TUOTANTOERÄKOON MÄÄRITTÄMISEN PERIAATTEET JA MENETELMÄT TUOTANNONSUUNNITTELUSSA

THE PRINCIPLES AND METHODS OF DETERMINING PRODUCTION BATCH SIZE IN PRODUCTION PLANNING

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintutkielma

2024

Joona Hurskainen

Tarkastaja: Annastiina Rintala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Joona Hurskainen

Tuotantoeräkoon määrittämisen periaatteet ja menetelmät tuotannonsuunnittelussa

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2024

31 sivua, 4 kuvaa, 1 taulukko ja 2 kaavaa

Tarkastaja: Annastiina Rintala

Avainsanat: tuotantoeräkoko, tuotannonsuunnittelu, resurssitehokkuus, virtaustehokkuus, EOQ, Periodic Review, Silver-Meal, Kanban

Tässä työssä käsitellään tuotantoeräkoon määrittämisen keskeisiä periaatteita ja menetelmiä tuotannonsuunnittelussa. Työssä luodaan kattava katsaus aiheeseen kirjallisuuskatsauksen muodossa, sekä arvioidaan erilaisten menetelmien soveltuvuutta eri ympäristöihin. Työssä käsitellään seuraavat menetelmät variantteineen: EOQ (Economic Order Quantity), Periodic Review -menetelmä, Silver-Meal-heuristiikka sekä Kanban. Kukin näistä edustaa erilaista lähestymistapaa tuotantoeräkoon optimointiin. Osa menetelmistä optimoi resurssitehokkuutta, ja osa puolestaan virtaustehokkuutta.

Työssä arvioitiin menetelmien vahvuuksia, rajoitteita, heikkouksia sekä soveltuvuutta erilaisiin ympäristöihin ja kustannusrakenteisiin. Havaittiin, että eri menetelmät optimoivat tuotantoeräkokoa usein vain joko resurssi- tai virtaustehokkuuden näkökulmasta, ei molemmista yhtä aikaa. Resurssitehokkuutta puhtaasti optimoiviksi menetelmiksi osoittautui EOQ, sekä Silver-Meal-heuristiikka. Kanban puolestaan optimoi eräkokoa virtaustehokkuuden kannalta. Menetelmät ottavat perusmuotoisina rajallisesti tekijöitä huomioon ja sisältävät paljon oletuksia esimerkiksi kysynnän tasaisuudesta ja kustannusten vakioisuudesta.

Johtopäätöksenä todettiin tuotantoeräkoon määrittämisen olevan usein haastava ja moniulotteinen prosessi, johon harvoin löytyy suoraan valmista menetelmää. Sen sijaan yrityksen on tiedostettava oma toimintaympäristönsä ja kustannusrakenteensa, sekä kyettävä kriittisesti arvioimaan käyttämänsä tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmän suoria ja epäsuoria vaikutuksia. Usein tämä voi johtaa tarpeeseen yhdistellä ja muokata menetelmiä, jotta yrityksen kannalta parhaaseen, sekä yrityksen strategian kanssa linjassa olevaan lopputulokseen voitaisiin päästä.

Lyhenteet

ATO	Assemble-To-Order
CODP	Customer Order Decoupling Point
EOQ	Economic Order Quantity
EPQ	Economic Production Quantity
ETO	Engineer-To-Order
JIT	Just-In-Time
LUC	Least Unit Cost
MTO	Make-To-Order
MTS	Make-To-Stock
PPB	Part Period Balancing
TPS	Toyota Production System

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

1 Johdanto ... 5
1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset ... 6
1.2 Työn menetelmät ja rakenne ... 6
2 Tuotannonsuunnittelu: tasot, merkitys ja ympäristöt ... 7
2.1 Tuotannonsuunnittelun tasot ... 7
2.2 Tuotannonsuunnittelun merkitys ja tehtävät ... 8
2.3 Tuotantomuodot ... 8
2.4 Tuotannonohjausmuodot ... 9
3 Tuotantoeräkoon määrittämisen periaatteita ... 10
3.1 Resurssi- ja virtaustehokkuus ... 11
3.2 Just-In-Time (JIT) ... 12
4 Tuotantoeräkoon määrittämisen keskeiset menetelmät ... 13
4.1 Taloudellinen tilauseräkoko (EOQ) ... 14
4.2 Periodic Review -menetelmä ... 16
4.3 Silver-Meal-heuristiikka ... 17
4.4 Kanban ... 20
5 Menetelmien vertailu ja arviointi ... 21
5.1 Menetelmien oletukset ja rajoitteet ... 21
5.2 Menetelmien vahvuudet ... 22
5.3 Soveltuvuus eri tuotanto- ja tuotannonohjausmuotoihin ... 23
6 Yhteenveto ja johtopäätökset ... 25
Lähteet ... 27

1 Johdanto

Tuotannonsuunnittelu ja tuotannonohjaus ovat valmistavien yrityksien keskeisimpiä tekijöitä kilpailukyvyn ylläpitämisessä (Zäpfel & Missbauer, 1993). Globalisaation kiristämä kilpailu on aiheuttanut yrityksille painetta tehokkaampaan resurssien ja materiaalivirtojen hallintaan (Faraoni & Petretto, 2009). Tässä tuotannonsuunnittelu, sekä erityisesti tuotantoeräkokojen määrittäminen ovat tärkeässä asemassa. Nämä vaikuttavat suuressa määrin yrityksen kykyyn vastata asiakaskysyntään, parantaa kustannustehokkuutta sekä ylläpitää kannattavuutta.

Optimaalisen tuotantoeräkoon määrittämiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten kysynnän ennustettavuus, varastointikustannukset sekä tuotannon kustannukset (AccountingInsights, 2024). Myös tuotettavien tuotteiden toimitusvarmuus tulee varmistaa samaan aikaan kun varastoihin sitoutunutta pääomaa pyritään minimoimaan ja tuotantokapasiteettia maksimoimaan (Haverila et al. 2009, 402–404). Näiden asioiden kanssa tuotannonsuunnittelu joutuu tasapainoilemaan. Suurentamalla tuotantoeräkokoa saatetaan tuotannon yksikkökustannuksia saada alaspäin, mutta samaan aikaan heikennetään tuotannon joustavuutta ja kasvatetaan varastointikustannuksia. Joudutaan siis tekemään päätöksiä, joilla on vaihtoehtoiskustannus (Modig et al., 2016). Tämä tasapainoilu on tuotantoeräkoon optimoinnin ytimessä ja nämä tekijät on otettava huomioon valittaessa tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmää.

Tuotantoeräkoon määrittäminen on laajasti tutkittu aihe, johon on vuosien mittaan kehitetty useita laskennallisia eri toimintaympäristöihin sopivia malleja. Pelkästään vuosien 2000 ja 2013 välillä eri tuotantoeräkoon määrittämisen malleista oli tehty yli 300 vertaisarvioitua tutkimusartikkelia (Aloulou et al., 2014). Nämä ovat useimmiten hyvin tarkasti tiettyyn ympäristöön ja tiettyyn laskentamalliin rajattuja tutkimuksia, eikä selkeää yhteen vetävää katsausta tuotantoeräkoon määrittämisen periaatteisiin ja menetelmiin ole suomenkielisenä saatavilla.

1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tuotantoeräkoon määrittäminen on maailmalla melko laajasti tutkittu aihe, mutta tarjolla on vain vähän suomenkielistä kirjallisuutta. Tämän työn tavoitteena on luoda kattava suomenkielinen katsaus olemassa oleviin tuotantoeräkoon määrittämisen periaatteisiin ja menetelmiin, sekä arvioida erilaisten menetelmien soveltuvuutta ja käyttökelpoisuutta eri ympäristöihin.

