmistusmäärän kasvaminen usein laskee yksikkökustannuksia, ellei suurempi valmistusmäärä aiheuta esimerkiksi investointien muodossa kiinteiden kustannusten kasvua (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

Kaavan merkinnät (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010):

$F(\text{Costs})$  = kokonaiskustannukset

$Q$  = valmistusmäärä

$VC_u$  = muuttuvat yksikkökustannukset

$FC$  = kiinteät kustannukset

Kokonaiskustannusten kaava (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010):

$$F(\text{Costs}) = Q \times VC_u + FC \quad (9)$$

### 3.1.2 Kustannuskäsitteet

Muuttuvien ja kiinteiden kustannusten lisäksi kustannuksia voidaan jakaa myös välittömiin ja välillisiin kustannuksiin. Välittömät kustannukset ovat sellaisia, jotka voidaan kohdentaa esimerkiksi tietylle tuotteelle. Välillisten kustannusten kohdentaminen tietylle tuotteelle on hankalaa. Materiaalikustannukset ovat esimerkiksi välittömiä kustannuksia. Välilliset kustannukset voivat olla vuokratkustannuksia tai aiheutua esimerkiksi siitä, jos samalla tuotantovälineellä valmistetaan eri tuotteita. Kustannuslaskennan haasteena on se, jos välillisiä kustannuksia on paljon. Silloin joudutaan tehdä oletuksia, jotta saadaan kaikki kustannukset kohdistettua jollekin tuotteelle (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

Tuotannon hinnoittelun kannalta olennaisia käsitteitä ovat myös rajakustannus, lisäkustannus, erilliskustannus, uponnut kustannus ja vaihtoehtoiskustannus. Rajakustannus tarkoittaa sitä kustannusta, joka syntyy, kun valmistusmäärää korotetaan yhdellä yksiköllä. Lisäkustannus taas tarkoittaa kustannusta, joka syntyy, kun valmistusmäärää korotetaan useammalla kuin yhdellä yksiköllä. Erilliskustannuksilla tarkoitetaan tuotteen valmistuksesta ja toimituksesta aiheutuvia kustannuksia. Yhteiskustannukset eroavat erilliskustannuksista siten, että ne jäävät voimaan, vaikka tuotteen valmistus päätettäisiin lopettaa. Yhteiskustannuksia ovat esimerkiksi markkinointikustannukset. Uponneet kustannukset ovat kustannuksia, jotka syntyvät vaikka tuote ei koskaan etenisi tuotantoon asti. Tällaisia voivat olla esimerkiksi jo tehdyt investoinnit. Vaihtoehtoiskustannus on se kustannus, kun tehdäänkin jokin toinen valinta. Esimerkiksi tulevia investointeja miettiessä yritykset pohtivat eri vaihtoehtojen kustannuksia, kun mietitään eri tuotto-mahdollisuuksia (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

### **3.2 Kustannuslaskenta**

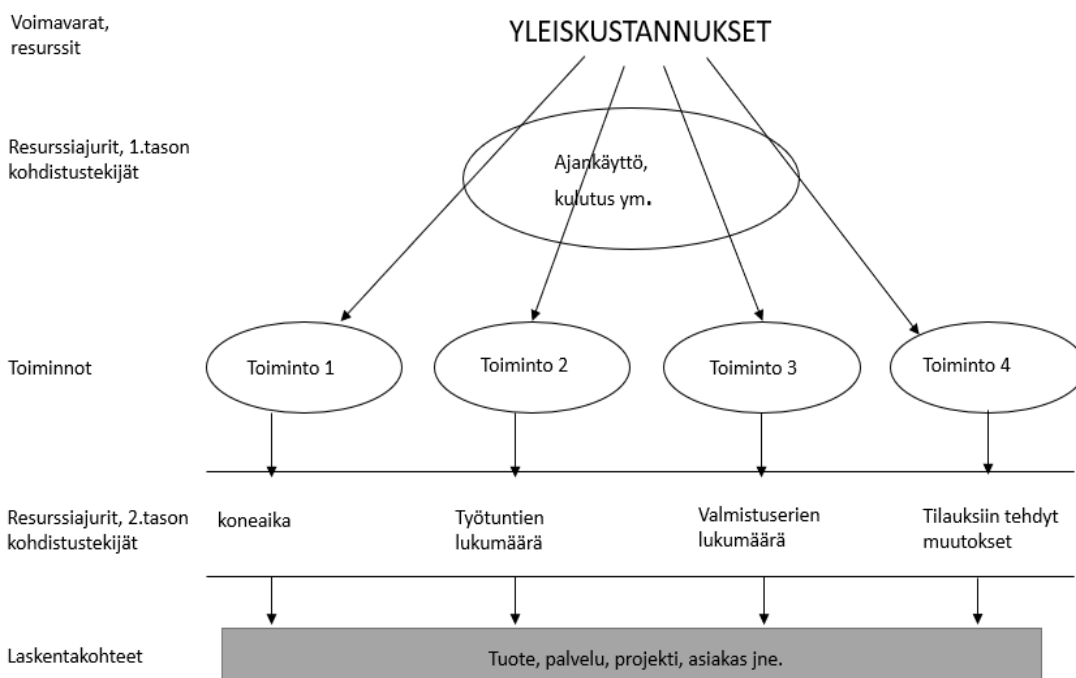
Täsmällinen ja ajantasainen tieto on liiketoiminnan kannalta tärkeää. Kustannuslaskennan tuottama tieto auttaa johtajia suunnittelemaan tulevaisuutta ja kontrolloimaan toimintaa. Ulkopuolisille tahoille se antaa tietoa, miten yrityksellä on mennyt ja mihin suuntaan he ovat tulevaisuudessa menossa (Bové & Thill, 2017). Kustannuslaskenta on syntynyt teollisen vallankumouksen aikaan. Rahoituksen laskentatoimi osoittautui riittämättömäksi tyydyttämään johdon tietotarpeet. Kustannuslaskenta kehitettiin laskentatoimen lisäosaksi. Kustannuslaskenta käsittelee kustannuslaskelmien, menetelmien ja tekniikoiden soveltamista kustannusten selvittämiseksi, niiden hallitsemiseksi ja yrityksen tuottavuuden arvioimiseksi. Kustannuslaskenta keskittyi ennen pääasiassa kustannusten selvittämiseen, mutta globalisaation myötä lisääntynyt kilpailu on pakottanut kustannuslaskennan keskittymään enemmän kustannusten vähentämiseen, koska toimintaa täytyy jatkuvasti tehostaa. Kustannuslaskennalla on siten kaksi tavoitetta,

joihin keskittyä. Kustannusten selvittäminen ja kustannusten vähentäminen (Kohli, 2010).

Kustannuslaskenta voidaan jaotella kolmeen osa-alueeseen: kustannuslajilaskenta, kustannuspaikkalaskenta ja suoritekohtainen kustannuslaskenta. Yrityksissä kustannusdataa kerätään usein kustannuslajeittain. Kustannuslajeja voi olla yrityksissä jopa satoja. Esimerkkejä kustannuslajeista ovat: palkkakustannukset, ainekustannukset ja poistokustannukset. Kustannuslajeittain lajitellut kustannukset kohdistetaan ne aiheuttaneille suoritteille. Tämä on yleensä helppo tehtävä. Välillisten kustannusten kohdistaminen on huomattavasti vaikeampaa. Niillä ei ole yleensä yhtä selkeää yhteyttä suoritteeseen kuin välittömällä kustannuksilla. Siksi yritys kannattaa jakaa kustannuspaikkoihin. Kun kustannukset on lajiteltu kustannuslajeittain, ne lajitellaan kustannuspaikoittain. Kustannuspaikoille lasketaan yleiskustannuslisät, joiden avulla saadaan suoritteille kohdistettua kustannukset. Suoritekohtainen kustannuslaskenta pyrkii laskemaan kustannukset suoritekohtaisesti (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

### **3.3 Toimintolaskenta**

Toimintolaskenta on kustannuslaskentamenetelmä. Sen avulla toiminnoista aiheutuvien kustannusten kohdistaminen onnistuu parhaiten olemassa olevan kirjallisuuden mukaan. Toimintolaskennan tavoitteena on tuoda ilmi kokonaiskustannusten synty kuluksen ja toimintojen seurauksena. Seuraavalla sivulla oleva kuva viisi on mukaillen Järvenpäätä ym. (2010) ja se selventää toimintolaskennan peruseriaatteen. Toimintolaskenta kohdistaa toiminnoista aiheutuvat kustannukset mallintamalla toiminnot mahdollisimman tarkasti ja kohdentamalla kustannukset kustannusajurien avulla laskentakohteelle (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).



**Kuva 5** Kustannusten kohdistaminen toimintolaskennassa (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010)

Toimintolaskennan hyötynä on, että se eliminoi tehokkaasti yleiskustannuslisän laskusta aiheutuvan virheen, kun volyyymi kasvaa. Hyöty syntyy siitä, kun toimintolaskenta tarjoaa luotettavampaa ja tarkempaa tietoa, laskentaperiaatteet ovat usein helpommin ymmärrettäviä. Laskentaperiaatteen joustavuus mahdollistaa toimijoiden informaatiotarpeiden paremman huomioonottamisen ja resursseista ja kustannuksista voidaan muodostaa kattavampi näkemys. Kustannukset eivät vähene pelkästään laskemalla asioita eri tavalla vaan kustannussäästöjen eteen on tehtävä myös toimenpiteitä. Kun kustannukset ovat selvillä tarkemmin, niiden syntyyn voidaan vaikuttaa tehokkaammin (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

Parhaiten toimintolaskenta soveltuu yrityksiin, joissa on paljon erilaisia tuotteita ja tuotanto on monimutkaista. Eniten hyötyä laskennasta on yrityksille, joissa yleiskustannusten osuus on suhteessa suuri. Tietojärjestelmistä on hyötyä toimintolaskennassa, sillä mitä vähemmän tietoa tarvitsee syöttää käsin, sitä luotettavimmat tulokset laskelmas-



ta saa. Ensimmäinen vaihe toimintolaskennassa on toimintoanalyysi. Siinä määritellään toiminnot ja toimintojen väliset suhteet. Tämän jälkeen määritellään parhaiten resursien käyttöä kuvaavat kustannusajurit. Näiden vaiheiden jälkeen kohdistetaan kustannukset resursseilta toiminnoille ja sen jälkeen toiminnoilta tuotteille. Toimintojen tarkka määrittely on tarpeellista silloin kun toimintolaskelmaa on tarkoitus käyttää tuotteiden hinnoitteluun ja prosessien kehittämiseen. Toiminto tarkoittaa prosesseissa asioiden tekemistä (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

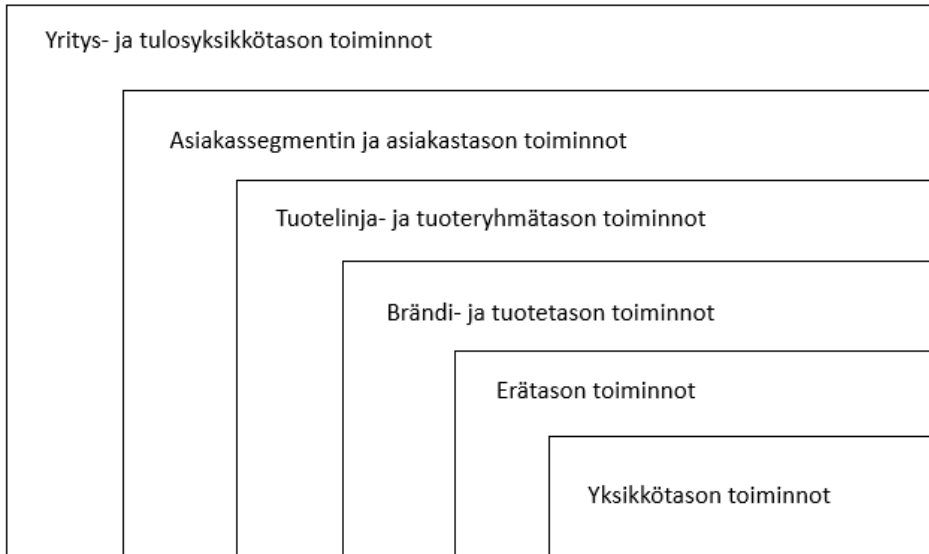
Kustannusajurin valinta toiminnan kohdistamisen kannalta on olennaista. Ajurin valintaa kannattaa miettiä tarkkaan, jotta kohdistamisen tulos on tarkempi. Yleisimpiä ajureita ovat esimerkiksi volyyminsidonnaiset ajurit, ajankäytön ajurit ja vaativuutta määrittävät ajurit. Volyymiajurit liittyvät toiminnon määrään esimerkiksi tuotenimikkeiden lukumäärään tai varaston toiminnassa vastaanotettavien tilausten lukumäärään. Ajankäyttöön perustuvat ajurit ovat yleensä tarkempia kuin volyymiajurit. Esimerkiksi tuotannossa konekäytön tunnit ovat hyvä ajuri. Toiminnon vaativuus on tarkin mutta vaikeimmin määriteltävissä oleva ajuri, koska sen käyttöön tarkoitettua tietoa on vaikeasti saatavilla. Tuotekohtaisten kustannusten laskentaan voidaan käyttää useampaa ajuria. Kun toiminnot, ajurit ja niille kohdistuvat kustannukset ovat tiedossa, voidaan tehdä toimintokustannuslaskelma. Laskelma voi olla esimerkiksi kertaluontoinen tarkastelu kohdistuen johonkin tiettyyn tuoteryhmään. Taulukossa neljä, joka on mukailtu Järvenpään ym. (2010) mukaan, on esimerkki tuotekohtaisten kustannusten laskusta toimintolaskennassa (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

**Taulukko 4** Tuotekohtaiset kustannukset (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010)

Kustannus	Ajuri	Kustannus/Ajuri	Tuote A toimintojen käyttö	Tuote B toimintojen käyttö	Tuote A kustannus/ yksikkö	Tuote B kustannus/ yksikkö
Materiaalit	volyymi				20	40
Palkat	volyymi				30	60
valmistus	koneaika	50	10	20	25	20
Tarkastus	kesto	15	2	15	1,5	4,5
Varastointi	lavojen lukumäärä	10	3	4	1,5	0,8
Lähetys	Tilausten lukumäärä	0,2	2	5	0,02	0,02
<b>Yhteensä</b>					<b>78,02</b>	<b>125,32</b>
		valmistusmäärä	20	50		

### 3.4 Toimintolaskennan hierarkiatasot

Kustannuspaikkoja voidaan hyödyntää toimintojen analysointia tehdessä, mutta kustannuspaikat eivät välttämättä ole itsessään toimintoja. Toimintojen runkoa suunniteltaessa apua saadaan organisaatiokaaviosta. Organisaatiokaaviossa on yleensä esitelty yrityksen rakenne. Toiminnot voivat kuitenkin ylittää organisaation rajat, jolloin toimintojen tarkempi mietintä on tarpeellista. Nykyään keskitytään mieluummin prosesseihin kuin organisaation funktioihin. Toimintojen väliset suhteet on mietittävä tarkasti, jotta toiminnot voidaan kohdistaa suoritteille tarkemmin. Tätä helpottaa toimintojen jakaminen hierarkia tasoille. Hierarkiatasot ovat yrityskohtaisia mutta Järvenpään ym. (2010) esimerkkijako on kuvassa kuusi (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).



**Kuva 6** Hierarkiatasot (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010)

Hierarkiatasot on hyvä avata lyhyesti. Yritys- ja tuloyksikkötason toiminnot ovat niin sanottuja yleistoimintoja ja huomioitavaa on, että näillä toiminnoilla ei ole välttämättä suoraa yhteyttä seuraavan tason toimintoihin. Usein nämä kustannukset jätetään kohdistamatta yksikkötasolle. Asiakastason toiminnot ovat asiakkaisiin liittyvää toimintaa kuten myynti, markkinointi ja asiakaspalvelu. Tuotelinjatason toimintoja ovat esimerkiksi varastointi ja kunnossapito. Näiden kohdistaminen on yleensä selvää yksikkötasolle. Brändi- ja tuotetason toiminnot ovat tuotteen kehittämisen, valmistamisen ja jakelun toimintoja. Valmistuksen kesto ja niiden lukumäärä ovat erätason toimintaa. Erätason toiminnot ovat yleensä helppo kohdistaa, koska asetukset ja laaduntarkkailu on yleensä selkeänä tietona saatavilla. Suurin osa yksikkötason toiminnasta ovat välittömiä palkka ja materiaalikustannuksia (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

### 3.5 Käyttämätön kapasiteetti

Kuten tutkielmassa aiemmin on mainittu, tuotantokoneiden kapasiteettia syö häiriöt, joita koneissa ilmenee. Häiriöihin ja korjauksiin kuluva aika kerätään toiminnanoh-

jausjärjestelmillä. Tuotantokoneiden saatavuus voidaan laskea kaavalla (Pound;Bell;& Spearman, 2014):

$$A = \text{MTBF} / \text{MTPF} + \text{MTTR} \quad (10)$$

Kirjain yhdistelmät tulevat englannin kielen sanoista *mean time between failures* ja *mean time to repair*. Suomennettuna:

MTBF = aika häiriöiden välillä

MTTR = häiriön korjaamiseen kuluva aika (Pound;Bell;& Spearman, 2014)

Jos yhden tuotteen valmistamiseen kuluu koneella aikaa optimaalisissa olosuhteissa 3 minuuttia, mutta todellisuudessa koneessa on sen verran häiriöitä, että sen käyttöaika tuotantoon on 90% maksimista, voidaan laskea, että keskimäärin yhden kappaleen valmistamiseen kuluu aikaa:  $3/0,9 = 3,33$  minuuttia. Jos valmistuserä on 100kpl niin yhden erän valmistamiseen kuluu aikaa:  $3,33 * 100 = 333$  minuuttia (Pound;Bell;& Spearman, 2014).

