

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Tuotantotalouden koulutusohjelma

Teemu Mäkinen

**Tuotannon eräkokojen optimointi ja optimointityökalun
kehittäminen**

Insinööriyö 29.3.2010

Ohjaaja: tuotanto- ja logistiikkapäällikkö Mika Laurila
Ohjaava opettaja: koulutusvastaava Arto Ekström

Tekijä Otsikko	Teemu Mäkinen Tuotannon eräkokojen optimointi ja optimointityökalun kehittäminen
Sivumäärä Aika	64 sivua 29.3.2010
Koulutusohjelma	tuotantotalous
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	tuotanto- ja logistiikkapäällikkö Mika Laurila koulutusohjelmajohtaja Arto Ekström
<p>Insinööriyössä tutkittiin tuotannon eräkokojen optimointimenetelmiä, ja laskettiin Uponor Suomi Oy:n Nastolan tehtaan käyttö- ja lämminvesiyksikön muovituotteiden valmistuksen taloudelliset eräkoot. Eräkokojen optimoinnilla pyrittiin pienentämään tuotannon kokonaiskustannuksia. Työn tavoitteena oli lisäksi kehittää laskentatyökalu eräkokojen optimointia varten.</p> <p>Insinööriyössä perehdyttiin tuotannonohjauksen periaatteisiin ja menetelmiin, tutkittiin varastojen hallintaa sekä kustannuksia ja selvitettiin taloudellisen valmistuserän muodostumisen teoriaa. Työssä tutkittiin erilaisia menetelmiä taloudellisten eräkokojen määrittämiseen. Menetelmiksi valittiin taloudellisen tilauseräkoon laskentakaava, EOQ-kaava, ja kapasiteettiperusteinen EPEI-laskentamalli. Laskentamallien avulla laskettiin kysyntäennusteiden mukaisesti valmistuksen optimaaliset eräkoot nimikekohtaisesti vuodelle 2010.</p> <p>Tulosten analysoimiseksi nimikkeet luokiteltiin ABC-luokkiin volyymiensa mukaan. Tuloksia arvioitiin kriittisesti Lean-ajattelutavan mukaan. Laskennassa huomattiin, että EPEI-mallia ei voitu käyttää nimikkeiden suuren määrän takia, joten menetelmänä käytettiin EOQ-mallia. Laskelmat osoittivat, että korkean kysynnän A-nimikkeiden laskennalliset optimieräkoot ovat järkeviä ja perusteltuja, kysyntään nähden pienehköjä eräkojoja. B-, ja C-nimikkeiden laskennalliset eräkoot osoittautuivat varsin suuriksi, ja ne aiheuttivat suuret varastotasot, jotka ovat Lean-periaatteiden vastaisia.</p> <p>Työssä tehtiin lisäksi Excel-pohjainen laskentatyökalu, jonka avulla voidaan voi arvioida nimikkeiden sopivien eräkokojen suuruusluokkaa sekä laskea eri parametrien muutosten vaikutusta tuotannon kokonaiskustannuksiin. Työkalusta tehtiin kaksi versiota: EOQ-malliin sekä EPEI-malliin perustuva.</p> <p>Laskennan tulosten sekä työkalun soveltaminen käytännössä on yrityksen tuotannosuunnittelun harkinnan varassa. Tulokset antoivat kuitenkin hyvän lähtökohdan tuotannonohjauksen kehittämiseen tuotantoerien muodostuksen näkökulmasta.</p>	
Hakusanat	eräkokojen optimointi, taloudellinen eräkojo, EOQ, EPEI, tuotannonohjaus

Author Title	Teemu Mäkinen Optimization of production lot sizes and development of a calculator tool for optimization
Number of Pages Date	64 29 March 2010
Degree Programme	Industrial Engineering and Management
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Mika Laurila, Production and Logistics Manager Arto Ekström, Head of Degree Programme
<p>The purpose of this thesis was to research production lot size optimization methods, and to calculate economic lot sizes for production of plastic products of Uponor Finland company's BLD-unit. The aim was to reduce overall operating costs in production, by optimizing lot sizes. This thesis also considered the development of a calculator tool for optimization usage.</p> <p>The paper discusses the principles and methods of production management, inventory management and inventory costs, and the theory of economic production lot sizing. Different lot size optimization methods were investigated and the methods applied for calculation were the Economic Order Quantity, (EOQ) model and the capacity-based Every Product Every Interval, (EPEI) model. Based on demand forecasts, economic lot sizes were calculated for each product for the year 2010.</p> <p>In order to analyze the results, the items were divided into ABC classes, according to their demand volume. The results were evaluated by the principles of lean manufacturing. Due to high amounts of items, it appeared that the EPEI model was not a feasible method, so the EOQ model was used. The calculations showed that the lot sizes of the high demand A-class items were feasible and reasoned, and they were small in comparison with demand. The batch sizes of B and C-class items were on the contrary large, bound to lead to large inventories, which is against the principles of lean manufacturing.</p> <p>The thesis also included the development of a calculator tool, which was created based on Excel. With the calculator tool, one can evaluate suitable production lot sizes, and test changes of different parameters against the operating costs.</p> <p>Using the calculation results and the tool in practice is at the production planners' discretion. However, the results gave a good starting point for development of production planning from the lot sizing point of view.</p>	
Keywords	lot size optimization, economic order quantity, EOQ, EPEI, production management

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
1.1	Yritysesittely	6
1.2	Työn tausta ja tavoitteet	7
1.3	Työn rajaus ja rakenne	8
2	Tuotannonohjaus	9
2.1	Tuotannonohjauksen tavoitteet	9
2.2	Tuotannon ohjattavuus	13
2.3	Tuotannonohjausprosessi	14
2.4	Työntö- ja imuohjaus	16
2.5	Lean-tuotanto	17
2.6	Varaston hallinta	18
2.6.1	Varastotyypit	18
2.6.2	Syyt varastojen pienentämiseen	20
2.6.3	Varastointitoiminnan tärkeimmät tunnusluvut	20
2.6.4	Varastointikustannusten määrittäminen	21
3	Optimaalisen valmistuseräkoon määrittäminen	23
3.1	Taloudellisen valmistuseräkoon määrittäminen	23
3.2	Taloudellisen eräkoon laskentamallit	26
3.2.1	Economic Order Quantity (EOQ) -kaava	26
3.2.2	Economic production Lot Size (ELS) -kaava	30
3.2.3	EOQ-kaavan parannuksia	31
3.3	Kapasiteettiperusteinen laskentamalli	32
3.4	Muita optimointimenetelmiä	34
3.4.1	Taloudellisen tuotantoerän skedulointiongelma, Economic Lot Scheduling Problem (ELSP)	34
3.4.2	Simulointi	35
4	Kustannusten pienentäminen	36
5	Tuotanto Uponorin Nastolan käyttö- ja lämminvesiyksikössä	38
5.1	Eristettyjen putkistojen tuotanto	38
5.2	Muoviliitintuotanto	40
6	Tuotantoerien optimointi	43
6.1	Nykytila	43

6.2	Rajoitteet	44
6.3	Laskentamallin valinta	45
6.4	Optimieräkokojen määrittäminen eristettyjen putkien tuotannossa	46
6.4.1	Optimieräkokojen määrittäminen EOQ-laskennan avulla	46
6.4.2	Optimieräkokojen määrittäminen EPEI-laskennan avulla	52
6.5	Optimieräkokojen määrittäminen muoviliittimien tuotannossa	53
7	Optimointityökalun kehittäminen	54
8	Yhteenveto ja johtopäätökset	58
	Lähteet	61
	Liitteet	
	Liite 1: Eristetyt putkistot -yksikön taloudelliset eräkoot	63
	Liite 2: Muoviliittimet -yksikön taloudelliset eräkoot	64

1 Johdanto

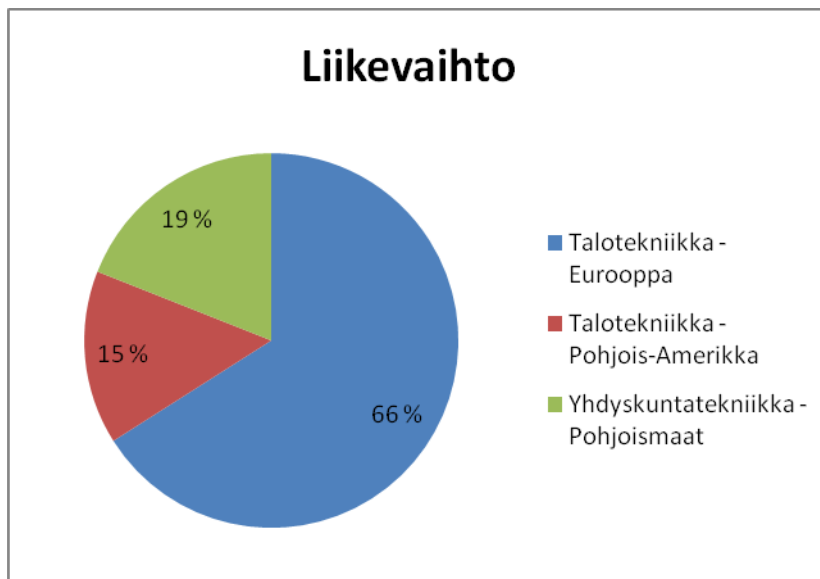
Tämä opinnäytetyö on Metropolia Ammattikorkeakoulun tuotantotalouden koulutusohjelman insinöörin opintoihin kuuluva lopputyö. Työ on tehty Uponor Suomi Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia tuotannon valmistuserien muodostusta sekä eräkokojen optimointia teoreettiselta pohjalta ja soveltaa tutkittua käytäntöön määrittämällä optimaaliset valmistuseräkoot Uponorin Nastolan tehtaan käyttö- ja lämminvesiyksikössä. Työn tarkoituksena on myös kehittää työkalusovellus, jonka avulla voidaan laskea optimieräkojoja käytännössä.

1.1 Yritysesittely

Uponor on yksi johtavista rakennus- ja ympäristötekniikan järjestelmien toimittajista maailmassa. Uponorilla toimii keskeisillä Euroopan ja Pohjois-Amerikan markkinoilla, ja Uponorin tuotteita myydään yli sadassa maassa. Uponor tarjoaa teknisesti kehittyneitä talotekniikan ja yhdyskuntatekniikan ratkaisuja. Uponorin asiakkaita ovat talotekniikassa rakentajia ja remontoijia, joille Uponor tarjoaa lämmitykseen, veden- ja energianjakeluun sekä ilmanvaihtoon ja jäteveden käsittelyyn tarkoitettuja järjestelmiä. Uponorin yhdyskuntatekniikan liiketoiminta-alue toimii pohjoismaisilla markkinoilla tarjoten ratkaisuja kunnallisen infrastruktuurin rakentamiseen ja saneeraukseen. (Uponor Suomessa 2010; Uponor vuosikertomus 2009.)

Uponorin toiminta Suomessa koostuu tuotekehityksestä, valmistuksesta sekä markkinoinnista. Toimipaikkoja Suomessa on yhdeksän, joista kolmessa paikassa sijaitsee tuotantolaitos. Yhteensä Uponorilla on yksitoista tehdasta kuudessa maassa (Uponor Suomessa 2010; Uponor vuosikertomus 2009.)

Uponor on suomalainen yritys, jonka juuret ulottuvat Upon muovitehtaan perustamiseen Nastolaan vuonna 1964. Myöhemmin tehdas erikoistui putkiyhteiden valmistukseen ja panosti vientiin Pohjoismaihin sekä Eurooppaan. Uponor on kasvanut huomattavasti sekä orgaanisesti että yritysostojen kautta ja laajentanut toimintaansa yhä uusille liiketoimintasegmenteille monipuolistamalla tuoterepertuaariaan. Konsernin liikevaihto vuonna 2009 oli 734,1 miljoonaa euroa, joka on jakautunut eri liiketoiminta-alueisiin kuvan 1 kaavion osoittamalla tavalla. Uponor Suomen liikevaihto oli 88,8 miljoonaa euroa vuonna 2009. Henkilöstöä koko konsernissa on noin 3300, joista Suomessa on noin 350. (Uponor vuosikertomus 2009.)



Kuva 1. Uponorin konsernin liikevaihdon jakautuminen eri liiketoiminta-alueille

1.2 Työn tausta ja tavoitteet

Nykyaikana kiristynvä globaali kilpailu luo tarpeen tehostaa toimintoja ja karsia prosesseista turhia kuluja kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi. Myös Uponorilla on tarvetta tehostaa tuotantoa sekä logistiikkaa, jotta yritys säilyttää kilpailukykyänsä ja on voittoa tuottava jatkossakin.

Uponorin tuotannosuunnittelussa valmistuksen ajosarjoja suunniteltaessa ei ole otettu huomioon ajosarjojen pituuksien vaikutuksia tuotannon sekä vaihto-omaisuuden kustannuksiin. Tuotantoerien muodostaminen tapahtuu ERP-järjestelmän antamien valmistusehdotuksien sekä tuotannosuunnittelijan oman harkinnan ja kokemuksen mukaan, mutta varsinaista selvitystä optimaalisista ajosarjojen pituuksista ei ole tehty.

Tällä tutkimuksella halutaan selvittää, minkä kokoisia tuotantoeriä on kannattavaa valmistaa teoreettisten laskentamallien valossa. Toisena tavoitteena on saada aikaan eräkokojen optimointiin tarkoitettu laskentasovellus, jota voidaan käyttää tuotannosuunnittelun apuna.

1.3 Työn rajaus ja rakenne

Työ on rajattu koskemaan Uponorin Nastolan tehtaan käyttö- ja lämminvesiyksikön eli BLD -yksikön tuotantoa. BLD-yksikössä valmistetaan talotekniikan järjestelmien tuotteita, kuten putkia ja muoviliittimiä. Työn rajauksen ulkopuolelle jää siis Nastolan yhdyskuntatekniikan liiketoimintayksikkö. Optimointityökalua on tarkoitus käyttää myös muissa Uponorin yksiköissä.

Opinnäytetyön rakenne on seuraavanlainen: Johdantosuudessa kuvataan työn taustaa, yritystä, työn tavoitetta, rajausta sekä työn rakennetta. Teoriaosuudessa käsitellään aluksi tuotannonohjausta, sen periaatteita ja menetelmiä sekä varaston- ja materiaalinhallintaa. Seuraavaksi kuvataan teorioiden pohjalta eräkokojen optimointia, tutkitaan ja esitellään eri menetelmiä optimoinnin toteuttamiseksi ja vertaillaan niiden ominaisuuksia ja toiminnallisuutta. Seuraava osuus on varsinaisen työn käsittelyosuus, jossa selostan Uponorin tuotantoa ja toiminnanohjausta. Käytän soveltuvaa laskentamallia eräkokojen optimoimiseen, jonka jälkeen analysoin tuloksia.

Seuraavassa osuudessa käsittelen työkalun kehitystä, sen taustaa, vaiheita ja lopuksi esittelen lopputuloksen. Työn lopussa teen yhteenvedon työstä sekä esitän omia johtopäätöksiäni työn tuloksista.

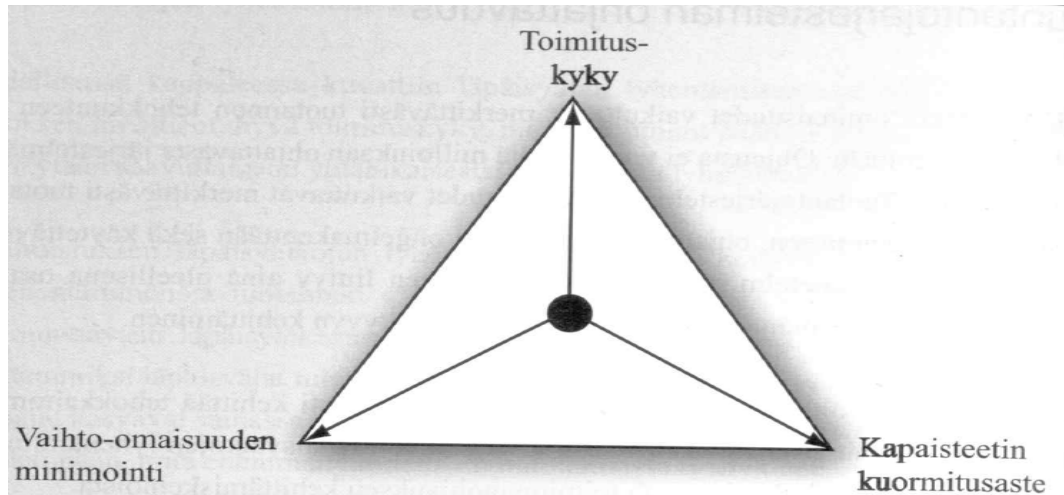
2 Tuotannonohjaus

Tuotannon tehtävänä on valmistaa yrityksen myymät tuotteet. Perinteisesti tuotanto on mielletty omaksi yksikökseen yrityksen sisällä. Nykykäsitys käsittää tuotannon prosessinäkökulmasta, jonka mukaan tuotanto on osa toimitusketjua, joka kattaa mahdollisesti useampia yrityksiä sekä yksiköitä. (Lehtonen 2004.)

2.1 Tuotannonohjauksen tavoitteet

Yleisesti tuotannossa pyritään korkeaan laatuun, kustannusten minimoimiseen, joustavuuteen sekä kilpailukyvyn muodostamiseen läpimenoaikoja pienentämällä. Tuotannonohjauksen tarkoituksena on päästä näihin tavoitteisiin suunnittelemalla ja organisoimalla tuotantoa ja sen resursseja parhaalla mahdollisella tavalla. (Haverila ym. 2005: 402.)

Tuotannonohjauksessa on kolme keskeistä tavoitetta: toimituskyvyn ylläpito, kapasiteetin korkea tuottavuus sekä vaihto-omaisuuden eli varaston minimointi. Kuvassa 2 on esitetty tuotannonohjauksen tavoitteet kolmiomallissa. Kuten kuva osoittaa, tuotannonohjauksen tehtävänä on sovittaa yhteen nämä ristiriitaiset tavoitteet parhaimmalla mahdollisella tavalla löytämällä kompromissiratkaisuja. (Haverila ym. 2005: 404.)