Työn päätutkimuskysymys on:

- **Mitä menetelmiä on tuotantoeräkoon määrittämiseen?**

Työtä tukeva kysymys

- **Mitä periaatteita tuotantoeräkoon määrittämiseen liittyy?**

1.2 Työn menetelmät ja rakenne

Tämä työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Työ alkaa johdannosta, jota seuraa neljä käsittelylukua sekä johtopäätökset. Toinen luku koostuu teoriakatsauksesta tuotannonsuunnitteluun sekä tuotanto- ja tuotannonohjausmuotoihin. Kolmannessa luvussa perehdytään tuotantoeräkoon määrittämisen taustalla toimiviin periaatteisiin. Neljännessä luvussa luodaan katsaus olemassa oleviin tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmiin. Viidennessä luvussa vertaillaan ja arvioidaan näiden eri menetelmien soveltuvuutta eri ympäristöihin. Työn lopussa esitellään työn johtopäätökset.

2 Tuotannonsuunnittelu: tasot, merkitys ja ympäristöt

Tuotannonsuunnittelu on prosessi, jossa yritys tekee taktisia päätöksiä tuotantotoimintojen tehostamiseksi sekä tuotantokustannusten minimoimiseksi. Yritys pyrkii tuotannonsuunnittelun avulla vastaamaan tuotteidensa kysyntään oikea-aikaisesti ja kustannustehokkaasti varmistaen samalla resurssien tehokkaan hallinnan sekä tuotannon joustavuuden. (Christefa et al., 2022.) Lisäksi onnistunut tuotannonsuunnittelu mahdollistaa yrityksen kyvyn sopeutua ympäristön muutoksiin sekä vastata kovaan kilpailuun globalisoituvassa markkinassa (Dimitrova et al., 2021).

2.1 Tuotannonsuunnittelun tasot

Tuotannonsuunnittelu voidaan jakaa eri hierarkkisiin tasoihin sekä aikajänteisiin. Tuotannonsuunnittelun voi jakaa esimerkiksi kahteen hierarkiatasoon, korkean tason suunnitelmaan sekä matalan tason suunnitelmaan (Mehra et al., 1996). Korkean tason suunnitelma painottuu strategisiin ja taktisiin päätöksiin eteenpäin katsovalla 2–18 kuukauden aikahorisontilla. Tämä rullaavasti päivitettävä suunnitelma pitää sisällään karkean suunnitelman kapasiteetin käytön tasosta, karkeista tuotantomääristä, varastotasoista ja varastonhallintastrategiasta sekä mahdollisesti muista olennaisista asioista kuten myyntikampanjoista. Matalan tason ja lyhyen aikajänteen suunnitelma puolestaan pitää sisällään tarkat operatiiviset yksityiskohdat, kuten tuotanto- sekä toimitusaikataulut, ja yksilöidyt työroolit. (Rasmi et al. 2021, 1–2.) Korkean tason suunnitelma on ikään kuin yhteenveto matalan tason suunnitelmista.

Tässä työssä keskitytään pääasiassa lyhyen aikavälin suunnitteluun kuuluvaan tuotantoeräkoon määrittämiseen ja menetelmiin sekä periaatteisiin, joiden avulla tämä voidaan tehdä. Tämä sijoittuu matalan tason suunnitteluun, jossa päätökset tehdään tarkemmalla tasolla ottaen huomioon yksittäisten osien tuotannon tehokkuutta ja kustannuksia.

2.2 Tuotannonsuunnittelun merkitys ja tehtävät

Tuotannonsuunnittelu on jokaisen kannattavasti toimivan valmistavan yrityksen keskeinen toiminto. Tuotannonsuunnittelulla pyritään suunnittelemaan tuotantoprosessit perustuen tarkasti analysoituun markkina- ja kysyntätietoon. Onnistunut tuotannonsuunnittelu auttaa välttämään ylimääräisiä kustannuksia ja tehottomuutta. Huonosti suunniteltu tuotanto puolestaan voi lisätä kustannuksia ja jopa vaarantaa yrityksen tuloksellisuuden. Tuotannonsuunnittelun avulla pystytään määrittämään mitä, miten, milloin ja miten paljon tuotetaan. Lisäksi tuotannonsuunnittelun tehtävä on varmistaa tarvittavien resurssien, kuten työvoiman ja raaka-aineiden riittävyys, sekä se että ne ovat oikeassa paikassa oikeaan aikaan. (Sunday et al., 2021.)

2.3 Tuotantomuodot

Tuotantomuodolla on merkitystä tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmiä tarkasteltaessa. Tuotantomuotojen jaotteluun on olemassa useita malleja ja viitekehyksiä, joissa tunnistetaan hyvinkin useita eri tuotantomuotoja. Tässä työssä tarkasteltavien tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmien kannalta riittävän tarkkuuden antaa perinteinen kolmeen eri tuotantomuotoon jakaminen, joka esitetään Schmittin, Klastorin ja Shtubin (1985) tutkimuksessa. Heidän luokittelunsa mukaan tuotantoprosessit voidaan jakaa karkeasti kolmeen pääkategoriaan. Nämä ovat projektit, keskeytyvät prosessit (englanniksi job shop tai flow shop), sekä jatkuvat prosessit (englanniksi assembly lines tai flow processes). Tässä työssä käsiteltävät tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmät liittyvät pääasiassa keskeytyviin- ja jatkuviin prosesseihin.

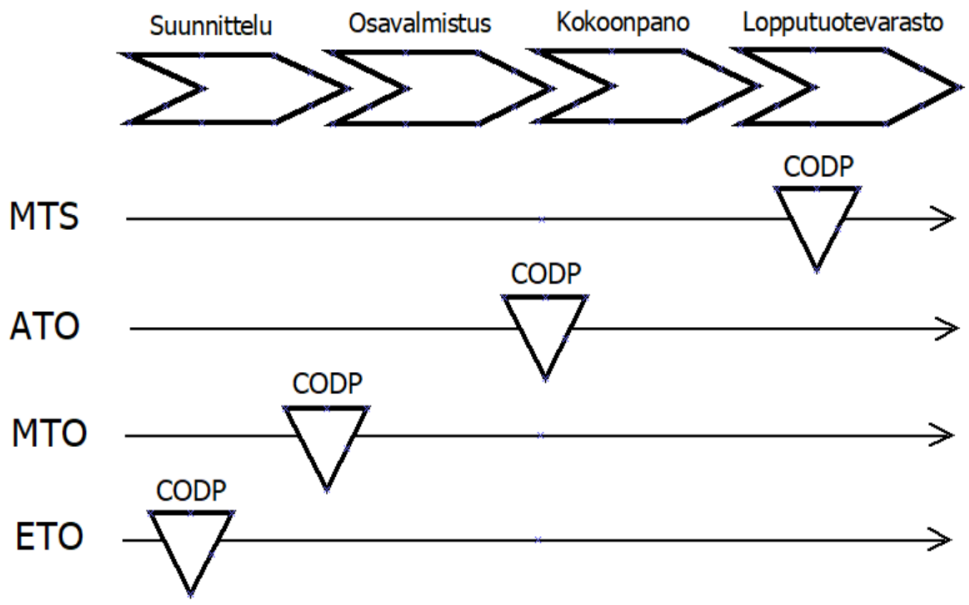
Projektimuotoisella tuotannolla tarkoitetaan ainutlaatuisten, usein asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöityjen tuotteiden valmistusta. Projektimuotoiselle tuotannolle on tyypillistä, että tuotantoprosessit ovat monimutkaisia eivätkä ne toteudu samanlaisina. Keskeytyvä tuotanto tai keskeytyvät prosessit puolestaan mahdollistavat joustavan tuotannon, jossa erilaisia tuotteita valmistetaan määritetyissä erissä tuotantolinjojen muuttuessa tarpeen mukaan. Jatkuvilla prosesseilla tarkoitetaan suurien tuotemäärien valmistamiseen keskittyviä prosesseja, jotka toimivat pääasiassa ilman keskeytyksiä. (Schmitt et al., 1985.)