Kokonaisvalmistusajan laskentakaavan merkinnät:

A = Koneen saatavuus

Q = Erä koko

T = Kappaleen valmistamisen aika

D = Kappalemäärä

S = Asetusaika

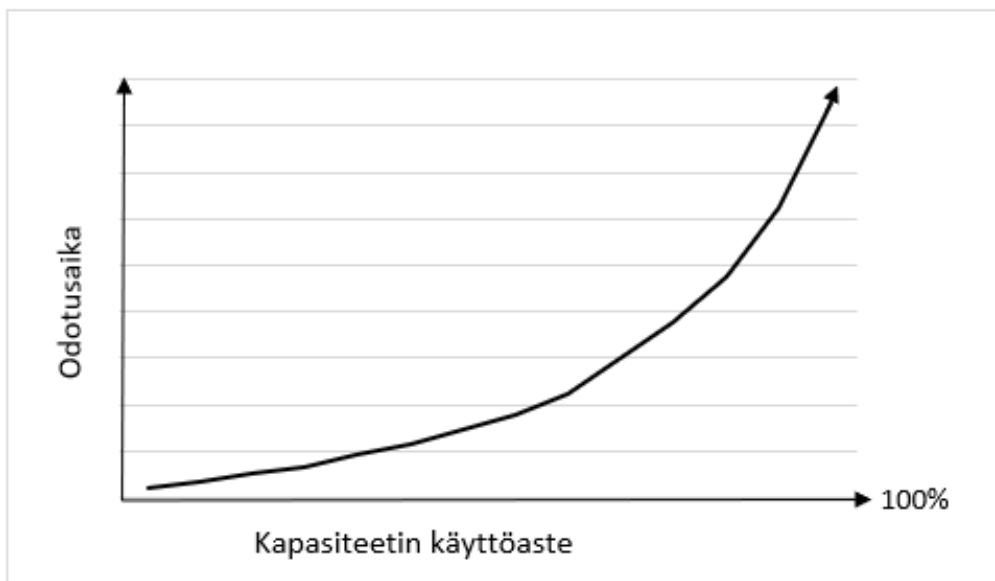
Kaava kokonaisvalmistusajan laskemiseen on seuraava (Pound;Bell;& Spearman, 2014):

$$\frac{DT}{A} + \frac{D}{Q} S \quad (11)$$

Käyttämätön kapasiteetti aiheuttaa kustannuksia myös. Toiminnan kehittämiseksi kustannusten tiedostaminen on olennainen asia. Resurssien kokonaiskustannus saadaan laskemalla yhteen käytössä olevien resurssien kustannukset ja käyttämätön kapasiteetti. Käyttämättömän kapasiteetin kustannus saadaan, kun resurssien kokonaiskustannuksista vähennetään käytössä olevien resurssien kustannus (Järvenpää;Länsiluoto;Partanen;& Pellinen, 2010).

### **3.5.1 Jonotusaika**

Jonotusaika on aika jonka työ odottaa ennen kuin se siirtyy tuotantoon. Jonoteorian mukaan tuotannon vaihtelun kasvaminen lisää odotusaikaa. Vaihtelun vaikutus jonotusaikaan on suurinta, jos tuotanto on lähellä maksimikapasiteettiaan. Tällöin on vähemmän vapaata aikaa lisätöille esimerkiksi kiireellisille toimituksille. Tämä on kuormittamisen haaste. Kuvasta seitsemän voidaan havaita, kuinka kapasiteetin käyttöasteen kasvaessa, jonotusajat kasvavat. Jonotusaikojen kasvaessa liikaa, on yleensä tarve hankkia lisää kapasiteettia (Howell;Ballard;& Hall, 2001). Kun tuotannon työmäärä vastaa kapasiteettia, puhutaan että tuotannon kapasiteetti on täysin käytössä. Jos työmäärä on suurempi kuin kapasiteetti, silloin tuotanto ylikuormittuu. Vastaavasti alikuormitustilanne on, jos töitä on vähemmän kuin kapasiteettia (Rao M. T., Industrial Managementq, 2009).

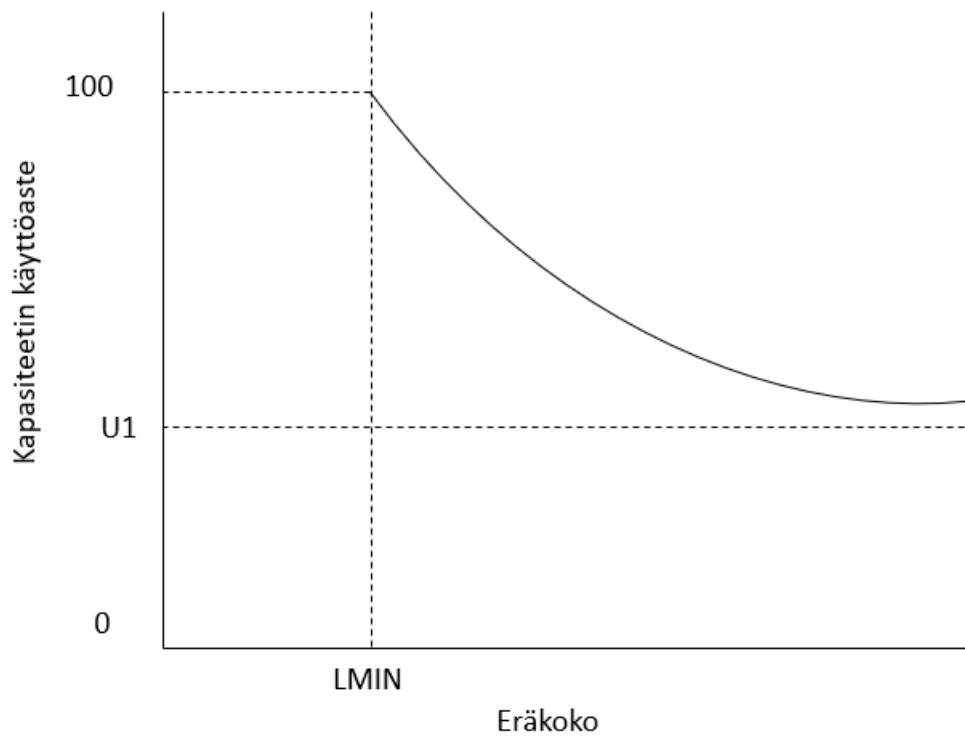


**Kuva 7** Kapasiteetin käyttöaste (Howell;Ballard;& Hall, 2001)

### 3.5.2 QRM kapasiteetin vaikutus eräkokoan

QRM ajattelutapa pyrkii ottamaan huomioon asioita, joita esimerkiksi EOQ-kaava ei ota huomioon. EOQ-kaava tutkii asetusten ja varastoinnin kustannusten suhdetta, mutta QRM tutkii paremmin eräkoon vaikutusta prosesseihin. Kuinka asetusajat ja eräkoosta vaikuttavat läpimenoaikaan. Tarkan tehokkuuden saa määrittämällä arvon sille, kuinka suuri prosentti koneella tehdyistä tuotteista on lopulta hyväksyttäviä. Esimerkiksi jos koneen käyttösuhte on 70%, ja 80 prosenttia tuotteista on hyväksyttäviä, todellinen tehokkuus maksimaalisesta kapasiteetista on:  $0,7 \times 0,8 = 56\%$  (Rajan, 1998).

Eräkoosta on muuttuja, joka vaikuttaa kapasiteetin käyttöasteeseen. Kuvassa kahdeksan esitellään eräkoon vaikutus kapasiteetin käyttöasteeseen. LMIN tarkoittaa pienintä eräkoosta, joka on mahdollista tehdä. Jos mennään tämän arvon alle, työt alkavat kasaantua, koska töitä ei enää saada tehtyä nykyisellä kapasiteetilla. U1 on käyttöaste, jos valmistetaan yksi kappale kerrallaan. Huomataan että eräkoon lähestyessä yhden kappaleen eräkoosta, asetukset lähenevät samoin yhtä kappaletta, jolloin kapasiteetin käyttöaste pienenee (Rajan, 1998).



**Kuva 8** Eräkoon vaikutus kapasiteetin käyttöasteeseen (Rajan, 1998)

Läpimenoajan kaavan merkinnät ovat:

$LT$  = läpimenoaika

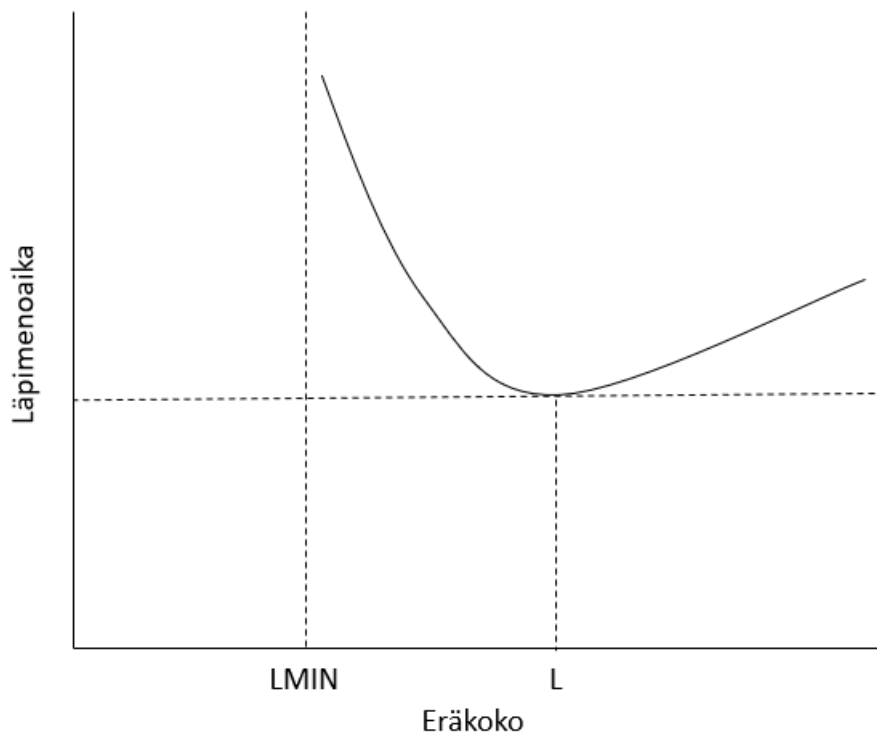
$TJ$  = Työhön kuluva aika

$U$  = Kapasiteetin käyttöaste

Läpimenoajan laskuun käytettävä kaava:

$$LT = TJ / (1 - U) \quad (12)$$

Kuvassa yhdeksän on havainnollistettu läpimenoajan muutosta, kun eräkkö muuttuu. Kuvan oikeassa ja vasemmassa reunassa voidaan huomata, kuinka läpimenoajat kasvavat.



**Kuva 9** Eräkoon vaikutus läpimenoaikaan (Rajan, 1998)

Läpimenoaikoja tarkastelemalla optimaalisin eräkkö on silloin, kun läpimenoaika on lyhimmillään. Kuvassa tämä kohta on L. Vasemmalla läpimenoaika kasvaa sitä mukaan, kun siirrytään kohti pienintä mahdollista eräkköä, joka on toteutettavissa kapasiteetin rajoissa. Jos kokonaisjonotusaikaa halutaan vähentää, täytyy sekä asetusajaa saada pienemmäksi, että eräkköä pienentää. Taulukossa viisi on esimerkkilaskut siitä, kuinka eräkkö vaikuttaa läpimenoaikoihin. Taulukon esimerkin optimaalisin eräkkö on 6000. Jos tästä piirrettään kuvaaja, se käyttäytyy samoin kuin kuvan kuusi kuvaaja.



**Taulukko 5** QRM esimerkki jonotusaikojen muutoksesta

Eräkkö	Kapasiteetin käyttöaste	Lead time $LT = TJ/(1-U)$
1000	1	1000
2000	0,9	200
3000	0,8	150
4000	0,6	100
5000	0,5	100
6000	0,35	92,30769231
7000	0,3	100
8000	0,25	106,6666667
9000	0,2	112,5

Yhden kappaleen valmistamiseen kuluva aika tunteina

0,01

### 3.6 Tuotekustannuslaskenta

Tärkeää on laskea tuotteen valmistuksen aiheuttamat kustannukset ja siihen kuluva aika oikein, jotta liiketoiminnan budjetin ja myynnistä saatavan tuloksen ennustaminen on helpompaa ja tarkempaa. Mitä enemmän yrityksellä on tuotteita, sitä enemmän tuotannossa todennäköisesti tapahtuu vaihtoja ja asetuksia. Näihin kuluu aikaa ja asetuksiin kuluva aika on tuottamatonta aikaa. Sen takia eräkoon laskeminen on tärkeää, jotta saadaan selville, mikä on optimaalisin eräkkö, jotta tuotannosta saadaan mahdollisimman järkevästi ja tehokkaasti paras suoritus ja kate irti. Ennusteita laskettaessa on tärkeää, että luvut ovat oikein, koska jos ennusteet tehdään virheellisillä luvuilla, ennusteet vääristyvät ja ajan kuluessa voi paljastua ikäviä asioita kulurakenteesta. Tarkat luvut ovat tärkeitä myös, kun suunnitellaan tuotantoa. Tuotannon suunnittelu on operatiiviselle johtajalle hankalaa, jos hänellä ei ole olemassa tietoa siitä, kuinka paljon työvaiheisiin kuluu aikaa ja materiaaleja oikeasti (Pound;Bell;& Spearman, 2014).

### 3.7 Takaisinmaksuaika

Tuotannossa hankintojen takaisinmaksuaika lasketaan yleensä siten, että missä ajassa esimerkiksi hankittu kone tuottaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuajan kaava rakentuu sijoitetun rahasumman ja vuosittain saatavan koron kautta. Yksi tärkeimmistä kaavoista laskettaessa investoinnin takaisinmaksua on nettonykyaro (NPV). Takaisinmaksuaikaa laskettaessa täytyy muistaa rahan aika-arvo eli tänään rahan arvo on suurempi kuin vuoden päästä. Tämän vuoksi laskuissa käytetään diskonttauskerrointa, joka ilmaisee rahanarvon laskua. Sijoitettavaa rahasummaa ilmaistaan V-kirjaimella, korko on r-kirjain ja i-kirjain on vuosien lukumäärä. Näin saadaan loppusumman arvo P. Tapahtuvaa investointia merkitään merkinnällä  $I_0$ . Kaavat, jolla saadaan loppusumman arvo P ja i-vuosien päästä maksettava summa V ovat (Lehtonen, 2004):

$$P = V(1 + r)^i \quad (13)$$

$$V = \frac{P}{(1+r)^i} = P * \text{diskonttauskerroin} \quad (14)$$

Nettonykyarvo (NPV):

$$NPV = I_0 + \sum(N_i/(1 + r)^i) \geq 0 \quad (15)$$

Suhteellisen nykyarvon kaavalla voidaan laskea investoinnin suhteellinen kannattavuus. Tätä kaavaa voidaan käyttää erityisesti silloin kun halutaan vertailla eri investointeja keskenään. Suhteellisen nykyarvon kaavan merkinnät (Martikainen & Martikainen, 2006):

SNA = Suhteellinen nykyarvo

$S_t$  = Nettotulot investoinnista

i = Investoinnin laskentakorko

H = Perusinvestointi

$JA_n$  = Jäännösarvo

$n$  = Investoinnin pitoaika

Suhteellisen nykyarvon kaava (Martikainen & Martikainen, 2006):

$$SNA = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} + \frac{JAn}{(1+i)^n}}{H} \quad (16)$$

## 4 Kohdeyrityksen nykytila

### 4.1 Yleiskuvaus

Suomessa sijaitseva tuotantolaitos työllistää noin sata henkeä, josta karkeasti puolet on töissä tuotannossa ja puolet toimistossa. Tuotanto jakautuu kahteen osastoon: ruiskuvaluosastoon ja kokoonpano-osastoon. Tehtaalla on myös oma varasto, jossa säilötään pääosin vain tuotannossa tarvittavia komponentteja ja raaka-aineita. Oma varasto työllistää kolme henkilöä ja heidän tehtäviensä ovat tuotannonpalvelu, tavaroiden vastaanotto ja lähettämötoiminta. Valmiit lopputuotteet kuljetetaan aamuisin ulkoistettuun varastoon.

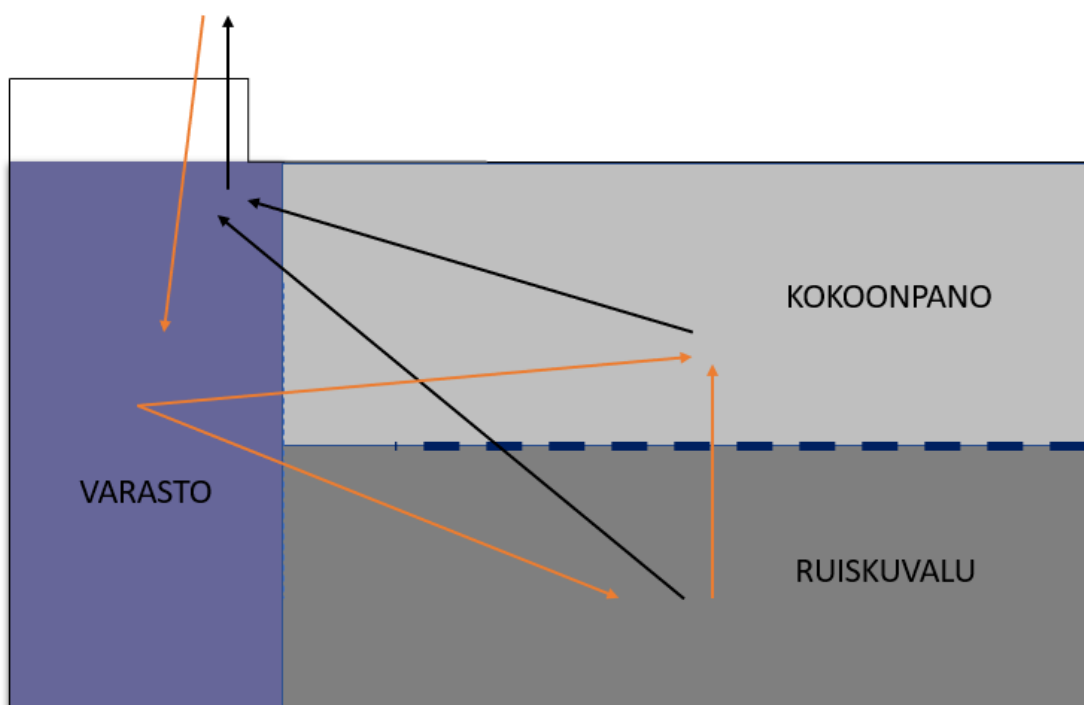
Kokoonpanopuolella suurin-osa töistä on käsin tehtävää työtä, jota tukee muutama kone ja robotti. Komponentit liitetään käsin yhteen ja pakataan valmiit tuotteet lähetystä varten. Tämä osasto työskentelee yhdessä vuorossa kello kuuden ja iltapäivä viiden välillä. Kokoonpanopuoli on jaettu neljään eri tiimiin tuotteiden mukaan. Yhden tiiminvetäjän vastuulla on kaksi tiimiä. Tiiminvetäjä kuormittaa tuotantoa ja hänen tehtävänä on varmistaa, että oikeat tuotteet tehdään oikeaan aikaan.