Kuva 2. Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuus. (Haverila ym. 2005: 404)

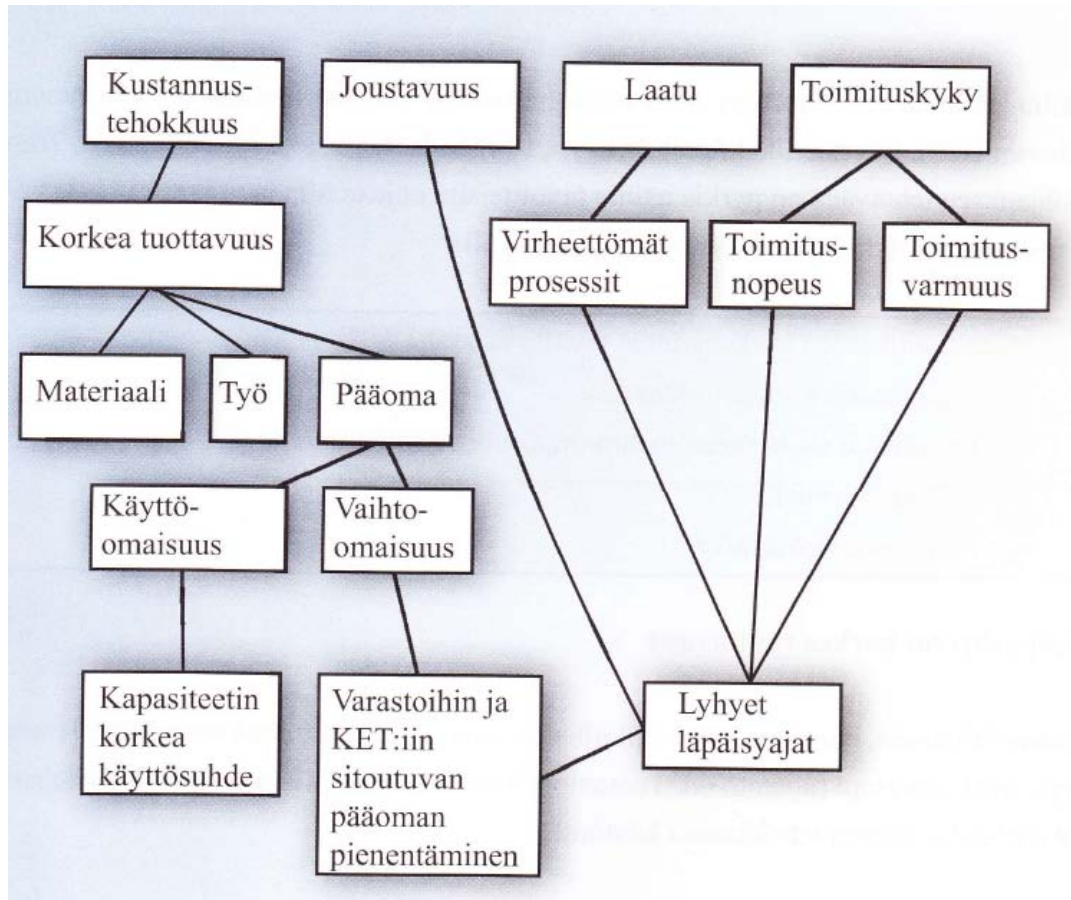
Kapasiteetin kuormitusaste halutaan pitää korkealla. Koneet halutaan pitää käynnissä mahdollisimman paljon. Näin tuotantolaitteisiin ja -koneisiin investoidun pääoman tuottavuus paranee. Tuotantoerien suunnittelussa yksi kriteeri on kapasiteetin käyttö ja kapasiteetin käytön maksimointi. Mitä suuremmat investointikustannukset ovat, sen suurempi on korkean käyttöasteen tarve. Korkea käyttöaste saavutetaan valmistamalla vakiotuotteita suurina sarjoina minimoimalla asetusajatjolloin koneet seisovat. Pitkät sarjat edellyttävät suuria varastoja ja tasaista kysyntää. (Haverila ym. 2005: 402.)

Toisaalta halutaan minimoida vaihto-omaisuus. Vaihto-omaisuuteen sitoutuu huomattavasti pääomaa. Vaihto-omaisuus tarkoittaa tuotevarastoja. Varastojen minimointi onkin tärkeä tuotannonohjauksen tavoite. Tämä edellyttää kuitenkin pieniä valmistussarjoja, jotka lisäävät taas asetusten määrää. Runsaat asetusajat pienentävät kuormitusastetta. (Haverila ym. 2005: 402.)

Tärkeä tuotannonohjauksen tavoite on yrityksen toimituskyky. Lyhyillä toimitusajoilla voidaan saada kilpailuetua kilpailijoihin nähden. Hyvä toimitusvarmuus edellyttää runsasta varastointia tai valmiutta pienten toimituserien nopeaan ja joustavaan valmistukseen. (Haverila ym. 2005: 402.)

Tuotannonohjausta vaikeuttaa se, että usein yrityksen eri osastoissa ei hahmoteta asiaa kokonaisuuden kannalta, vaan niillä on erilaiset käsitykset eri tavoitteiden tärkeydestä. Myynnin ja markkinoinnin kannalta toimituskyky ja asiakkaiden toiveisiin joustaminen ovat tärkeimmät tavoitteet. Valmistuksen kannalta kapasiteetin korkea käyttöaste ja tätä kautta kustannusten minimointi on tärkeintä. Talusjohto haluaa taas minimoida vaihtomaisuuden, ja tarkkailun alla on ensisijaisesti toimintaan sitoutunut pääoma. (Haverila ym. 2005: 404.)

Kuvassa 3 on tiivistetty tuotannonohjauksen tavoitteiden muodostuminen. Tavoitteiden väliseen keskinäiseen tärkeyteen vaikuttaa yrityksen valitsema kilpailustrategia. Kustannusjohtajuuteen pyrkivä yritys haluaa minimoida valmistuksen kustannukset, pienet varastot sekä korkean kapasiteetin kuormitusasteen. Toisaalta asiakaskohtaisilla tuotteilla kilpailuetua hakeva yritys pyrkii joustavuuteen ja korkeaan toimituskykyyn tehokkuuden kustannuksella. (Haverila ym. 2005: 404.)



Kuva 3. Tuotannonohjauksen tavoitteiden muodostuminen. (Haverila ym. 2005: 403)

Haverilan ym. (2005) mukaan tuotanto tulisi suunnitella siten, että tuotantoerien läpimenoajat ovat mahdollisimman lyhyet. Läpimenoaika kuvaa kokonaisaikaa, jonka tuotteen valmistaminen vaatii tuotantoketjun alusta loppuun. Läpimenoaikojen lyhentäminen on tehokas keino tuotannonohjauksen ristiriitaisten tavoitteiden yhteensovittamisessa. Läpimenoajan lyhentämisen keskeisiä keinoja ovat tuotantoerien koon pienentäminen ja välivarastojen pienentäminen. Tuotantoerän koko vaikuttaa huomattavasti läpimenoaikaan. Tämä johtuu siitä, että työvaiheajojen lisäksi läpimenoaikaan vaikuttaa suuresti eri työvaiheiden väliset odotusajat. Tuotantoeräköön pienentäminen edellyttää asetusaikojen lyhentämistä. (Haverila ym. 2005: 402–406.)

Läpimenoajan lyhentäminen mahdollistaa samanaikaisesti varastoon sitoutuneen pääoman pienentämisen, hyvän toimituskyvyn ylläpitämisen ja korkean kuormitusasteen saavuttamisen. Lyhyt läpimenoaika mahdollistaa nopean varaston täydentämisen, jolloin toimituskyvyn ylläpitäminen onnistuu pienemmällä varastotasolla. Pieneräätuotannossa myös KET -varaston määrä vähenee. Näin vaihto-omaisuutta voidaan vähentää menettämättä toimituskykyä. Myös laadunvarmistus helpottuu, sillä laatuvirheet ja valmistuksen häiriöt tulevat nopeasti esille, jolloin virheiden syihin on helpompi paneutua. Toiminnan laadun kehittyessä virheiden aiheuttamat kustannukset vähenevät. Lyhyen läpimenoajan ansioista kapasiteetin suunnittelu helpottuu. (Haverila ym. 2005: 402–406.)

2.2 Tuotannon ohjattavuus

Tuotantojärjestelmän ohjattavuus tarkoittaa tuotantojärjestelmän kykyä vastata ohjausmuuttujiin. Tällä tarkoitetaan siis kykyä vaikuttaa tuotantoon tuotannonohjauksen parametreja muuttamalla. Tuotantojärjestelmän ohjattavuus on siis tärkeä tekijä tuotannonohjauksessa, sillä tuotantoa ja sen suorituskykyä pyritään aina kehittämään. (Haverila ym. 2005: 405.)

Seuraavassa on lista tekijöistä, jotka vaikuttavat tuotannon ohjattavuuteen (Haverila ym. 2005: 405):

- tuotantomuoto eli tuotantoprosessi
- läpimenoaika
- tuotantoerien suuruus
- materiaalivirrat
- layout
- tuotantoyksikön koko
- henkilöstön osaaminen ja motivaatio

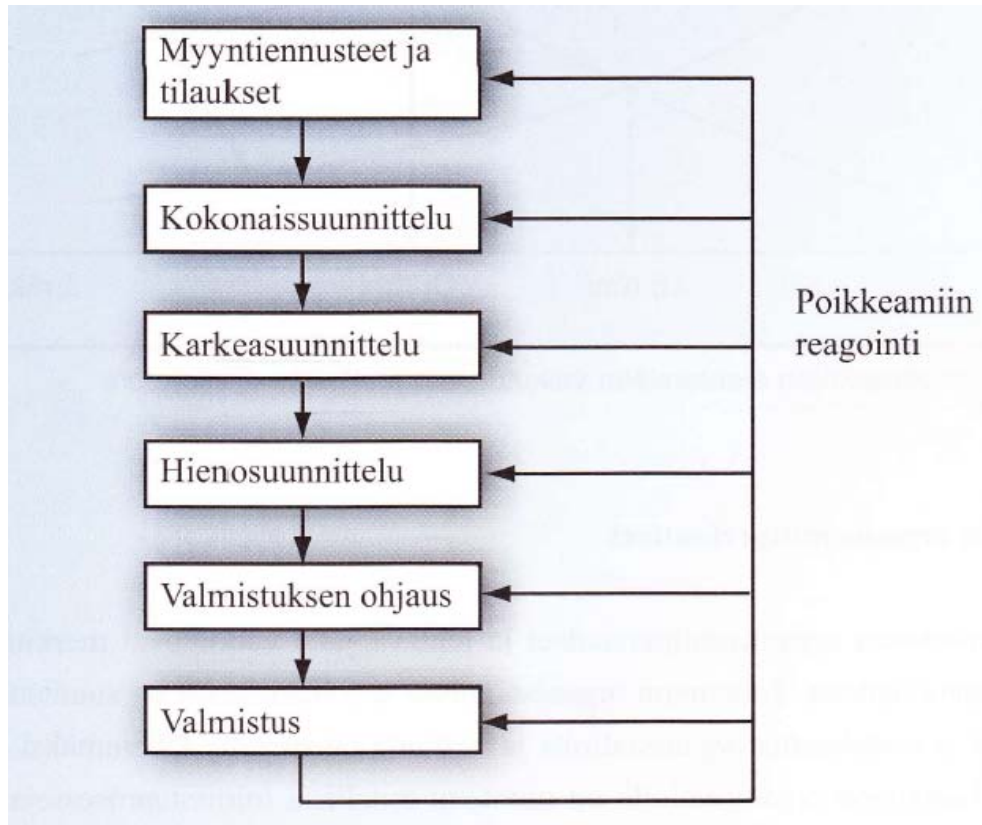
- organisointiperiaatteet
- toiminnan laatu
- tuotantoprosessin laaduntuottokyky
- kapasiteetin joustavuus tuotantomäärän mukaan
- kapasiteetin joustavuus tuotetyyppien muutoksille
- lisäkapasiteetin saatavuus
- KET:n määrä
- tuotteiden määrä
- materiaalinimikkeiden määrä
- ohjattavien työvaiheiden määrä.

Listasta voidaan päätellä, että ohjattavuuteen vaikuttaa todella moni asia.

2.3 Tuotannonohjausprosessi

Tuotannonohjausprosessit ovat ainutlaatuisia. Ohjauksen periaatteet ja menetelmät riippuvat monesta asiasta, ja prosessi on usein yrityskohtainen. Jokaisella on oma tapansa toimia. (Haverila ym. 2005: 409–410.)

Tuotannonohjaus ja suunnittelu tapahtuu usealla eri hierarkkisella organisaatiotasolla. Ylemmältä alemmalla tasolle mentäessä suunnittelu yksityiskohtaistuu ja aikajänne lyhenee. Tuotannonohjausprosessin eri tasot on esitetty kuvassa 4. (Haverila ym. 2005: 409.)



Kuva 4. Tuotannonohjausprosessin tasot (Haverila ym. 2005: 409)

Ylimmällä tasolla tehdään myyntiennusteiden, tilauskannan ja varastotilanteen mukaan pitkän aikavälin kokonaissuunnittelua. Tällä tasolla huolehditaan resurssien ja kapasiteetin riittävydestä, lasketaan tarvittavat varastotasot ja tehdään pitkän aikavälin tuotantosuunnitelmat. Kokonaissuunnittelulla hallitaan myös kysynnän vaihteluita. Kokonaissuunnittelu voi olla osa vuotuista budjettisuunnittelua. (Haverila ym. 2005: 411–412.)

Seuraava taso on karkeasuunnittelu. Se tarkoittaa useimmiten toimialasta riippuen viikosta kuukauden pituisia aikajännettä. Karkeasuunnittelu on kokonaissuunnittelua tarkempaa, ja siinä kysyntäennusteiden rooli on pienempi. Suunnittelun lähtökohtana pidetään tilauskantaa, varastotilannetta ja ennusteita. Karkeasuunnittelussa tärkein tehtävä on määrittellä tuotannon vaatimat resurssit ja varmistaa niiden saatavuus. Resursseja ovat henkilötyövoima, laitekapasiteetti, materiaalityövoima ja mahdolliset muut resurssit, kuten

työkalut. Karkeasuunnittelussa voidaan asiakasohjautuvassa tuotannossa myös määritellä asiakkaalle toimitusaika. (Haverila ym. 2005: 415–417.)

Hienosuunnittelu on valmistuksen yksityiskohtainen suunnittelutaso. Hienosuunnittelussa lähtökohtana on karkeasuunnittelussa luotu tuotantosuunnitelma, josta muodostetaan tarkka valmistussuunnitelma. Suunnitelmassa tehdään eri työvaiheiden ajoitus ja tuotantoerien muodostus. Näin saadaan aikaan työjärjestys, joka on tuotannon kokonaiskustannuksiltaan mahdollisimman alhainen ja jossa tuotteiden läpimenoaika on mahdollisimman lyhyt. Jos tuotannon asetuskustannukset ovat korkeat, pyritään tuotanto järjestelemään siten, että asetuksia olisi mahdollisimman vähän. Aikajänne on hienosuunnittelussa yleensä yhdestä päivästä yhteen viikkoon. (Haverila ym. 2005: 417–418.)

Alimman tason eli valmistuksen ohjauksen tehtävänä on työn suorituksen suunnittelu yksityiskohtaisesti. Tämä sisältää työn jakelun, työtehtävien ohjaamisen tuotantosolussa sekä valvonnan ja raportoinnin. Usein valmistuksen ohjaus perustuu työmääräimiin, jotka määrittelevät tarkasti työvaiheen ja tuotteen ja sisältävät työohjeen. Työmääräin luodaan tavallisesti toiminnanohjausjärjestelmästä. (Haverila ym. 2005: 425.)

2.4 Työntö- ja imuohjaus

Tuotannohjausmenetelmät voidaan jakaa kahteen eri ohjaustapaan: työntöohjaukseen ja imuohjaukseen. Työntöohjauksessa tuotteita valmistetaan tuotantosuunnitelman mukaisesti perustuen myyntiennusteisiin ja tilauskantaan. Tuotantoerä ”työnnetään” tuotannosta läpi. Ohjausimpulssi lähtee siis valmistusketjun alkupäästä. Työntöohjaus on perinteinen ja laajasti käytössä oleva ohjausmenetelmä, ja se soveltuu kaikkiin tuotantomuotoihin. (Haverila ym. 2005: 422.)

Imuohjauksessa tuotteita valmistetaan vain todellisen tarpeen verran. Ohjausimpulssi lähtee loppupäästä, jolloin seuraavan työvaiheen puskurivaraston tyhjentyessä edellinen

tuotantosolu aloittaa valmistuksen, ja näin mennään aivan valmistusketjun alkupäähän saakka. Puskurivarastot ovat hyvin pieniä ja nopeasti kiertäviä. Tilausimpulssi välitetään imuohjauskortin eli kanban-kortin avulla. Imuohjausmenetelmä sopii parhaiten tasaisen kysynnän omaaville standardituotteille. (Haverila ym. 2005: 422.)

2.5 Lean-tuotanto

Lean-johtamisfilosofia on alkujaan japanilainen ajattelutapa, joka on varsin laajasti levinnyt myös länsimaissa. Lean-tuotanto perustuu ns. turhuuksien poistamiseen valmistusprosessista. Puhutaan seitsemästä turhuudesta, jotka on lueteltu seuraavassa.

- liika tuotanto
- odotusajat
- kuljetus
- tarkoitukseton työ, yliprosessointi
- tarpeettomat tehtävät, tarpeeton liike
- tarpeeton varasto
- virheet.

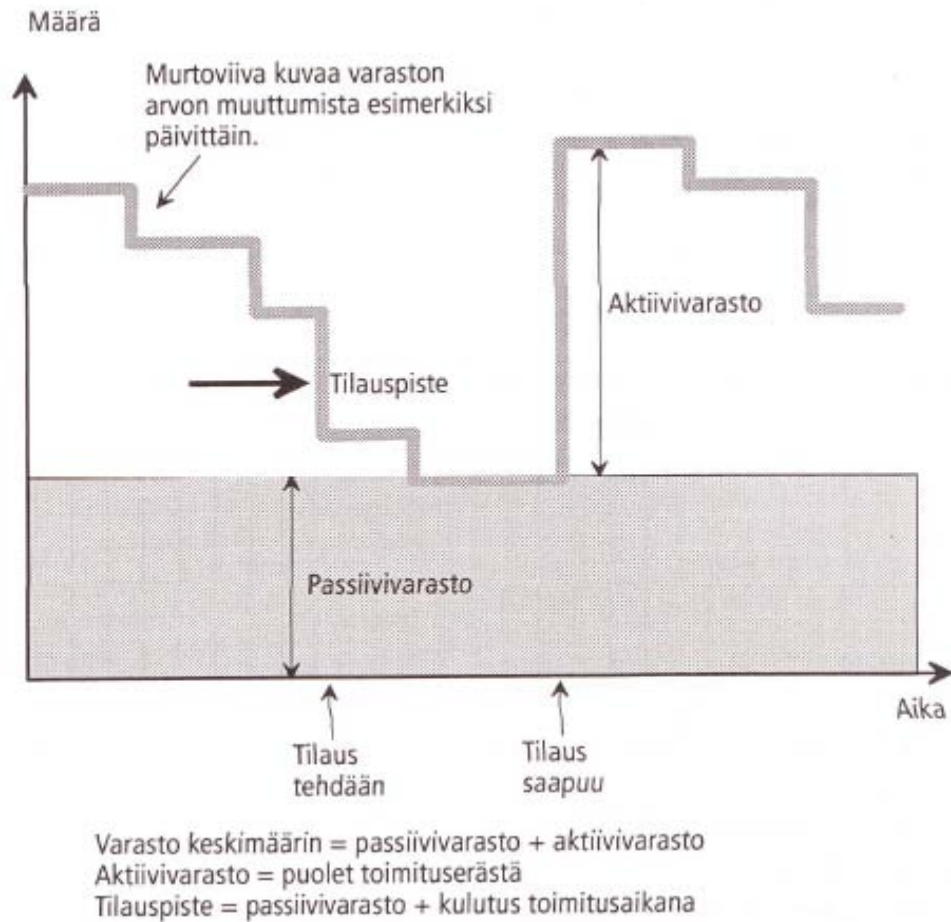
Lean-tuotantotapa on ohutta, virtaavaa ja nopeaa. Lean-ajattelulla pyritään kustannustehokkaaseen, laadukkaaseen sekä joustavaan tuotantoon, jossa ei ole mitään ”ylimääräistä”, arvoa tuottamatonta tapahtumaa. Eräs Lean-työkaluista onkin arvoketjuanalyysi, jolla pyritään selvittämään tuotantoprosessin arvoa tuottavat sekä arvoa tuottamattomat elementit, jotka tulisi eliminoida. (Lean 2010; Haverila ym. 2005.)

2.6 Varaston hallinta

Varasto tarkoittaa talouskielessä yrityksen vaihto-omaisuutta. Se tarkoittaa siis tässä yhteydessä muuta kuin tilaa, jossa säilytetään tavaraa. Varastoinnin tarkoitus on turvata tuotteiden ja materiaalien saatavuus, sillä tuotteiden menekki ei ole koskaan tasaista, ja asiakkaat haluavat tuotteen yleensä nopeammin, kuin se on mahdollista valmistaa. (Sakki 2003: 71–73.)