2.4 Tuotannonohjausmuodot

Tuotantomuodoista ja tuotannonsuunnittelusta puhuttaessa tärkeäksi määriteltäväksi termiksi nousee myös asiakastilauksen kytkentäpiste CODP (”customer order decoupling point”), joka määrittää tuotannonohjausmuodon. Asiakastilauksen kytkentäpiste on se tuotantoprosessin kohta, jossa yritys siirtyy tekemään päätöksiä todellisten asiakastilausten perusteella sen sijaan, että päätökset perustuisivat yrityksen käyttämiin ennusteisiin tai arvioihin. Yleinen jaottelumalli sisältää neljä eri tuotannonohjausmuotoa. Ne ovat MTS (Make-To-Stock, eli valmistus varastoon), MTO (Make-To-Order, eli valmistus tilauksesta), ATO (Assemble-To-Order, eli koonti tilauksesta) sekä ETO (Engineer-To-Order, eli suunnittelu tilauksesta). (Rudberg & Wikner, 2004.)

Tuotannonohjausmuoto vaikuttaa olennaisesti yrityksen tuotannonsuunnitteluun, varastonhallintaan sekä prosessien joustavuuden tarpeeseen. Kun asiakastilauksen kytkentäpiste on lopputuotteessa, eli kyseessä on MTS (Make-To-Stock) tuotannonohjausmuoto, voidaan tuotannon sanoa olevan varasto-ohjautuvaa. Tällöin tuotanto suunnitellaan täysin myynninennusteiden pohjalta. MTS tuotannonohjausmuoto on tyypillinen tuotteilla, joiden menekki on suurta ja ennustettavaa. MTO:n (Make-To-Order) voidaan puolestaan todeta olevan tilausohjautuva tuotannonohjausmuoto, jolloin vasta asiakastilaus käynnistää tuotantoprosessin. Tämä ohjausmuoto on tyypillinen tilanteissa, joissa tuotantomäärä on verrattain pieni suhteessa lopputuotevaihtoehtojen määrään, eikä lopputuotevaraston pitäminen ole järkevää. (Logistiikan maailma 2024.)

MTS:n ja MTO:n ”välistä” löytyy ATO (Assemble-To-Order), jossa lopputuotteen komponenttien valmistus on ennusteohjautuvaa, mutta kokoonpano aloitetaan vasta asiakastilauksesta. ATO tuotannonohjausmuoto on yleinen tilanteissa, joissa valmistettavat lopputuotteet ovat modulaarisia. Tällöin voi olla järkevämpää varastoida moduleita lopputuotteiden sijaan. Viimeisimpänä tuotannonohjausmuotona on ETO (Engineer-To-Order), jossa koko prosessi on tilausohjautuva, eli lopputuote suunnitellaan ja valmistetaan kokonaan asiakastilauksen pohjalta. Mitä lähempänä asiakastilauksen kytkentäpiste on asiakasta, sitä lyhyempi on tuotteen toimitusaika. (Logistiikan maailma 2024.) Kuvassa 1 on havainnollistettu eri tuotannonohjausmuotoja asiakastilauksen kytkentäpisteen (CODP) avulla.



Kuva 1 Asiakastilauksen kytkentäpiste (Mukaillen Olhager & Van Donk 2024, 1115–1118; Logistiikan maailma 2024)

Tuotannonohjausmuodon valintaan eniten vaikuttavat tekijät ovat siis kysynnän ennustettavuus, tuotteiden räätälöintitarve, varastointimahdollisuus sekä toimitusaikavaatimukset. Oikean tuotannonohjausmuodon valinta mahdollistaa tehokkaan resurssien käytön sekä asiakastyytyväisyyden. Tässä työssä käsiteltävät tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmät liittyvät kaikkiin tuotannonohjausmuotoihin, mutta painottuvat erityisesti MTS-tuotannonohjausmuotoon.

3 Tuotantoeräkoon määrittämisen periaatteita

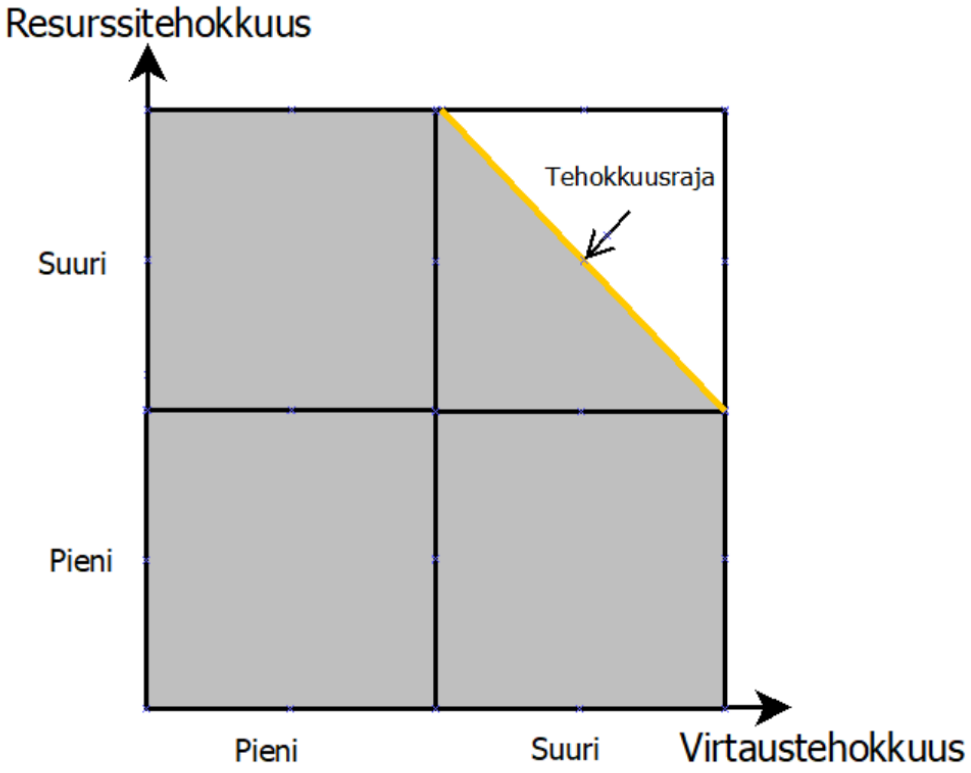
Tuotantoeräkoon määrittämisen lähtökohtana on perinteisesti ollut kustannusten minimointi ja tehokkuuden maksimointi. Tehokkuuden maksimointia voidaan lähestyä eri näkökulmista ja itse tehokkuus voidaan sekä määritellä että sitä voidaan mitata yrityksissä ainakin kahdella merkittävästi toisistaan poikkeavalla tavalla: resurssitehokkuuden ja virtaustehokkuuden näkökulmasta (Modig et al., 2016).

3.1 Resurssi- ja virtaustehokkuus

Perinteinen ja yleisin tehokkuuden muoto on resurssitehokkuus. Yrityksen resurssitehokkuuden määrittelee sen kyky käyttää kaikkia arvoa tuovia resursseja tehokkaasti hyödyksi. Resurssitehokkuus ei esimerkiksi kuitenkaan ota kantaa itse jalostettavan yksikön läpimenoaikaan. Resurssitehokkuuden rinnalle onkin tuotu määritelmä virtaustehokkuudesta. Virtaustehokkuudessa keskeinen huomio kohdistuu jalostettavaan yksikköön ja sen läpimenon kestoon. (Modig et al. 2016, 1–7.) Valmistavassa teollisuudessa virtaustehokkuuden mukainen tarkastelu voisikin kohdistua esimerkiksi puolivalmiste- ja jakeluvaraston kiertoon, tai asiakastilauksesta tavaran toimitukseen kuluvaan aikaan.