Ruiskuvaluosastolla työ on erilaista kuin kokoonpanopuolella, sillä siellä suurimman osan töistä hoitaa koneet. Tämä puoli toimii kolmessa vuorossa kellonympäri. Viikonloppun koneet ovat kiinni ja tuotanto on seis. Työntekijöiden tehtävänä on hoitaa koneita niin, että ne saavat tarvittavia materiaaleja ja toimivat ilman häiriöitä. Osasto tuottaa niin valmiita tuotteita kuin puolivalmiita tuotteita. Valmiit tuotteet lähetetään lopputuotevarastoon ja puolivalmiit menevät kokoonpanopuolelle jatkojalostukseen. Ruiskuvaluopuolella on kolme vuoroa, joista jokaisella on oma vuoronvetäjänsä. Vuoronvetäjät toimivat työn kuormittajina. Vuoroihin kuuluu koneenhoitajien lisäksi myös vuoroasentajat, jotka hoitavat haastavimmat häiriöt, korjaa koneet ja vaihtaa muotit.

Tehtaan pohjapiirros on mallinnettu VisualComponents- ohjelmaa hyväksikäyttäen kuvassa kymmenen (VisualComponents, 2019). Kuvassa katkoviivalla merkitty väliseinä

jakaa tuotantolaitoksen kahteen osastoon. Kuvassa katkoviivan yläpuolella on kokoonpano-osasto ja alapuolella ruiskuvaluosasto. Pohjapiirroksessa ei näy toimistotiloja, mutta ne sijaitsevat samassa rakennuksessa kokoonpanopuolen vieressä seinän takana. Kuvasta näkee hyvin, kuinka varasto on sijoittunut tehtaalle. Varasto sijaitsee pohjapiirroksen vasemmassa reunassa. Nuolet kuvaavat materiaalivirtauksia tehtaalla. Mustat nuolet kuvaavat valmiita tuotteita ja oranssit nuolet puolivalmiita tuotteita tai komponentteja.

**Kuva 10** Tuotantolaitoksen mallinnettu pohjapiirros



## 4.2 Toteutetut tehostamistoimet

Koko yrityksen tavoitteena on ollut vähentää sitoutunutta pääomaa varastoista ja tehostaa varaston kiertoa. Kuluneiden vuosien aikana varastotasot ovat laskeneet huomattavasti, sillä esimerkiksi neljässä vuodessa tuotannon valmiiden tuotteiden varaston arvosta on lähtenyt noin 40%. Tämä tarkoittaa, että prosesseissa on tapahtunut muutosta positiiviseen suuntaan. Vuoden 2019 aikana on kiinnitetty erityistä huomiota sii-

hen, että tuotteiden perustiedot vastaavat ABC-luokituksen tietoja Logisticarissa. Logisticar on toiminnanohjauksen kannalta tärkeä järjestelmä, koska sillä voidaan seurata tuotteiden kulutusta ja varastotasoa sekä asettaa tuotteille erilaisia varastotasoa- ja kiertotavoitteita. Myös toiminnan seuraamisessa käytettäviin mittareihin tarvittavia raportteja saadaan järjestelmästä.

Varastointi on toiminnan varmuuden kannalta usein välttämätön asia. Varastoja tarvitaan, jotta voidaan täyttää asiakaslupaus ja pystytään toimittamaan tuotteet asiakkaalle ajallaan. Pitkät välimatkat edellyttävät usein varastointia. Suurien määrien kuljetaminen kerralla on edullisempaa, joten varastoinnin optimointi on sidoksissa myös kuljetuskustannuksiin (Stock & Lambert, 2001). Varastojen ansiosta toiminnan jatkuvuus ja sujuvuus voidaan turvata pitkällä aikavälillä (Ballou, 1999).

Jotta varastoihin on päästy käsiksi, on prosesseja täytynyt seurata ja noudattaa tarkasti. Tiiminvetäjien tehtävänä on ollut kuormittaa tuotantoa ja päivittää nimikkeiden tietoja toiminnanohjausjärjestelmiin. Varastotasojen alentaminen on vaatinut perinpohjaista tutustumista tuotannon toimintaan yrityksen henkilöstöltä. Pienillä asioilla on merkitystä kokonaisuuden kannalta ja siksi on pyritty kiinnittämään huomiota myös pienempiin asioihin. Tavaroiden on oltava oikealla paikallaan ja työasemien on oltava siistejä, jotta niihin ei kulu ylimääräistä aikaa. Tällöin prosessi on jouhevampi ja ylimääräiseen säätöön menee huomattavasti vähemmän aikaa.

Varastotasojen optimointi on ollut oppimismatka niin tiiminvetäjille kuin tuotantolinjapäälliköille. Tuotantolinjapäälliköille haastava tehtävä on ollut sopeuttaa tuotantoa niin, että tuotanto ei ole ali- eikä ylikuormitettu. Koska yrityksen toimiala on hyvin herkkä vaihteluille, on prosessien suunnittelussa otettava huomioon kysynnän äkkinäisetkin vaihtelut. Ylikuormitustilanteessa varastotasot nousevat nopeasti, koska läpimenoaika on lyhempi kuin normaalitilanteessa. Vastaavasti alikuormitustilanteessa varastotasot laskevat liian alas, jolloin voi käydä niin, ettei asiakkaiden vaatimaa palvelutasoa ei pystytä enää täyttämään. Alikuormitetussa tilassa työntekijät kokevat myös herkästi kii-

reen tunnetta, jolloin on vaarana, että keskittyminen perusasioihin kärsii. Tehostamisen tarkoituksena ei kuitenkaan ole ottaa työntekijöiden selkänahasta enemmän irti vaan tehostaa prosesseja niin, että sitä kautta saadaan paremmin toimiva tuotanto. Tuotantoa seurataan aamupalavereissa, joissa on tarkoitus katsoa mitä on tehty ja mitä tänään tehdään. Palaverissa on tarkoitus nostaa esiin niitä seikkoja, jotka poikkeavat prosessista ja jotka voidaan tehdä paremmin. Näiden palaverien tarkoituksena on myös lisätä tietoisuutta eri osastojen välillä.

Tuotantolinjapäällikön tehtävänä on ollut opastaa tiiminvetäjiä oikeaan suuntaa esimerkiksi kuormituksen ja jonotusaikojen seurannassa. Tuotannossa on ollut pitkään tapana kuormittaa tuotantoa nollarivien mukaan (nollarivi = alle viikon saatavuus varastossa). Kuitenkin kuluneen vuoden aikana on kuormitusprosessiin ja tuotannon seurantaan saatu ajettua muutos ajattelutapaan läpi, ja nyt seurataan tuotteen läpimenoaikkaa tuotannossa entistä tarkemmin. Tämä tarkoittaa aikaa siitä, kun tilaus tulee ja tuote lähtee tehtaalta. Läpimenoajan lisäksi jonotusaika on oleellisesti seurannassa. Jonotusaika antaa kuormittajalle pelivaraa suunnitella tuotantoa niin, että asiakas saa haluamansa tuotteen ajoissa. A-d luokan nimikkeiden jonotusaika on maksimissaan kolme päivää ja e-h luokan nimikkeissä jonotusaika on viisi päivää. Jonotusajan päälle tulee vielä tuotantoaika, jonka jälkeen tuote lähetetään ulkoistettuun keskusvarastoon. Jos jonotusaika venyy, huomataan heti, että resursseja on liian vähän. Jonotusajan poikkeamiin on olemassa myös muita syitä kuin aliresurssit. Ohjelmistoissa voi olla tiedot väärin tai esimerkiksi tavarantoimittaja ei ole kyennyt toimittamaan komponentteja ajoissa. Läpimenoaikka seuraamalla on tarkoitus päästä juurisyyhyn käsiksi. Tällä tavoin voidaan keskittyä niihin asioihin, joita voidaan tehdä toisin. Etenkin jos joku ongelma toistuu usein, on prosessissa silloin puutos, joka täytyy korjata.

Valmistuseräkoolla on merkitystä jonotusaikojen seurattaessa. Pienemmät valmistuseräkoot pienentävät varastotasojen, joka aiheuttaa enemmän vaihtoja tuotantoon. Jonotusaikojen seuraamalla saadaan käsitys siitä, kuinka muutokset vaikuttavat käytännön työhön. Usein totuttujen toimintatapojen muutos aiheuttaa vastaväitteitä ja siksi onkin

tärkeää seurata mitä oikeasti tapahtuu. Mikäli muutos on kannattava, voidaan se sitten saatavilla olevilla mittaustuloksilla perustella myös työntekijöille. Vuoden 2019 aikana päivitettyt ohjaukset eivät vielä täysin näy tilastoissa. Varastoarvo on kyllä laskenut, mutta etenkin hitaasti kiertävien tuotteiden varastotasot ovat vielä korkealla verrattuna ohjauksiin.

Varastonkierrolla tarkoitetaan sitä, kuinka usein varasto pyörähtää ympäri tai toisin sanoen kuinka usein varasto kulkee yrityksen läpi. Varaston kierron arvo 12 tarkoittaa että vuodessa varasto pyörähtää 12 kertaa eli kerran kuukaudessa. Varastonkiertoon kiinnitetään huomiota sen takia, että varastoihin sidottu pääoma on poissa käytössä olevista varoista, eikä varastoihin sidottu pääoma tuota lisäarvoa. Kun varastoa kierrätetään, saadaan varastoon sitoutunutta pääomaa vapautettua, jolloin se voidaan sijoittaa esimerkiksi ihmisiin, tekniikkaan tai muuhun sellaiseen, jonka katsotaan tuovan enemmän lisäarvoa yritykselle (Rao & Rao, 2009).

### **4.3 Tulevaisuus**

Yritys tavoittelee kasvua edelleen, vaikka ajat ovat haastavat. Tämä vaatii turvallista ja tehokasta tuotantoa, joka pystyy palvelemaan asiakkaita parhaalla mahdollisella tavalla. Koneiden ja ihmisten välistä kanssakäymistä ja yhteistyötä pyritään tehostamaan. Esimerkiksi käsin tehtävää pakkausta automatisoidaan pakkauskoneilla, jotta kädet saadaan tuottavampaan työhön. Kannattavuuden parantamiseksi yrityksessä on myös mietitty erilaisia automatisointi ratkaisuja ja joidenkin tuotteiden ulkoistamista tehtaalta on pohdittu. Yrityksen tavoitteet ovat olleet määrittelemässä myös tämän tutkielman aiheen syntyä. Yrityksessä on tarkoitus tehostaa tuotantoa jatkuvasti ja valmistuseräkoot ovat yksi teollisen tuotannon kynnyskysymyksistä. Tehtaalla on erilaisia projekteja liittyen tulevaisuuden tehtaaseen.



#### 4.4 Eräkkoko nyt

Yrityksessä on käytössä pääasiassa kaksi toiminnanohjausjärjestelmää, joita käytetään päivittäin. SAP on pääjärjestelmä, joka sisältää kaiken tiedon. Apuna ja ikään kuin aivoina tehtaan johtamisessa on Logisticar, joka ajaa päivittäin tiedot SAP:ista ja esittää ne havainnollisemmassa muodossa. Logisticarin avulla voidaan nähdä erilaisia kuvaajia, jotka auttavat hahmottamaan esimerkiksi varastotilannetta. Logisticar on jakanut tuotteet ABC-luokituksen mukaiseksi, jonka perusteella määritetään esimerkiksi varaston kiertotavoitteet ja varaston määrä. Logisticarissa on myös ominaisuus, joka laskee kullekin tuotteelle optimaalisen valmistuseräkoon. Logisticarin manuaalin (2017) mukaan valmistuseräkoon laskemiseen Logisticar hyödyntää keskivaraston laskukaavaa. Lisäksi ohjelmaa seuraa kulutusta vuoden taaksepäin, joten esimerkiksi varmuusvaraston laskeminen reaaliajassa on helppoa. Tällä hetkellä yrityksessä eräkkoko on optimoitu muuttamalla tietoja manuaalisesti Logisticariin ja SAP:iin.

Logisticarin käyttämiä laskukaavoja (Logisticar, 2017):

Keskivarasto = vuoden myynti/varastonkierrolla

Valmistuseräkkoko =  $2 \times (\text{keskivarasto} - \text{varmuusvarasto})$

Tilauspiste = varmuusvarasto + valmistusajan menekki

varastonkierto =  $(\text{vuoden myynti} - \text{kate}) / \text{keskivarasto}$

Varastotäydennykset kohdistuvat keskusvarastolle. Keskusvarasto toimii jakelijana jälleenmyyjille. Täydennyskehotukset tulevat SAP-järjestelmään, josta kuormittaja kuormittaa tuotantoa kehotusten perusteella. Tutkittaessa eräkoon dynaamisuutta, huomataan että, SAP toimii dynaamisesti. Jos valmistetaan esimerkiksi sadan kappaleen erissä, mutta kysyntä on 200 kappaletta, SAP kehottaa valmistamaan tuotetta kaksi erää. Jos kysyntä on 50 kappaletta ja tuotetta ei ole varastossa riittävästi, kehottaa SAP valmistamaan tuotetta erän verran eli tässä tapauksessa sata kappaletta. Loput jäävät varastoon odottamaan kysyntää.

#### 4.4.1 ABC-luokitus

ABC-luokituksen perusidea tulee 80/20 säännöstä. 80% tuotoista tulee 20% tuotteista. 100% tuotteista jakautuu seuraavasti:

80% tuotoista = 20% tuotteista

15% tuotoista = 30% tuotteista

5% tuotoista = 50% tuotteista

Näille luokituksille on asetettu omat varasto ja kiertotavoitteet. Tuotteiden jakaminen luokkiin auttaa hallitsemaan niiden valmistuksen suunnittelua (Logisticar, 2017).

Toimeksiantoyrityksessä tuotteet on jaettu A-H + I luokkiin, joten luokittelu on tarkempaa, mitä useampi luokka on. I luokka on tarkoitettu lopetettaville tuotteille, joita ei valmisteta enää myyntiin. A luokassa on paljon tuotteita arvomääräisesti myynnissä ja varastossa, mutta kuitenkin tuotteita on määrällisesti paljon vähemmän kuin esimerkiksi H-luokassa. A-luokan tuotteita ostetaan usein ja ne kiertävät nopeasti. H-luokan tuotteita myydään vähän, ostetaan harvemmin ja ne kiertävät varastossa huomattavasti hitaammin. Muut luokat asettuvat näiden kahden luokan väliin (Logisticar, 2017).

#### 4.5 Tämän hetkiset tuotekustannukset

Tällä hetkellä tuotekustannukset rakentuvat asetuskustannuksista, työkustannuksista, materiaaleista, materiaaleihin kohdistetuista yleiskustannuksista ja tuotannon yleiskustannuksista. Asetuskustannukset ovat saatu laskemalla kunkin tiimin asetusten keskiarvo. Työn kustannukset tarkoittavat reitityksen mukaista valmistukseen kuluvaan aikaan. Materiaalikustannukset syntyvät käytetyistä materiaaleista ja yleiskustannukset ovat tuotteille kohdistettuja yleiskustannuksia, joita ei voida kohdistaa suoraan jollekin tuot-

teelle, vaan on jouduttu laskemaan yleiskustannuslisä, joka lisätään jokaiselle tuotteelle. SAP-järjestelmään on asetettu reititys ja rakenne jokaiselle tuotteelle ja SAP osaa itse laskea näiden perusteella tuotteille kohdistuvat kustannukset.

Jotta kustannukset saadaan SAP-järjestelmään oikein, on reititysten oltava oikein. Reititystietoja saadaan esimerkiksi Arrow Novi-järjestelmästä, joka kerää koneiden käyttötietoja. Järjestelmä kerää esimerkiksi seuraavaa dataa koneista: kuinka paljon ne ovat käynnissä, kuinka paljon niitä huolletaan ja kuinka paljon esiintyy häiriöitä. Konekohtaista dataa saamalla, voidaan kohdistaa koneiden aiheuttamat kulut ja käyttöajat tuotteille (Novi, 2019).

## 5 Optimaalinen eräkoko yrityksessä

Tutkimuksen kohteena on valmistuseräkoko ja sen tuotekohtaiset kustannukset. Tutkimus päätettiin aloittaa tutkimalla EOQ-kaavan laskelmia tiettyjen tiimien a-d luokan tuotteista. Työkaluna tutkimuksessa on ollut Excel. Sinne on koottu olennaiset tiedot, laskut ja yhteenvedot tietojen perusteella. Tiimeiksi valikoitui kokoonpanopuolelta kaksi erilaista tiimiä niiden työn erilaisuuden vuoksi. Lisäksi kolmanneksi tiimeiksi otettiin ruiskuvalutiimi. Tuotenimikkeitä on tutkielmassa yhteensä noin 5 prosenttia kaikista tehtaan nimikkeistä. Tutkittavista nimikkeistä 46 prosenttia on kokoonpanopuolelta ja 54 prosenttia ruiskuvalupuolelta. Tuotteet ovat kaikki varastoitavia lopputuotteita. Tarvittava data saatiin SAP- ja Logisticar-järjestelmistä. Logisticar antaa esimerkiksi kysyntä tiedot vuoden ajalta taaksepäin, joten tieto elää jatkuvasti.