2.6.1 Varastotyypit

Varastoja on kolmea päätyyppiä: raaka-ainevarasto, keskeneräisen työn varasto (KET) sekä lopputuotevarasto. Varastojen muodostumisen perusteella varastot voidaan jakaa myös eri tyyppeihin: kiertovarasto, varmuusvarasto sekä kysynnän kausivaihtelun varautumiseen tarkoitettu varasto. Viimeksi mainittu koskee yleensä lähinnä sesonkituotteiden myyntiä. Sakki käyttää kiertovarastosta nimitystä aktiivivarasto ja varmuusvarastosta nimitystä passiivivarasto. Kuvassa 6 on esitetty näiden kahden varastotyypin muodostuminen. (Sakki 2003: 73-75; Krajewski 2007: 465.)



Kuva 6. Varastotyyppien muodostuminen (Sakki 2003: 75)

Varmuusvaraston määrä on vakio. Sillä pyritään varautumaan erilaisiin epävarmuustekijöihin, kuten kysynnän vaihteluihin, raaka-ainetoimittajien toimitusongelmiin tai omiin tuotantokatkoksiin, jotta voidaan pitää yllä haluttu toimituskykytaso. Aktiivivaraston eli kiertovaraston määrä riippuu taas toimituseräkoosta. Kiertovaraston koko vaihtelee siis jatkuvasti. Kiertovaraston keskimääräinen arvo on puolet toimituseräkoosta. Toimituserän koko vaikuttaa tällöin tarvittavan varaston määrään. Läpimenoaika taas vaikuttaa varmuusvaraston kokoon, suuri läpimenoaika vaatii suuremman varmuusvaraston kysynnän heilahteluiden varautumista varten. (Krajewski 2007: 465.)

2.6.2 Syyt varastojen pienentämiseen

Suurin syy varastojen minimointitarpeeseen on siihen sitoutunut pääoma. Varaston pito on kallista. Siihen sitoutunut pääoma maksaa, sillä varastossa pito ei jalosta tuotetta, jolloin se ei myöskään tuota mitään. Pääoma maksaa korkokustannusten muodossa, sillä sitoutunutta pääomaa ei voida käyttää johonkin muuhun, tuottavaan toimintaan. Toisaalta myös tavaran pitäminen varastossa maksaa varaston ylläpidon muodossa. Varastointiin liittyy tilanpitokuluja, käsittelykuluja, inventointikuluja, vakuutusmaksuja jne. Varaston pitoon liittyy myös riskejä, kuten tuotteiden vanhentuminen ja hävikki. (Krajewski 2007: 463.)

Sakin mukaan toimituskyky ei riipu varastomääristä, vaan hyvä toimituskyky voidaan ylläpitää pienemmilläkin varastotasolla, kun materiaalin ohjausta parannetaan. Lisäksi hyvä yhteistyö toimitusketjun eri osapuolien välillä mahdollistaa pienemmät varastotasot koko ketjussa. (Sakki 2003: 75–79.)

2.6.3 Varastointitoiminnan tärkeimmät tunnusluvut

Materiaalin ohjauksen tehokkuutta mittaava tunnusluku on varaston kiertoluku. Se kuvaa varaston käyttöä tai myyntiä suhteessa varaston arvoon vuoden aikana kaavan 1 mukaisesti. (Sakki 2003: 75–79.)

$$\text{Varaston kierto} = \frac{\text{käyttö (vuosi)}}{\text{varaston (keski)arvo}} \quad (1)$$

Toinen varastotasoa kuvaava luku on varaston riittoluku eli DOS (Days Of Supply) -luku. Sakki (2005) käyttää tunnusluvusta nimitystä ”pysähdysaika”, joka tuo esille negatiivisemmin varastotasoa kuvaavan luvun. Se lasketaan kaavan 2 mukaisesti:

$$\text{Varaston riitto} = \frac{\text{vaihto - omaisuuden arvo (päivässä)}}{\text{vuosikysyntä}} \cdot 365 \quad (2)$$

Varaston riittoluku kertoo, kuinka pitkäksi aikaa (päivissä) riittää nykyisellä kysynnällä tavaraa, jos sitä ei valmisteta lisää. Varaston riiton määrittämiseen vaikuttavat monet asiat, eikä voida antaa mitään yleispätevää vastausta, mikä on oikea riitto varastolle tai kuinka usein varaston tulisi kiertää. Varaston riitto pitäisikin luokitella tuotteittain. Riittoluvulle voisi asettaa ala- ja ylärajat, joiden sisällä varaston riitto on sopiva suhteessa kysyntään. (Sakki 2003: 75–79.)

Yksi tapa nimikkeiden luokitteluun on abc-analyysi. Abc-analyysissä tuotteet jaetaan luokkiin niiden euromääräisen myynnin tai kulutuksen mukaan. Yleensä käytetään kolmesta viiteen luokkaa. Näin pyritään saamaan käsitys siitä, mihin resursseja kannattaa kohdentaa ja miten varaston kierron ja riiton tavoitteet tulisi asettaa eri nimikkeille. (Sakki 2003: 91.)

2.6.4 Varastointikustannusten määrittäminen

Varastointikustannukset koostuvat kahdesta osasta: pääoman korkokustannuksista sekä toiminnallisista varastonpitokustannuksista. Sakin (2003) mukaan varastointikustannukset voivat olla vuodessa 15 prosentista jopa 50 prosenttiin varaston arvosta. Erot voivat vaihdella tuotekohtaisesti, esimerkiksi jotkut tuotteet vaativat paljon varastotilaa, toisaalta voi olla pieniä tuotteita, jotka vanhenevat nopeasti. Naylor (2002) käyttää esimerkeissään varastointikustannuksina 20:tä ja 25:tä prosenttia. Suomen kuljetusopas sivuston (2010) mukaan varastointikustannukset ovat 20–55 prosenttia varaston arvosta. REM Associates -konsulttitoimiston (2010) mukaan ”nyrkkisääntönä” voidaan pitää varastointikustannuksina 25 prosenttia varaston arvosta.

Pääoman korkokustannukset riippuvat tietysti käyttöpääoman määrästä. Vaihto-omaisuuteen sidottu pääoma on pois muusta käytöstä, jossa se voisi tuottaa korkoa, siksi pääoman käytölle lasketaan sisäinen korkoprosentti. Yrityksestä riippuen sisäisen koron suuruus on noin 8–12 prosenttia. Toisaalta, Haverila ym. (2005) määrittelee sitoutuneen pääoman korkokustannukseksi 10–20 prosenttia. Useimmiten yrityksillä on sisäinen korkoprosentti määritelty tarkasti, sillä sitä käytetään monissa laskelmissa, esimerkiksi investointilaskelmissa tuottovaatimuksena. (Sakki 2003: 82; Haverila ym. 2005.)

Varastonpitokustannusten määrittäminen on hankalampaa, sillä se sisältää monia elementtejä, joita kaikkia ei ole helppo laskea. Riippuu myös paljon laskentatavasta mitä kustannuksia otetaan huomioon. Minimissään tulisi kuitenkin ottaa huomioon varastotilan kustannukset, työvoimakustannukset, hävikki ja vakuutusmaksut. (Haverila ym. 2005.)

Holappa (2008) käsittelee tutkimuksessaan varsin kattavasti varaston ylläpitokustannusten muodostumista ja eri kustannuskomponentteja. Varastonpitokustannukset jakautuvat seuraaviin kustannuskomponentteihin (Holappa 2008: 12; Waters 2003: 286):

- henkilöstökustannukset
- varaston tilakustannukset
- materiaalin käsittelyn laitekustannukset
- hallintokustannukset
- riskikustannukset.

Henkilöstökustannuksiin voidaan laskea toimihenkilöiden ja työntekijöiden palkat etuineen ja ylityökorvauksineen. Holappa painottaa, että työvoimakulujen sisällyttämisestä varastointikustannuksiin on ristiriitaisia mielipiteitä kirjallisuudessa. Waters (2003: 286) sisällyttää ylläpitokustannuksiin työvoiman kustannukset, mutta Stock ym. (2001: 195-225) mukaan työvoimakustannuksia ei voi sisällyttää ylläpitokustannuksiin, vaan ainoastaan varastotason mukaan vaihtelevat kustannukset. (Holappa 2008: 12.)

Varaston tilakustannusten määrittelyssä on myös eri näkemyksiä siitä, mitä kustannustekijöitä siinä otetaan huomioon. Tilakustannuksiin voidaan laskea varastorakennuksen kiinteitä kuluja, kuten vuokra ja käyttökustannukset tai rakennusinvestoinnin vuosikustannukset. Käyttökustannuksiin sisältyvät LVI-kustannukset, energiakustannukset jne. (Holappa 2008: 14.)

Materiaalin käsittelyn laitekustannuksilla tarkoitetaan materiaalin siirrossa ja käsittelyssä olevien laitteiden, kuten trukkien ja nostimien hankintakustannuksia, mikäli ne ovat yhä kirjanpidossa. Samoin näihin voi laskea mukaan muut materiaalinkäsittelykulut kuin työvoiman kulut, kuten pakkausmateriaali ja paletit. Hallintokustannuksiin voidaan laskea muita kiinteitä kustannuksia, kuten johdon palkat, tukitoiminnot ja vakuutukset. (Holappa 2008: 12.)

Riskikustannuksien sisältämät kulut ovat riippuvaisia varastotasosta. Riskikustannuksiin kuuluvat hävikin aiheuttamat kustannukset (tavaroiden vanhentuminen, vauriot, katoamiset), tuotteiden arvonalentumiset sekä puutekustannukset. Puutekustannuksia syntyy tilanteessa, jossa asiakkaalle ei pystytä toimittamaan tuotetta, silloin kun asiakas sitä tarvitsee. Puutekustannuksiin voidaan laskea myynnin menettämisen aiheuttama menetetty liikevaihto, maineen heikentymisen ja tulevan myynnin menettämisen kustannukset. Puutekustannusten määrän arvioiminen on kuitenkin erittäin hankalaa. (Holappa 2008.)

3 Optimaalisen valmistuseräköön määrittäminen

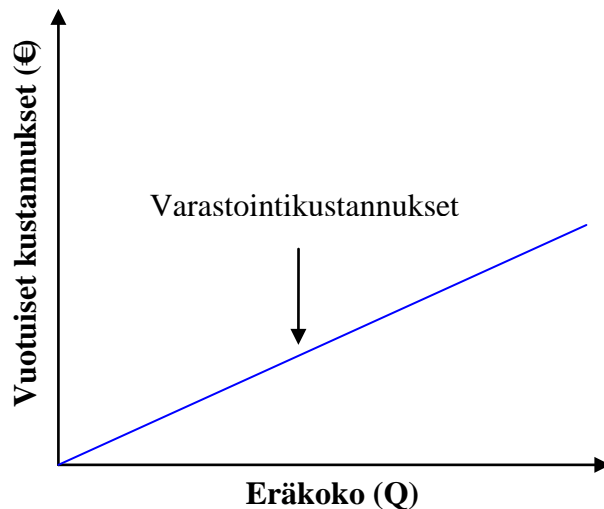
3.1 Taloudellisen valmistuseräköön määrittäminen

Valmistuseräköön optimoinnilla tarkoitetaan kysymystä, kuinka paljon valmistaa tuotetta kerralla, jotta tuotteen valmistuksen kokonaiskustannukset ovat minimissään. Optimaalisen valmistuserän ja taloudellisen valmistuserän määrittämistä voidaan pitää samana asiana

tässä yhteydessä, sillä optimi ratkaisu löydetään silloin, kun valmistuserä koko on kaikkein taloudellisin eli kustannuksiltaan edullisin. Taloudellista valmistuserää määrittäessä tulee ensin määrittellä kustannustekijät, jotka vaikuttavat tuotteen valmistuksessa.

Tuotteita valmistettaessa syntyy aina siihen kohdistuvia varastointikustannuksia.

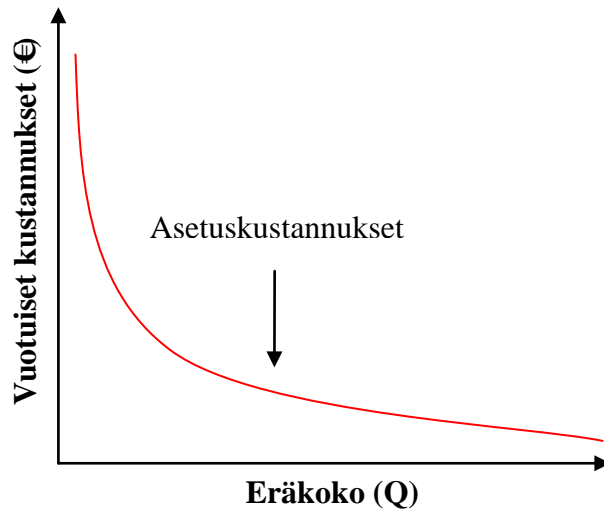
Varastointikustannukset ovat suoraan verrannolliset eräkoko, ne kasvavat eräkoon kasvaessa. Kuten kuvasta 7 näkyy, varastointikustannukset muodostavat lineaarisen suoran eräkoon nähden. Kuvassa y-akselilla on vuotuiset yksikkökustannukset ja x-akselilla erä koko. Kuten aiemmin tässä tutkimuksessa on selvitetty, varastointikustannukset koostuvat pääomakustannuksista sekä varastonpitokustannuksista. (Krajewski 2007: 471.)



Kuva 7. Vuotuiset varastointikustannukset

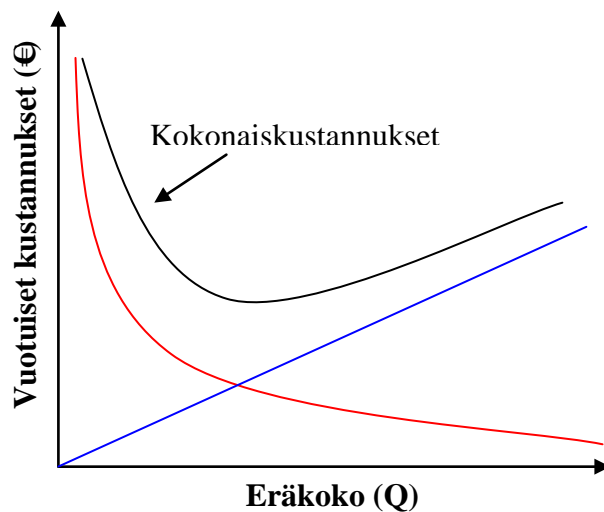
Toinen kustannustekijä on asetuskustannukset. Asetuskustannukset muodostuvat valmistuksessa tuotteen vaihdosta toiseen aiheutuvasta asetusaajan kustannuksista sekä suorista työkustannuksista. Vaihdon aikana koneet seisovat, jolloin seisokkiajasta aiheutuu kustannuserä. Tuotteen vaihdon yhteydessä tarvitaan usein myös henkilötyövoimaa, joka aiheuttaa työkustannuksia. Asetuskustannuksiin voi vaikuttaa myös muita tuotteen vaihdosta aiheutuvia kustannuksia, kuten laatuvirhekustannukset. (Krajewski 2007: 464–471.)

Asetuskustannukset ovat verrannollisia eräkokoon nähden, ne laskevat epälineaarisesti eräkoon kasvaessa. Mitä suuremmat eräkoot, sen vähemmän vaihtoja ja sen pienemmät kustannukset. Tämä on havainnollistettu kuvassa 8. (Krajewski 2007: 464-471.)



Kuva 8. Vuotuiset asetuskustannukset

Kun nämä kaksi kustannuserää yhdistetään, saadaan valmistuksen vuotuiset kokonaiskustannukset yksikköä kohden. Kuvassa 9 on esitetty samassa graafissa kokonaiskustannukset varastointi- ja asetuskustannusten summana.



Kuva 9. Vuotuiset kokonaiskustannukset

Kuten kuvasta nähdään, kokonaiskustannukset ovat pienimmillään käyrän minimikohdassa eli kohdassa, jossa kuvion varastointikustannukset-suora leikkaa asetuskustannukset-käyrän. Tässä kohdassa molempien kustannustekijöiden vuotuiset yksikkökustannukset ovat samat. Optimaalinen eräko sijaitsee siis x-akselilla kokonaiskustannusten minimikohdassa. Tätä optimikohtaa kutsutaan nimellä taloudellinen tilauseräko (Economic Order Quantity, EOQ) tai taloudellinen valmistuseräko (Economic Production Quantity, EPQ).

3.2 Taloudellisen eräkoon laskentamallit

Tässä luvussa käydään läpi matemaattisia laskentamalleja, joiden avulla voidaan laskea optimaalinen valmistuseräko. Teoreettinen optimaalinen eräko ei välttämättä ole paras mahdollinen ratkaisu käytännössä. Käytännössä valmistuserän taloudellisuuteen vaikuttaa moni muukin asia, kuin mitä malleissa oletetaan. Eräkoko voi rajoittaa esimerkiksi pakkauskoko tai kuljetusyksikön rajoitukset tai toimialalla vallitsevat standardieräkot. Rajoitteet tulisi selvittää tarkasti, jotta teoreettisen mallin soveltaminen käytäntöön olisi mahdollista.

3.2.1 Economic Order Quantity (EOQ) -kaava

Ostotoiminnoissa on varsin laajasti käytössä taloudellisen eräkoon laskentamalli, Economic Order Quantity (EOQ) -kaava. Mallia kutsutaan myös nimellä Wilsonin kaava. Sen avulla voidaan laskea taloudellinen tilauseräko. Malli on kehitetty jo vuonna 1913. Se on eräs vanhimpia tuotannonsuunnittelun työkaluja, joka on yhä nykyäänkin käytössä. Mallin on kehittänyt F.W Harris vuonna 1913, mutta se on tullut tunnetuksi liiketoimintakonsultti R.H Wilsonin tutkimuksesta Harvard Business Review -lehdessä vuonna 1934. (Economic order quantity 2009.)

Kaava antaa tulokseksi eräkoon, joka on varastointikustannusten ja tilauskustannusten välinen kompromissikohta. Se on siis kokonaistaloudellisesti kustannusten minimikohta, kuten aiemmin tutkimuksessa esitettiin. Muunnettuna sitä voidaan käyttää määrittäessä tuotannon taloudellista valmistuserää. Tällöin tilauskustannukset korvataan asetuskustannuksilla. (Haverila ym. 2005, s.455–456.)

EOQ -kaavalla laskettaessa on tehtävä seuraavat yleistyksiset:

- Kysyntä on tasainen ja tiedossa.
- Läpimenoaika on vakio.
- Ei rajoituksia eräkokoon.
- Tuotantoerän toimitus tapahtuu välittömästi ja täydellisenä.
- Nimikkeen ostohinta on vakio, eli ei paljousalennuksia.
- Tilauskustannus/asetuskustannus on vakio.

(Krajewski 2007: 470; Economic order quantity 2009.)

EOQ -kaava johdetaan laskemalla ensin tilauserän kokonaiskustannukset vuodessa:

Vuotuiset kokonaiskustannukset = hankintakustannukset ($P \cdot D$) + tilauskustannukset ($\frac{S \cdot D}{Q}$) + varastoinnin kustannukset ($\frac{H \cdot Q}{2}$), eli

$$TC = P \cdot D + \frac{S \cdot D}{Q} + \frac{H \cdot Q}{2} \quad (3)$$

Lasketaan kokonaiskustannusten minimikohta derivoimalla yhtälö (3) Q :n suhteen ja etsimällä derivaatan nollakohta:

$$\frac{\partial}{\partial Q} \left(P \cdot D + \frac{S \cdot D}{Q} + \frac{H \cdot Q}{2} \right) = 0 \quad (4)$$

Derivoinnin tulokseksi saadaan:

$$-\frac{S \cdot D}{Q^2} + \frac{H}{2} = 0 \quad (5)$$

Ratkaisemalla yhtälöstä (5) Q , saadaan optimaalisen tilauseräkoon kaava 6:

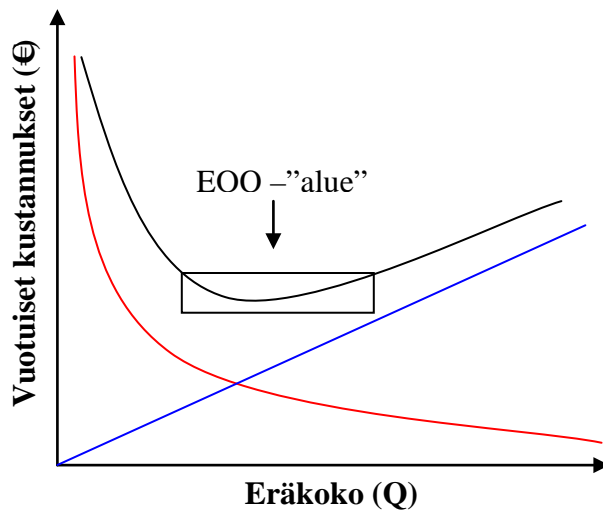
$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot D}{H}} \quad (6)$$

- Q on tilauseräkkö
- EOQ on optimaalinen tilauseräkkö
- D on vuotuinen kysyntä
- S on tilauskustannus/asetuskustannus erää kohden
- H on vuotuinen varastointikustannus yksikköä kohden
- P on ostohinta/valmistushinta yksikköä kohden
- TC on vuotuiset kokonaiskustannukset
- $\frac{D}{Q}$ on tilausten määrä vuodessa
- $\frac{Q}{2}$ on keskimääräinen varaston määrä.