Tuotantoa suunnitellessa ja ”optimaalista” tuotantoeräkokoa määritettäessä onkin kyettävä tarkastelemaan kriittisesti eri tuotantoeräkokojen aiheuttamia vaikutuksia eri tehokkuuden muotojen näkökulmista. Mikäli valmistava yritys optimoi tuotantoaan pelkästään resurssitehokkuuden näkökulmasta, voi sillä olla negatiivisia vaikutuksia esimerkiksi varaston kiertonopeuteen kasvaneiden tuotantoeräkokojen seurauksena. Myös tuotannon joustavuus voi kärsiä merkittävästi, mikäli tuotantoeräkoot ovat suuria ja yksittäistä lopputuotetta tuotetaan harvoin (Castellano et al. 2019). Tällä voi olla negatiivinen vaikutus myös toimitusvarmuuteen, sillä esimerkiksi osittain epäonnistunut tuotantoerä, tai vaikkapa äkillisesti kasvanut kysyntä voi aiheuttaa tuotteen loppumisen ennen seuraavaa valmistusajankohtaa. Tästä voi seurata suoria kustannuksia menetetyn myynnin seurauksena, sekä myös välillisiä kustannuksia, kuten esimerkiksi asiakastyytyväisyyden alenemisesta johtuvia asiakkaiden menetyksiä kilpailijoille.

Yrityksen resurssi- ja virtaustehokkuutta pystyy kumpaakin samanaikaisesti kasvattamaan tiettyyn rajaan asti. Tämän jälkeen, mikäli halutaan saada kasvatettua toista tehokkuutta, on se tehtävä toisen kustannuksella. (Modig et al. 2016, 100–116.) Tätä tehokkuuksien vuorovaikutusta havainnollistaa tehokkuusmatriisi, sekä siihen sisällytetty tehokkuusraja (kuva 2). Yritys voi kuulua tehokkuusmatriisissa vain harmaalle alueelle (Modig et al. 2016, 105). Tuotantoeräkoon määrittäminen on yrityksen eräs keinoista, joilla yritys voi vaikuttaa mihin kohtaan tuottavuusmatriisia se sijoittuu.



Kuva 2 Tehokkuusmatriisi (Modig et al. 2016, 105)

3.2 Just-In-Time (JIT)

Just-In-Time (JIT) on Japanissa kehitetty tuotantofilosofia, joka painottaa yksinkertaisuutta ja tehokkuutta tuotannossa. JIT:illä ei ole yhtä ainoaa tarkkaa määritelmää. Siitä puhuttaessa yleensä viitataan tuotantojärjestelmään, jonka tavoitteena on jatkuva hukan eliminointi ja tuottavuuden parantaminen. (Fullerton & McWatters, 2000.) JIT korostaa virtaustehokkuutta perinteisen resurssitehokkuuden sijaan (Modig et al., 2016).

Toisin kuin perinteinen ”push”-järjestelmä (suomeksi työntöohjausjärjestelmä), jossa tuotanto työnnetään tuotantovaiheiden läpi ennakoidusti esimerkiksi ennusteiden pohjalta varastoon, nähdään JIT ”pull”-järjestelmänä (suomeksi imuohjausjärjestelmä), jossa tuotantoerät sekä varastot ikään kuin vedetään läpi prosessin todellisen kysynnän mukaan. Tämä mahdollistaa muun muassa minimaalisen keskeneräisten tuotteiden varastoinnin, sekä nopean reagoinnin mahdollisiin ongelmiin tuotannossa tai kysynnän muutoksiin. JIT:in perimmäisiin tarkoituksiin kuuluu myös arvoa tuottamattomien toimintojen karsiminen. Tällaisia ovat esimerkiksi turhat tarkastukset ja odotusajat. (Fullerton & McWatters, 2000.) Ei ole

epätavallista, että jopa yli 95 % tarpeen tunnistamisen ja tarpeen täyttymisen välisestä ajasta hukataan näihin ei-arvoa tuottaviin toimintoihin (Peters, 1990). Esimerkiksi odotusajat toimintojen välillä eivät välttämättä suoraan heikennä yrityksen resurssitehokkuutta, mikäli yrityksen tuotantoresursseja ei seisoteta, vaan käytetään tehokkaasti. Virtaustehokkuuteen sekä tätä kautta asiakkaan saamaan arvoon puolestaan tällaiset odotusajat voivat vaikuttaa merkittävästi.

4 Tuotantoeräkoon määrittämisen keskeiset menetelmät

Tässä luvussa käydään läpi käytössä olevia tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmiä. Tuotantoeräkoon määrittämiseen on kehitetty lukuisia malleja ja menetelmiä, jotka kattavat laajasti eri lähestymistapoja ja käyttökohteita teollisuudessa, eikä näille menetelmille ole olemassa yhtä selkeää jaottelua tai ryhmittelytapaa (Jans & Degraeve, 2008). Useat menetelmistä rakentuvat toistensa päälle, tuoden vanhaan menetelmään jonkin lisäominaisuuden tai optimointitekijän. Osa menetelmistä laskee optimaalisen tuotantoeräkoon resurssitehokkuuden näkökulmasta, kun osa puolestaan määrittää tuotantoeräkoon virtaustehokkuuden kannalta tehokkaimmaksi. Tämän lisäksi erilaiset tuotantoympäristöt voivat asettaa optimointimenetelmille hyvinkin erilaisia vaatimuksia. Tuotanto- ja tuotannonohjausmuoto, sekä niiden mukana tuomat vaatimukset on otettava huomioon. Yrityksille löytyy harvoin suoraan valmista tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmää, joka sopisi sellaisenaan heidän tarpeisiinsa (Schmidt et al., 2015). Tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmiä on kyettävä tarkastelemaan kriittisesti sekä mahdollisesti soveltaen yhdistelemään niitä.

Kirjallisuuteen perehtymisen jälkeen keskeisimmiksi menetelmiksi valikoitui 4 toisistaan merkittävästi poikkeavaa menetelmää, jotka antavat kattavan katsauksen aiheeseen. Kaikki näistä menetelmistä ovat sellaisia, että niitä on laajasti tutkittu ja niistä on olemassa variaatioita.

4.1 Taloudellinen tilauseräkoko (EOQ)

Lyhenne EOQ tulee englannin kielen sanoista ”economic order quantity”, eli taloudellinen ostoerä tai tilauseräkoko. EOQ on laskennallinen malli optimaalisen ostoerän määrittämiseen. Tätä mallia on kuitenkin käytetty laajasti optimaalisen tuotantoeräkoon määrittämiseen, johon se soveltuu myös. (Sakki 2014, 91.) Mallin kehitti Ford W. Harris vuonna 1913. Malli on toiminut pohjana useille jatkotutkimuksille ja mallin laajennuksille sekä variaatioille. (Erlenkotter, 1990.) EOQ on käytännössä pohjimmiltaan kaava, joka on muokattu laskemaan toisen asteen yhtälön derivaatan nollakohta, josta selviää kustannusyhtälön minimiarvo. (Sakki 2014, 91.) EOQ-menetelmä lähestyy tuotantoeräkoon optimointia resurssitehokkuuden näkökulmasta. Alla on havainnollistettu EOQ-menetelmää kaavan (kaava 1) ja kuvaajan (kuva 3) avulla.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot TK}{H \cdot VK}}$$

Kaava 1: Taloudellinen tilauseräkoko EOQ (Sakki 2014, 91)