Tässä tutkimuksessa oleva tieto on otettu järjestelmistä 14.10.2019. Kysyntä ja asetus-kustannus tuotteittain saatiin suoraan järjestelmistä, mutta kysyntä jouduttiin muuttamaan lavakohtaiseksi kysynnäksi, koska säilytyskustannus on ilmoitettu lavakohtaisena kustannuksena. Tämä olisi voitu myös muuttaa niin, että säilytyskustannus olisi ilmaistu tuotekohtaisesti jakamalla lavan kustannus lavakoon mukaan. Tulos olisi kuitenkin ollut sama. Tutkielmassa mukana olevat nimikkeet ovat kaikki varastoitavia nimikkeitä. Ei varastoitavien nimikkeiden optimaalista valmistuserää pitäisi tutkia hieman eri tavalla, koska varastokustannuksia ei silloin synny. Silloin tarkasteltaisiin esimerkiksi vaihtojen ja asetusten vuosittaisen määrän merkitystä tuotteen hintaan. Tällä tavoin on mahdollista löytää toiminnan ja kustannusten kannalta optimaalinen valmistuserä.

Tuloksessa vertaillaan nykyhetken tilannetta ja tilannetta optimoinnin jälkeen. Optimoinnissa täytyi ottaa huomioon tuotteille asetetut kiertotavoitteet, joten tuote optimoitiin vain, jos kiertotavoite täyttyi optimoinnin jälkeen. Tämä siksi että tuotteille asetetut kiertotavoitteet pitävät varastotasot riittävän alhaisina. Jos tämä ehto ei täyttynyt, tuotteen optimaalisimmaksi valmistuseräksi jätettiin tällä hetkellä voimassa oleva valmistuserä. Optimoinnin tuloksia mitattiin kustannusten, vaihtojen määrän ja keskiva-

raston määrän avulla. Lisäksi otettiin vertailuun, kuinka montaa tuotetta pitäisi optimoida per tiimi.

## 5.1 Kokoonpanotiimin optimointi

Optimaalisen valmistuserän laskemiseen käytettiin tuotannonohjauksen teoriassa yleistä EOQ-kaavaa. Asetuskustannukset ja vuotuinen kysyntä on otettu toiminnanohjausjärjestelmistä. Varastokustannus on kiinteä lavakohtainen kustannus ulkoisesta varastosta. Laskukaavana käytettiin perinteistä EOQ-mallin laskentakaavaa, jossa  $A$  = asetus-kustannus,  $D$  = kysyntä ja  $h$  = varastointikustannus. Tulosten varmistamiseksi valmistuseräköön laskut tehtiin myös EPQ-kaavalla ja sillä saadut tulokset olivat hyvin samansuuntaiset kuin EOQ-kaavalla. Tutkielmassa esitellyt tulokset on saatu käyttämällä EOQ-kaavaa:

$$\text{EOQ-kaava: } Q = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (17)$$

$$\text{EPQ-kaava: } Q = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \sqrt{\frac{h+s}{s}} \quad (18)$$

Tutkimus aloitettiin tutkimalla kokoonpanopuolen tiimejä. Ensimmäisestä tiimistä optimoinnin kohteeksi päätyi kuusi nimikettä yhdestätoista mahdollisesta. Optimoinnin jälkeen sarjojen vaihtojen määrät putoavat tässä tiimissä vuositasolla 84 kappaletta. Tämä on kuudelle nimikkeelle suuri määrä ja tarkoittaa samalla keskiarvolta noin 30% kasvua eräkoossa. Tämä aiheuttaa varastoinnin kustannusten nousua noin yhdeksällä prosentilla yhteensä, mutta vastaavasti asetus-kustannukset ovat vain noin 77 prosenttia alkuperäisistä asetus-kustannuksista. Näin ollen näiden 11 tuotteen optimointi säästää noin kymmenen prosenttia kustannuksista vuositasolla. Asetuskustannusten varsinainen osuus kappaleen hinnasta on niin pieni, että kappalekohtainen säästö on hyvin pieni. Siksi asiaa kannattaa tutkia vuositason kustannuksina. Taulukossa kuusi on ensimmäisen tiimin optimoinnin jälkeiset valmistuseräkoot koottuna yhteen taulukkaan. Kuten huomataan, optimoinnin jälkeen valmistuseräkoot kasvavat.

**Taulukko 6** Ensimmäisen kokoonpanotiimin optimoinnit

Luokka	Tiimi	Nimike	Nykyhetki Q	optimoitu Q
A	1	Nimike 1	14400	14400
A	1	Nimike 2	6000	9600
A	1	Nimike 3	2400	7200
A	1	Nimike 4	4800	7200
B	1	Nimike 5	5400	9000
B	1	Nimike 6	4800	6000
B	1	Nimike 7	4800	6000
B	1	Nimike 8	6000	6000
B	1	Nimike 9	900	900
B	1	Nimike 10	1800	1800
C	1	Nimike 11	1200	1200

Värien  
merkitykset  
kasvaa  
laskee

Toisesta kokoonpanotiimistä optimoitiin ehdon mukaan kuusi nimikettä viidestätoista nimikkeestä ja lisäksi saatiin kolmen nimikkeen kohdalla sama tulos. Toisin sanoen vain kuutta nimikettä ohjattaisiin entisen ohjauksen mukaan optimoinnin jälkeen. Taulukossa seitsemän on optimoinnin tulokset tästä kokoonpanotiimistä. Taulukossa tämä toinen tiimi on merkitty tiimiksi 3. Kuvassa sinisellä on merkitty rivit, joissa optimoinnin jälkeen eräkoossa laskee ja harmaalla on merkitty rivit, joissa eräkoossa nousee. Valmistuseräkoot ovat täysiä lavoja, jolloin säilytyskustannus on alhaisin per tuote. Varastointikustannus nousee noin kolme prosenttia aiemmista varastointikuluista ja asetuskustannuksissa säästetään noin kahdeksan prosenttia aiemmista asetuskuluista. Säästö on siis noin kolme prosenttia kokonaiskustannuksista. Vaihtojen määrät putoavat 17 kappaleella.

**Taulukko 7** Toisen kokoonpanotiimin tulokset

Luokka	Tiimi	Nimike	Nykyhetki Q	optimoitu Q
C	3	Nimike 1	700	700
D	3	Nimike 2	200	200
D	3	Nimike 3	1400	2100
D	3	Nimike 4	2100	2800
D	3	Nimike 5	350	700
E	3	Nimike 6	2800	2100
D	3	Nimike 7	1800	1800
D	3	Nimike 8	700	700
E	3	Nimike 9	2100	2100
E	3	Nimike 10	12600	18900
E	3	Nimike 11	1400	1400
E	3	Nimike 12	1800	1800
E	3	Nimike 13	1400	1400
E	3	Nimike 14	2100	1400
E	3	Nimike 15	700	700

Värien  
merkitykset  
kasvaa  
laskee

Kun verrataan näiden kahden tiimin optimointeja, voidaan huomata, että ensimmäisen tiimin kohdalla on suurempi riski jonotusaikojen kasvamiseen kuin toisen tiimin kohdalla, koska valmistuseräkoot nousevat enemmän. Optimoinnin implementointia kannattaa ajatella myös muiden kuin kustannusten kannalta. Siksi jonotusaikojen kasvaminen saattaa olla haasteellista prosessille.

Kokoonpanopuolella tuotenimikkeiden valmistuserä koko muuttui optimoinnin jälkeen 12 nimikkeellä, kymmenellä nimikkeellä pysyi samana ja neljän nimikkeen kohdalla EOQ- kaava antoi saman tuloksen kuin tämän hetkinen valmistuserä koko on. Keskivara nousee optimoinnin jälkeen noin kymmenen prosenttia. Vaihtojen määrä laskee sa-

dalla kappaleella vuodessa. Vaihtojen määrässä ei otettu huomioon sitä, että joskus sarjoja saatetaan tehdä esimerkiksi kaksi peräkkäin, jolloin asetusasetuskustannuksia ei lasketa kuin kerran näitä kahta erää kohden. Optimoinnin kustannukset käsitellään erillisessä kappaleessa.

## 5.2 Ruiskuvalutiimin optimointi

Ruiskuvalupuolella käsiteltiin tuotteita myös kahdessa eri ryhmässä. Ensin tarkastelussa oli 11 a ja b luokan nimikettä, mutta myöhemmin mukaan otettiin myös alempien luokkien nimikkeitä. Ensin tutkimuksen kohteena oli 11 nimikettä, joista optimoinnin jälkeen kolmen nimikkeen valmistuseräko muuttui. Seitsemän nimikkeen kohdalla eräko ei optimoinnin jälkeen muuttunut. Taulukko kahdeksan on yhteenvetotaulukko muuttuneista valmistuseräkoista tuotteittain ruiskuvalupuolella.

**Taulukko 8** Ruiskuvalutiimin eräkoon muutokset

Luokka	Tiimi	Nimike	Nykyhetki Q	optimoitu Q
A	2	Nimike 1	54000	54000
A	2	nimike 2	57600	57600
A	2	Nimike 3	43200	47520
A	2	Nimike 4	168000	312000
B	2	Nimike 5	12960	12960
B	2	Nimike 6	27000	30000
B	2	Nimike 7	16800	16800
B	2	Nimike 8	126000	126000
B	2	Nimike 9	5760	5760
C	2	Nimike 10	14400	14400

Värien  
merkitykset  
kasvaa  
laskee

Huomioitavaa on, että myöskään ruiskuvalupuolella yhdenkään tuotteen valmistuseräko ei laskenut, vaan päinvastoin nousi. Tämä aiheutti varaston arvon nousua 12 prosenttia. Huomionarvoinen asia keskivaraston nousussa on taulukossa rivillä neljä oleva nimike. Tämän nimikkeen kohdalla valmistuseräko tuplaantuu. Tarkasteltaessa tar-



kemmin tuotetta, sen valmistukseen kuluu tällä hetkellä noin kaksi vuorokautta. Jatkos-  
sa siihen kuluisi neljä vuorokautta. Vaihdot puolestaan vähenivät kokonaisuudessaan  
optimoinnin jälkeen 22 kappaleella vuodessa. Näistä vaihdoista 17 kappaletta vähenee  
pelkästään rivin neljä tuotteen vuoksi. Täten voidaan huomata, että yksi tuote vääristää  
tulosta hieman. Ruiskuvalupuolella vaihdot ovat raskaampia tuotannolle, koska niihin  
kuluu huomattavasti enemmän aikaa. Ruiskuvaluosastolla varastoinnin kustannukset  
nousivat neljä prosenttia, mutta vastaavasti asetusten hinta laski seitsemän prosentti,  
joten kokonaisuutena kustannuksissa säästyi kustannuksista noin prosentti lopulta.

Yhteensä optimoimalla näiden kolmen tiimin 37 nimikettä säästöä on mahdollista saa-  
da kolme prosenttia verrattuna aiempiin kokonaiskustannuksiin. Oletettavaa on, että  
optimoimalla tuotannon kaikki nimikkeet, säästöä on saatavissa vielä reilusti lisää.  
Ruiskuvalupuolta on syytä tarkastella vielä laajemmin, koska asetusajkojen vaikutus on  
sillä puolen suurempi. Tämän vuoksi tutkintaan otettiin jatkoksi vielä lisää ruiskuvalu-  
puolen nimikkeitä ja tutkittiin asetusajkojen vaikutusta niiden valmistuseräkustannuk-  
siin. Tätä käsitellään kappaleessa 5.4.

### 5.3 EOQ yhteenveto

Kun laskuihin käytetään EOQ:n kaavaa, tulosten mukaan kannattaisi valmistaa pääsään-  
töisesti suurempia valmistuseriä. Kohdeyritykselle on kuitenkin asetettu erilaisia tavoit-  
teita, joihin tulisi pyrkiä, joten ei ole kannattavaa sokeasti vain käyttää EOQ-kaavaa.  
Huomioon otetaan tuotteille asetetut kiertotavoitteet, jotta asetetut tavoitteet täytty-  
vät. Ensimmäisen tiimin 11:stä tuotteesta 10:n tuotteen valmistuserä koko kasvaisi  
EOQ:n mukaan, jos kiertotavoitetta ei huomioida. Kiertotavoitteen huomioonottami-  
nen pitää varastotavoitteet merkityksellisinä. Toisen kokoonpanotiimin tulokset ovat  
hieman erilaiset kuin kahden muun tarkastelussa olleen tiimin tulokset. Näiden nimik-  
keiden kohdalla vuosikulutus on pienempi kuin kahden muun tiimin. EOQ:n kahden  
nimikkeen valmistuserää kannattaisi pienentää.

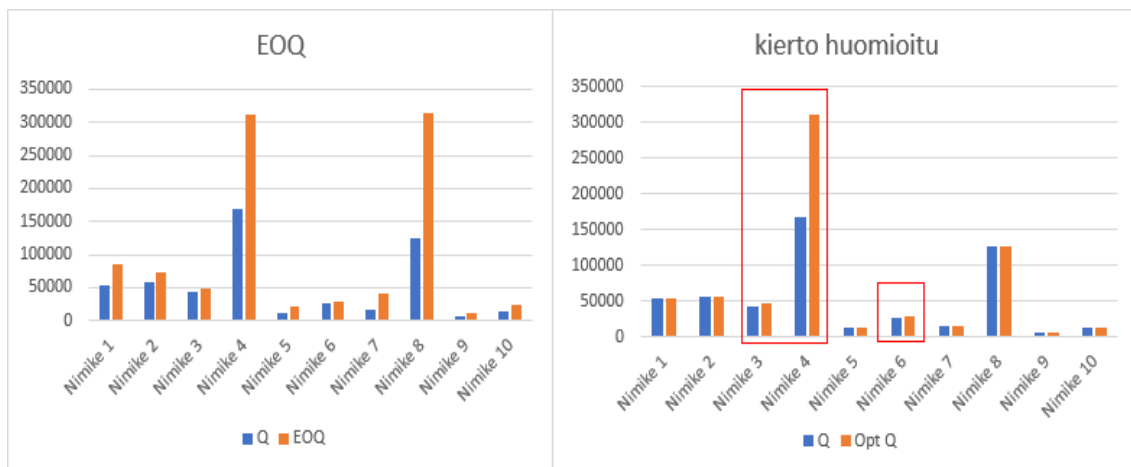
Kiertotavoitteiden mukaan optimoitaessa voidaan olla varmoja siitä, että optimoinnin jälkeenkin kiertotavoitteet täyttyvät. Taulukossa yhdeksän on esitelty kierron muutokset kokoonpanotiimeissä. Vihreä väri tarkoittaa, että optimoitaessa käytetään sitä arvoa, punainen jää käyttämättä ja keltainen tarkoittaa, että nykyinen suunniteltu kierto ja EOQ-kaavalla saatu kierto on sama.

**Taulukko 9** Kokoonpanotiimin kierron muutokset

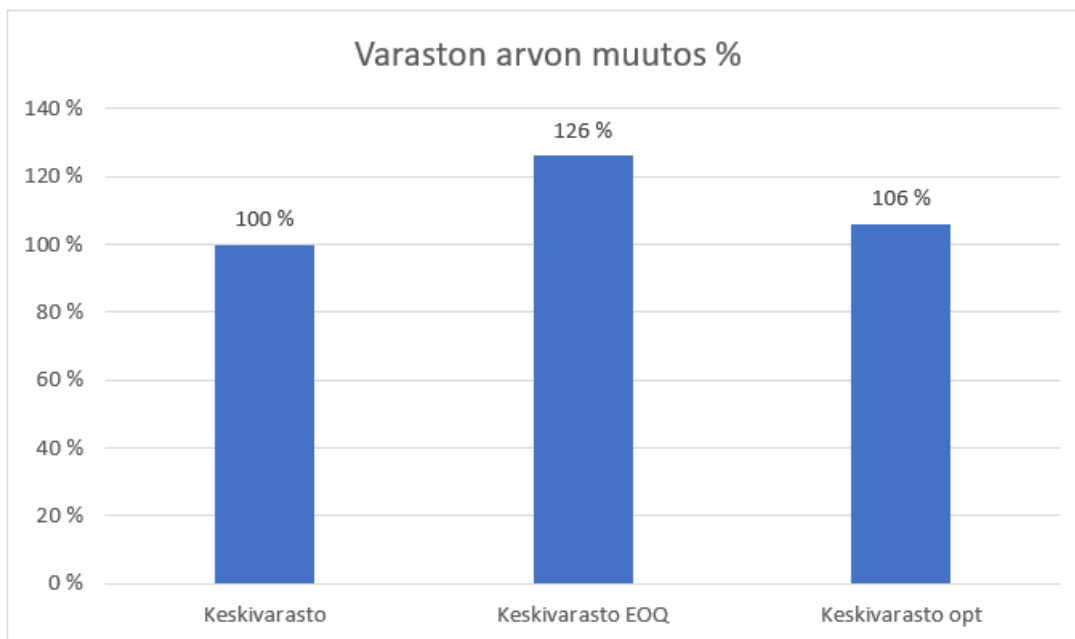
Nimike	Tiimi	Tavoite kierto	Nykyinen suunniteltu kierto	EOQ kierto	Optimoitu kierto	
Nimike 1	1	25	36,2	36,2	36,2	
Nimike 2	1	25	37,1	29,1	29,1	
Nimike 3	1	25	44,7	25,2	25,2	
Nimike 4	1	25	32,9	25,6	25,6	
Nimike 5	1	22	35,4	26,1	26,1	
Nimike 6	1	22	27,9	24,2	24,2	
Nimike 7	1	22	25,9	22,3	22,3	
Nimike 8	1	22	30,2	14,1	30,2	
Nimike 9	1	22	41,5	17,4	41,5	
Nimike 10	1	22	29,2	13,3	29,2	
Nimike 11	1	18	28,1	14,6	28,1	
Keskiarvo kierto				<u>34</u>	<u>23</u>	<u>29</u>
Nimike 1	3	18	21	13	21	
Nimike 2	3	12	12,2	6,3	12,2	
Nimike 3	3	12	19,6	15	15	
Nimike 4	3	12	14,8	12,6	12,6	
Nimike 5	3	12	17,6	12,4	12,4	
Nimike 6	3	9	10,6	12,7	12,7	
Nimike 7	3	12	10,7	10	10,7	
Nimike 8	3	12	13,2	9,5	13,2	
Nimike 9	3	9	9,2	9,2	9,2	
Nimike 10	3	9	13,8	10,8	10,8	
Nimike 11	3	9	9,7	9,7	14,7	
Nimike 12	3	9	8,4	7,8	8,4	
Nimike 13	3	9	8,9	8,9	8,9	
Nimike 14	3	9	8,1	10,2	10,2	
Nimike 15	3	9	8,6	8,6	8,6	
Keskiarvo kierto				<u>12</u>	<u>10</u>	<u>12</u>

Ruiskuvaluosastossa EOQ-laskut antavat suurempia valmistuseriä tulokseksi ja tarkasteltavien nimikkeiden kohdalla tämä tarkoittaa sitä, että lopulta vain kolmen tuotteen valmistuseriä muutetaan, vaikka EOQ:n mukaan kannattaisi muuttaa kaikkia. Tiimin kaksi tulokset voidaan havaita taulukosta kymmenen.