Kaavan avulla saadaan optimaalinen eräkkö, mikäli kaikki oletukset pitävät paikkansa. Näin harvoin todellisuudessa on. Teoriassa optimin ratkaisun päteminen todellisuudessa on vaihtelevaa, ja se riippuu monesta asiasta, mutta sen avulla voidaan hyvin arvioida oikeata suurusluokkaa. EOQ:ta ei kuitenkaan voi käyttää taloudellisen eräkköön määrittelyssä, mikäli tuotanto on MTO-tyyppistä, tilauksille tehtävää tuotantoa, tai tuotantotapa on imuohjaustyyppinen. Tällöin eräkkö määrytyy tilauksien mukaan. (Krajewski 2007: 470.)

Taylorin (2001: 204) mukaan EOQ -kaavan käyttö on ongelmallista. Tämä perustuu Lean-ajatteluun, jonka mukaan varasto on turhuus, josta täytyy päästä eroon. Lean-ajattelun mukaan optimaalinen eräkkö on yksi. Tämä on kuitenkin todellisuudessa mahdotonta. Toinen ongelma kaavojen käytössä on se, että lähtötietojen tulisi olla mahdollisimman tarkat. Yleensä kustannuksien määrittely on vaikeaa. Erityisesti varastointikustannuksien määrittely on yleensä vain arvio, eikä välttämättä perustu riittävän tarkasti todellisiin lukuihin. Yleensä varastointikustannukset ovat pikemminkin aliarvioitu kuin yliarvioitu, mikä johtaa laskennassa suurempiin eräkköihin. (Taylor 2001: 204)

EOQ -kaavan käytössä on kuitenkin kaksi vartenotettavaa vahvuutta. Sitä on yksinkertainen käyttö. Laskenta onnistuu melko helposti eikä se vaadi ylimääräisiä kuluja, esimerkiksi optimointi-, tai simulointiohjelmistojen hankintaa. Toinen on funktiossa optimaalisen alueen ”leveys”. Kokonaiskustannusten minimi ei siten ole ”jyrkkä” kohta funktiossa, vaan käyrä on loiva. Tällöin lähellä optimia olevat eräkköt ovat edelleen kokonaiskustannuksiltaan lähellä minimikohtaa. Kuva 10 selvittää asian. (Taylor 2001: 204-205.)



Kuva 10. Taloudellisen eräkköön alue

EOQ-kaavaan kohdistuvasta kritiikistä huolimatta viime vuosikymmeninä on tehty paljon tutkimuksia EOQ -kaavasta, ja siitä on johdettu sovellettuja kaavoja. On siis perusteltua sanoa, että näitä kaavoja käytetään yhä nykyäänkin hyvin laajalti. EOQ-mallin vartenotettavia vaihtoehtoja ei ole kovinkaan paljon. EOQ-malli on hyvä työkalu ja lähtökohta optimien ratkaisujen etsimiseen.

3.2.2 Economic production Lot Size (ELS) -kaava

EOQ-mallissa yhtenä oletuksena on, että tilauserän (valmistuserän) toimitus tapahtuu välittömästi ja kokonaisuena. Mikäli halutaan ottaa huomioon, että tuotantoerän toimitus varastoon ei tapahdu kokonaisuena täyden erän valmistuttua vaan varasto täyttyy asteittaisesti, voidaan käyttää tuotantoerän optimoinnissa ELS-kaavaa. Kaava soveltuu käytettäväksi prosessinomaisessa tuotannossa, esimerkiksi nesteiden tai kaasujen tuotannossa, jossa tuotteen ominaisuus on sellainen, että sen käyttö on mahdollista ennen erän valmistumista. ELS-malli ei siis sovellu kappalevaratuotantoon. (Krajewski 2002: 636–637.)

ELS-kaava on seuraavanlainen (Krajewski 2002: 636–637):

$$ELS = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{H}} \cdot \sqrt{\frac{p}{p-d}} \quad (7)$$

p on tuotantovauhti (yksikköä aikayksikköä kohden)

d on kysyntä (yksikköä aikayksikköä kohden).

Kuten kaavasta näkee, kaavan jälkimmäisen termin on oltava positiivinen, joten tulokseksi saadaan suurempia eräkokoja kuin EOQ-kaavasta.

3.2.3 EOQ –kaavan parannuksia

EOQ- ja ELS-kaavasta on tehty viime vuosikymmenien aikana lukuisia tutkimuksia, vaikka itse kaava on melkein sata vuotta sitten kehitetty. Monet tutkimukset liittyvät kaavan epärealistisiin olettamuksiin. Kaavaa onkin yritetty parantaa lisäämällä siihen muuttujia, jotka kompensoivat näitä olettamuksia.

Jamal (2004) on kehittänyt melko yksinkertaisen modifikaation ELS-mallista. Mallissa voidaan taloudellisen tuotantoerän laskennassa ottaa huomioon tuotteiden laatuvirheet. Laatuvirheiden määrä on määritetty tapahtuvan tietyllä prosentilla valmistettavista tuotteista. Nämä virheelliset eli ”scrap” -tuotteet voidaan valmistaa uudelleen ”rework” -korjausprosessissa. (Jamal 2004.)

Toisessa mallissa (Sana 2009) oletetaan, että tuotantojärjestelmän tila vaihtuu ”hallittu” -tilasta, ”ei hallittu” -tilaan, jolloin syntyy scrap-tuotteita. Mallissa scrap-tuotteet valmistetaan uudelleen, mikä aiheuttaa uudelleenvalmistuskustannuksia. Mallissa oletuksena on, että todennäköisyys, että systeemi muuttuu ”hallitusta” tilasta ”hallitsemattomaan” tapahtuu eksponentiaalisen todennäköisyysjakauman mukaan. ”Hallitsemattomassa” tilassa tuotetaan scrap-tuotteita tietyn määrän ajan, kunnes systeemi palaa ”hallittuun” tilaan. Scrap-tuotteet voidaan työstää uudelleen välittömästi. (Sana 2009.)

Cardenas-Barron (2009) ottaa mallissa huomioon lisäksi jälkitoimitusten aiheuttamat kustannukset. Jälkitoimitettaville tuotteille asetetaan kiinteä yksikkökustannus sekä vuosittainen muuttuva kustannus. (Cardenas-Barron 2009.)

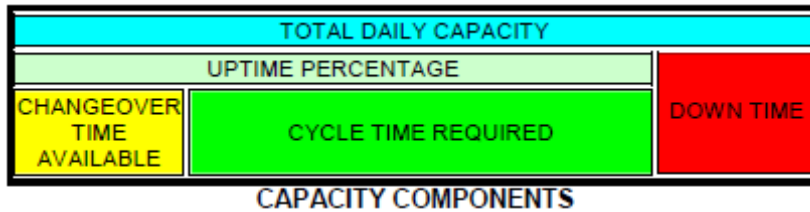
Kunnianhimoisin EOQ-malli on Chiu ym. (2006) malli, jossa optimaalisen eräkoon määrittämisessä on pyritty huomioimaan scrap-tuotteiden ja rework-prosessin lisäksi koneiden vikaantuminen. Koneiden vikaantuminen tapahtuu sattumanvaraisesti. Osa scrap-tuotteista pystytään korjaamaan rework-prosessissa ja osaa ei. Malli kompensoi hyvin

perinteisen EOQ-kaavan epärealistisia oletuksia ja pyrkii antamaan luotettavamman tuloksen joka vastaa todellista tuotantoympäristöä. Malli on kuitenkin hyvin monimutkainen, ja se vaatii paljon lähtötietoja, joita ei välttämättä pysty määrittelemään tai laskemaan tarkasti. Tällöin niitä pitäisi arvioida. Epätarkkuudet lähtötiedoissa vaikuttava tuloksen luotettavuuteen huomattavasti, joten malli ei ole kovin käyttökelpoinen todellisuudessa. (Chiu ym. 2006.)

3.3 Kapasiteettiperusteinen laskentamalli

Täysin erilainen lähestymistapa erän muodostuksen optimointiin on kapasiteetilähtöinen ajattelutapa. Every Product Every Interval eli EPEI-laskenta on kapasiteettiperusteinen laskentatapa. Kapasiteettiperusteinen laskenta ei perustu kustannusten minimoimiseen, kuten EOQ-laskenta, vaan eräkokojen minimoimiseen. EPEI-laskennan avulla voidaan laskea pienimmän mahdollisen tuotettavissa olevan ajosarjan pituus, eli tuotantoerän koko. EPEI-laskenta perustuu siten Lean-ajatteluun. (Guild 2009.)

EPEI:n avulla pyritään pieniin eräkokoihin ottamalla kuitenkin tuotteiden vaihtoajan huomioon, jotta kysyntään voidaan vastata kaikki tuotteet huomioiden. Säästöt kustannuksissa tulevat varastointikulujen pienentymisenä, läpimenoajan nopeutumisenä ja tällöin kokonaistaloudellisesti tuotantokulujen pienentymisenä. Lyhyesti sanottuna EPEI-laskenta on käytettävissä olevan kapasiteetin optimointimenetelmä, jonka avulla pyritään löytämään pienimmät mahdolliset ajosarjakoot. EPEI –laskennan perusta on päivittäisen tuotantokapasiteetin jakaminen komponentteihin kuvan 11 osoittamalla tavalla. (Guild 2009.)



Kuva 11. Tuotantokapasiteetin komponentit (Guild 2009)

Päivittäisestä kokonaiskapasiteetista vähennetään resurssin, esimerkiksi tuotantolinjan tai -koneen seisokkiaika. Jäljelle jäävästä kapasiteetista lasketaan päivittäin kaikkien tuotteiden vaatima valmistuksen kiertoaika. Esimerkiksi tuotetta A tarvitaan 20 kappaletta, tuotetta B 15 kappaletta ja tuotetta C 18 kappaletta, tahtiaika on 5 kappaletta minuutissa. Tällöin kokonaiskiertoaika on $(20 \cdot 5 \text{ min} + 15 \cdot 5 \text{ min} + 18 \cdot 5 \text{ min}) = 265$ minuuttia. Kaikkien tuotteiden kiertoaika lasketaan yhteen, ja näin saadaan koko tuotevalikoiman valmistukseen käytettävä aika. Kapasiteetista jäljelle jäävä aika voidaan käyttää vaihtoihin. Kun tiedetään vaihtojen vaatima asetus aika, voidaan laskea, kuinka monta vaihtoa voidaan tehdä tuotteille päivässä. Tästä voidaan laskea tuotteiden täydennysvälit varastoon ja ajosarjan pituus. Ajosarjan pituudesta voidaan laskea erä koko kullekin tuotteelle niiden kysynnän mukaan. Menetelmä voidaan esittää seuraavalla matemaattisella kaavalla: (Guild 2009.)

$$TV = \frac{\sum VA}{(R \cdot K) - \sum (D \cdot KA)} \quad (7)$$

TV on täydennysväli, päivinä

VA on vaihtoaika, minuutteina

R on resurssin teoreettinen päivittäinen käytettävissä oleva aika (Ei seisokkiaikaa), minuutteina

K on resurssin päivittäinen käytettävissä oleva aika, minuutteina

D on päivittäinen kokonaiskysyntä, kappaleina

KA on tuotteiden kiertoaika, minuutteina.

Laskentamalli toimii hyvin, mikäli tuotteiden keskimääräiset vaihtoajat ovat melko pieniä, eikä tuotteita ole kovin paljon. Vaihtoaikojen ollessa pitkiä tai tuotteita ollessa paljon ajosarjakoon laskenta voi olla mahdotonta, jos kapasiteetin tarve on suurempi kuin käytettävissä oleva kapasiteetti. Todellisuudessa kuitenkin kysyntään pystytään vastaamaan, eikä kapasiteetti ole pullonkaula. Kysyntä päivää kohden lasketaan kuitenkin kuukausi- tai vuosikysynnästä, joka ei varmastikaan ole jakautunut tasaisesti joka päivälle. Aikayksikön ei tarvitse olla yksi päivä, vaan menetelmää voi käyttää myös esimerkiksi kuukausitasolla. (Guild 2009.)

Malli on myös yksinkertaistettu laskentamenetelmä. Todellisuudessa tuotantoympäristö on monimutkaisempi. Tuotannon skedulointiin vaikuttavat tuoteperheet, joiden sisällä vaihtoajat voivat olla pienempiä kuin tuoteperheiden välillä. Tämä täytyy ottaa laskennassa huomioon laskemalla erikseen täydennysväli tuoteperheen sisäisillä ja tuoteperheiden välisillä vaihtoajoilla. (Guild 2009.)

3.4 Muita optimointimenetelmiä

3.4.1 Taloudellisen tuotantoerän skedulointiongelma, Economic Lot Scheduling Problem (ELSP)

Taloudellisen tuotantoerän skedulointiongelma, eli ELSP on malli, joka on kehitetty EOQ-mallista ottamalla huomioon tuotteiden valmistusjärjestys eräkoon lisäksi. ELSP on siis matemaattinen optimointimalli, jonka ajatuksena on ratkaista, kuinka paljon valmistetaan mitään tuotetta ja missä järjestyksessä, jotta valmistuksen kokonaiskustannukset olisivat mahdollisimman pienet. Mallissa voidaan ottaa huomioon myös se, että eri nimikkeillä voi olla eri asetajat. (Economic Lot Scheduling Problem 2010; Guerfi 2009.)

ELSP-mallin ongelma on se, että optimointi ei onnistu kovinkaan helposti. Optimointiongelma luokitellaan ”NP-kovaksi” ongelmaksi, mikä tarkoittaa, että ratkaisun löytäminen ei välttämättä ole edes mahdollista nykyisilläkään tietokoneilla, koska eri variaatioiden määrä on niin suuri. Optimin tuloksen approksimoiminen on kuitenkin mahdollista esimerkiksi heuristisilla menetelmillä tai geneettistä algoritmia käyttäen. (Economic Lot Scheduling Problem, wikipedia the free encyclopedia 2010)

ELSP-ongelmaa on tutkittu paljon, ja sen sovellus mahdollisuuksia käytännössä. Varsinkin nimikkeiden määrän ollessa suuri mallia ei kuitenkaan pystytä hyödyntämään. Lisäksi ELSP-optimointi vaatii erityisosaamista sekä optimointiohjelman käyttöä.

3.4.2 Simulointi

Simulointi tarkoittaa tietokonepohjaista mallia, jolla jäljitellään todellista tuotantojärjestelmää. Simuloinnin avulla voidaan tehdä kokeita, joiden avulla saadaan arvokasta tietoa todellisesta systeemistä nopeasti ja tarvitsematta ajaa tuotantoa todellisuudessa. Simuloinnilla voidaan siis esimerkiksi ajaa tuotantoa tietyillä parametreilla nopeutetulla ajalla, jolloin voidaan esimerkiksi vertailla eri ohjausmenetelmiä keskenään. Simulointia voidaan käyttää monenlaisissa tilanteissa päätöksenteon tukena, esimerkiksi lisäkapasiteetin investointipäätöksissä, tuotantolaitosten sijoittelupäätöksissä ja logistiikan pullonkaulojen eliminoinnissa. Simulointi ei kuitenkaan ole varsinainen optimointityökalu, mutta erilaisia optimointi- ja etsintämenetelmiä voidaan soveltaa simulointimallissa. Kokeiltavat vaihtoehdot täytyvät joka tapauksessa itse selvittää. (Paju 2009.)

Simulointia varten tarvitaan simulointiohjelmisto ja sillä tuotettu validi malli tuotantojärjestelmästä. Yleensä simulointimalli tuotetaan konsulttiyrityksen toimesta, sillä simulointimallin koodaaminen ohjelmistossa vaatii usein erityisosaamista. (Paju 2009.)

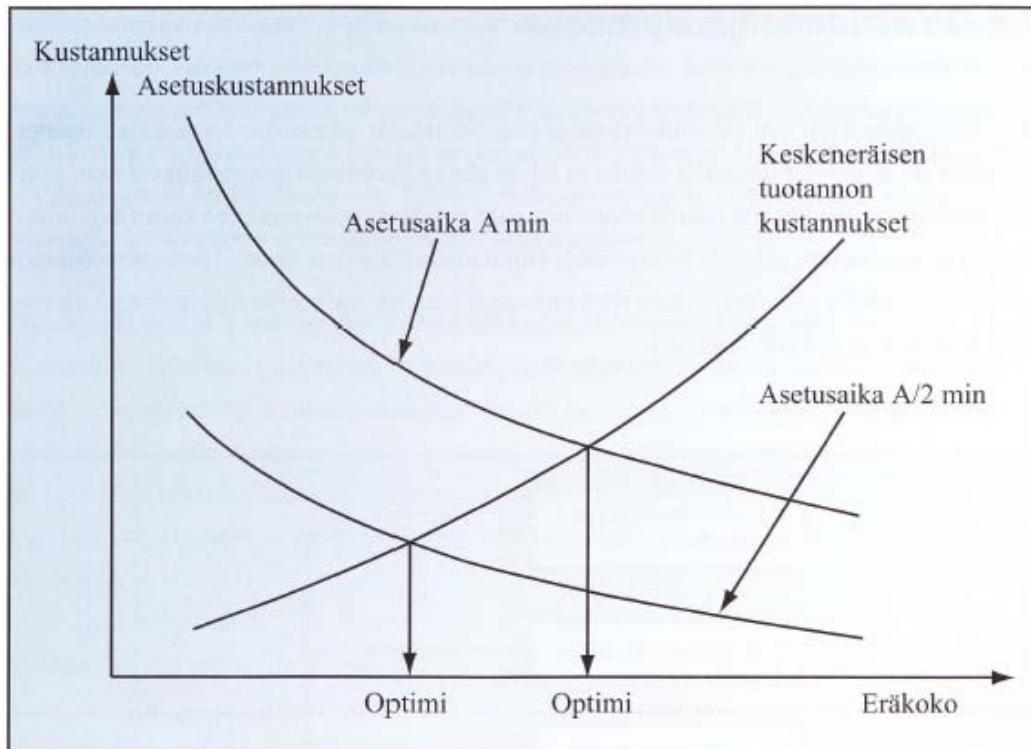
Simulointi on siten kallista ja paljon aikaa vievää. Tästä syystä pelkästään taloudellisen eräkoon selvittämiseen simuloinnista ei ole hyötyä. Mikäli tuotantojärjestelmää tutkitaan osana isompaa projektia, simulointi on hyvä keino tutkia erilaisten eräkokojen vaikutusta tuotantoprosessiin, tuotannon läpimenoaikaan ja kokonaiskustannuksiin.

4 Kustannusten pienentäminen

Valmistuksen läpimenoaikoja voidaan pienentää valmistuksen eräkokoja pienentämällä sekä välivarastoja poistamalla. Läpimenoajat kasvavat valmistuseräkokojen kasvaessa, sillä työvaiheiden väliset odotusajat kasvavat samassa suhteessa kuin erä koko. Jotta sillä on vaikutusta läpimenoaikaan, valmistuksen eräkoon pienentäminen edellyttää asetusaikojen pienentämistä. (Haverila ym. 2005: 406.)