, jossa

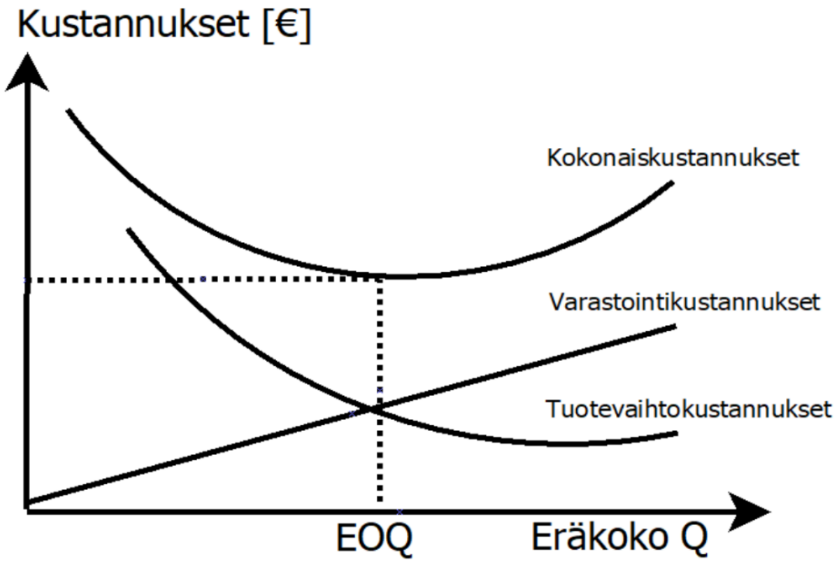
D = arvio tulevasta vuosimenekistä, esimerkiksi kappalemäärä

TK = Yhden tuotantoerän aloituksen aiheuttama kulu rahayksikössä (tai yhden ostoerän kiinteä kustannus rahayksikössä)

H = tuotteen yksikköhinta

VK = varastoimisen kustannus (kiinteä %-luku varaston arvosta vuodessa)

(Sakki 2014, 91–92.)



Kuva 3 Taloudellinen tilauseräkoko EOQ (Mukaillen Sakki 2014, 92; Christopher 2011, 108)

EOQ-mallia ja siitä johdettuja variantteja on laajasti käytetty suuntaa antavien arvioiden laskemiseen eräkokoja määritettäessä (Bougher, 1984). On kuitenkin otettava huomioon, että kaavan lähtöarvoina toimii vuoden menekkiarvio sekä keskimääräiset varastointikustannukset kyseiselle vuoden aikajaksolle. Tämä tarkoittaa käytännössä, että kaavasta saatu optimaalinen eräkoko on vain karkeahko likiarvo. (Sakki 2014, 92). Eräkokoa määritettäessä on tarkasteltava kriittisesti myös lyhyen aikavälin kysyntäennustetta. Volatiileilla tuotteilla esimerkiksi viikon tarkastelujakson menekki voi olla sesonkiaikaan vuoden menekkiarvion pohjalta laskettuun keskiarvoviikkoon verrattuna moninkertainen.

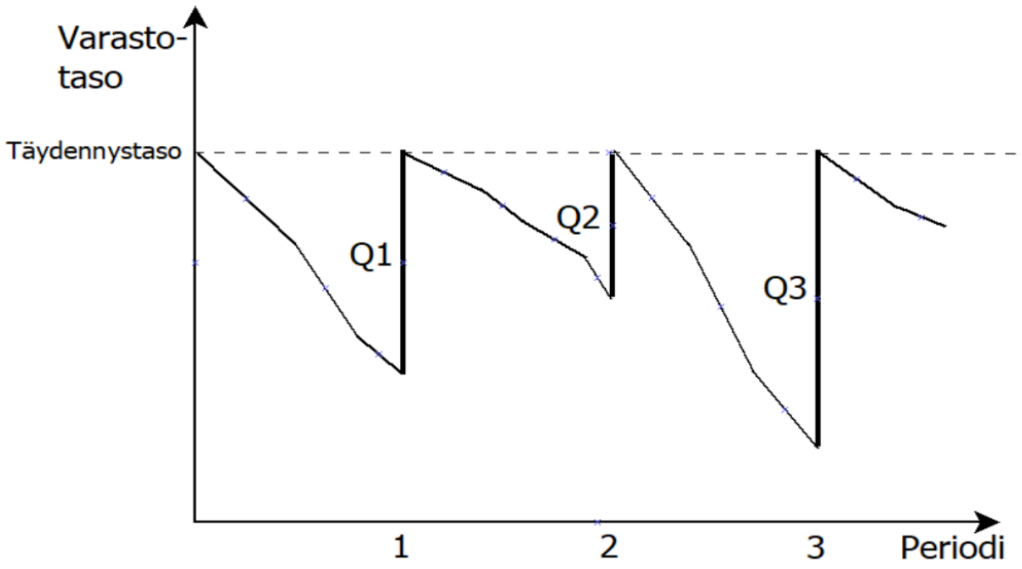
Vaikka EOQ-malli on laajasti käytetty, liittyy siihen rajoituksia ja oletuksia, jotka on otettava huomioon. EOQ-malli olettaa muun muassa tuotantoerä- ja varastointikustannukset tarkastelujaksolle muuttumattomiksi. Tämän lisäksi malli olettaa täydennysajan vakioksi sekä kysynnän tasaiseksi. (Haneveld & Teunter, 1998.) Malli ei myöskään ota huomioon toimitusaikaa, mahdollisia kapasiteettirajoitteita tai esimerkiksi paljousalennuksia. Muun muassa näiden rajoitteiden takia EOQ-mallista on johdettu useita monimutkaisempia laskennallisia malleja, joilla voidaan pyrkiä ottamaan huomioon useampia muuttujia.

Eräs laajasti tunnettu EOQ-mallista johdettu tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmä on EPQ-malli (”economic production quantity”, eli taloudellinen tuotantoeräkoko). Perinteinen EPQ-malli sisältää pääasiassa samat oletukset kuten EOQ-malli. EPQ-malli eroaa kuitenkin EOQ-mallista siten, että se ottaa huomioon tuotantoon käytettävän ajan, sekä varaston

tyhjenemisen kyseisellä aikavälillä, kun tuotetta valmistetaan rajatulla tuotantonopeudella. (Alfares & Ghaithan, 2019.) Eräs toinen, Chengin (1990) kehittämä EOQ-variaatio puolestaan ottaa huomioon hinnoittelun vaikutukset optimaaliseen eräkokoon, kun tuotteen kysynnän hintajousto on tiedossa (Cheng, 1990). Useat muut EOQ:n pohjalta rakennetut mallit ovat rakennettu samalla periaatteella. On siis ensin tunnistettu jokin tarvittava muuttuja tai tekijä, joka on sittemmin liitetty osaksi laskennallista mallia. Muita tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi tuotannon luotettavuus (Tripathy et al., 2003) sekä epälineaarinen varastointikustannus, jossa varastoinnin kustannukset eivät ole lineaarisesti riippuvaisia varaston koosta (Ferguson et al., 2007).

4.2 Periodic Review -menetelmä

Periodic Review -menetelmää (suomeksi ”jaksottainen tarkastusmenetelmä”) voidaan käyttää tuotannonsuunnittelussa eräkoon määrittämiseen. Menetelmä perustuu siihen, että varastonhallintapaikka, esimerkiksi oma puolivalmistevarasto tai lopputuotteiden jakeluvarasto, täydennetään säännöllisin väliajoin. Varastolle on määritetty ennalta jokin taloudellisin perustein laskettu tavoitetaso, johon varasto täydennetään. Tällöin tuotantomääräksi valikoituu käytännössä varaston tavoitetason ja nykytason erotus. (Tagaras & Vlachos, 2001.) Kuvassa 4 on havainnollistettu tuotantoeräkoon määrittyminen Periodic Review -menetelmällä.