Taulukko 10 Tiimin 2 EOQ-laskut



Kiertotavoitteet huomioon ottaen, varaston arvo pysyy käytännössä muuttumattomana näillä tuotteilla. Taulukossa 11 on yhteenveto varaston arvon muutoksesta kaikki tarkastelussa olevat nimikkeet mukaan lukien. Taulukon vertailuluvuksi on otettu nykyinen varastoarvo, joka on vertailulukuna 100%. Kuten huomataan, keskimääräinen palkki on korkein. Kyseinen palkki on arvo ilman kiertotavoitteiden huomioimista. EOQ-kaavalla tehtyjen laskujen perusteella, varaston arvo nousisi huomattavasti, koska valmistuserien koot pääsääntöisesti kasvaisivat. Luultavasti muutokset olisivat suuremmalla otannalla hieman erilaisia, mutta olettaa sopii, että optimoitaessa valmistuseriä varastoarvo pysyy tavoitteessa, koska kiertotavoitteet ovat määritellyt varastotavoitteiden mukaisiksi. Kappalemääräisesti keskivaraston muutos on 83785 kappaletta. Otanta on kuitenkin aika pieni, joten todellista keskivaraston muutosta on vaikea arvioida ilman, että käy läpi kaikkia tuotenimikkeitä. Tuotteiden luokitukset tuovat myös haasteita, koska vähemmän kiertävissä tuotteissa valmistuseräköön muutokset näkyvät herkemmin varastoarvossa.

**Taulukko 11** Varaston arvon muutos

Tutkittaessa kokonaiskustannusten muutosta huomataan, että optimoimalla näiden kolmen tiimin tutkinnassa olevat nimikkeet, saadaan reilun tuhannen euron säästöt vuositasolla. Voidaan olettaa, että optimoitaessa kaikki tehtaan nimikkeet, säästöä tulisi huomattavasti enemmän. Varastointikustannukset nousevat, joka nähdään jo siitä, että keskivarasto nousee. Vastaavasti kuitenkin asetuskustannukset laskevat euromääräisesti enemmän, joten kokonaiskustannukset laskevat.

Huomioitavaa on, että asetuskustannusten hinta nousee merkitykselliseksi, koska EOQ-kaava optimoi nimenomaan asetuskustannusten ja varastoinnin kustannuksia. Täten esimerkiksi aiemmin käsitelty ruiskuvalutiimin nimike neljä antaa virheellisen tiedon, koska sille annettu yhden asetuksen hinta ei pidä paikkaansa. Tämän vuoksi on oleellista tarkentaa asetuksiin kuluva oikea aika, jotta saadaan tarkat hinnat. Tiimin kolme asetusajat pitävät paremmin paikkaansa, koska työ on ihmisen tekemää, mutta tiimissä kaksi on tarkentamisen varaa. Vaikka asetuskustannukset ovat tässä taulukossa vanhan tiedon mukaan, ei se muuta lopputulosta, koska optimoitavien nimikkeiden määrä ei näiden nimikkeiden kohdalla muutu. Päivittämällä asetuskustannukset, luvut olisivat tarkempia, mutta trendi pysyisi samana, edellyttäen että verrannolliset kustannukset

ovat laskettu samoja parametrejä käyttäen. Toisin sanoen ei verrata optimoitua valmistuserää ja tämänhetkistä valmistuserää eri asetuskustannuksen hinnoilla. Taulukossa 12 on yhteenveto optimoinnin kokonaiskustannusten muutoksesta. Säästöä kertyy kolme prosenttia kokonaiskustannuksista, kun optimoidaan nämä 36 nimikettä. 36 nimikettä on hyvin pieni otanta koko tuotantolaitoksen nimikkeiden määrästä.

**Taulukko 12** Kokonaiskustannusten muutos prosentteina

Tiimi	varastokustannus ->Optimoitu	asetushinnat ->optimoitu	asetushinnat	asetushinnat ->optimoitu	kokonaiskustannus ->optimoitu	kokonaiskustannus	Erotus
Tiimi 1	100 %	109 %	100 %	77 %	100 %	90 %	10 %
Tiimi 2	100 %	104 %	100 %	93 %	100 %	99 %	1 %
Tiimi 3	100 %	103 %	100 %	92 %	100 %	97 %	3 %
Yhteensä	100 %	104 %	100 %	89 %	100 %	97 %	3 %

### 5.3.1 Asetusaikojen tarkistus

Tällä hetkellä tiimin kaksi nimikkeille on hinnoittelussa asetettu kaikille sama asetusaika. Järjestelmistä on kuitenkin saatavilla tarkat asetusaajat, joten laskujen paikkaansa pitävyys on parempi, kun optimaalinen erä koko lasketaan oikeilla asetusaajoilla. Asetusaikojen tiedot otettiin vuodelta 2018. Tarkistelun jälkeen huomataan, että asetuksiin kuuluu niin Sapin kuin Novin tietojen mukaan vähemmän aikaa kuin nimikkeille asetettu reititystieto kertoo. Toiminta on siis tehostunut edellisen päivityksen jälkeen. Asetusaikojen päivittäminen muuttaa taloudellisen eräkoon laskemista, koska esimerkiksi osalla tuotteista asetusaikojen huomattiin olevan lähes olemattomia. Tällöin kaavan mukaan olisi taloudellisinta valmistaa lava kerrallaan, jolloin varastointikustannuksia tulisi sen verran kuin kysyntä edellyttää varastossa tuotetta olevan. Koneiden mahdollisten vikaantumisten takia on kuitenkin hyvä pitää varmuusvarastoa, jotta palvelutaso voidaan säilyttää. Palvelutason kannalta on olennaista seurata, minkä suuruisia myyntejä nimikkeellä on, jotta voidaan toimittaa tarpeeksi suuria eriä. Tuotteiden valmistamista on myös vaikea yhtäläistää, koska valmistusprosesseissa on poikkeamia toisiinsa

nähdessä ja kahta erilaista tuotetta ei välttämättä ole käytännössä järkevää valmistaa niin kuin paperilla on suunniteltu tai teoria antaa osoittaa.

Asetusaikojen tarkka määrittäminen on hyvin hankalaa, koska järjestelmän antamat tiedot eivät sisällä muuttujia. Esimerkiksi värienvaihdossa on väliä mistä väristä muutetaan mihin väriin ja joskus asennus joutuu odottamaan erinäisistä syistä. Esimerkiksi viikon aloitus on haastava, koska useita koneita käynnistetään samaan aikaan ja osa joutuu odottamaan. Osalla koneista ei tehdä kuin yhtä tuotetta, joten vaihtoon ei kulu aikaa. Näissä tapauksissa koneen käynnistäminen vie kuitenkin noin puoli tuntia. Näiden poikkeusten saaminen tietoihin tarkasti ei onnistu, joten laskuissa on käytetty parasta valistunutta arvausta, joka on saatavilla.

Taulukossa 13 on eritelty asetusaikojen päivityksistä aiheutunutta kustannusten muutosta siten, että EOQ-kaavalla saadun tuloksen asetuskustannus on päivitetty. Muutosta kannattaa tutkia asetusaikojen vaikutuksena tuotteen asetuksista aiheutuvina kokonaiskustannuksina, koska yhden sarjan kohdalla vaikutus on pieni, mutta vuoden aikana siitä kertyy suurempi summa. Asetusajoista aiheutuva kustannus pysyy kokonaisuutena samana, mutta tarkennuksen ideana on, että kustannukset jakautuisivat tarkemmin tuotteille. Tarkastelun jälkeen huomattiin, että tiimin kaksi tarkastelun kohteena olevien tuotteiden kohdalla todelliset asetuksista aiheutuvat kustannukset olivat 15 prosenttia vähemmän, kuin suoraan järjestelmästä ajettu tieto ilmoittaa. Tämä siis on hinta ennen kuin valmistuserää on optimoitu. Yhden koneen kohdalla asetusaikaa ei voitu tarkastaa, koska käytettävä kone oli vaihtunut, eikä oikeaa dataa ollut saatavilla tarkasteltavalta aikaväliltä. Tämän koneen kohdalla päädyttiin käyttämään aikaisempaa asetusaikaa.

**Taulukko 13** Tarkistettujen asetusajkojen suhteellinen muutos asetusten kokonaiskustannuksiin

Nimike	Vaihtojen määrä	Asetus kpl	Tarkistettu asetus kpl	Erotus
Nimike 1	59	1	0,61	-0,39
Nimike 2	32	1	0,28	-0,72
Nimike 3	30	1	0,28	-0,72
Nimike 4	37	1	0,28	-0,72
Nimike 5	23	1	1,00	0,00
Nimike 6	17	1	1,33	0,33
Nimike 7	34	1	0,83	-0,17
Nimike 8	21	1	0,89	-0,11
Nimike 9	29	1	0,83	-0,17
Nimike 10	17	1	1,11	0,11
				<u>-2,56</u>

Kun näiden nimikkeiden optimaalinen valmistuserä lasketaan oikeaa asetusajkaa käyttäen, saadaan taulukon 14 kaltaisia tuloksia. Tulokset eroavat selkeästi riippuen siitä, mitä laskutapaa käytetään. Tarkin tapa on tietenkin laskea optimaalinen valmistuserä käyttäen tarkimpia lukuja eli tässä tapauksessa tarkistettua asetushintaa. Nämä tutkitavat nimikkeet ovat ruiskuvalutiimin a-luokan nimikkeitä. Asetusaikojen tarkistus aiheuttaa sen, että esimerkiksi ruiskuvalutiimin nimikkeen neljä valmistuserä olisi vain 12000, joka on tuotteen lavakoko. Tämä johtuu siitä, että tällä tuotteella on tuotannossa oma kone. Asetusaika on vain puoli tuntia, koska täytyy vain odottaa, että kone lämpii, eikä esimerkiksi muottia ei tarvitse vaihtaa. Tämä ei kuitenkaan ole välttämättä järkevää, jos mietitään kysyntää vuositasolla. Kuten taulukosta huomataan, asetusajkojen tarkistaminen ei aiheuta näille nimikkeille määrällisesti enempää optimointeja. Siksi tarkasteluun haluttiin ottaa lisää ruiskuvalutiimin nimikkeitä alemmista luokista. Nämä nimikkeet on käsitelty kappaleessa 5.4.

**Taulukko 14** Asetusaikojen tarkistusten vaikutus

Nimike	Nykyinen valmistuserä	EOQ	Optimoitu valmistuserä asetusaika huomioiden	Nykyinen suunniteltu kierto	EOQ kierto	EOQ kierto asetusaika huomioiden	Tavoite kierto
Nimike 1	54000	84600	66600	15,8	14,7	15,3	25
Nimike 2	57600	74400	38400	27,9	24,5	33,1	25
Nimike 3	43200	47520	25920	31,7	30,1	40,1	25
Nimike 4	168000	312000	12000	37,6	26,4	69,5	25
Nimike 5	12960	20520	20520	14	11,9	11,9	22
Nimike 6	27000	30000	34500	23,7	22,1	20	22
Nimike 7	16800	40800	38400	34,4	20	20,9	22
Nimike 8	126000	315000	315000	26,1	13,6	13,6	22
Nimike 9	5760	11730	11040	32,1	20,3	21,2	22
Nimike 10	14400	23400	18000	19,8	14,2	17,1	18

Konkreettinen hyöty asetusaikojen päivityksestä saadaan nimenomaan tuotekustannuslaskennassa ja tuotannosuunnittelussa. Asetuksen hinta on tällä hetkellä kaikilla koneilla ja tuotteilla sama. Tarkennus tehtiin ajamalla raportit sarjamääristä ja konekäytön tunneista. Tämän jälkeen asetusaika jaettiin sarjamäärillä konekohtaisesti. Näin saatiin aika, joka keskimäärin kuluu asetuksiin konekohtaisesti. Ajan hintana käytettiin samaa arvoa kuin aiemmin. Laskutapa ei vielä kukaan kerro koko totuutta, sillä samalla koneella voidaan ajaa useampaakin tuotetta, mutta on silti tarkempi kuin aiempi. Tämä päivitys on mahdollista toteuttaa myös käytännössä päivittämällä järjestelmän hintakalkyyliin asetuksen hinnat oikein.

Fyysinen asetusaikojen säätö ei ole tämän tutkielman tarkoitus, mutta asetusaikojen lisäksi myös itse asetukseen voi kiinnittää huomiota. Voidaanko jotain tehdä eri lailla. Jo hankita vaiheessa voidaan kiinnittää huomiota niihin seikkoihin, jotka vaikuttavat asetusaikoihin. Asetuksissa tehtäviin säätöihin ja niiden määrään vaikuttaminen suunnitteluvaiheessa voi olla ratkaisevassa osassa pohdittaessa investoinnin kannattavuutta (Goubergen & Landeghem, 2002).



## 5.4 Alempien luokkien käyttäytyminen

Tutkimukseen päätettiin ottaa mukaan vielä muutama ruiskuvalupuolen nimike lisätarkasteluun, jotta saadaan parempi käsitys siitä, mitä tuloksia ekonomisen eräkoon kaavalla saadaan. Tuloksena on, että optimointien suhteellinen määrä pysyy suunnilleen samana, kun otetaan mukaan c ja d luokan tuotteita. Jos a- luokan nimikkeistä optimoitiin 3/10, niin nyt optimoinnin kohteeksi päätyi 8/20 nimikettä. C-d luokan esimerkkinimikkeiden optimoinnit asetusajat tarkistettuna on taulukossa 15.

**Taulukko 15** Eräkoon lisätarkastelu ruiskuvalutiimissä

luokka	Nimike	Nykyinen valmistuserä	Optimoitu valmistuserä asetusaika huomioiden	Nykyinen suunniteltu kierto	EOQ kierto, asetusaika tarkistettu	Tavoite kierto
C	Nimike 11	96000	160000	20,5	14,6	18
C	Nimike 12	144000	256000	18	13,9	18
C	Nimike 13	6000	10800	21,6	14,6	18
C	Nimike 14	18000	54000	21	9,5	18
C	Nimike 15	27000	81000	19,2	8,5	18
C	Nimike 16	60000	66000	18,3	17,2	18
C	Nimike 17	7680	23040	20,1	9	18
C	Nimike 18	14400	21600	18,8	14,2	18
C	Nimike 19	72000	144000	18	10,9	18
C	Nimike 20	45000	37800	17,3	19,3	18
D	Nimike 21	9000	6600	12	15,1	12
D	Nimike 22	60000	72000	18,5	16,4	12
D	Nimike 23	19600	16800	12,8	14,4	12
D	Nimike 24	81000	81000	12,9	12,9	12
D	Nimike 25	5400	7200	15,7	12,8	12
D	Nimike 26	10800	9600	11,8	12,9	12
D	Nimike 27	108000	252000	14,2	7,2	12
D	Nimike 28	120000	72000	15,3	21,3	12
E	Nimike 29	9960	19200	10,9	6,3	9
D	Nimike 30	45000	90000	12,6	7,2	12

Asetusaikojen vaikutusta haluttiin tutkia myös e-luokan tuotteilla. Tähän otettiin yhdeksän nimikettä ja tulokset ovat taulukossa 16. Tässä luokassa huomataan, että asetusajoilla on merkitystä varsinkin silloin kun kulutus on hieman vähäisempää. Tällöin valmistuserä koko vaikuttaa enemmän esimerkiksi nimikkeen varastonkiertoon. Taulukossa on merkitty vihreällä ne kohdat, kun optimointi on pätevä kiertotavoite huomi-

oon ottaen. Tulokset jatkavat samaa linjaa muiden tulosten kanssa siinä, että valmistuserä koko kasvaa, silloin kun optimoidaan.

**Taulukko 16** Alemman luokan asetusajat

luokka	Nimike	Nykyinen valmistuserä	EOQ	Optimoitu valmistuserä asetusaika huomioiden	Nykyinen suunniteltu kierto	EOQ kierto	EOQ kierto asetusaika huomioiden	Tavoite kierto
E	Nimike 1	12000	48000	36000	15,2	5,1	6,6	9
E	Nimike 2	4800	14400	7200	19	8,3	14,4	9
E	Nimike 3	4800	8000	4800	9,1	6,2	9,1	9
E	Nimike 4	19200	33600	28800	12,4	8,6	9,6	9
E	Nimike 5	12600	18900	18900	8,9	6,6	6,6	9
E	Nimike 6	14400	23400	23400	17	13,3	13,3	9
E	Nimike 7	7200	10080	8640	10	7,9	8,8	9
E	Nimike 8	14400	25200	18000	11,2	7,6	9,7	9
E	Nimike 9	54000	90000	90000	9,1	6,2	6,2	9

Taulukosta nähdään, että ilman asetusaikojen tarkastelua olisi voitu optimoida vain yksi nimike, koska muutoin kustannukset eivät olisi laskeneet. Kun asetusajat tarkistetaan, voidaan optimoida viisi nimikettä kahdeksasta mahdollisesta. Tämä todistaa sen, että asetusaikojen tarkastelu on merkityksellistä silloin, kun valmistuserää halutaan optimoida. Näiden nimikkeiden vaihdot vähenisivät 88 kappaleesta 58 kappaleeseen eli yhteensä 30 kappaleella. Tämä on suuri määrä näin pienelle määrälle nimikkeitä. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että sarjojen ajat pitenevät, joka tarkoittaa, että jonotusajat kasvavat.