Asetusaikoja voidaan lyhentää teknisillä ratkaisuilla ja organisoimalla asetusten teko (muotin vaihto, parametrien asetus jne) tehokkaammaksi. Asetusta voidaan valmistella pitkälle muuttamalla sisäinen asetusaika ulkoiseksi. Ulkoinen asetusaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu tuotevaihdon tekemiseen koneen toimintaan puuttumatta. Tuotevaihtoa valmistellaan suorittamalla osa asetuksen toimenpiteistä koneen yhä käydessä. Tällä pyritään minimoimaan koneen seisokkiaika. (Haverila ym. 2005: 406.)

Asetuskustannusten pienentämisellä on merkittävä vaikutus tuotannon kokonaiskustannuksiin. Lyhyempien vaihtoaikojen ansioista voidaan valmistaa pienempiä erä, ja sillä on lisäksi positiivinen vaikutus läpimenoaikaan sekä varastointikustannuksiin, jotka pienenevät. Kuva 12 havainnollistaa asetusaikojen vaikutusta kustannuksiin ja optimieräkokoon.



Kuva 12. Asetusaajan alentamisen vaikutus kustannuksiin. (Haverila ym. 2005: 408)

Taylorin (2001) mukaan suuret eräkoot aiheuttavat muutakin harmia kuin suuret lopputuotevarastot. Suuret eräkoot tarkoittavat myös suurta KET:iä ja läpimenoajan kasvua, ja se tekee tuotantoprosessista joustamattoman. Pitkiä sarjoja ajettaessa tuotteiden muutokset ja määrien hallinta vaikeutuu. Lisäksi laadun tarkkailu vaikeutuu. Laatuvirheet huomataan myöhemmin ja tällöin laadussa pysymisestä aiheutuu suuret kulut jos esimerkiksi joudutaan tekemään koko erä uudelleen. Lean-ajattelun mukaan varasto on turhuus, josta on kyettävä pääsemään eroon. Toisaalta Krajewski (2007) esittää, että taloudellisen eräkoon määrittäminen EOQ-laskennan avulla on yhteensopiva Lean –periaatteiden kanssa. Taylor korostaa tuotannon skeduloinnin tärkeyttä valmistuksen, sekä koko toimitusketjun kustannustehokkuuden kannalta. (Taylor 2001: 203-204; Krajewski 2007: 475.)

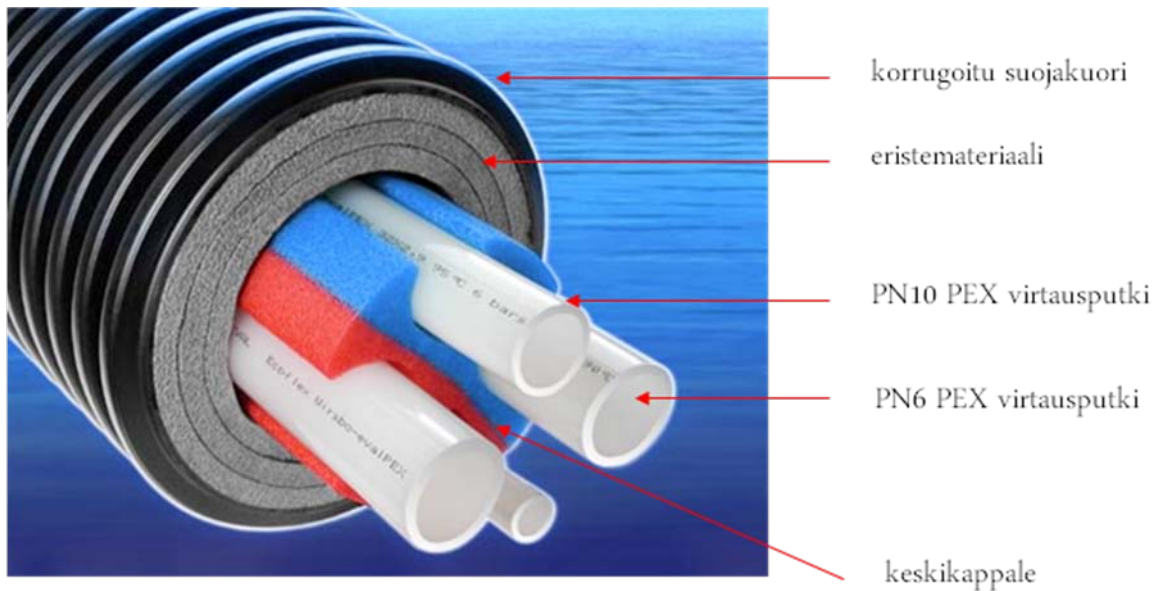
5 Tuotanto Uponorin Nastolan käyttö- ja lämminvesiyksikössä

Uponorin Nastolan tehdas on Suomen suurin Uponorin tuotantolaitos. Nastolassa valmistetaan pelkästään muovituotteita, muoviyhteitä ja muoviputkia. Tuotanto on jakautunut kahteen liiketoimintayksikköön, yhdyskuntatekniikan ja talotekniikan tuoteperheiden mukaan. Talotekniikan liiketoimintayksikkö jakautuu taas kahteen osastoon, jotka ovat muoviliittimet (plastic fittings) ja eristetyt putkistot (pre-insulated pipes).

Muoviputkien ja yhteiden valmistus voidaan luokitella jatkuvaksi prosessituotannoksi, mutta se sisältää kuitenkin solu- ja linjatuotannon piirteitä. Jatkuva prosessi soveltuu hyvin yksinkertaisten tuotteiden massatuotantoon, ja se on hyvin automatisoitua. Työvoimaa tarvitaan lähinnä valvontaan ja vaihtojen tekemiseen. Raaka-aineen sekoituksen jälkeen tuotanto muistuttaa ohjaukseltaan solu- ja linjatuotantoa. Raaka-aine voidaan myös hankkia valmiina, jolloin erillinen sekoitusvaihe voidaan jättää pois, jolloin muovituotteen valmistus ei ole prosessituotantoa vaan enemmänkin kappaletavaratuotantoa. (Tehdaskierros 2006.)

5.1 Eristettyjen putkistojen tuotanto

Käyttö- ja lämminvesiyksikön eristetyt putkistot -osastolla valmistetaan talotekniikassa ja kunnallistekniikassa käytettäviä lämpöeristettyjä muoviputkia. Eristettyjä putkistojärjestelmiä markkinoidaan Ecoflex -tavaramerkillä. Lämpöeristetty putkijärjestelmä sisältävää PEX-muoviputken tai useita putkia, lämpöeristemateriaalin sekä ulkokuoren, joka on korrugoitua muovia. Korrugoitu muovi on taipuisa, ja se kestää hyvin fyysistä rasitusta ja tärinää. Eristys estää putken jäätyksen kylmissä olosuhteissa. Kuvassa 13 on esitetty Ecoflex-lämpöeristetyn putkijärjestelmän osat.



Kuva 13. Ecoflex – eristetty putkisto (Insulated plastic pipe system 2006)

Tuotevariaatioita on varsin paljon. Ulkokuoria on viisi eri kokoa, ja sisäputkia on eri kokoja tarpeen mukaan. Sisäputkia voi olla yksi tai useampia, ja tuote voi olla esimerkiksi varustettu lämmityskaapelilla. Eri nimikkeitä on runsaasti, noin 150. Eristettyjä putkistoja valmistetaan myös Uponorin muissa yksiköissä Euroopassa. Nastola on ainoa yksikkö Suomessa, joka valmistaa eristettyjä putkistoja. Valmistus on kokoonpano-tuotantotyypistä. Osa komponenteista valmistetaan tehtaalla itse, ja osa materiaaleista tulee ulkopuolisilta toimittajilta. (Siitari 2010.)

Lopputuotteet ovat 100 tai 200 metriä pitkiä putkikeloja. Kuvassa 14 on esitelty valmis putkikela. Putkien jakelu tapahtuu tukkuliikkeiden kautta, jotka haluavat ostaa tuotteita näissä kokoluokissa. Asiakastilauksien mukaan voidaan tuotannossa ajaa myös pienempiä keloja, tai vaihtoehtoisesti leikataan valmiista keloista suoraan määrämittainen kela. Haasteena on, kumpi on kannattavampaa. Pienet, asiakkaille räätälöidyt sarjat rasittavat tuotannonohjausta, mutta valmiin kelan pilkkominen saattaa aiheuttaa hävikkiä, koska varastossa on turha pitää vajaita keloja, joita ei voi myydä. (Siitari 2010.)

Tuotanto on enimmäkseen varastoon valmistavaa tuotantoa eli MTS-tuotantoa. Taloteknisten tuotteiden kysyntää leimaa kuitenkin melko suuri kausivaihtelu. Myynti on huomattavasti suurempi kesäkuukausina kuin talvikuukausina. Tämä johtuu siitä, että loppuasiakkaat ovat tyypillisesti rakennusurakoitsijoita, joilla rakennus- ja remontointiurakat ajoittuvat normaalisti kesäkuukausiin. (Siitari 2010.)



Kuva 14. Putkikela (Preinsulated / Eristetytputkistot Nastola 2009.)

5.2 Muoviliitintuotanto

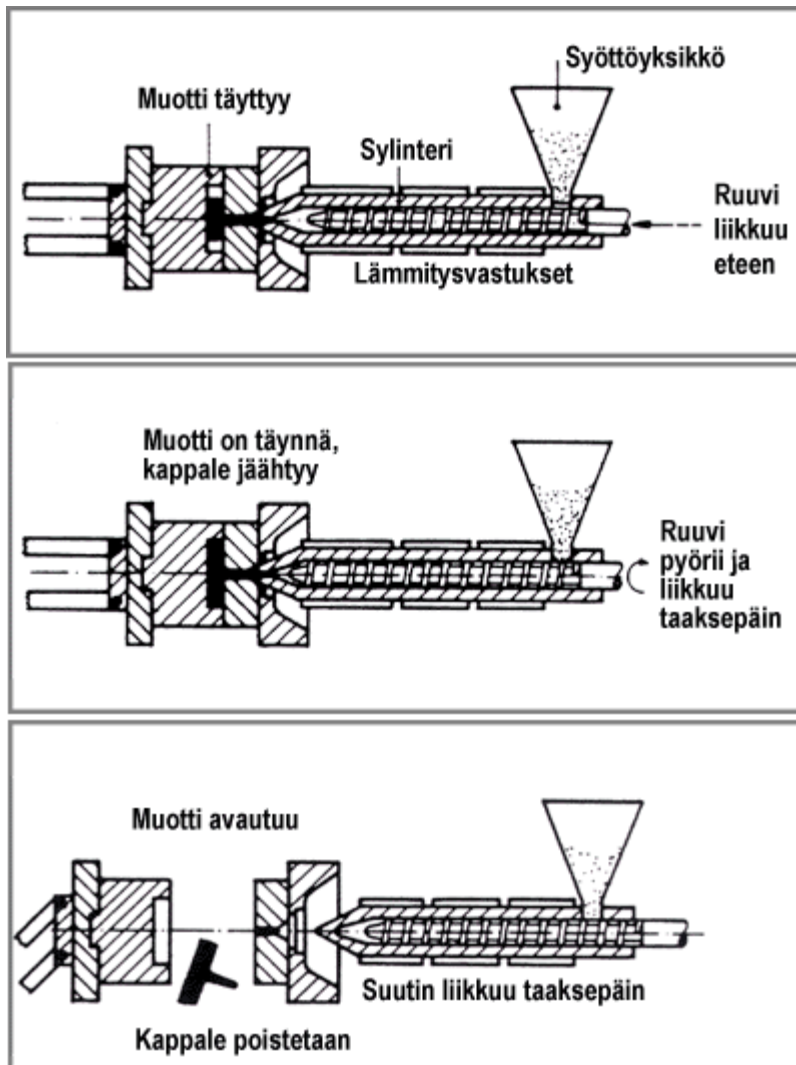
Muoviliitinosastolla valmistetaan putkien liittimiä sekä muita käyttö- ja lämminvesiyksikön putkistojen muoviosia. Osastolla valmistetaan hyvin laajasti erilaisia tuotteita, nimikkeitä on noin 200. Tuotteita on esimerkiksi erilaisia ja erikokoisia muoviliittimiä, liitosholkkeja, haara- ja kulmakappaleita, jakotukkeja jne. Kuvassa 15 on muutama esimerkki tuotteesta.



Kuva 15. Esimerkkejä muoviliitintuotannon tuotteista. (Preinsulated / Eristetytputkistot 2009.)

Tuotanto on ruiskuvalukoneilla tapahtuvaa jatkuvaa kappaletavaratuotantoa.

Ruiskuvaluprosessi on kuvattu lyhyesti kuvasarjassa 16.



Kuva 16. Ruiskuvaluprosessin vaiheet (Ruiskuvaluprosessi 2010.)

Ruiskuvaluprosessissa muoviraaka-aine kulkee syöttöyksiköstä ruiskuvalukoneen läpi muottiin. Valmistusprosessissa raaka-aine plastisoidaan lämmön ja ruuvien aiheuttaman mekaanisen energian avulla ruiskuvalukoneen sylinterissä. Plastisoinnilla tarkoitetaan muoviraaka-aineen saattamista kiinteästä muodosta juoksevaan, sulaan muotoon. Tämän jälkeen plastisoitu muoviraaka-aine ruiskutetaan muottiin ruuvien pyörimisen aiheuttaman

paineen avulla. Tätä seuraa jälkipainevaihe, jonka tarkoituksena on kompensoida massan jähmettymisestä aiheutuvaa kutistumista, ja siten estää epätasaisuuksien muodostumista kappaleen pintaan. Jäähdytysjakso alkaa heti massasulan virratessa muottiin. Jäähdytys kestää jälkipainevaiheen yli ja loppuu vasta, kun kappale on riittävän jäykkä, jotta se voidaan poistaa muotista. Muotista poistaminen tapahtuu sulkuyksikön avautumisella ja kappaleen työntämisellä ulos muotista. Tämän jälkeen muotti sulkeutuu jälleen kiinni ja prosessi alkaa alusta. (Ruiskuvaluprosessi 2010.)

Ruiskuvalusoluun kuuluu koneen lisäksi pakkaussolu, jossa tuotteet pakataan kuljetusyksikköihin. Kuljetin kuljettaa valmiit laatikot seuraavaan tuotantovaiheeseen, jossa osa tuotteista lämpökäsitellään uunissa. Lämpökäsittelyssä muovikappaleesta poistuu kemiallisia jännitteitä, millä pyritään varmistamaan tuotteen kestävyys ja korkea laatu. Lämpökäsittely kestää noin kolme tuntia, joten tämä vaihe vaikuttaa melkoisesti tuotteiden läpimenoaikaan. Lämpökäsittelyn jälkeen tuotteet pakataan. Osa tuotteista pakataan pusseihin sekä pahvilaatikoihin. Nämä tuotteet ovat valmiita lopputuotteita, jotka myydään varastosta asiakkaille (tukkurit). Osa tuotteista on komponentteja, joita käytetään lopputuotteen valmistukseen toisessa Uponorin tehtaassa. Tuotteet pakataan kuljetusta varten pahvilaatikoihin. Pakkaamossa on neljä pussituslinjaa, mutta laatikoihin pakkaaminen tapahtuu manuaalisesti. (Ylitalo 2010.)

Muoviliitintuotannossa valmistus on jatkuvaa, 24 tuntia päivässä, 7 päivää viikossa tapahtuvaa tuotantoa. Työntekijöitä työskentelee kahdessa vuorossa klo 06–18 välillä. Tänä aikana suoritetaan tuotantoerien vaihtotyöt, huoltotyöt ja pakkaaminen. Koska yöllä ei tarvita työvoimaa, pystytään säästämään työvoimakuluissa huomattavasti. Toisaalta tämä asettaa rajoitteita esimerkiksi tuotantoerien optimointiin, sillä vaihdot eivät onnistu klo 18–06 välillä, ja tällöin sarjaa täytyy ajaa koko tämän ajanjakson. Lisäksi laadunvarmistuksessa täytyy ottaa huomioon systemaattisen virheen muodostumisen uhka, joten vaihtojen jälkeen tuotantoprosessia ja tuotteita tarkkaillaan virheiden estämiseksi parin tunnin ajan. Tämän johdosta vaihtojen mahdollisuudet rajoittuvat klo 06–16 välille. (Ylitalo 2010.)

Muoviliitintuotanto on MTS-tyyppistä varasto-ohjautuvaa tuotantoa. Kausivaihtelu on merkittävää myös muoviliitintuotannossa. Komponenttituotteissa kausivaihtelu ei ole niin suurta kuin loppuasiakkaille menevissä tuotteissa. (Ylitalo 2010.)

6 Tuotantoerien optimointi

Toinen osa työn tarkoituksesta oli tutkia eräkokojen muodostusta Uponorin käyttö- ja lämminvesiyksikössä Nastolassa, määrittää optimaaliset eräkoot ja vertailla tuloksia keskenään. Ensiksi selvitän, miten Uponorilla on aiemmin määritelty ajosarjojen koot. Seuraavaksi tutkin, mitä rajoitteita ja ongelmakohtia eräkokojen optimoinnissa on ja mitä laskentamenetelmää on järkevin käyttää taloudellisten eräkokojen laskemisessa. Lopuksi suoritan esimerkkilaskelmia perustuen oikeaan dataan ja analysoin tuloksia.

6.1 Nykytila

Uponorin käyttö- ja lämminvesiyksikössä on käytössä Oraclen tuotannonohjausjärjestelmä. Oraclen ERP-järjestelmä sisältää tuotannosuunnittelutoiminnot. Järjestelmä antaa kysyntätietoihin perustuvia valmistusehdotuksia, jotka tarkentuvat aikajänteen lyhentyessä ja kysyntätietojen tarkentuessa. Valmistusehdotus määrittää tuotantoerän alkamis- ja loppumisajan, sekä ajosarjan pituuden eli tuotantoerän koon. Kysyntätieto koostuu monista eri tekijöistä, joita ovat ostotilaukset, ennusteet, sisäiset tilaukset, käsillä olevan varaston määrä sekä varmuusvaraston koko. Ei ole kuitenkaan selvillä, perustuuko laskelma taloudellisen eräkoon laskentaan ja millä logiikalla tuotantoerien muodostus järjestelmässä tapahtuu.

Tuotannosuunnittelija tekee valmistusehdotuksen huomioon ottaen tuotannon aikataulutuksen ja muodostaa tuotantoerät. Tuotantoerien muodostuksessa tuotantoajosarjojen pituuksien määrittäminen perustuu enemmänkin empiriseen tietoon ja

käytännön kokemukseen sopivista tuotantoeristä. Monet käytännön rajoitteet vaikuttavat ajosarjakokoon.

6.2 Rajoitteet

Eräkokojen optimoinnin laskentamallit ovat teoreettisia eivätkä ota huomioon todellisen tuotantosysteemin ja käytännön asettamia rajoitteita. Lisäksi, kuten aiemmin raportissa on todettu, laskentamalleissa tehdään oletuksia, jotka eivät pidä paikkansa todellisuudessa, mutta ovat tarpeellisia mallin toimivuuden takia. Rajoitteet voivat vaihdella erilaisista syistä johtuen, joten rajoitteiden määrittäminen on tapauskohtaista eri tuotantosysteemeissä. Rajoitteiden avulla voidaan määrittää valmistuserille minimi- ja maksimikoot. Mikäli optimi valmistuserä koko ylittää tai alittaa nämä arvot, optimointia ei voida käyttää, ja silloin voidaan valita eräkooksi minimi tai maksimi.