Kuva 4 Periodic review -menetelmä yksinkertaisimmillaan. Toimitusaikoja ei ole huomioitu havainnollisuuden vuoksi (Mukaillen Kabadayi & KeskinTürk, 2015)

Periodic review -menetelmää voidaan pitää erityisen hyödyllisenä silloin, kun varastointikustannukset ovat alhaiset ja kiinteät asetus- tai toimituskustannukset ovat merkittäviä. Tällöin valmistus- ja toimitusrytmi saatetaan haluta vakioida kokonaiskustannusten minimoimiseksi. Olennaista menetelmän hyödyllisyyden kannalta on myös kysynnän ennakoitavuus, sillä edellisen täydennyksen tulisi riittää aina seuraavaan tarkastusajankohtaan asti. Mallia voidaan myös täydentää lisäämällä ”hätätäydennys” vaihtoehto, joka tapahtuisi tuotepuutteen uhatessa kesken tarkastelujakson. Hätätäydennys tuo merkittäviä lisäkustannuksia, mutta voi olla perusteltu ja edullisempi vaihtoehto tuotepuutteen sijaan poikkeustilanteissa. (Tagaras & Vlachos, 2001.)

Kiinteän kappalemääräisen varaston tavoitetason sijaan on myös mahdollista käyttää varaston riittopäiviä. Tämä on hyödyllistä esimerkiksi sen takia, että varastotasoja voi suoraan peilata toimitusaikaan, jolloin kuva varastojen tilasta on havainnollisemmassa muodossa (Vaz & Mansori, 2017). Riittopäivinä määritetyt varastotasot sekä varastojen tavoitetasot mahdollistavat varaston kiertonopeuden pitämisen likimain vakiona, ja vakioidun toimitusrytmin kanssa tämä ratkaisu voisi sopia erityisen hyvin yhteen. Riittopäivien käyttäminen varastonseurannassa ja -hallinnassa pääasiallisena mittayksikkönä vaatii kuitenkin tarkkaa päiväkohtaista ennustetta tuotteiden menekille, jonka takia tämä ei sovellu läheskään kaikkiin tilanteisiin.

4.3 Silver-Meal-heuristiikka

Silver-Meal-heuristiikka on tuotantoeräkokojen määrittämiseen käytetty menetelmä, jonka kehittivät Edward A. Silver ja Harlan C. Meal vuonna 1973. Silver-Meal-heuristiikka toimii tuotantoympäristössä, jossa kysyntä vaihtelee ajan myötä, mutta on ennustettavissa tulevalle ajanjaksolle viimeistään tämän ajanjakson alkaessa. (Silver & Miltenburg, 1984.) Käytännössä heuristiikka toimii siten, että se laskee kuinka monta määrätyn mittaista jaksoa yhden täydennyksen tulisi kattaa, jotta periodikohtaiset kustannukset olisivat mahdollisimman pienet. Jokaisen täydennyksen jälkeen tarkastellaan seuraavia jaksoja suunnitteluhorisontissa ja päätetään seuraavan tuotantoerän koko (Segerstedt et al., 2023). Silver-Meal-heuristiikka pyrkii minimoimaan kustannuksia, eikä ota kantaa esimerkiksi toimitusaikaan. Silver-Meal-heuristiikka lähestyy siis tilannetta resurssitehokkuuden näkökulmasta virtaustehokkuuden sijaan. Silver-Meal-heuristiikan kaava saa käytännössä alla esitetyn muodon (kaava 2).

$$Jos \ \frac{A+h\sum_{t=1}^{k+1}(t-1)\cdot X_t}{k+1} > \frac{A+h\sum_{t=1}^{k}(t-1)\cdot X_t}{k}, niin\ Q = \sum_{t=1}^{k} X_t$$

Kaava 2 Silver-Meal-heuristiikka (Segerstedt et al., 2023)

, jossa

A = kiinteä tilauskustannus

h = yhden yksikön varastointikustannus yhden jakson ajalle

X_t = kysyntä jakson t aikana

Q = kaavan antama optimaalinen tilauserä

(Segerstedt et al., 2023)

<u>Laskuesimerkki 1:</u>

Olkoon suunnitteluhorisontissa 4 jaksoa, joiden kysynnät yksittäiselle tuotteelle ovat seuraavat:

$$X_1 = 100, X_2 = 150, X_3 = 80\ ja\ X_4 = 130$$

Olkoon tilauskustannus A = 1000 ja varastointikustannus h = 1. Lasketaan keskimääräiset kokonaiskustannukset C(t) jaksoa kohden kattamalla:

Vain ensimmäinen jakso: $C(1) = \frac{1000+0}{1} = 1000$

Kaksi jaksoa: $C(2) = \frac{1000+1\cdot 150}{2} = 575$

Kolme jaksoa: $C(3) = \frac{1000+1\cdot(150+80)+1\cdot 80}{3} = 436{,}666 \ldots$

Kaikki neljä jaksoa: $C(4) = \frac{1000+1\cdot(150+80+130)+1\cdot(80+130)+1\cdot(130)}{4} = 425$

Ensimmäisessä laskuesimerkissä voidaan nähdä, että suunnitteluhorisontin kaikkien neljän jakson kysyntään vastaava tuotantomäärä kannattaa tehdä kerralla, sillä periodikohtaiset kokonaiskustannukset ovat tällöin pienimmillään. Tuotantomääräksi valikoituisi tällöin kaikkien neljän jakson kysyntä yhteensä, eli 460 yksikköä.

Laskuesimerkki 2:

Olkoon lähtötiedot muuten samat, mutta tilauskustannus A = 200. Tällöin:

$$C(1) = \frac{200 + 0}{1} = 200$$

$$C(2) = \frac{200 + 1 \cdot 150}{2} = 175$$

$$C(3) = \frac{200 + 1 \cdot (150 + 80) + 1 \cdot 80}{3} = 170$$

$$C(4) = \frac{200 + 1 \cdot (150 + 80 + 130) + 1 \cdot (80 + 130) + 1 \cdot 130}{4} = 225$$

Nyt huomataan, että periodikohtaiset kustannukset ovat pienemmät tehtäessä vain kolmen jakson ennusteiden mukainen määrä verrattuna neljään jaksoon. Tämä johtuu pienemmästä kiinteästä tilauskustannuksesta. Tällaisessa tilanteessa päädyttäisiin heuristiikan mukaan tekemään kolmen jakson kysyntää vastaavat määrä, ja seuraavan tuotantoerän määrittäminen lähtisi liikkeelle vastaavin välivaihein kuin edellä. Tällöin heuristiikan ehdottama tuotantomäärä olisi siis ensimmäisen kolmen jakson kysyntä, eli 330 yksikköä.

Kuten muidenkin laskennallisten tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmien kohdalla, myös Silver-Meal-heuristiikasta on johdettu lukuisia variaatioita, jotka toimivat joissain ympäristöissä alkuperäistä mallia paremmin (Segerstedt et al., 2023). Usein näiden variaatioiden toimintaperiaate on hyvin samanlainen. Eräs tällainen vaihtoehtoinen heuristinen tuotantoeräkoon määritysmenetelmä Silver-Meal-heuristiikalle on PPB (Part Period Balancing). Toimintaperiaate on muuten Silver-Mealin kanssa sama, mutta se pyrkii löytämään optimaalisen tilauseräkoon sekä -ajankohdan vertaamalla asetus- ja varastointikustannuksia keskenään. Se valitsee kustannuksia optimoidakseen tuotantoeräkooksi sellaisen määrän, jossa kyseisten jaksojen varastonpito- ja asetuskustannusten suhde on mahdollisimman lähellä yhtä. (Segerstedt et al., 2023.) Toisena vastaavanlaisena menetelmänä on LUC (Least Unit Cost). LUC on hyvin samankaltainen Silver-Meal-heuristiikan kanssa, mutta se pyrkii optimoimaan keskimääräisiä yksikkökustannuksia keskimääräisten periodikustannusten sijaan (Segerstedt et al., 2023). Silver-Meal-heuristiikasta on myös johdettu variaatioita, jotka ottavat lisäksi muita tekijöitä huomioon. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi tuotteista

annettavat määräalennukset (Hu et al., 2004), sekä tuotteiden palauttaminen ja uudelleenvalmistaminen (Schultz, 2011). Vastaavanlaisia variaatioita on olemassa useita (Teunter et al., 2006; Schultz, 2011), eikä jokaisen näistä tarkastelu ole tämän tutkielman kannalta relevanttia.