## 5.5 Taloudellisen eräkoon pätevyys

Ongelmaksi tuotekustannuslaskennassa muodostuu tällä hetkellä se, että SAPin avulla tuotekohtaisia kustannuksia laskettaessa vain asetuskustannuksen vaikutus huomioidaan, koska muut kustannukset tulevat yleiskustannuslisien mukaan. Koska yleiskustannuslisä on prosentti, se on aina suhteessa sama, vaikka valmistuserän kokoa muutetaan. Tämän vuoksi emme saa tarkkoja lukuja tällä hetkellä. Jos esimerkiksi leikataan valmistuserän koko puoleen, sen kustannus tuotetta kohti kasvaa sapin mukaan, koska

asetuskustannus on sama ja muut kustannukset muuttuvat vain suhteessa. Työn ja materiaalien kustannuksissa tämä on vielä ymmärrettävissä, mutta esimerkiksi varastoinnin kanssa ei ole.

Varastoinnista laskutetaan yritykseltä käsittelykulut ja lavapaikkojen vuokra vuokrattujen lavapaikkojen mukaan. Luonnollisesti jos valmistuseräkokoja leikataan, niin todennäköisesti lavapaikkojen määrä vähenee, mutta käsittelyjen määrä lisääntyy, koska tuotetta lähetetään useammin. Tämän vuoksi kustannusparametrejä päätettiin tarkentaa. Todellisuudessa varaston laskutusten euromäärät ovat pudonneet esimerkiksi vuoden 2019 ajalla noin 23 prosenttia kuukaudessa, jos verrataan tammikuuta ja syyskuuta. Tämän on aiheuttanut valmistuseräkokojen muuttaminen manuaalisesti kiertotavoitteiden mukaisiksi. Valmistuseräkokojen muuttamisesta aiheutuvat varastoinnin kulut näemme siis vuoden jälkikäteen, koska yleiskustannuslisät päivitetään kerran vuodessa.

Suhdeprosentin mukaiset luvut aiheuttavat sen, että tutkittavien tiimien tuotteiden kustannukset eivät muuttuneet optimoinnin myötä juuri lainkaan. Tutkittavien tuotteiden valmistuseräkoot ovat sen verran suuria ja asetuskustannukset sen verran pieniä, että valmistuseräkoon muuttamisella ei juuri ollut vaikutusta tuotteen valmistushintaan. Taulukossa 17 on vertailtu tiimin kaksi hintoja ennen optimointia ja optimoinnin jälkeen. Voidaan huomata, että ainoastaan nimikkeen neljä hinta muuttui, koska sen valmistuserä tuplattiin. Valmistushinnan laskua per tuote on 20 prosenttia. Ero aiheutuu pyöristyksistä, koska tarkat hinnat ovat niin monen desimaalin tarkkuudella ja optimoitu hinta pyöristyy sentin alaspäin. Ilman pyöristyksiä erotukseksi jää vain neljä prosenttia verrattuna pyöristettyyn hintaan. Tässä ei ole kuitenkaan huomioitu muiden kustannusten tarkkaa nousua, koska ne tulevat yleiskustannuslisän perusteella. Täysin hyödytön optimointitapa tämä ei kuitenkaan ole, koska selvästi esimerkiksi tiimissä 2 on mahdollista saada hyötyä, vaikka otetaan kiertotavoitteet huomioon.

**Taulukko 17** Kappalehintojen muutos

Nimike	Kustannus/kpl	Pyöristetty prosentuaalinen muutos
Nimike 1	4,44	0,00
Nimike 2	3,97	0,00
Nimike 3	10,88	0,00
Nimike 4	1,00	-0,20
Nimike 5	11,10	0,00
Nimike 6	10,44	0,00
Nimike 7	8,88	0,00
Nimike 8	0,87	0,00
Nimike 9	37,52	0,00
Nimike 10	5,11	0,00

Sarjakokojen muutoksilla on vaikutusta myös jonotusaikoihin, koska eräkoot ja sen seurauksena erien määrät muuttuvat. Täten sarjojen läpimenoajatkin joko lyhenevät tai pitenevät, riippuen kasvaako vai pieneneekö sarjakoko. Todellinen jonotusajan muutos olisi laskettavissa siten, että esimerkiksi tiimin kaikki nimikkeet optimoitaisiin ja laskettaisiin sen jälkeen kuinka paljon sarjojen läpimenoajat ja määrät muuttuisivat. Tätä tietoa verrattaisiin olemassa olevaan tietoon tiimin kapasiteetista. Tässä tutkielmassa on kuitenkin vain muutama nimike per tiimi, joten jonotusaikojen todellista määrää on vaikeampi arvioida.

## 5.6 Economic production quantity EPQ

Valmistuserän optimointiin on olemassa myös muita kaavoja ja tulosten varmistamiseksi tutkielmassa käytettiin myös toista kaava. Kaava on nimeltään *economic production quantity* (EPQ) ja siitäkin on olemassa eri lähteistä katsottuna hieman eri variaatioita. Kaavan merkinnät ovat samat kuin EOQ-kaavassa, mutta lisäksi on:

$d$  = Päivittäinen kysyntä = vuotuinen kysyntä/työpäivät

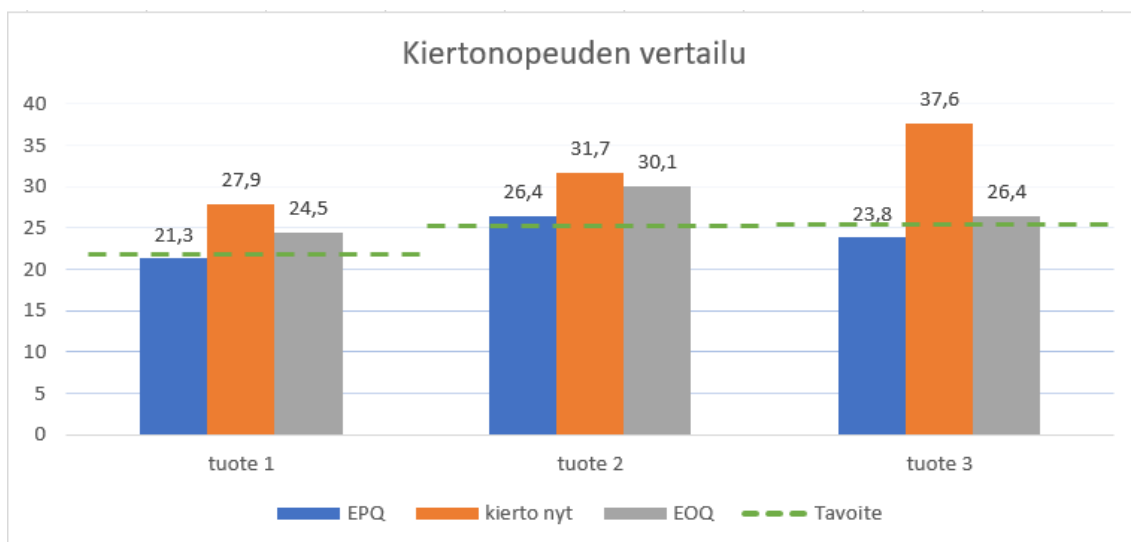
$p$  = Tuotanto päivässä

Kaava (Krajewski & Lee, 2002):

$$EPQ = \sqrt{\frac{2AD}{h} * \frac{p}{p-d}} \quad (19)$$

Kaava siis pohjautuu EOQ-kaavaan. Kaavaa päätettiin käyttää, jotta varmistuttiin siitä, että tulokset ovat oikeansuuntaiset. Optimointimäärien kannalta tulokset olivat lähes samat kuin EOQ-kaavalla saadut tulokset. Kokoonpanopuolella ensimmäisen tiimin eräkoot olivat suurempia kuin EOQ-kaavalla ja toisen kokoonpanotiimin kohdalla tulokset olivat täysin samoja yhtä poikkeusta lukuun ottamatta kuin EOQ-kaavalla saadut tulokset. EPQ-kaavaa käytettäessä tehty huomio on, että tulokset ovat saman suuntaiset, mutta kaava suhtautuu varovaisemmin valmistuseräkoon ja suosii suurempaa eräkoko kuin EOQ-kaava. Taulukossa 18 on vertailussa ruiskuvalupuolen kolme optimoitavaa nimikettä. Vertailusta näkee, kuinka EOQ ja EPQ eroavat toisistaan. Huomataan että optimoitaessa kierto hidastuu ja EPQ-kaavalla ei voitaisi optimoida kuin yksi nimike, koska kahdella muulla ei kiertotavoite täyty.

**Taulukko 18** Tiimin 2 kiertonopeuden vertailu eri optimointitavoilla



Nimikkeiden pohjatietoina on käytetty samoja tietoja kuin EOQ-analyysiä tehdessä. Päivittäinen kysyntä on saatu jakamalla vuosittainen kysyntä työpäivillä. Tässä tapauk-

sessä päiviä on arvioitu olevan 250. Tutkielmassa puhutaan jatkossa EOQ-kaavasta, koska optimointi päätettiin tehdä sitä käyttäen. Tulokset eivät kuitenkaan eroa, vaikka käytettäisiin EPQ-kaavaa.

### **5.6.1 Eräkoon dynaamisuus**

Tällä hetkellä eräkoon dynaamisuus toteutuu yrityksessä siten, että kun kysyntä on suurempi kuin tuotettava eräko, käskää SAP tuottaa riittävän monta valmistuserää, jotta kysyntä saadaan tyydytettyä. Valmistuserän dynaamisuuden toteuttamiseen reaaliajassa myös valmistuseräkoon pienentämiseen, voisi mahdollisesti käyttää tekoälyä. Tällöin tekoäly päivittäisi valmistuseräkoon aina kun tuote on tulossa valmistukseen. Tähän tarvittaisiin jokin kaava, jota tekoäly yhdessä toiminnanohjausjärjestelmän kanssa soveltaisi. Tähän ei tutkielmassa koettu tarvetta löytää parempaa ratkaisua, koska olemassa oleva dynaamisen eräkoon toteutus on todettu tarpeet täyttäväksi, eikä todellisia resursseja tämän toteuttamiseen juuri nyt ollut saatavissa. Automaattinen päivittäminen valmistuseräkokoihin vaatisi olemassa oleviin ohjelmiin ohjelmistomuutoksia.

Yritys on tällä hetkellä mukana kehitysprojektissa, jossa on tarkoitus kehittää tekoälyllä toimiva työnjohtaja. Tämän tekoälyn avulla toimivan työnjohtajan tarkoitus on auttaa oikeaa työnjohtajaa työn suunnittelussa ja varastonhallinnassa. Tekoälyllä olisi reaaliaikainen tieto tehtaan tilanteesta. Tämän tiedon avulla se voi tehdä ennusteita ja tiedottaa tulevista tapahtumista. Tekoälyn avulla tehtaan suorituskyky paranee, koska ihmisen ei tarvitse käyttää esimerkiksi tehtaan joka päiväiseen kuormittamiseen niin paljoa aikaa (Toivonen, 2019).

## **5.7 Tuotekustannuslaskenta**

Tuotekustannuslaskennassa yleiskustannuslisästä pyrittiin erottelemaan kustannuksia, joita voitaisiin kohdistaa tarkemmin tuotteille. Nopeasti selvisi syy, miksi yleiskustan-

nuslisä on olemassa. Yleiskustannuslisästä on hyvin vaikea lähteä erottelemaan tekijöitä erilleen, koska niiden suhde tuotteeseen ei ole niin selkeä.

Myynnistä ja ostopaikoista aiheutuvia kustannuksia eroteltiin toiminnanohjausjärjestelmään kertyneiden rivien perusteella. Yhdellä rivillä saattaa olla useampi nimike, joten nimikkeille kohdistuvat kustannukset ovat laskettu suhdeluvulla rivien perusteella. Esimerkiksi jos rivillä on kaksi eri nimikettä, nimike saa suhdeluvun 0,5. Nimikkeille kohdistuvat suhdeluvut on laskettu yhteen, jolloin saadaan kerroin, jolla kerrotaan rivikohtainen kustannus. Rivikohtainen kustannus on saatu jakamalla kokonaiskustannus rivien määrällä.

Kohdistusten jälkeen kokonaissummasta saatiin kohdistettua 82% kustannuksista. Loput 18% kustannuksista jäisivät edelleen yleiskustannuslisään. Taulukossa 19 on yhteenveto kustannusten jakaumasta kohdistuksen jälkeen. Kohdistamatta jääneet kustannukset johtuvat siitä, että osa riveistä ei sisältänyt nimikkeitä vaan muuta yrityksen toimintaan liittyviä asioita. Näin ollen kyseisiä kustannuksia ei voida kohdistaa tuotteille tätä menetelmää käyttäen. On syytä myös huomioida että, implementoitaessa tätä käytäntöön, osassa nimikkeissä kohdistettu myynnin ja oston lisä on useita euroja. Tällöin on syytä jättää summa kohdistamatta ja lisätä se yleiskustannuslisään. Luvut eivät siis ole aivan absoluuttisia totuuksia, mutta antavat hyvin suuntaa.

**Taulukko 19** Kohdistetut kustannukset

	Prosenttia
Kokonaiskustannukset	100
oston osuus	45
Myynnin osuus	55
Kohdistettu	82
Kohdistamatta	18

Myynnin osuus oston ja myynnin kokonaiskustannuksista on 54%. Oston osuus on näin ollen 46%. on 600000 euroa ja oston osuus 500000 euroa. Näistä kustannuksista 82 prosenttia saadaan kohdistettua, jos ei oteta huomioon niitä nimikkeitä, joilla kusan-

nukset ovat liian suuria per tuote ollakseen mahdollisia kohdistaa. Taulukossa 20 on tässä tutkielmassa aiemmin käytettyjen esimerkinimikkeiden tulokset. Taulukosta nähdään tämän hetkinen valmistuskustannus per tuote ja siitä on eritelty tämän hetkinen yleiskustannuslisän osuus, jotta nähdään paremmin, kuinka paljon kohdistettu osuus olisi nykyisestä yleiskustannuslisästä. Huomioitavaa on, että yleiskustannuslisästä poistuisi oston ja myynnin osuus, jos niiden kulut kohdistettaisiin. Tämän vuoksi tämäkään data ei ole aivan validi, mutta antaa jälleen kerran suunnan sille, kuinka paljon olisi kohdistettu kustannus per tuote yleiskustannuslisästä. Taulukossa jokaisen tiimin halvimman nimikkeen arvoksi on asetettu yksi ja muita on vertailtu suhteellisina lukui-  
na tähän hintaan.



Taulukko 20 Tuotekohtaiset kohdistukset

Nimike	Nimikkeen kokonaiskustannus	Yleiskustannuslisän %-osuus	Kohdistuksen % osuus yleiskustannus lisästä	
<b>Kokoonpanotiimi 1</b>				
Nimike 1	1,45	6 %	20 %	
Nimike 2	1,69	8 %	27 %	
Nimike 3	3,17	15 %	6 %	
Nimike 4	1,57	5 %	33 %	
Nimike 5	1,03	21 %	8 %	
Nimike 6	1,43	6 %	20 %	
Nimike 7	1,51	5 %	33 %	
Nimike 8	1,00	16 %	17 %	
Nimike 9	4,45	17 %	6 %	
Nimike 10	2,74	15 %	11 %	
Nimike 11	2,84	21 %	8 %	
<b>Kokoonpanotiimi 2</b>				
Nimike 1	14,97	7 %	16 %	
Nimike 2	115,34	14 %	7 %	
Nimike 3	6,55	11 %	19 %	
Nimike 4	8,10	8 %	21 %	
Nimike 5	19,07	7 %	31 %	
Nimike 6	8,45	7 %	22 %	
Nimike 7	7,48	18 %	10 %	
Nimike 8	11,38	6 %	25 %	
Nimike 9	5,69	12 %	26 %	
Nimike 10	1,00	28 %	13 %	
Nimike 11	6,45	11 %	24 %	
Nimike 12	6,48	19 %	11 %	
Nimike 13	9,90	7 %	26 %	
Nimike 14	9,69	7 %	21 %	
Nimike 15	14,38	23 %	14 %	
<b>Ruiskuvalutiimi</b>				
Nimike 1	7,00	24 %	40 %	
Nimike 2	6,33	26 %	20 %	
Nimike 3	16,33	18 %	22 %	
Nimike 4	1,00	33 %	0 %	
Nimike 5	16,67	30 %	27 %	
Nimike 6	15,33	30 %	14 %	
Nimike 7	13,33	30 %	8 %	
Nimike 8	1,00	33 %	0 %	
Nimike 9	56,67	24 %	10 %	
Nimike 10	7,67	26 %	50 %	

Taulukosta nähdään, että kustannukset jakautuvat järkevästi tutkittujen nimikkeiden kesken. Yleisenä trendinä on, että mikäli yleiskustannuksen prosenttimääräinen osuus tuotteen hinnasta on pieni, silloin useassa tapauksessa kohdistuksen prosenttimääräi-

nen osuus on suurempi. Tuotteiden hintoihin verrattaessa kohdistuksen euromääräinen osuus on järkevä, koska kohdistuksen prosenttiosuuden vaihteluväli on 0-50%. Suurin prosenttimääräinen osuus on 50 prosenttia. Suurimalla osalla nimikkeistä kohdistuksen osuus on prosentuaalisesti maltillisempi lukema.

Joillekin tutkittaville nimikkeille ei kohdistu ollenkaan kuluja. Näiden yleiskustannuslisän voidaan olettaa pienenevän, koska näiden nimikkeiden yleiskustannuslisässä ei ole enää mukana oston ja myynnin kustannuksia. Korkein prosenttiosuus kohdennetuista kustannuksista on 50%, mutta tämä johtuu vain siitä, että kyseisen nimikkeen yleiskustannuslisän osuus kokonaisuudessaankin hyvin pieni.