Eristettyjen putkistojen tuotannossa on parempi käyttää käsitettä ajosarja kuin erä koko, sillä tuotantoerän yksikkö on putken pituus (metreinä). Merkittävin rajoite on toimittajan toimituserä koko. Toimittajalta hankitut PEX-virtausputket toimitetaan 600 metrin rullakokoina Nastolaan. Rullat halutaan käyttää kerralla kaikki, jotta ei jäisi vajaita rullia raaka-ainevarastoon hävikiksi. Vajaiden rullien käsittely aiheuttaa turhaa työtä. Rullat ovat myös kookkaita, joten ne tarvitsevat melkoisesti varastotilaa. Vajaiden rullien käyttö lisää myös asetusten määrää, mikäli sarjan valmistuksessa joudutaan kesken vaihtamaan putkikelaa.

Lopputuotteet ovat 100 ja 200 metrin kokoisia putkikeloja, joita ajetaan siis vähintään 600 metrin sarjoissa. Ajosarjan maksimikokoa rajoittaa nimikkeen varaston riittolukuarvo, joka on määritetty olevan maksimissaan 100 päivää. Käytännössä ajosarjojen kokoja rajoittaa myös kapasiteetin riittävyys. Kapasiteettia pitää jakaa monille tuotteille, jotta voidaan vastata kysyntään jokaisen tuotteen kohdalla. Tuotannosuunnittelun tehtävä on järkevä tuotannon priorisointi ja aikataulut.

Muoviliitintuotannossa rajoitteena on pakkauskoko. Tuotteita mahtuu pakkauksiin tietty määrä, eikä ole järkevää valmistaa vajaita pakkauksia, joten minimieräkokona voidaan pitää pakkauskokoa. Pakkauskoko riippuu tuotteesta ja pakkaustavasta.

Muoviliitinvalmistuksessa on määritetty myös minimiiluseräkokoja, jotka on asetettu Uponsorin toimesta. Minimiluserää pienempiä erä ei myydä asiakkaille.

Eräs rajoittava tekijä on ns. startup scrapin, eli tuotantoerän aloituksessa aiheutuvien laaturvirheiden määrä. Muovituotannossa tuotantoerän valmistuksen alussa aiheutuvia virheitä tapahtuu aina, mikä pitää ottaa huomioon asetusajoissa ja kustannuksissa.

Muoviliitintuotannossa ruiskuvalun startup scrap on keskimäärin noin 200 kappaletta.

Maksimieräkokoa rajoittaa asetettu maksimivarastotaso. Toinen erän kokoa rajoittava tekijä on lämpökäsittelyä vaativissa tuotteissa uunien kapasiteetti.

6.3 Laskentamallin valinta

Päätin tässä työssä käyttää optimaalisen eräkoon määrittämiseen EOQ-laskentamallia sekä EPEI-kapasiteetilaskentamallia. Kuten aiemmin raportissa käsiteltiin, EOQ-mallin avulla saadaan laskettua kokonaiskustannuksiltaan taloudellisimmat eräkoot, kun kustannustekijät ovat tiedossa. Kaavan edellyttämät oletukset ovat epärealistisia, mistä johtuen kaavan antamat tulokset eivät vastaa tarkasti todellisuutta. Tässä tapauksessa tuloksien voidaan uskoa olevan riittävän tarkkoja oikean suuruusluokan määrittämiseen. Laskennan tuloksia ei ole tarkoitus soveltaa suoraan tuotannonsuunnittelussa, vaan niiden tulisi toimia yhtenä näkökulmana tuotannon skeduloinnissa ja ajosarjojen kokojen ja määrien suunnittelussa.

EOQ-malliin on julkaistu lukuisia parannuksia, jotka pyrkivät kompensoimaan näitä oletuksia. ELS-malli huomioi varaston asteittaisen täyttymisen, mutta tämä malli soveltuu prosessituotantoon, jossa tuote on senkaltainen, että sitä voidaan varastoida, vaikka erä on tuotannossa yhä kesken. Tutkin myös muita EOQ-johdannaisia laskentamalleja, joista on

viime aikoina julkaistu monia tutkimuksia alan aikakauslehdissä. Monet näistä malleista ovat todella monimutkaisia, ja niiden lähtötietovaatimukset sekä lähtötietojen tarkkuusvaatimukset haittaavat niiden käyttökelpoisuutta käytännössä. Malleja, joissa huomioidaan laatuvirheiden syntyminen valmistusprosessissa, kuten Jamalín (2004) malli, ei voi soveltaa muovituotantoprosessissa, koska virheit' ei synny tasaisesti tai jonkin todennäköisyysjakaumien mukaan, kuten mallit olettavat, vaan niitä syntyy tuote-erän vaihdon yhteydessä valmistuksen aloitusvaiheessa. Tästä syystä laatuvirheet täytyy huomioida asetuksien kustannuksia lisäävänä vaikutuksena.

Koska EOQ-malli on kuitenkin yhä varsin kiistanalainen, ja jotkut pitävät sitä ristiriitaisena lean-ajattelutavan kanssa, päätin soveltaa työssä myös EPEI-laskentaa, joka pohjautuu eräkokojen minimoimiseen kapasiteettirajoitusten puitteissa. Vertailen EOQ- ja EPEI-mallien tuloksia ja päätän, kumpaa on järkevämpi käyttää.

6.4 Optimieräkokojen määrittäminen eristettyjen putkien tuotannossa

6.4.1 Optimieräkokojen määrittäminen EOQ-laskennan avulla

EOQ-laskennan kustannustekijät ovat seuraavat:

- valmistuskustannukset (materiaalikustannukset)
- asetuskustannukset
 - suora työkustannus
 - konetuntikustannus
 - laatuvirhekustannus
 - keskimääräinen vaihtoaika
- varastointikustannukset

Tuotannon materiaalikustannukset ovat melko helppo selvittää, ne saadaan suoraan tuotetiedoista nimikekohtaisesti. Varastointikustannukset lasketaan useimmiten prosenttiosuutena koko varaston arvosta. Uponorilla on laskettu varastointikustannuksiksi 25 prosenttia varaston arvosta, joka on sama kuin aiemmin raportissa mainitun yhdysvaltalaisen konsulttiyrityksen määrittelemä varastonpitokustannusten ”nyrkkisääntö”.

Asetuskustannukset koostuvat useasta tekijästä. Koneen seisokkiajan kustannuksena käytetään konetuntihintaa, joka on 38,30 euroa tunti. Työvoiman kustannus asetuksien aikana koostuu palkkakustannuksesta, joka on 15,00 euroa tunti. Koska vaihdossa tarvitaan kahta työntekijää, palkkakustannukset ovat 30,00 euroa tunti. Laatuvirhekustannusta ei oteta huomioon tässä laskennassa, sillä eristettyjen putkistojen tuotanto on kokoonpanotuotantoa, joten laatuvirheitä syntyy ainoastaan ulkoputken valmistuksesta, jolla ei ole suurta vaikutusta kustannuksiin. Lisäksi laatuvirhekustannusta oli vaikeampi määrittää, sillä sopivaa historiadataa ei ollut saatavilla.

Keskimääräinen vaihtoaika on laskettu vuoden 2009 vaihtoajoista. Vaihtoajat riippuvat siitä, mistä tuotteesta vaihdetaan mihinkin. Tuoteperheen sisällä tapahtuvissa ”pienissä” vaihdoissa, kuten sisäputkien koon vaihdossa, vaihtoaika voi olla muutamasta kymmenestä minuutista yhteen tai kahteen tuntiin. Toisaalta ”isoissa” vaihdoissa, joissa ulkoputken koko vaihtuu, voi aikaa kulua muutamasta tunnista jopa kuuteen tuntiin. Keskimääräinen vaihtoaika on noin neljä tuntia. Tämä vaihtoajan keston vaihtelu ja sen riippuvuus tuotteiden vaihdosta toisiin heikentää tuloksien luotettavuutta, mikä täytyy ottaa huomioon tulosten analysoinnissa. Yhteensä asetuskustannukset ovat 273,20 euroa asetusta kohden.

Lisäksi laskentaa varten tarvitaan kysyntätiedot. Kysyntätiedot koostuvat tilauskannasta sekä ennusteista, jotka saadaan suoraan toiminnanohjausjärjestelmästä. Laskin vuoden 2010 kysyntätietoon perustuen jokaiselle nimikkeelle taloudellisen eräkoon käyttäen EOQ-kaavaa (6), ja taulukoin tulokset Excel-tilukoon. Liitteenä 1 olevassa taulukossa on esitetty kokonaisuudessaan taulukon tiedot. Taulukossa on käytetty keksittyjä, satunnaisia lukuja, sillä todelliset luvut ovat salassa pidettävää tietoa.

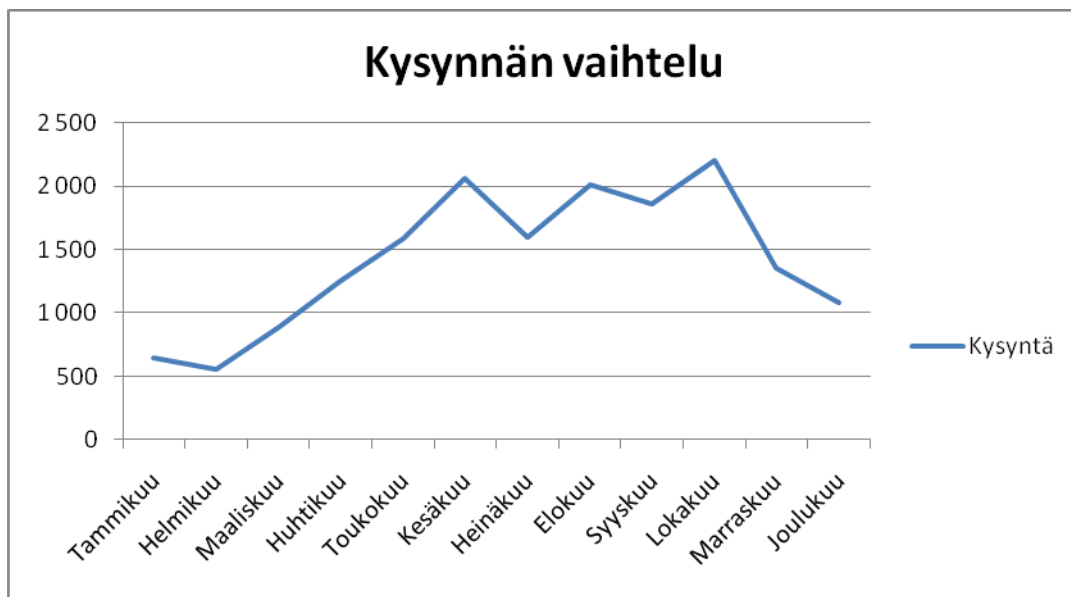
Taulukko kertoo taloudellisen eräkoon lisäksi monta hyödyllistä tietoa. Siinä näkyy nimikekohtaisesti kysyntä, materiaalin valmistuksen yksikkökustannus, asetuskustannus vaihtoa kohden, varastonpitokustannus yksikköä kohden, EOQ-luku eli taloudellinen tilauseräkokko, erien lukumäärä, varaston täydennysväli päivinä, asetuksien ja varastoinnin kokonaiskustannukset sekä näiden yhteenlaskettu tuotannon kokonaiskustannus. Tulosten analysoimiseksi jaoin nimikkeet kysyntävolyymiensa mukaan A-, B-, ja C-luokkiin nimikkeiden suuren määrän sekä kysynnän epätasaisen jakautumisen vuoksi. Jako on tehty siten, että A-luokkaan kuuluu 5 prosenttia kysynnältään suurinta nimikettä, B-luokkaan 15 prosenttia ja C-luokkaan loput 80 prosenttia.

A-ryhmän nimikkeissä optimi ajosarjojen määrä, eli se, kuinka monessa erässä kannattaa valmistaa, oli keskimäärin noin 10. Nimikkeiden keskimääräinen varaston täydennysväli eli ajosarjojen välinen aika oli noin 44 päivää. Tätä aikaa voidaan kutsua myös varaston riitoksi, mikäli varmuusvarastoa ei oteta huomioon. B-ryhmän nimikkeissä keskimääräiset ajosarjojen määrät olivat 6 ja keskimääräinen täydennysväli 71 päivää. C-ryhmän nimikkeiden vastaavat luvut ovat 2 ja 472 päivää. Tämän ryhmän lukuihin vaikuttaa merkittävästi melko suuri määrä nimikkeitä, joiden laskennallinen kysyntä on hyvin vähäistä, minkä vuoksi keskimääräisiä arvoja ei voi pitää käyttökelpoisina. Näitä nimikkeitä valmistetaan todennäköisesti vain tilauksien mukaan.

A-ryhmän taloudelliset eräkoot ovat mielestäni järkeviä ajosarjakokoja. Asetuskustannukset ovat melko korkeita pitkien vaihtoaikojen takia, eivätkä syystä hyvin lyhyet ajosarjat tästä syystä ole kannattavia. Noin 40 päivän varaston riitto ei kuitenkaan myöskään ole liian suuri. B-ryhmässä ajosarjojen määrät vähenevät jo huomattavasti, ja C-ryhmässä käytännössä moni tuote kannattaisi ajaa yhdessä, kahdessa tai kolmessa erässä. Pienempien kysyntöjen nimikkeillä asetuskustannukset ovat sen verran huomattava osuus kustannuksista, että sarjat kannattaa ajaa kysyntään nähden suurissa erissä. Pienien erien valmistus ja useat vaihdot ovat kannattamattomia. Toisaalta, varaston riitto kasvaa tällöin järjettömän suureksi. Uponorin toimesta on nimikkeille asetettu ylärajaksi 100 päivän

riittoa vastaava varastotaso. Tästä syystä monia C-ryhmän nimikkeitä ei kannattaisi valmistaa varastoon enempää kuin todellista tarvetta vastaava määrä. Toinen vaihtoehto on valmistaa suoraan tilaukseen.

Lisäksi kysynnän vaihtelu tulisi ottaa huomioon. Kuvaajassa 17 näkyy erään nimikkeen kysynnän vaihtelu vuoden aikana.



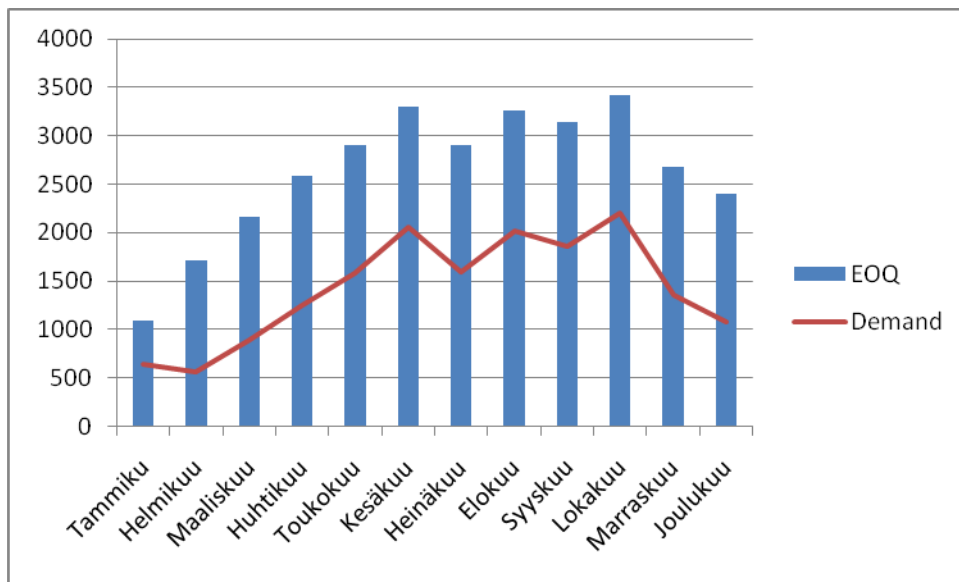
Kuva 17. Erään nimikkeen kysyntä vuoden aikana

Kuten kuvasta näkyy, kysynnän vaihtelu on voimakasta. Kysyntä jakautuu periaatteessa kahteen kauteen, korkean kysynnän kauteen, joka kestää noin kesäkuusta lokakuuhun, ja matalan kysynnän kauteen marraskuusta toukokuuhun. Tämä sama kysynnän trendi toteutuu muillakin nimikkeillä. Tästä syystä taloudellisten ajosarjakokojen laskenta tulisi suorittaa pienemmällä aikavälillä kuin vuosi, esimerkiksi kuukausitasolla, tai puolivuositain, jakaen kysyntä matalan ja korkean sesongin vaiheisiin.

Tein laskennan kuukausitasolla vuoden 2010 kysyntäarvioiden mukaan. Kun laskennassa vuosikysyntä jaetaan kuukausikysyntään, pitää myös varastointikustannus jakaa kuukausiin, eli laskennassa varastointikulu jaetaan luvulla 12. Tulokset eivät kuitenkaan

poikkea oleellisesti vuositason kysynnästä laskettaessa, ajosarjojen määrät ovat samalla tasolla.

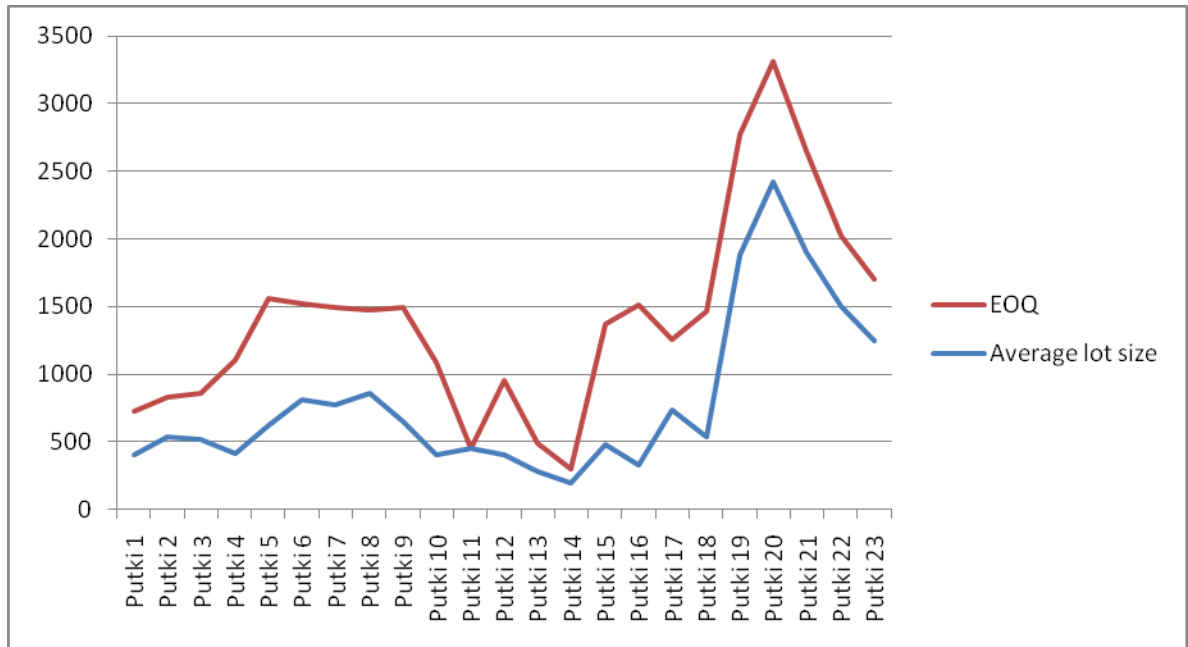
Tuloksista näkee myös, että taloudelliset eräkoot ovat kuukausitasolla suuria. Kuvassa 18 näkyy kuvan 17 nimikkeen kysyntä sekä taloudellinen erä koko kuukausittain jaettuna. Vaikka tämä on yksi esimerkki monesta nimikkeestä, kuvaaja on hyvin samanlainen monilla muillakin pienemmän kysynnän B- ja C-ryhmän nimikkeillä.



Kuva 18. Erään nimikkeen kysyntä kuukausitasolla sekä EOQ-luku.

Taloudellinen valmistuserä ylittää kysynnän, joten tätä nimikettä kannattaisi ajaa vain noin joka toinen kuukausi.