4.4 Kanban

Kanban on alun perin määritelty Toyota Production System (TPS) alajärjestelmäksi, joka luotiin varastotasojen ja tuotannon kontrollointiin (Junior & Filho, 2010). Kanban toimii imuohjautuvasti perustuen todelliseen tarpeeseen, eli asiakkaan tilaukseen. Se toimii käytännössä materiaalivirtauksen ohjausmekanismina säädellen oikean määrän ja ajoituksen tuotannossa oleville tuotteille (Junior & Filho, 2010). Kanban on läheisesti yhteydessä Just-In-Time (JIT) -tuotantofilosofiaan, sillä Kanbanin perusideana on valmistaa vain tarvittava määrä oikeaan aikaan. Kanban toimii tässä käytännössä siten, että se antaa signaalin, joka käynnistää asiakastarpeen määrittämän tuotantoerän valmistuksen vasta kun se on tarpeen (Wakode et al., 2015). Kanban on tuotantoeräkoon määrittämisen kontekstissa virtaustehokkuutta optimoiva menetelmä.

Kanban on japaninkielinen sana, joka tarkoittaa kylttiä. Tuotantoympäristössä on usein käytössä visuaaliset Kanban-kortit, jotka kuvaavat mitä, milloin ja miten tulee tuottaa. (Wakode et al., 2015). Nämä kortit voivat olla nykyään fyysisiä tai digitaalisia, joiden avulla tuotantoprosessi saadaan pysymään synkronoituna todellisen kysynnän kanssa (Lean Six Sigma, 2024). Tällöin ylimääräiseltä varastoinnilta voidaan välttyä. Kanban voi soveltua hyvin esimerkiksi jatkuvaan, tasaisesti virtaavaan tuotantoon, jossa halutaan optimoida virtaustehokkuutta ja minimoida varastoja. Kanbanille ominaisten pienten tuotantoeräkokojen takia Kanbanin käyttö voi olla erityisen hyödyllistä, mikäli tuotannon asetuskustannukset ovat pienet verrattuna varastointikustannuksiin.

Kanbanin perusperiaatteet ovat työn visualisointi, keskeneräisen työn rajoittaminen, virtaukseen keskittyminen sekä jatkuva parantaminen. Kanban on siis konseptina huomattavasti laajempi kuin pelkästään tuotantoeräkoon määrittämiseen soveltuva menetelmä. (Wakode et al., 2015.)

5 Menetelmien vertailu ja arviointi

Tässä luvussa tarkastellaan edellä esiteltyjä neljää keskeistä tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmää sekä niiden oletuksia, rajoitteita ja vahvuuksia. Myös soveltuvuuksia erilaisiin tuotanto- ja tuotannonohjausmuotoihin arvioidaan lyhyesti.

5.1 Menetelmien oletukset ja rajoitteet

Käytännössä kaikki tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmät sisältävät oletuksia ja rajoitteita, jotka on tunnistettava ja arvioitava kriittisesti menetelmän käyttökohteeseen soveltuvuuden arvioimisen mahdollistamiseksi. EOQ-menetelmä olettaa kysynnän tasaiseksi ja ennustettavaksi, sekä asetus- ja varastointikustannukset vakioiksi tarkastelujakson aikana. EOQ-menetelmä ei perusmuodossaan myöskään ota huomioon tuotantoon kuluvaa aikaa, kysynnän vaihteluita tai kapasiteettirajoitteita. Tämä rajoittaa käytännössä EOQ-menetelmän soveltuvuutta volatiiliin markkinaympäristöön, jossa kysyntä on vaihtelevaa.

Periodic Review -menetelmä olettaa, että tuotantoeräkooksi voidaan määrittää aina varaston tavoitetason ja tarkastushetken tason erotus, oli se tarkastusajankohtana mikä tahansa. Malli myös olettaa määritetyn tavoitetason lähtökohtaisesti riittävän seuraavaan täydennysajankohtaan asti. Tämä rajoittaa mallin käyttöä sellaisenaan vaikeasti ennustettavassa markkinaympäristössä. Toisaalta mikäli hätätäydennykset ovat mahdollisia, ja varaston tavoitetaso määritetään riittävän suureksi, voidaan lisätä mallin soveltuvuutta myös volatiilimpaan ympäristöön.

Silver-Meal-heuristiikka puolestaan olettaa kysynnän vaihtelevan ajan myötä, mutta olevan ennustettavissa tulevalle ajanjaksolle aina viimeistään tämän alkaessa. Lisäksi heuristiikka olettaa EOQ-mallin tapaan asetus- ja varastointikustannukset vakioiksi tarkastelujaksolle, eikä ota kantaa toimitusaikaan. Myös Silver-Meal-heuristiikalla voi olla vaikeuksia vastata korkeisiin kysynnänvaihteluihin, varsinkin suunnitteluhorisontin sisällä. Tilannetta voidaan parantaa esimerkiksi kasvattamalla varmuusvaraston kokoa.

Kanban-menetelmä on käsitellyistä menetelmistä ainut imuohjaukseen perustuva menetelmä, jonka keskeisenä oletuksena on tuotannon kyky mukautua joustavasti asiakastarpeen

mukaisiin tuotantomääriin. Kanbanin perusperiaatteen mukaan mitään ylimääräistä ei tehdä varastoon, joten Kanban ei välttämättä kykene vastaamaan kysyntäpiikkeihin samalla tavalla kuin varastoja puskurina hyödyntävät menetelmät. Tämä rajoittaa Kanbanin käytettävyyttä tilanteissa, joissa toimitusajat ovat kriittisiä ja toimitusvarmuutta ei ole vara riskeerata. Kanban voi myös olla huono vaihtoehto, mikäli tuotannon kiinteät asetuskustannukset ovat suuret, sillä Kanban tähtää rullaavaan tuotantoon. Tällaisessa rullaavassa tuotannossa tehdään kerrallaan vain se määrä, jolle on olemassa todellinen tarve. Tämä johtaa herkästi pieniin eräkokoihin.

Esitellyistä menetelmistä vain Kanban ottaa suoranaisesti huomioon virtaustehokkuuden optimoinnin. Erityisesti EOQ-menetelmä ja Silver-Meal-heuristiikka perustuvat kustannusten optimointiin ottamatta kantaa varaston kiertoon tai toimitusaikoihin. EOQ-menetelmä ja Silver-Meal-heuristiikka siis olettavat resurssitehokkuuden olevan määrittävä tekijä virtaustehokkuuden sijaan. Kanbanissa tilanne on päinvastainen.

5.2 Menetelmien vahvuudet

Tässä työssä käsitellyillä menetelmillä on omia vahvuuksiaan, joilla ne erottuvat toisistaan. EOQ-menetelmä on laajasti käytetty, yksinkertainen ja laskennallisesti kevyt menetelmä, jolla voidaan määrittää kustannusten kannalta optimaalinen eräkoko. Se soveltuu laajasti eri ympäristöihin, joissa kysyntä on tasaista ja kustannukset pysyvät vakaina. Menetelmä voi sopia hyvin myös korkean tason suunnitelmia tehdessä karkeaksi tuotantoeräkokojen arviointimenetelmäksi. EOQ:sta on johdettu useita variantteja, joita hyödyntämällä voidaan mahdollisesti löytää kuhunkin tuotantoympäristöön soveltuva menetelmä.