## 6 Tutkimustulokset

### 6.1 Optimaalinen valmistuserä

Tutkielman tutkiva osuus käsittelee ensin valmistuseräkokoja. Eräkokoja huomataan kasvavan, jos optimoidaan vain EOQ-kaavaa käyttämällä. Tällöin hyvästä varaston kierrosta saatavat edut jäävät hyödyntämättä. Optimaalisen eräkoon löytäminen voidaan sanoa olevan kokemuksen tuomaa, eikä tätä kaikkea kokemusta haluttu heittää pois. Siksi ehto on kiertotavoitteen täyttymiseen asetettu, sillä varaston optimointi on ollut yksi kuluvan vuoden pääteemoista. Ehdon asettamisen jälkeen kaavan tulokset ovat käyttökelpoisia.

Kun kaavan käyttäytymistä oppi tutkielman kuluessa ymmärtämään, päätettiin tutkielmaan ottaa hieman alemman kiertoluokan nimikkeitä mukaan, jotta ymmärtää paremmin kaavan käyttäytymistä. Alempien nimikkeiden kohdalla tulokset yllättivät enemmän kuin osattiin odottaa. Asetusaikojen tarkastaminen oli merkittävä tekijä alemman luokan nimikkeitä optimoitaessa. Ilman asetusaikojen tarkastelua vain yksi nimikkeistä olisi optimoitu. Asetusaikojen tarkastelun jälkeen 5/9 nimikettä optimoitiin. Muutos oli siis merkittävä. Yleisesti ottaen toiminta on kaavaankin peilaten hyvällä tasolla mutta optimoitavia nimikkeitä löytyy silti edelleen.

#### 6.1.1 Huomioitavat asiat taloudellisen eräkoon kaavasta

Hektisessä tuotannossa jonotusaikojen ja pitkien asetusaikojen merkitys kasvaa. Siksi EOQ-kaavaa ei voi tulkita sokeasti, koska se ei ota esimerkiksi vaihtoihin kuluvaan aikaan huomioon muuten kuin kustannuksina. Toisin sanoen, vaikka kustannukset ovat alhaisia, mutta vaihtoihin kuluu paljon aikaa ja prosessi kärsii, ei tuotetta kannata silloin valmistaa niin kuin kaava käskee. Tämä siis siinä tapauksessa, jos kaavan mukaan kannattaisi tehdä pienissä erissä. Yleisesti voidaan kuitenkin tutkimuksen perusteella sanoa, että tässä tutkielmassa tutkittujen nimikkeiden kohdalla kaava pyrkii yleensä kas-

vattamaan eräkokoja. Poikkeuksellisen pitkissä asetusajoissa asia kannattaa kuitenkin ottaa huomioon.

EOQ-malli sisältää myös oletuksia, joten tulosten tulkinnassa on otettava huomioon myös oletukset.

- Tuotteen kysyntä on vakio
- Tuotannon kapasiteetilla ei ole rajoitteita
- Kaava ottaa huomioon vain asetus ja varastointikustannukset
- Valmistuserä valmistuu eräkoossa, ei vähitellen
- Tuotteet ovat yksilöllisiä, ne eivät ole riippuvaisia muista tuotteista (Krajewski;Ritzman;& Malhotra, Operations Management: Processes and supply chains, 2013)

EPQ-malli poikkeaa EOQ -mallista siten, että se ottaa huomioon valmistusajan kysynnän. Tutkielmassa ei tuloksissa ollut kuitenkaan eroa sillä, kumpaa kaavaa käyttää.

### **6.1.2 Taloudelliset vaikutukset**

Taloudellisen eräkoon kaavalla saatavat kustannushyödyt koskevat asetuskustannuksia ja varastointikustannuksia. Yrityksessä on jo dataa siitä, että optimoimalla tuotantoa on saatu varastointikustannuksia alemmaksi. Vuoden 2019 aikana tehdyt toimenpiteet ovat laskeneet varastokustannuksia kuukausitasolla noin 16 prosenttia. Koska varasto on kolmannen osapuolen ylläpitämä varasto, kustannukset pitävät sisällään käsittelykustannukset ja tilavuokrakustannukset. Vielä ei ole dataa siitä, mihin arvoon varastointikustannus asettuu toimenpiteiden jälkeen, mutta jos kuukausittainen laskutus on 16 prosenttia pienempi kuin ennen, on se suuri säästö vuodessa.

Varastointikustannukset nousevat optimoinnin jälkeen hieman kuten taulukosta 21 nähdään, mutta vaihtojen lukumääräinen väheneminen laskee asetuskustannuksia vuositasolla enemmän kuin varastointikustannukset nousevat. Tästä johtuen kokonais-

kustannukset laskevat kaikkien tutkittavien nimikkeiden kohdalla kaksi prosenttia vuodessa. Tämä summa sisältää myös tutkielmassa olevat alempien luokkien nimikkeet.

**Taulukko 21** Taloudelliset vaikutukset prosentuaalisina muutoksina

Varastokustannusten muutos		
Kustannus nyt vuodessa	Optimoitu kustannus vuodessa	muutos
100 %	103 %	3 %

Asetuskustannusten muutos		
Asetuskustannus tällä hetkellä vuodessa	Optimoitu asetuskustannus vuodessa	
100 %	95 %	-5 %

Säästö vaikuttaa hyvin pieneltä euromääräisesti, mutta tässä tutkielmassa käsiteltiin noin viidelle prosentille kaikista nimikkeistä. Kun optimointi toteutetaan kaikille nimikkeille, saadaan todennäköisesti suurempia säästöjä. Varastokustannuksiin on otettu varmuusvaraston aiheuttama kustannus mukaan, vaikka EOQ-kaavalla laskettaessa kaava ei ota sitä suoraan mukaan. Näihin analysoituihin tuloksiin se on otettu kuitenkin jälkikäteen mukaan, jotta saadaan selville todellinen muutos.

### 6.1.3 Optimaalisen eräkoon mahdollisuudet

Optimaalisen valmistuserän kaava todettiin hyödyntämisen arvoiseksi myös jatkoa ajatellen. Yrityksellä on käytössä Microsoftin PowerBi-ohjelmisto. Tähän kyseiseen ohjelmaan on ajatuksen tasolla mietitty mahdollisuutta lisätä ominaisuus, joka näyttäisi dynaamisesti optimaalisen valmistuserän aina silloin, kun tuotetta on tarkoitus valmistaa. Toisin sanoen aamuisin, kun valmistuskehotukset ovat tiedossa, järjestelmästä näkisi jokaisen kehotuksena olevan nimikkeen optimaalisen valmistuserän. Tämä ominaisuus tekisi tuotannosta entistä joustavamman.

Jotta toiminnosta saataisiin järkevä, pitää tutkia saadaanko PowerBi-järjestelmään ajettua sisään oikeat tiedot automaattisesti aamuisin. Tarvittavat tiedot kaavan toimintaa varten ovat nimikkeen asetusajat, varastoinnin hinta, vuosikulutus ja valmistuskehotukset. Tämän toiminnon olisi tarkoitus myös dynaamisen tuotannon lisäksi lisätä tietoisuutta tuotannon tilasta aamuisin. Oikeanlaisten raporttien avulla saa täsmällistä tietoa siitä, mitä nimikkeitä pitäisi tehdä, milloin niitä pitäisi tehdä ja minkä verran. Toiminnon integroiminen ei tapahdu hetkessä, mutta on täysin mahdollista toteuttaa yhteistyössä palveluntarjoajan kanssa.

#### **6.1.4 Kustannusten muutosten vaikutus valmistusrään**

EOQ-malli käyttäytyy siten, että optimaalinen valmistuserä on sellainen, jossa asetus-kustannukset ja varastointikustannukset ovat optimaalisessa suhteessa toisiinsa. Siten jos esimerkiksi varastointikustannukset puolittuisivat, valmistuserät kasvaisivat kaavan mukaan. Sama pätee myös toisinpäin eli jos asetuskustannukset laskevat suhteessa varastointikustannuksiin tai varastointikustannukset nousisivat suhteessa asetuskustannuksiin niin valmistuseräkoko pienisi.

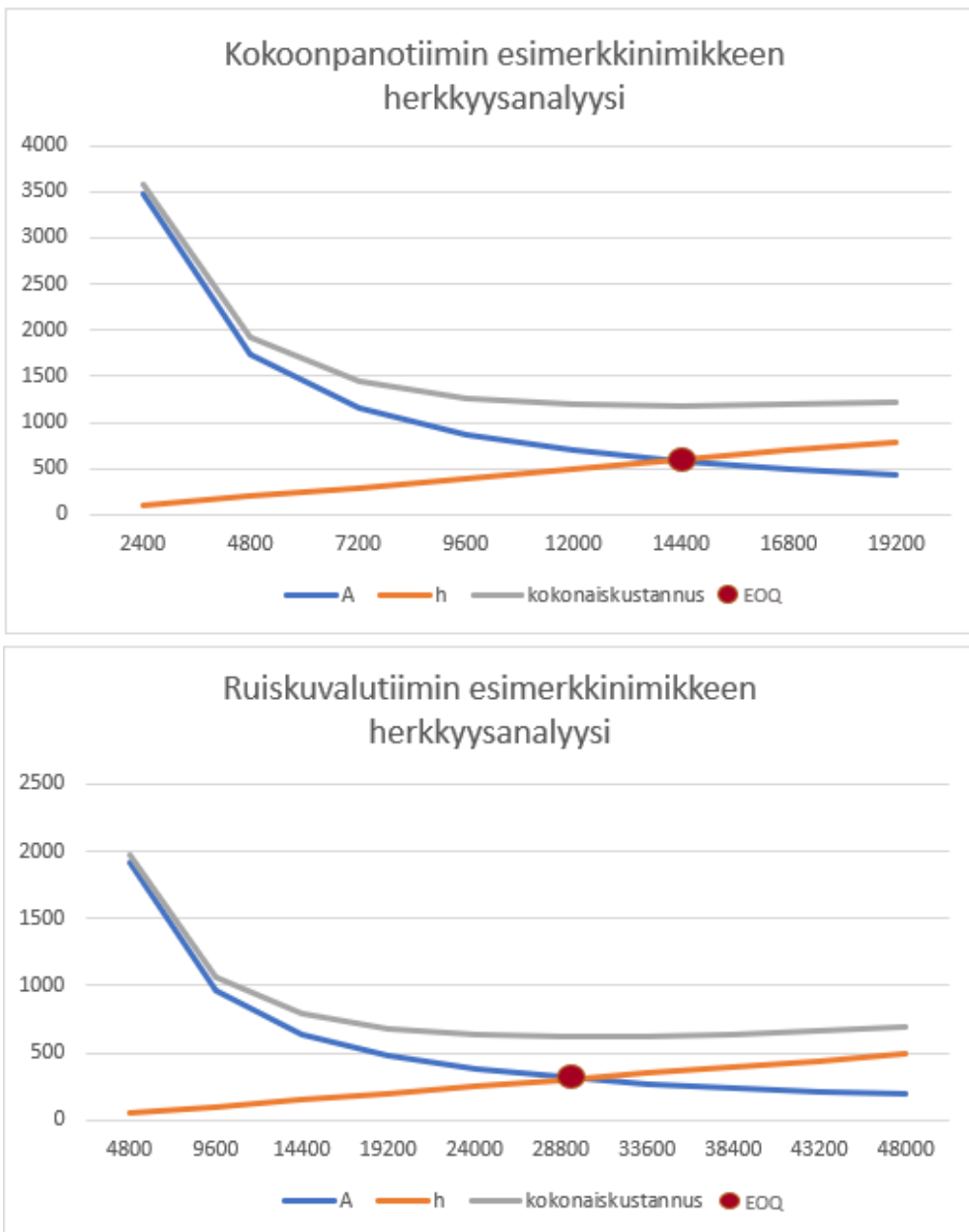
Taulukossa 22 on vertailtu optimaalista valmistuserää yhden kokoonpanotiimin kohdalla, jos varastointikustannus tai asetuskustannus olisi puolet nykyisestä hinnasta. Vertailuluvut ovat EOQ-kaavalla saatu valmistuseräkoko, puolittaisella varastointikustannuksella ja puolittaisella asetuskustannuksella EOQ-kaavan avulla laskettu tulos. Taulukosta voi vetää johtopäätöksen, että yrityksen kannattaa panostaa asetusajojen minimoimiseen. Ulkopuolisen varaston hintoihin on vaikeampi vaikuttaa kuin omien asetusajojen kustannuksiin. Asetusajojen kustannusten ja siihen kuluvan ajan lasku ajaa myös yrityksen tavoitteita, sillä varastonarvo halutaan pitää alhaisempana, jota pienemmät valmistuserät tukevat.

**Taulukko 22** Tulokset vaihtoehtoisilla kustannuksilla

Tiimi	Nimike	EOQ	50% varastointi- kustannus	50% asetus- kustannus
1	Nimike 1	14400	20400	9600
1	Nimike 2	9600	13200	7200
1	Nimike 3	7200	10800	4800
1	Nimike 4	7200	9600	4800
1	Nimike 5	9000	14400	7200
1	Nimike 6	6000	9600	4800
1	Nimike 7	6000	8400	3600
1	Nimike 8	18000	24000	12000
1	Nimike 9	3600	4500	2700
1	Nimike 10	5400	7200	3600
1	Nimike 11	3600	4800	2400
3	Nimike 1	2100	3500	1400
3	Nimike 2	700	1050	350
3	Nimike 3	2100	2800	1400
3	Nimike 4	2800	3500	2100
3	Nimike 5	700	1400	700
3	Nimike 6	2100	3500	1400
3	Nimike 7	2100	3500	1400
3	Nimike 8	1400	2100	1400
3	Nimike 9	2100	2800	1400
3	Nimike 10	18900	25200	12600
3	Nimike 11	1400	2100	700
3	Nimike 12	2100	2800	1400
3	Nimike 13	1400	2100	1400
3	Nimike 14	1400	2100	1400
3	Nimike 15	700	1050	350

Herkkyysanalyysillä voidaan tutkia eri parametrien vaikutusta niitä muuttamalla (Inoue, 2019). Tässä tutkielmassa havainnollistetaan herkkyysanalyysillä, kuinka kustannukset muuttuvat valmistuseräkoon muuttuessa. Kuvassa 11 on sekä erään kokoonpanopuolen nimikkeen että erään ruiskuvalupuolen nimikkeen herkkyysanalyysi. Kuvaajat kertovat optimaalisen eräkoon. Kokonaiskustannus on nimikkeen valmistuksesta aiheutuvat kustannukset vuodessa. Tuotekohtainen kustannus saadaan jakamalla kokonaiskustannus vuotuisella kysynnällä. Kuten analyyseistä huomaa, ei esimerkiksi kokoonpanotii- min nimikkeen kohdalla tapahdu enää kovin suurta pudotusta kustannuksissa sen jäl- keen, kun valmistuserä koko ylittää 9600 kappaleen eräkoon. Samoin huomataan myös ruiskuvalupuolen nimikkeellä. Tämä asia on hyvä huomioida, jos epäröi valmistuserä-

koon kustannusten nousun kanssa, silloin kun valmistuseräkkoa muuttaa. Alla olevissa herkkyyssanalyysissä EOQ-mallilla laskettu optimaalinen valmistuserä on merkattu punaisella pisteellä. Pystyakselilla on kokonaiskustannukset ja vaakakselilla valmistuserä.



**Kuva 11** Herkkyyssanalyysi



### 6.1.5 QRM tutkimus

QRM menetelmä pyrkii valmistuksessa vähentämään läpimenoaikoja. Menetelmän avulla voidaan tutkia mahdollista eräkokoa muitakin muuttujia käsitellen, kuin asetus-  
aikoja ja varastointia. Kohdeyrityksen valmistuseräkokoon ei tällä menetelmällä tehty  
muutoksia, mutta kapasiteetin todellisen käyttötehokkuuden mittaamisen voi suorittaa  
tätä menetelmää käyttäen. Hylkäykseen menevistä tuotteista täytyy kerätä tieto, jonka  
avulla voidaan laskea nettotuottavuusprosentti koneille. Esimerkiksi jos koneesta tulee  
10% huonoja kappaleita ja koneen käyttökapasiteetti on 80%, todellinen tehokkuus on:  
 $0,8 \times 0,9 = 0,72$ . Kohdeyrityksessä seurataan koko tuotannon kapasiteetin käyttöastet-  
ta, mutta tällä tavoin mittareista on mahdollista saada vielä tarkempia.

## 6.2 Kustannusparametrit

Kustannusparametreja oli tarkoitus päivittää sen vuoksi, että saataisiin tuotannonohja-  
ukseen jokin muukin näkökulma, kuin varastotavoitteiden näkökulma. Tehtävä osoit-  
tautui kuitenkin hyvin vaikeaksi. Vaikka kustannusparametrien päivitys jäikin hieman  
vajavaiseksi, antoi asetusajkojen tarkastaminen valmistuserän kaavoille kaivattua sy-  
vyyttä. Asetusaikojen merkitys tuotannon suunnittelun kannalta on suurempi kuin kus-  
tannusten kannalta. Tämä ei kuitenkaan haittaa, koska tämän tutkielman tavoitteena  
oli paitsi tehostaa tuotantoa kustannusten näkökulmasta, myös tuottaa mahdollisesti  
tuloksia, jotka auttavat tuotannon dynaamisen toiminnan kehittymisessä.

Kustannusparametrien päivitys onnistui oston ja myynnin kustannusten osalta kohtalai-  
sen hyvin. Melkein miljoona euroa onnistuttiin kohdistamaan nimikkeille. Kohdistami-  
nen toteutettiin yksinkertaisesti jakamalla myynnin ja oston rivit nimikekohtaisiksi ker-  
toimiksi. Kertoimella kerrottiin rivikohtainen kustannus. Yritys hyödyntää toiminnanoh-  
jausjärjestelmää kustannusten kohdistamisessa ja tuotekohtaiset tiedot löytyvät järjes-  
telmästä. Tarkoituksena oli yrittää selvittää, kuinka nimikkeitä voitaisiin ohjata tarkem-  
min, jos kohdistukset olisivat tarkempia. Tarkka kohdistaminen vaatisi kuitenkin paljon

mittaamista ja oikean mittaustavan löytäminen on hankalaa. Tässä tutkielmassa päätettiin hyödyntää olemassa olevaa dataa ja kohdistaa myynnin ja oston kulut niiden kautta. Myös muita keinoja yritettiin mieltä, mutta tämä oli paras mahdollinen tätä tutkielmaa varten.