Seuraavaksi vertailen edellisen vuoden 2009 toteutuneita ajosarjojen kokoja EOQ-kaavan antamiin lukuihin. Näistä ajosarjoista on poistettu suoraan asiakastilauksen mukaan valmistetut putkikelat, koska ne voivat vääristää tulosta. Tämä on tehty siitä syystä, että eräkokojen optimointi toimii vain varasto-ohjautuvassa tuotannossa. Kuvaajassa 19 on esitetty vain osa tuloksista.



Kuva 19. Keskimääräiset ajosarjojen koot vuodelta 2009 ja taloudelliset ajosarjakoot.

Kuten kuvaajasta näkyy, keskimääräiset ajosarjakoot ovat olleet pienempiä kuin taloudellisen eräkoon laskenta antaa tulokseksi. Teorian mukaan suurista asetuskustannuksista johtuen olisi kannattanut valmistaa pidempiä sarjoja. Tämä sotii kuitenkin Lean-ajattelun periaatetta vastaan, jonka mukaan tuotannossa pitäisi pyrkiä kohti pienempiä eräkokoja.

EOQ-mallin tulokset antavat hieman aihetta kyseenalaistamaan niiden käyttökelpoisuutta. Tulokset antavat aihetta suosittaa pidempien sarjojen tuotantoa, mutta kuten teoriaosuudessa on todettu, valmistuserien pienentämisellä on useita positiivisia vaikutuksia tuotannossa, kuten läpimenoaikojen lyhentyminen, tuotannon joustavuus ja reagointikyky, ja -nopeus virheisiin sekä varaston määrän pieneminen.

6.4.2 Optimieräkokojen määrittäminen EPEI-laskennan avulla

Pyrin määrittämään optimaaliset ajosarjakoot myös EPEI-laskennalla, jotta voitaisiin saada tuloksia eri lähestymistavan menetelmän avulla ja tuloksia voitaisiin verrata keskenään EOQ-laskennan kanssa. Laskennan suorittamiseksi selvitettiin seuraavat tiedot:

1. Päivittäinen teoreettinen resurssin käytettävissä oleva aika: 16 h = 960 min
2. Päivittäinen resurssin (koneen) seisokkiaika keskimäärin = 10 %
3. Resurssin tahtiaika = 1 m / 0,5 min
4. Päivittäinen kokonaiskysyntä = x (tieto salaista)
5. Nimikkeiden määrä = 84
6. Vaihto aika keskimäärin = 4 h = 240 min
7. Päivittäinen konekapasiteetin kokonaistarve = 1016 min.

Kun nämä tiedot sijoitettiin EPEI-kaavaan (7), saatiin tulokseksi negatiivinen luku. Tämä tarkoittaa sitä, että laskennan mukaan kapasiteetti ei riitä kaikkien tuotteiden valmistukseen. Todellisuudessa se kuitenkin riittää. Virhe johtuu monista asioista, kuten aikajänteestä ja yksinkertaistuksista, joita kaavan käytössä joudutaan tekemään. Kysynnän vaihtelut ja kysynnän jakautuminen epätasaisesti nimikkeiden kesken vaikuttaa myös todellisuudessa.

Lisäksi asiaan vaikuttaa nimikkeiden suuri määrä, jolloin vaihtoaikavaatimus on todella suuri, vaikka todellisuudessa nimikkeitä ei tietenkään tehdä kaikkia saman päivän aikana. Vaihto aika on keskimääräinen vaihto aika, vaikka todellisuudessa se riippuu, mistä tuotteesta vaihdetaan mihinkin. Tätä on mahdotonta ottaa huomioon laskennassa. Tässä tapauksessa EPEI-laskentaa ei siis voida soveltaa.

6.5 Optimieräkokojen määrittäminen muoviliittimien tuotannossa

Muoviliittimet-yksikössä nimikkeitä on vielä enemmän, joten päätin jättää EPEI-laskennan kokonaan väliin. Eräkokojen optimointi on siis tehty EOQ-mallia käyttäen. Määritellään aluksi kustannustekijät ja lasketaan vuodelle 2010 taloudelliset eräkoot koko vuoden kysyntään perustuen, kuten aiemmin tehtiin.

Muoviliittintuotannossa laatuvirheet valmistuksen aloitusvaiheessa on merkittävä tekijä asetuskustannuksissa. Valmistuksen aloitusvaiheessa tuotantoa ajettaessa ylös laatuvirheiden määrä on keskimäärin noin 200 kappaletta. Itse vaihdon suorittaminen eli muotin vaihto ja muu asetuksen vaatima työ vie keskimäärin noin kaksi tuntia.

Ruiskuvalutuotannossa ei tuotteen vaihdon järjestyksellä ole väliä, sillä muotinvaihto täytyy tehdä jokaisen vaihdon yhteydessä, ja se vie keskimäärin saman verran aikaa. Kone- ja työkustannukset ovat yhteensä 65,00 euroa tunti. Asetuskustannukset ovat yhteensä 270,00 euroa, eli ne ovat samalla tasolla kuin eristettyjen putkien tuotannossa, vaikka vaihtoaika on keskimäärin puolet lyhyempi. Varastointikustannus on tuotteilla 25 prosenttia nimikkeen yksikköhinnasta.

Esitin laskelmat vastaavalla tavalla kuin aiemmin taulukossa, josta on liitteenä 2 esimerkki taulukosta täytettynä keksityillä satunnaisilla luvuilla. Kuten aiemmin tehtiin, jaoin nimikkeet kysynnän volyymin mukaan A-, B- ja C-ryhmiin tulosten tarkastelua varten. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin eristettyjen putkien tulokset. A-ryhmän nimikkeiden erien lukumäärä on keskimäärin noin 11, ja keskimääräinen tilausväli 38 päivää. B-ryhmässä 4 ja 93 päivää, C-ryhmässä 1 ja 907 päivää.

Suuren volyymin tuotteissa eräkoot ovat järkeviä ja käytännössäkin vartenotettavia eräkojoja. Suuren volyymin tuotteet kannattaa valmistaa kysyntään suhteutettuna pienissä erissä. Joidenkin nimikkeiden kohdalla minimitaluserät olivat jopa EOQ:ta suurempia, jolloin tuotteita tulisi valmistaa minimitaluseräkoon vaatimusten mukaan. Kun katsotaan

B-ryhmän nimikkeitä, eräkoot suhteessa kysyntään kasvavat huomattavasti. Tähän vaikuttavat verrattain pienet varastointikustannukset, sillä kappaleiden yksikkökustannukset ovat muoviliitintuotannossa pienet. Asetuskustannukset pysyvät kuitenkin samoina, ja niiden suurus korostuu pienemmän kysynnän nimikkeillä, jolloin tuotteita kannattaa ajaa suuremmissa sarjoissa. C-nimikkeissä EOQ ylittää monesti jopa kysynnän, mikä tarkoittaa että nimikkeitä kannattaa ajaa yhdessä erässä. Yleisesti tuloksien mukaan C-ryhmän nimikkeitä kannattaa ajaa yhdessä tai kahdessa erässä. Tuloksiin pitää suhtautua kriittisesti, sillä taulukossa on laskennallisesti hyvin pienen kysynnän nimikkeitä, jotka alittavat reilusti minimiäuseräkoot ja sotkevat keskimääräisiä arvoja.

Vertailua toteutuneiden edellisen vuoden eräkokojen kanssa ei voitu tehdä, sillä sopivaa historiadataa ei ollut saatavilla. Laskin kuitenkin optimieräkoot myös kuukausitasolla, kuten aiemmin eristetyt putkistot -yksikölle. Tulokset ovat melko lailla samanlaisia, ja lisäksi rajoitteena oleva minimiäuseräköko vaikuttaa eräkokoihin.

7 Optimointityökalun kehittäminen

Toinen osa työtä oli kehittää tuotantoeräkokojen optimointiin työkalu, jota voitaisiin käyttää tuotannonsuunnittelun apuna Nastolassa ja muissa Uponorin käyttö- ja lämminvesiyksikön tuotantolaitoksissa. Tästä syystä työkalu on oltava englanninkielinen. Työkalun tulee olla myös nopea, yksinkertainen ja helppo käyttää. Päätin tehdä työkalusta taulukkolaskentapohjaisen sovelluksen Exceliin. Excel on laadukas ja globaali, joka paikassa käytössä oleva taulukkolaskentasovellus, joten se sopii tähän tarkoitukseen mainiosti.

Aloitin työkalunkehityksen suunnittelemalla, mitä laskentamallia työkalussa käytetään ja mitä tietoja sen käyttämiseen tarvitaan. Päätin käyttää sekä EOQ- että EPEI-laskentamalleja, jotta työkalun käyttäjä voi saada monipuolisen kuvan eräkokojen

optimointiin ja useamman näkökulman ratkaisuun. Käyttäjä voi päättää kumpaa laskentatapaa ja -tulosta käyttää lähtökohtana, kun suunnitellaan tuotannon skedulointia ja ajosarjojen pituuksia.

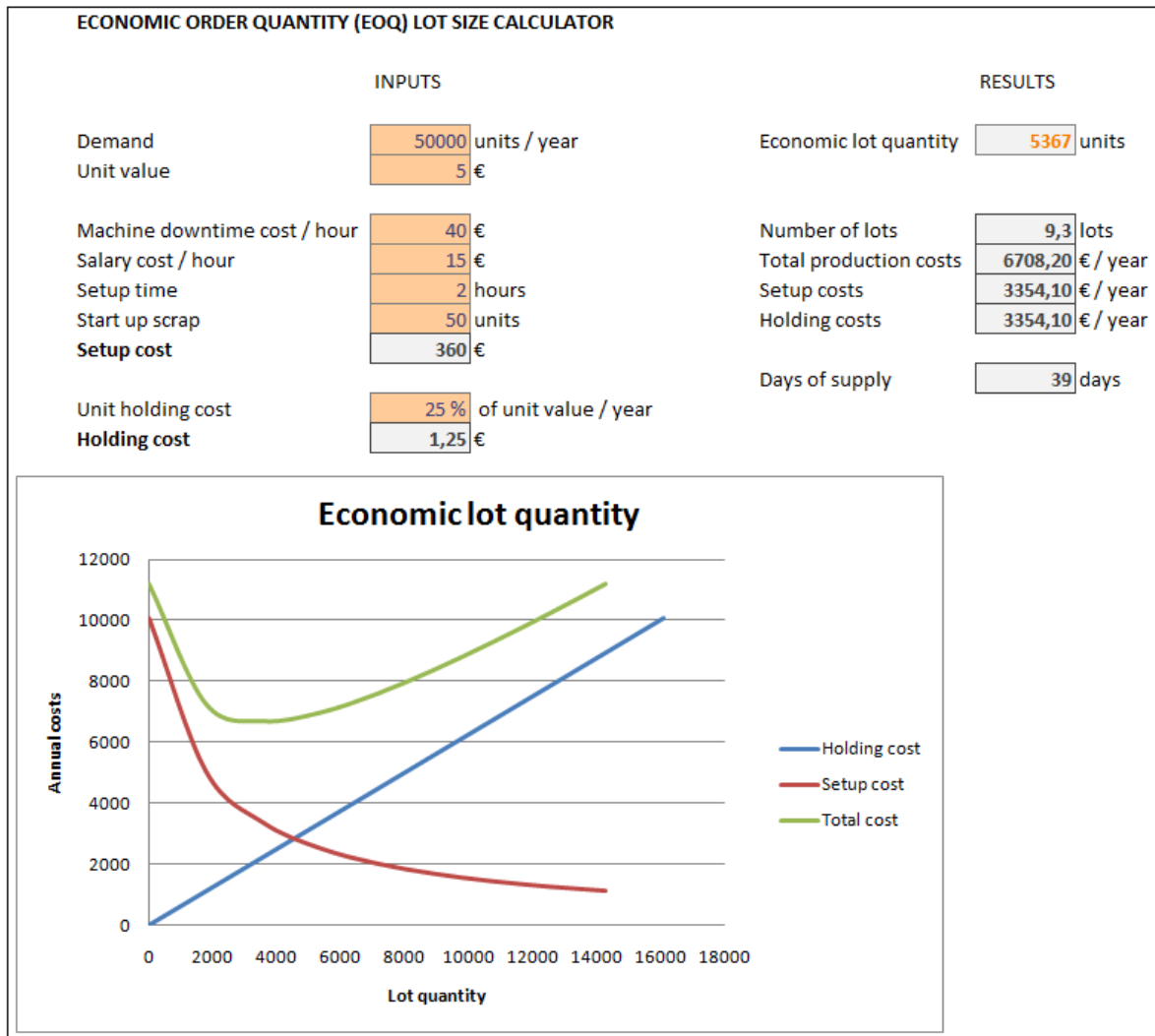
Listasin kaikki tarvittavat lähtötiedot, joita laskemiseen tarvitaan, sekä tulostettavat tiedot, jotka ovat käyttäjän kannalta oleellisia. Suunnittelin ”input” -syöttökentät sekä ”results” -tulokset, värityksen ja sijoittelun. Tein vastaavalla tavalla layoutin EPEI-laskentamallin työkaluun.

Seuraavaksi sijoitin tulokset tarvittavat laskukaavat. EOQ-laskurissa lasketaan yhteen asetuskustannukset sekä varastointikustannukset, ja näiden tietojen pohjalta EOQ:n laskukaava (6) antaa tuloksen taloudellisesta eräkoosta kenttään ”economic lot quantity”. Tulos on pyöristetty lähimpään kokonaislukuun. Tuloksen perusteella voidaan laskea erien lukumäärä, tuotannon kokonaiskustannukset sekä asetuskustannukset ja varastointikustannukset, jotka teorian mukaan tulisi olla täsmälleen samansuuruiset. Päätin lisätä työkaluun vielä yhden tulokset, joka näyttää varaston riittoluvun, eli kuinka moneksi päiväksi varastossa riittää tavaraa taloudellisella eräkoolla. Mikäli varastotaso ylittää sadan päivän tarpeen, joka on Uponorin määrittelemä varastason yläraja, punainen varoitusteksti näkyy kentän vieressä. Varmuusvarastoa ei kuitenkaan ole huomioitu, sillä sen taso vaihtelee nimikkeittäin.

EPEI-laskurissa neljässä ensimmäisessä tulokset on laskettuna yhteen käytettävissä oleva kapasiteetti, vaihtoihin käytettävissä oleva kapasiteetti sekä valmistuksen ja vaihtojen vaatima aika. Näistä luvuista on laskettu ”replenishment interval” -kenttään EPEI:n laskentakaavalla (7) ajosarjan vaihtoväli päivinä. Tämä luku kertoo, kuinka usein vähimmillään voidaan ajosarjaa vaihtaa toiseen, jotta saadaan pienimmät mahdolliset eräkoot. Kun luku kerrotaan nimikkeen kysynnällä, saadaan selville sen nimikkeen erä koko.

Työkalun tulee antaa mahdollisimman hyödyllistä informaatiota. Visuaalinen informaatio on hyvin tehokas keino hahmottaa lukuja, joten päätin luoda EOQ-laskuriin graafisen esityksen kustannustekijöiden suhteesta eräkokoon. Graafin tehtävänä on myös havainnollistaa kokonaiskustannusten määräytymistä ja minikohdan ja siten taloudellisen eräkoon muodostumista. Loin aputaulukon jonka arvoista graafi muodostetaan. Taulukko on käyttäjälle epäoleellista informaatiota, joten se ei näy käyttäjälle. Taulukossa tietyillä kaavoilla luodaan jokaiselle funktiolle kymmenen arvoa, joiden avulla graafi voidaan piirtää. Vaaka-akselilla on erä koko, pystyakselilla vuotuiset kustannukset, funktioina ovat asetuskustannukset, varastointikustannukset sekä kokonaiskustannukset.

Kuvissa 21 ja 22 on esitetty valmis työkalu. Työkalun toimivuus testattiin keksityillä luvuilla. Testauksen tuloksien johtopäätöksenä voi sanoa, että laskurit toimivat juuri odotetulla tavalla. Graafin funktioiden käyrät ovat hyvin samanlaisia kuin teoreettisella kuvaajalla, ja tulokset ovat laskennallisesti oikeita.



Kuva 21. Excel-pohjainen taloudellisen eräkoon laskentatyökalu

EVERY PART EVERY INTERVAL (EPEI) LOT SIZE CALCULATOR		
INPUTS		
Demand	10	Units / day
Number of parts	12	parts
Changeover time per part	10	minutes
Cycle time	6	minutes
Daily resource capacity	960	minutes
Resource uptime percentage	90 %	
RESULTS		
Daily resource time available	864	minutes
Daily changeover time available	144	minutes
Cycle time required	720	minutes
Changeover time required	120	minutes
Replenishment interval	0,83	days

Kuva 22. Excel-pohjainen EPEI-laskentatyökalu

8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Opinnäytetyössä tutkittiin teoreettisia malleja, joilla tuotannossa voidaan optimoida valmistuserien kokoja. Tutkimuksessa perehdyttiin tuotannonohjauksen periaatteisiin, selvitettiin varastointikustannuksien rakennetta ja esiteltiin erilaisia optimointimalleja. Optimoimalla valmistuserät voidaan saavuttaa kustannussäästöjä valmistuksen kokonaiskustannusten minimoimisella. Optimit valmistuseräkoot voitiin saavuttaa löytämällä kompromissi varastointi- ja asetuskustannusten väliltä. Laskentamalleja sovellettiin käytäntöön laskemalla Uponorin käyttö- ja lämmitysvesiyksikölle optimaaliset eräkoot kysyntäennusteisiin perustuen.

Laskentojen tuloksissa törmättiin ongelmiin. Kapasiteetin käytön optimointiin perustuvaa EPEI-mallia ei voitu hyödyntää ollenkaan nimikkeiden suuren määrän vuoksi. EPEI-malli sopiikin pienemmän mittakaavan tuotantojärjestelmiin. Se on kuitenkin periaatteeltaan järkevä, aidosti Lean-ajattelun mukainen työkalu, jonka avulla pyritään eräkokojen minimoimiseen asetus- ja varastoinnin kustannusten kompromissiratkaisun sijaan.

Taloudellisen eräkoon laskentamallilla eli EOQ-mallilla saatiin aikaan tuloksia. Optimoinnin tuloksena saadut eräkokoluvut ovat yleisesti melko suuria. Tulokset kannustavat joissakin tapauksissa pitkien sarjojen valmistukseen, joka on vastoin tuotannonohjauksen periaatteita, joiden mukaan tuotannossa tulisi pyrkiä pieniin sarjakokoihin, pieniin varastotasoihin sekä nopeaan läpimenoon. Suuren volyymin tuotteissa optimit ajosarjakoot ovat kuitenkin perusteltuja, ja lukuja voidaan pitää käytännössäkin varsin hyvinä ja optimeina tuloksina.

Tulokset paljastavat jotain myös tuotantojärjestelmästä. Tuotannossa tuotteen vaihdon aiheuttamat asetuskuulumukset ovat verraten suuria. Kustannuksia aiheuttaa vaihtoon tuhraantuva aika ja muovin valmistuksen ominaispiirteinä laatuvirheet valmistuksen aloitusvaiheessa. Ehdotan, että yrityksessä selvitetään, onko tuotteen vaihtoaikaa mahdollista lyhentää jollakin keinolla, esimerkiksi työn uudelleen järjestelyllä, työtavan muutoksilla tai teknisillä ratkaisulla. Myös muovin valmistuksen käynnistysvaiheen laatuvirheiden määrän vähentäminen pienentäisi asetuskuulumusta. Laskelmien mukaan asetusajan puolittamisella voidaan valmistuksen kokonaiskuulumuksia vähentää jopa 30 prosenttia.

EOQ-mallin tuloksien luotettavuus perustuu lähtötietojen tarkkuuteen. Tuotannosta tulisi voida kerätä paremmin historiadataa toteutuneista ajoajoista sekä vaihtoajoista.