### 6.3 Asetusajat

Tutkielman tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi päätettiin asetusajoja tarkistaa. Alun perin ajatuksena oli, että asetusajoja tarkastamalla saataisiin tuotekohtaisia kustannuksia tarkennettua, mutta tarkastelun tulokset olivatkin erilaisia. Asetusajoilla huomattiin ruiskuvalupuolella olevan mitättömän pieni osuus tuotteen hintaan, jos valmistuserät ovat suuria. Tutkielmassa keskityttiin tarkastelemaan ruiskuvalupuolen aikoja, koska ne ovat helpommin saatavilla myös tarkkoina arvoina. Ne ovat kuitenkin nimikkeiden reitityksissä tällä hetkellä vain kaikkien asetusten keskiarvona. Täten esimerkiksi tuotannon suunnittelu ei ole niin tarkkaa kuin se voisi olla.

Asetusajan lyhentäminen näkyy paitsi kustannuksissa ja työsuunnittelussa myös lyhentyneissä jonotusajoissa. Asetusajan lyhentämisen miettiminen ja parannusten hakeminen on kannattavaa myös siksi, koska varastotrendi on tällä hetkellä alentaa varastotasoja. Varastotasojen alentaminen vaatii valmistuseräkokojen pienentämistä. Jossain vaiheessa tulee kuitenkin raja vastaan, kun valmistuseräkokoa ei ole asetusajojen pituuden ja toiminnan vakauden vuoksi järkevää pienentää.

Asetusajojen päivittäminen kokoonpanopuolelle on haastavampaa, koska asetuksiin kulunutta aikaa ei kirjata samalla tavoin ylös kuin ruiskuvalupuolella. Kokoonpanopuolella asetusajat ovat tiimeittäin vakiot. Tiimejä on kokoonpanopuolella neljä, jakaantuen tuoteryhmittäin. Niiden päivittäminen nimikekohtaisesti oikein on työläämpää kuin ruiskuvalupuolella. Asetusajoista pitäisi alkaa keräämään dataa ja sen perusteella päivittää uudet asetusajat. Tämän vuoksi tutkielmassa oli varsinaisessa asetusajojen tutkimuksessa ruiskuvalupuolen nimikkeet, koska niiden data oli helposti saatavilla järjes-

telmästä, eikä käsin tehtäviä mittauksia tarvinnut suorittaa. Suositeltavaa olisi kuitenkin mitata tarkat asetusajat myös kokoonpanopuolelle.

Asetusajoilla huomattiin olevan hyvin pieni vaikutus tuotteen hintaan, silloin kun valmistuserä oli suurehko. Asetusaikojen vaikutus nähdään parhaiten pienissä valmistuserissä. Esimerkki pienen valmistuserän asetusaikojen vaikutuksesta eräällä nimikkeellä on taulukossa 23. Taulukossa on vertailtu asetusajan vaikutusta hintaan, jos asetus aika olisi todellisuudessa kokonainen tunti tai asetus aika puolittuisi tuntimääräisesti nykyisestä. Kuten huomataan, erot ovat senttejä, mutta vuosikulutuksessa puhutaan sataista. Kustannusten vaikutus on sitä suurempi, mitä suurempi otanta on. Pienen valmistuserän nimikkeitä on useita. Kaikkien pienten valmistuserien nimikkeiden asetusaikojen päivittämisellä voitaisiin sanoa olevan suurempia eroja kustannuksiin, kuin suurien valmistuserien nimikkeiden päivittämisellä.

**Taulukko 23** Aetusajan muutos pienemmän valmistuserän tuotteella

	Nykyinen	Kasvaa	Laskee
Aetus aika	1	1,04	0,7
Aetushinta per tuote	0,04	0,07	0,02
tuotteen hinta	5,55	5,58	5,53
Euromääräinen ero vuodessa	-	211,36	-158,47

Niiden nimikkeiden kohdalla, joiden valmistuserä on suurempi, varsinaista hyötyä kustannusten tarkkuuden kannalta ei saada. Suurempi hyöty saadaan tuotannon suunnitteluun, koska jokaisen nimikkeen asetusajat ovat tarkempia ja esimerkiksi niiden jontusaikaa tuotantoon voidaan suunnitella paremmin. Työpäivän suunnittelusta tulee tarkempaa, koska saadaan paremmin tietoon, kuinka paljon on varattava aikaa valmistuserän vaihtoon ja täten hienokuormittamisesta tulee entistä tarkempaa. Etenkin ruiskuvalupuolella, jossa sarjakoot ovat pääosin suurempia, saadaan enemmän hyötyä nimenomaan muihin asioihin kuin kustannusten tarkkuuteen.

Asetushintojen päivitys antaa myös tarkempia tuloksia, jos lasketaan optimaalista valmistuseräkoko. Eriarvoiset asetushinnat aiheuttavat kaavaan lisää muuttujia. Jos asetushinta on kaikilla nimikkeillä sama, siitä tulee kaavaan vain uusi vakiomuuttuja, koska sen arvo ei vaihdu riippumatta siitä mitä nimikettä tarkastellaan. Tutkielman kannalta oli hyödyllistä tutkia asetusajkojen vaikutusta etenkin ruiskuvalupuolella. Tutkielmaan saatiin enemmän syvyyttä ja kattavampia tuloksia asetusajkojen tarkastelun avulla.

Tutkittaessa optimaalisen eräkoon vaikutusta varastoinnista aiheutuvien kustannusten muutokseen tuotekohtaisesti, huomataan että muutoksella ei ole vaikutusta varastoinnin kustannusten osuuteen tuotteen hinnassa, koska tutkittavien nimikkeiden valmistuserät ovat sen verran suuria, että pienet erot kutistuvat pois. Jos kyseessä on nimike, jonka valmistuserä on hyvin pieni, silloin varastoinnin kustannuksilla voi olla vaikutusta tuotteen myyntihintaan.

## 7 Yhteenveto

Tämän tutkielman aihe oli haastava. Taloudellisen eräkoon tutkiminen kuulostaa lähtökohtaisesti helpommalta, kuin se lopulta on. Sen tutkimisessa täytyy ottaa useita asioita huomioon ja yhden vaikuttavan tekijän esiin nostaminen nostaa automaattisesti muitakin tekijöitä esiin. Nämä eri tekijät täytyy koittaa huomioida parhaalla mahdollisella tavalla, jotta tutkielmaan ei jäisi aukkoja ja saataisiin järkeviä tuloksia toimeksiantoyritykselle. Taloudellisen eräkoon lisäksi kustannusparametrit osoittautuvat erittäin moniulotteisiksi. Kun on kysymys suuresta globaalista liiketoimesta, kulujen kohdistaminen tuotteille on haastavaa ja tutkielmaa tehdessä opin ymmärtämään erityisesti sen, miksi yleiskustannuslisää käytetään. Sain kokea sen omakohtaisesti, kuinka vaikeaa kulujen kohdistaminen nimikkeille on silloin, kun selkeää yhteyttä kulujen ja nimikkeiden välillä ei ole olemassa.

Karjalainen, Blomqvist ja Suolanen (2001) toteavat kirjassaan hyvin, että tehdäkseen päätöksiä, täytyy päätöksen tekijän kerätä ensin tietoa, sen jälkeen analysoida kerätty tieto, mallintaa analyysi ja tehdä päätös. Tämä tutkielma rakentui hyvin saman rakenteen ympärille. Ensimmäin kerättiin aineistoa teoriapohjan luomiseksi ja sen jälkeen sitä analysoitiin. Analysoinnin perusteella luotiin johtopäätökset.

Tutkielman päätutkimuskysymys oli: *Mikä on kustannusten kannalta optimaalisin eräkoko tuotannossa?* Kysymyksen apukysymyksinä oli seuraavat kysymykset:

- *Mitkä ovat kustannusparametrit, joiden perusteella tuotantoa optimoidaan?*
- *Kuinka optimointi vaikuttaa olemassa oleviin prosesseihin?*
- *Mitä hyötyä tarkennetuista kustannusparametreista on?*

Näihin kysymyksiin löydettiin vastaukset tutkielmaa tehdessä, mutta niitä jouduttiin pohtia ja selventää. Kustannusten kannalta optimaalisin valmistuserä olisi kohdeyrityksessä EOQ-kaavan mukaan sellainen, joka kasvattaa varastoarvoa. Varastoinnin katsotaan kohdeyrityksessä kaavan mukaan olevan tällä hetkellä kannattavampaa kuin sarjo-

jen vaihtovälin tihentäminen. Kohdeyrityksessä taloudellisuudella halutaan kuitenkin tarkastella myös kassavirtaa ja varastonkiertoa. Heti kun otetaan varastotavoitteet ja varastonkierto mukaan laskuihin, tuloksista saadaan erilaisia. Lopputulemana tutkittavista nimikkeistä optimoinnin kohteeksi joutuisi 23/56 nimikettä, kun optimoidaan EOQ-kaavan mukaan tavoitteet huomioon ottaen.

Apukysymykset ohjasivat tutkielmaa kohti pääkysymystä ja sen vastausta. Kustannusparametrien päivitys osoittautua hyvin haasteelliseksi, mutta käyttökelpoinen ratkaisumallikin löytyi. Yleiskustannuslisästä eroteltiin oston ja myynnin kustannukset, joten kustannusparametrien päivitystä lähestyttiin sitä kautta. Myös rahtikustannuksia yritettiin kohdentaa, mutta saatavilla ollut tieto oli puutteellista. Rahtien hinta vaihtelee paljon juuri kuljetuksittain, sillä yleensä kustannus syntyy kuljetuksen määrästä joko painona tai tilavuutena. Täten rahtikustannuksen määrittäminen per tuote osoittautui liian hankalaksi, eikä siitä saatu johdettua järkevää mallia, jolla kohdistaa kustannuksia.

Optimoinnin vaikutus nykyisiin prosesseihin on kohtalaisen pientä. Osa sarjoista pitee ja osa lyhenee, joten suurin vaikutus on jonotusaikoihin ja sarjojen läpimenoaikoihin. Optimointi kuitenkin tarkentaa työnsuunnittelua, sillä optimoitaessa valmistuserää, tarkastettiin samalla esimerkiksi asetussajat. Samoin kustannusparametrien päivitys auttaa tuotehintoja laskettaessa, vaikka vaikutukset ovatkin nimikekohtaisella tasolla hyvin pieniä. Käytännössä kuitenkin lähes miljoona euroa saadaan kohdennettua tuotteille ja se on edistysaskel yleiskustannuslisän päivittämiseen. Mikäli käyttöön otettaisiin PowerBi, joka ilmoittaisi optimaalisen valmistuserän kullekin kehotukselle, prosessiin tulisi selkeämpi muutos. Tämäkin muutos olisi kuitenkin hyvin helposti opittavissa.

Kokemuksena tutkielman teko oli haastava. Kysymyksiä syntyy tutkielman aikana paljon, eikä niihin välttämättä löydy vastauksia suoraan mistään. Tutkielman aihe oli hyvä, koska se liittyi koulutussuuntaani vahvasti. Lukiessa kustannuslaskennan teoriaa, oli jopa hieman yllättävää huomata kuinka lähellä kustannuslaskennan ja tuotantotalouden aihealueet ovat toisiaan. Samojen kysymysten äärellä ollaan, mutta hieman eri

näkökulmasta. Kokonaisuutena tutkielman teko oli opettavaista ja pisti miettimään myös omaa tulevaisuutta. Sain olla kohdeyrityksessä paikan päällä ja sain hyvää apua heiltä. Yksin tämä tutkielma ei olisi onnistunut.

## Lähteet

- Aboelmaged, M.;& Hashem, G. (2018). RFID application in patient and medical asset operations management: A technology, organizational and environmental (TOE) perspective into key enablers and impediments. *International Journal of Medical Informatics*, 118, 58-64. doi:<https://doi-org.proxy.uwasa.fi/10.1016/j.ijmedinf.2018.07.009>
- Aswathappa, k., & Shridhara Bhat, k. (2009). *Production and operation management* (1 ed.). Global Media. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tritonia-ebooks/detail.action?docID=3011145>.
- Ballou, R. (1999). *Business Logistics Management* (Osa/vuosik. 4). NJ: Prentice Hall.
- Bettayeb, B.;Brahimi, N.;& Lemoine, D. (2018). Integrated dynamic single item lot-sizing and quality inspection planning. *International Journal of production research*, 56(7), 2611-2627. doi:<https://doi-org.proxy.uwasa.fi/10.1080/00207543.2017.1385869>
- Bovée, C. L.;& Thill, J. V. (2017). *Business in action*. Harlow: Pearson Education Limited.
- Chapman, S. N.;Arnold, J. T.;Gatewood, A. K.;& Clive, L. M. (2017). *Introduction to Materials Management*. Harlow: Pearson Education Limited.
- Ciarillo, F.;Akella, R.;& Morton, T. (1994). A Periodic review production planning model with uncertain capacity and uncertain demand--optimality of extended myopic policies. *Management science*, 40(3), 230-322. doi:. <https://doi-org.proxy.uwasa.fi/10.1287/mnsc.40.3.320>
- Goubergen, D.;& Landeghem, H. V. (2002). Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 18(3-4), 205-214. Presented at the 11th International conference on Flexible Automation On Intelligent Manufacturing.
- Gourdin, k. (2001). *Global logistics management: a competitive advantage for the new millenium*. Oxford: Blackwell.



- Gu, Q.;Visich, J.;Li, K.;& Wang, Z. (2017). Exploiting timely demand information in determining production lot-sizing: an exploratory study. *International Journal of Production Research*, 55(16), 4531-4543. doi:<https://doi-org.proxy.uwasa.fi/10.1080/00207543.2016.1245452>
- Harrison, A.;Remko, v. H.;& Heather, S. (2014). *Logistics management and strategy: Competing through the supply chain*. Harlow: Pearson.
- Heikkilä, J.;& Ketokivi, M. (2005). *Tuotanto murroksessa*. Helsinki: Talentum Media Oy.
- Hokkanen, S.;& Virtanen, S. (2013). *Varastonhoitajan käsikirja*. Kangasniemi: Sho business development Oy.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2008). *Factory Physics* (3 ed.). Long Grove: Waveland press.
- Howell, G.;Ballard, G.;& Hall, J. (2001). *Capacity utilization and wait time: A primer for construction* (Osat/vuosik. 6-8). Singapore: Proceedings of IGLC-9.
- Inoue, K. (2019). Sensitivity analysis for reproducible candidate values of model parameters in signaling hub model. *PLoS ONE*, 14(2), 1-13. doi:<https://doi-org.proxy.uwasa.fi/10.1371/journal.pone.0211654>
- Järvenpää, M.;Lämsiluoto, A.;Partanen, V.;& Pellinen, J. (2010). *Talousohjaus ja kustannuslaskenta*. Helsinki: WSOYpro Oy.
- Karjalainen, j.;Blomqvist, M.;& Suolanen, O. (2001). *Kehittyvä toiminnanohjaus*. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Kohli, S. (2010). *Professional Cost Accounting*. Global Media.
- Krajewski & Lee, J. (2002). *Operations management: Strategy and analysis*. New Jersey: Pearson Education.
- Krajewski, L.;Ritzman, L.;& Malhotra, M. (2013). *Operations Management: Processes and supply chains*. Harlow: Pearson education limited.
- Krajewski, L.;Tirzman, L.;& Malhotra, M. (2006). *Operations management*. NJ: Upper Saddle River.

- Kremic, T.;Tukel, O. I.;& Rom, W. O. (2006). Outsourcing decision support: a survey of benefits, risks, and decision factors. *Supply chain management: An International Journal*, 11(6), 467-482. Noudettu osoitteesta <http://ankara.lti.cs.cmu.edu/11780/sites/default/files/Outsourcing-Survey.pdf>
- Kumar, S. (2007). *Production and operations management*. New age international ltd. Noudettu osoitteesta <https://ebookcentral-proquest-com.proxy.uwasa.fi/lib/tritonia-ebooks/detail.action?docID=361138>.
- Lehtonen, J.-M. (2004). *Tuotantotalous*. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- Logisticar. (2017). *Manuaali*. Logisticar.
- Magon, R.;Tavares, A.;Ferrer, A.;& Scavarda, L. F. (2018). Sustainability and performance in operations management research. *Journal of Cleaner Production*, 190, 104-117. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.140>
- Martikainen, T.;& Martikainen, M. (2006). *Rahoituksen perusteet*. Helsinki: WSOY.
- Novi, A. (2019). Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä.
- Pound, E. S.;Bell, J. H.;& Spearman, M. L. (2014). *Factory physics for managers*. McGraw-Hill education.
- Quélin, B.;& Duhamel, F. (2003). Bringing Together Strategic Outsourcing and Corporate Strategy: Outsourcing Motives and Risks. *European Management Journal*, 21(5), 647–661.
- Rajan, S. (1998). *Quick Response Manufacturing*. Portland: Productivity Press.
- Rao, C. M.;& Rao, K. P. (2009). Inventory turnover ratio as a supply chain performance measure. *Serbian Journal of Management*, 4(1), 41-50.
- Rao, M. T. (2009). Industrial Managementq. *Global MEdia*. Noudettu osoitteesta <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tritonia-ebooks/detail.action?docID=3011344>.
- Rao, M. T. (2009). Industrial Managementq. *Global MEdia*.
- Sanders, N. (2014). *The definitive guide to manufacturing and service operations*. New Jersey: Pearson Education.
- Slack, N.;Chambers, S.;& Johnston, R. (2001). *Operations Management*. Harlow: Pitman publishing.

Stock, J.;& Lambert, D. M. (2001). *Strategic logistics management*. New York: McGraw-Hill.

Taylor, B. W. (2006). *Introduction to Management Science* . Upper Saddle river: Prentice Hall.

Toivonen, S. (2019). *Artificial Intelligence Helps the Foreman To Make Decisions That Benefit Both the Factory And the Employees*. Rebootiotfactory. Noudettu osoitteesta Rebootiotfactory: <https://rebootiotfactory.fi/rebootiotfactory/blog-artificial-intelligence-helps-the-foreman-to-make-decisions-that-benefit-both-the-factory-and-the-employees/>

VisualComponents. (2019). Yrityksen ohjemisto.