Muoviliitimet-yksikössä onkin menossa projekti, jossa uuden MES-valmistuksenohjausjärjestelmän avulla voidaan saada paremmin tietoa tuotannosta. Tuloksien luotettavuuteen vaikuttaa muitakin asioita, kuten kysynnän epätasaisuus ja

vaihtoaikojen vaihtelut tuoteperheiden välillä. Tämän takia EOQ:n tuloksiin tulee suhtautua hieman kriittisesti. Tulokset ovat kuitenkin suuruusluokaltaan lähellä totuutta.

Toinen osa projektia oli optimointityökalun kehitys. Mielestäni saavutin siinä tavoitteeni hyvin. Loin yksinkertaisen ja selkeän Excel-työkalun, jota on helppo käyttää. Tein työkalun sekä EOQ-, että EPEI-mallille, jotta eräkokojen optimointia voidaan tarkastella useasta näkökulmasta. Vastuu tästä on kuitenkin käyttäjällä. Työkalun on tarkoitus on olla tuotannosuunnittelun apuna osoittamassa teoreettisen matemaattisen laskennan mukaista sopivaa eräkokoa. Todellisessa systeemissä asiaan vaikuttavat aina monet rajoitteet, joten tuloksia ei voida suoraan soveltaa käytäntöön. Lisäksi työkalulla voidaan kokeilla eri parametrien, kuten vaihtoajan muutoksen vaikutusta taloudelliseen eräkokoon ja tuotannon kokonaiskustannuksiin.

Lähteet

Cardenas-Barron, L.E. 2009. Economic production quantity with rework process at a single-stage manufacturing system with planned backorders. *Computers & Industrial Engineering* 57 (2009) s. 1105–1113.

Chiu, S. W. ym. 2007. Determining the optimal run time for EPQ model with scrap, rework, and stochastic breakdowns. *European Journal of Operational Research* 180 (2007) s. 664–676

Economic Lot Scheduling Problem 2010. (WWW-dokumentti). <<http://en.wikipedia.org/wiki/ELSP>> Wikipedia, the free encyclopedia. Luettu. 6.1.2010.

Economic order quantity. 2010. (WWW-dokumentti). <http://en.wikipedia.org/wiki/Economic_order_quantity> Wikipedia, the free encyclopedia. Luettu 4.1.2010

Guerfi, Reda. 2009. Taloudellisen tuotantoerän skedulointi. Optimointiopin seminaari - kalvot. Teknillinen korkeakoulu 2009.

Guild, Don. 2009. Capacity-Based Lot Sizing. Kalvosarja. Synchronous Management.

Haverila, Matti J. ym. 2005. Teollisuustalous. Tampere: Infacs Oy.

Holappa, Petri. 2008. Teollisuuden tukkuliikkeen ostojen optimointi. Diplomityö. TKK.

Insulated plastic pipe systems. 2006. Uponor Suomi Oy, Nastola. Kalvosarja.

Jamal, A.M.M. ym. 2004. Optimal manufacturing batch size with rework process at a single-stage production system. *Computers & Industrial Engineering* 47 (2004) s.77–89.

Krajewski, Lee J. 2002. *Operations management: Strategy and analysis*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Krajewski, Lee J. 2007. *Operations management: Processes and value chains*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Lean. 2010. (WWW-dokumentti). <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Lean>> Wikipedia, vapaa tietosanakirja. Luettu 23.2.2010.

Lehtonen, Juha-Matti. 2004. *Tuotantotalous*. Porvoo: WSOY.

- Naylor, John. 2002. Introduction to Operations Management. Harlow: Pearson Education Limited
- Paju, Vesa. 2009. Simulointi-kurssin opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 19.1.2009.
- Pre insulated / Eristetyt putkistot Nastola. 2010. Uponor Suomi Oy, Nastola. Kalvosarja. 28.1.2010.
- REM Associates management consultants. 2008. Methodology of Calculating Inventory Carrying Costs. Kalvosarja. New Jersey: REM Associates management consultants.
- Ruiskuvaluprosessi. 2010. (WWW-dokumentti.) Tampereen teknillinen korkeakoulu, Polymeeritekniikan ja materiaaliopin etäopetusohjelma. <<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/prosessi/index.html>> Luettu 19.2.2010.
- Sakki, Jouni. 2003. Tilaus-toimitusketjun hallinta. Espoo: Jouni Sakki Oy.
- Sana, S.S. 2009. An economic production lot size model in an imperfect production system. European Journal of Operational Research 201 (2010) s.158–170.
- Siitari, Marko. 2010. Plant Manager, Pre insulated Pipes, Uponor Suomi Oy, Nastola. Keskustelu 7.1.2010.
- Stock, J. R. 2001. Strategic Logistics Management. New York: McGraw-Hill.
- Taylor, David & Brunt, David. 2001. Manufacturing operations and supply chain management: The lean approach. London: Thomson learning.
- Tehdaskierros. 2006. Uponor Suomi Oy, Nastola. Kalvosarja. 1.1.2006.
- Uponor Suomessa. 2010. (WWW-dokumentti.) Uponor Suomi Oy. <<http://www.uponor.fi/templates/Page.aspx?id=1497>> Luettu 22.2.2010.
- Uponor vuosikertomus 2009. Kalvosarja. Uponor Suomi Oy.
- Varastoista aiheutuvat kustannukset – Suomen kuljetusopas. 2010. (WWW-dokumentti.) Suomen kuljetusopas. <<http://www.kuljetusopas.com/varastointi/kustannukset/>> Luettu 20.1.2010.
- Waters, Donald. 2003. An Introduction to Supply Chain Management. New York: Palgrave Macmillan.
- Ylitalo, Risto. 2010. Uponor Suomi Oy, Nastola. Keskustelu 11.1.2010.

Liite 1: Eristetyt putkistot -yksikön taloudelliset eräkoot

HUOM LUVUT OVAT KEKSITTYJÄ

Item #	Item Description	Demand 2010	Unit cost, €	Setup cost	Holding cost/unit	EOQ	Lots	Time between orders, days	Setup costs	Holding costs	Total costs	Class
1162	Putki 1162	49 723	4,59	273,20 €	1,15 €	4867	11	35,7	2 791,25 €	2 791,25 €	5 582,50 €	A
1117	Putki 1117	49 558	3,45	273,20 €	0,86 €	5607	9	41,3	2 414,65 €	2 414,65 €	4 829,29 €	A
1256	Putki 1256	49 425	1,66	273,20 €	0,41 €	8072	7	59,6	1 672,77 €	1 672,77 €	3 345,54 €	A
1116	Putki 1116	49 193	0,69	273,20 €	0,17 €	12486	4	92,6	1 076,35 €	1 076,35 €	2 152,70 €	A
1139	Putki 1139	48 940	3,93	273,20 €	0,98 €	5218	10	38,9	2 562,38 €	2 562,38 €	5 124,75 €	A
1149	Putki 1149	48 907	7,87	273,20 €	1,97 €	3685	14	27,5	3 625,50 €	3 625,50 €	7 251,01 €	A
1142	Putki 1142	48 888	0,59	273,20 €	0,15 €	13442	4	100,4	993,64 €	993,64 €	1 987,28 €	A
1244	Putki 1244	48 786	4,55	273,20 €	1,14 €	4838	11	36,2	2 754,78 €	2 754,78 €	5 509,56 €	A
1145	Putki 1145	48 743	0,21	273,20 €	0,05 €	22331	3	167,2	596,34 €	596,34 €	1 192,67 €	A
1207	Putki 1207	47 980	5,27	273,20 €	1,32 €	4462	11	33,9	2 937,65 €	2 937,65 €	5 875,30 €	B
1203	Putki 1203	47 217	0,76	273,20 €	0,19 €	11646	5	90,0	1 107,66 €	1 107,66 €	2 215,33 €	B
1205	Putki 1205	47 165	1,26	273,20 €	0,31 €	9060	6	70,1	1 422,21 €	1 422,21 €	2 844,42 €	B
1242	Putki 1242	47 028	1,44	273,20 €	0,36 €	8462	6	65,7	1 518,39 €	1 518,39 €	3 036,78 €	B
1251	Putki 1251	46 777	6,27	273,20 €	1,57 €	4037	12	31,5	3 165,24 €	3 165,24 €	6 330,48 €	B
1143	Putki 1143	46 674	9,05	273,20 €	2,26 €	3358	14	26,3	3 797,66 €	3 797,66 €	7 595,33 €	B
1163	Putki 1163	46 569	2,49	273,20 €	0,62 €	6394	8	50,1	1 989,75 €	1 989,75 €	3 979,51 €	B
1221	Putki 1221	46 497	6,99	273,20 €	1,75 €	3813	13	29,9	3 331,54 €	3 331,54 €	6 663,08 €	B
1131	Putki 1131	46 082	4,73	273,20 €	1,18 €	4613	10	36,5	2 729,43 €	2 729,43 €	5 458,85 €	B
1129	Putki 1129	45 310	8,09	273,20 €	2,02 €	3498	13	28,2	3 538,98 €	3 538,98 €	7 077,96 €	B
1249	Putki 1249	44 942	8,63	273,20 €	2,16 €	3373	14	27,4	3 640,14 €	3 640,14 €	7 280,28 €	B
1239	Putki 1239	44 726	8,66	273,20 €	2,16 €	3360	14	27,4	3 636,27 €	3 636,27 €	7 272,55 €	B
1204	Putki 1204	44 316	4,08	273,20 €	1,02 €	4874	10	40,1	2 484,27 €	2 484,27 €	4 968,53 €	B
1127	Putki 1127	44 220	8,65	273,20 €	2,16 €	3342	14	27,6	3 614,79 €	3 614,79 €	7 229,58 €	B
1179	Putki 1179	44 123	9,51	273,20 €	2,38 €	3185	14	26,3	3 784,77 €	3 784,77 €	7 569,54 €	B
1157	Putki 1157	44 007	6,54	273,20 €	1,64 €	3834	12	31,8	3 135,94 €	3 135,94 €	6 271,89 €	B
1133	Putki 1133	43 840	1,13	273,20 €	0,28 €	9205	5	76,6	1 301,13 €	1 301,13 €	2 602,26 €	B
1232	Putki 1232	43 393	3,91	273,20 €	0,98 €	4923	9	41,4	2 407,96 €	2 407,96 €	4 815,92 €	B
1216	Putki 1216	43 228	8,26	273,20 €	2,06 €	3383	13	28,6	3 491,23 €	3 491,23 €	6 982,46 €	B
1202	Putki 1202	42 894	7,67	273,20 €	1,92 €	3495	13	29,7	3 352,80 €	3 352,80 €	6 705,61 €	B
1155	Putki 1155	41 821	5,18	273,20 €	1,30 €	4201	10	36,7	2 720,06 €	2 720,06 €	5 440,12 €	B
1166	Putki 1166	41 710	7,01	273,20 €	1,75 €	3607	12	31,6	3 159,44 €	3 159,44 €	6 318,87 €	B
1120	Putki 1120	41 544	3,14	273,20 €	0,79 €	5376	8	47,2	2 111,24 €	2 111,24 €	4 222,48 €	B
1182	Putki 1182	41 265	8,17	273,20 €	2,04 €	3302	13	29,2	3 414,58 €	3 414,58 €	6 829,15 €	C
1161	Putki 1161	40 822	8,15	273,20 €	2,04 €	3309	13	29,6	3 370,83 €	3 370,83 €	6 741,66 €	C
1238	Putki 1238	40 672	6,14	273,20 €	1,53 €	3806	11	34,2	2 919,32 €	2 919,32 €	5 838,64 €	C
1140	Putki 1140	40 637	1,31	273,20 €	0,33 €	8246	5	74,1	1 346,35 €	1 346,35 €	2 692,70 €	C
1181	Putki 1181	38 105	1,32	273,20 €	0,33 €	7952	5	76,2	1 309,16 €	1 309,16 €	2 618,32 €	C
1243	Putki 1243	38 017	2,66	273,20 €	0,67 €	5584	7	53,6	1 860,05 €	1 860,05 €	3 720,09 €	C
1241	Putki 1241	37 862	5,79	273,20 €	1,45 €	3779	11	36,4	2 737,25 €	2 737,25 €	5 474,50 €	C
1259	Putki 1259	36 390	2,55	273,20 €	0,64 €	5590	7	56,1	1 778,52 €	1 778,52 €	3 557,03 €	C
1196	Putki 1196	35 761	4,18	273,20 €	1,04 €	4326	9	44,2	2 258,31 €	2 258,31 €	4 516,61 €	C
1209	Putki 1209	35 514	6,12	273,20 €	1,53 €	3563	10	36,6	2 723,42 €	2 723,42 €	5 446,84 €	C
1214	Putki 1214	35 201	7,57	273,20 €	1,89 €	3189	12	33,1	3 015,79 €	3 015,79 €	6 031,57 €	C

Liite 2: Muoviliittimet -yksikön taloudelliset eräkoot

Item #	Description	Demand		Unit cost	Holding cost / unit	Setup cost / setup	EOQ	Lots	Time between orders, days	Setup costs	Holding costs	Total costs	Class
		2010											
2196	Tuote 2196	149669		0,70 €	0,18 €	270,00 €	21451	7	52,3	1 883,87 €	1 883,87 €	3 767,74 €	A
2152	Tuote 2152	143249		0,94 €	0,24 €	270,00 €	18102	8	46,1	2 136,63 €	2 136,63 €	4 273,26 €	A
2185	Tuote 2185	137307		1,59 €	0,40 €	270,00 €	13663	11	36,3	2 713,40 €	2 713,40 €	5 426,80 €	A
2180	Tuote 2180	136505		1,13 €	0,28 €	270,00 €	16167	9	43,2	2 279,79 €	2 279,79 €	4 559,58 €	A
2170	Tuote 2170	135283		0,80 €	0,20 €	270,00 €	19165	8	51,7	1 905,89 €	1 905,89 €	3 811,78 €	A
2179	Tuote 2179	133171		1,61 €	0,40 €	270,00 €	13359	10	36,6	2 691,44 €	2 691,44 €	5 382,88 €	B
2203	Tuote 2203	130099		0,85 €	0,21 €	270,00 €	18183	8	51,0	1 931,89 €	1 931,89 €	3 863,79 €	B
2182	Tuote 2182	128417		1,99 €	0,50 €	270,00 €	11803	11	33,5	2 937,62 €	2 937,62 €	5 875,24 €	B
2156	Tuote 2156	126387		0,95 €	0,24 €	270,00 €	16959	8	49,0	2 012,21 €	2 012,21 €	4 024,43 €	B
2193	Tuote 2193	124183		1,34 €	0,33 €	270,00 €	14167	9	41,6	2 366,64 €	2 366,64 €	4 733,28 €	B
2191	Tuote 2191	120555		0,78 €	0,19 €	270,00 €	18317	7	55,5	1 777,07 €	1 777,07 €	3 554,14 €	B
2209	Tuote 2209	120370		0,70 €	0,18 €	270,00 €	19271	7	58,4	1 686,46 €	1 686,46 €	3 372,93 €	B
2169	Tuote 2169	119687		0,83 €	0,21 €	270,00 €	17692	7	54,0	1 826,61 €	1 826,61 €	3 653,23 €	B
2188	Tuote 2188	116453		1,31 €	0,33 €	270,00 €	13850	9	43,4	2 270,16 €	2 270,16 €	4 540,33 €	B
2154	Tuote 2154	115343		0,07 €	0,02 €	270,00 €	58029	2	183,6	536,68 €	536,68 €	1 073,35 €	B
2208	Tuote 2208	115137		1,29 €	0,32 €	270,00 €	13884	9	44,0	2 239,01 €	2 239,01 €	4 478,02 €	B
2153	Tuote 2153	112162		0,39 €	0,10 €	270,00 €	24846	5	80,9	1 218,86 €	1 218,86 €	2 437,72 €	B
2202	Tuote 2202	108970		1,83 €	0,46 €	270,00 €	11333	10	38,0	2 596,01 €	2 596,01 €	5 192,02 €	B
2189	Tuote 2189	106777		0,27 €	0,07 €	270,00 €	29464	4	100,7	978,48 €	978,48 €	1 956,95 €	B
2173	Tuote 2173	105684		0,76 €	0,19 €	270,00 €	17309	7	59,8	1 648,53 €	1 648,53 €	3 297,07 €	B
2158	Tuote 2158	105409		0,87 €	0,22 €	270,00 €	16200	7	56,1	1 756,82 €	1 756,82 €	3 513,63 €	C
2155	Tuote 2155	99703		1,12 €	0,28 €	270,00 €	13882	8	50,8	1 939,13 €	1 939,13 €	3 878,27 €	C
2181	Tuote 2181	98290		0,60 €	0,15 €	270,00 €	18877	6	70,1	1 405,87 €	1 405,87 €	2 811,75 €	C
2204	Tuote 2204	97164		1,02 €	0,25 €	270,00 €	14367	7	54,0	1 826,03 €	1 826,03 €	3 652,07 €	C
2199	Tuote 2199	90046		1,25 €	0,31 €	270,00 €	12453	8	50,5	1 952,41 €	1 952,41 €	3 904,82 €	C
2176	Tuote 2176	86623		1,61 €	0,40 €	270,00 €	10770	9	45,4	2 171,71 €	2 171,71 €	4 343,42 €	C
2210	Tuote 2210	85817		0,89 €	0,22 €	270,00 €	14445	6	61,4	1 604,06 €	1 604,06 €	3 208,13 €	C
2184	Tuote 2184	83856		1,66 €	0,42 €	270,00 €	10441	9	45,4	2 168,49 €	2 168,49 €	4 336,97 €	C
2168	Tuote 2168	83290		0,98 €	0,24 €	270,00 €	13571	7	59,5	1 657,07 €	1 657,07 €	3 314,14 €	C
2194	Tuote 2194	80333		1,58 €	0,40 €	270,00 €	10471	8	47,6	2 071,37 €	2 071,37 €	4 142,73 €	C
2164	Tuote 2164	78379		1,51 €	0,38 €	270,00 €	10581	8	49,3	2 000,12 €	2 000,12 €	4 000,23 €	C
2201	Tuote 2201	77211		0,57 €	0,14 €	270,00 €	17104	5	80,9	1 218,86 €	1 218,86 €	2 437,72 €	C
2161	Tuote 2161	73389		0,53 €	0,13 €	270,00 €	17302	5	86,0	1 145,27 €	1 145,27 €	2 290,53 €	C
2171	Tuote 2171	71952		0,16 €	0,04 €	270,00 €	31029	3	157,4	626,10 €	626,10 €	1 252,20 €	C
2211	Tuote 2211	71441		0,11 €	0,03 €	270,00 €	37256	2	190,3	517,74 €	517,74 €	1 035,48 €	C
2197	Tuote 2197	68255		0,77 €	0,19 €	270,00 €	13815	5	73,9	1 333,93 €	1 333,93 €	2 667,86 €	C
2178	Tuote 2178	58310		0,94 €	0,23 €	270,00 €	11580	6	72,5	1 359,59 €	1 359,59 €	2 719,17 €	C
2167	Tuote 2167	57083		1,08 €	0,27 €	270,00 €	10701	6	68,4	1 440,33 €	1 440,33 €	2 880,67 €	C
2205	Tuote 2205	55172		1,72 €	0,43 €	270,00 €	8326	7	55,1	1 789,09 €	1 789,09 €	3 578,18 €	C
2206	Tuote 2206	54375		0,75 €	0,19 €	270,00 €	12490	5	83,8	1 175,46 €	1 175,46 €	2 350,91 €	C
2207	Tuote 2207	53023		1,44 €	0,36 €	270,00 €	8914	6	61,4	1 606,02 €	1 606,02 €	3 212,04 €	C
2212	Tuote 2212	49240		0,10 €	0,02 €	270,00 €	32827	2	243,3	405,00 €	405,00 €	809,99 €	C
2225	Tuote 2225	48874		1,48 €	0,37 €	270,00 €	8438	6	63,0	1 563,89 €	1 563,89 €	3 127,78 €	C

HUOM LUVUT OVAT KEKSITTYJÄ