Periodic Review -menetelmä on selkeästi vahva tilanteessa, jossa asetuskustannukset ovat suuret ja varastointikustannukset alhaiset. Menetelmä on erityisen sopiva tilanteisiin, joissa tuotanto- ja/tai toimitusajankohdat halutaan vakioida. Näin voi olla esimerkiksi tilanteissa, joissa tarkasteltavan tuotteen tuotantoerän kuljetus on järjestettävissä vain tiettynä ajankohtana, ja sitä ennen varastointi olisi turhaa. Periodic Review -menetelmä voi myös vähentää tarvetta jatkuvalle varastonseurannalle, kun tilausrytmi on vakio. Lisäksi tuotantoeräkoon määrittäminen mallin mukaan on laskennallisesti hyvin yksinkertaista ja selkeää.

Silver-Meal-heuristiikan, sekä siitä johdettujen varianttien keskeinen vahvuus on kustannusten optimointi ympäristössä, jossa kysyntä vaihtelee jaksoittain ennustetusti. Siinä missä esimerkiksi EOQ-mallia hyödyntämällä voidaan arvioida pidemmälle aikavälille tulevaisuuteen tarvittavia tuotantoeräkokoja ja niiden valmistustaajuuksia, sopii Silver-Meal-heuristiikka lyhyemmän aikavälin suunnitteluun usein paremmin. Se määrittää lyhyen aikavälin tarkastelujaksoittain aina keskimääräisiltä periodikohtaisilta kustannuksiltaan edullisimman vaihtoehdon valmistusmääristä, jokaiselle valmistuskerralle erikseen.

Kanban-menetelmän keskeisenä vahvuutena puolestaan on sen kyky optimoida virtaustehokkuutta. Kanban-menetelmä ei optimaalisesti toimiessaan tuota lainkaan ylimääräistä varastoa, vaan kaikki tuotanto perustuu tilauksiin. Tämä malli voi myös resurssitehokkuuden näkökulmasta olla edullinen, mikäli tuotannon asetuskustannukset ovat pienet ja varastointikustannukset suuret. Kanban-menetelmästä usein seuraavat pienet tuotantoeräkoot mahdollistavat joustavan tuotannon, jolloin esimerkiksi virheellisiin tuotantoeriin on mahdollista reagoida tehokkaasti.

5.3 Soveltuvuus eri tuotanto- ja tuotannonohjausmuotoihin

Käsiteltyjen tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmien soveltuvuutta eri tuotannonohjausmuotoihin voidaan arvioida karkeasti yleisellä tasolla. Taulukossa 1 on visualisoitu tällainen arvio aiemmin työssä käsiteltyjen asioiden pohjalta.

Taulukossa:

$**$ = Soveltuu hyvin

$*$ = Soveltuu osittain

$-$ = Soveltuu heikosti

Taulukko 1 Menetelmien soveltuvuus eri tuotannonohjausmuotoihin

	EOQ	Periodic Review	Silver-Meal	Kanban
MTS (Make-To-Stock)	**	**	**	**
ATO (Assemble-To-Order)	*	*	*	**
MTO (Make-To-Order)	-	-	-	**
ETO (Engineer-To-Order)	-	-	-	**

Kuten taulukossa 1 on esitetty, pääasiassa työntöohjausperiaatteella toimivat EOQ- ja Periodic Review -menetelmät sekä Silver-Meal-heuristiikka soveltuvat hyvin MTS (Make-To-Stock) tuotannonohjausmuotoon. Näissä menetelmissä siis arvioidaan tulevaa menekkiä, ja tuotetaan tuotteita varasto-ohjautuvasti ennakoiden todellista asiakaskysyntää. Nämä kyseiset varasto-ohjautuvasti toimivat menetelmät eivät välttämättä sellaisenaan enää sovi ATO (Assemble-To-Order) tuotannonohjausmuotoon, sillä ATO-tuotannonohjausmuodossa tuotanto käynnistyy vasta, kun asiakas on tehnyt tilauksen. Komponentteja tosin voidaan valmistaa varasto-ohjautuvasti etukäteen, erityisesti jos erilaisten komponenttien määrä on pieni ja kysyntä jatkuvaa. Tällaisessa tilanteessa itse lopputuotteen kasaamisen tuotantomäärä voitaisiin määrittää Kanban-menetelmällä.

Puhtaasti tilausohjautuviin tuotannonohjausmuotoihin MTO (Make-To-Order) ja ETO (Engineer-To-Order), käsitellyistä tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmistä soveltuu sellaisenaan vain Kanban-menetelmä. Kanban-menetelmä on luotu ympäristöön, jossa asiakastilaus määrittää tuotantotarpeen. Kanban voi olla myös hyvä vaihtoehto varasto-ohjautuvaan tuotantoon MTS (Make-To-Stock), mikäli kysyntä on tasaista.

Menetelmien soveltuvuutta eri tuotantomuotoihin voidaan arvioida karkeasti hyvin samalla tavalla kuin soveltuvuutta eri tuotannonohjausmuotoihinkin. Kanban on käsitellyistä tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmistä ainoa puhtaasti projektiluontoiseen tuotantoon sopiva menetelmä. Jatkuviin ja keskeytyviin prosesseihin puolestaan on mahdollista soveltaa kaikkia käsiteltyjä menetelmiä muiden tekijöiden määrittäessä käytettävän menetelmän soveltuvuuden.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä käsiteltiin tuotantoeräkoon määrittämisen periaatteita ja keskeisiä menetelmiä, sekä arvioitiin niiden soveltuvuutta eri ympäristöihin. Työn tavoitteena oli luoda kattava suomenkielinen katsaus aiheeseen, ja pohtia eri menetelmien käyttökelpoisuutta erilaisissa ympäristöissä sekä käsitellä olennaisimpia huomioitavia tekijöitä liittyen menetelmien käyttöön.

Työssä päädyttiin tuotannonsuunnittelun kannalta oleellisen teorian esittelemisen jälkeen esittelemään neljä keskeistä menetelmää variantteineen: EOQ-menetelmä, Periodic Review -menetelmä, Silver-Meal-heuristiikka sekä Kanban. Valinnat pyrittiin tekemään siten, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin erilaisia laajasti omaksuttuja tuotantoeräkoon määrittämiseen käytettäviä menetelmiä sekä resurssi-, että virtaustehokkuutta huomioiden. Erilaisia menetelmiä on kehitetty todella paljon ja niiden kategoriointi ja ryhmittely huomattiin työtä tehdessä haastavaksi. Myöskään kirjallisuudesta ei selkeää yksiselitteistä ryhmittelytapaa löytynyt. Selkeiden kategorioiden luominen, sekä tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmien ryhmittely näihin kategorioihin voisikin olla tulevaisuudessa tutkimuksen kohteena.

Useat menetelmistä ovat rakennettuja optimoimaan vain yhtä tehokkuuden muotoa, resurssi- tai virtaustehokkuutta. Resurssitehokkuutta optimoivat menetelmät tarkastelevat usein pelkästään tuotettujen hyödykkeiden suoria yksikkö- tai periodikohtaisia kustannuksia, kun taas virtaustehokkuutta optimoivat menetelmät tarkastelevat tuotettavan yksikön läpimenoaikaa ja asiakkaan saamaa arvoa. Todellisuudessa on tarpeen huomioida molemmat tehokkuuden muodot, eikä usein ole yksiselitteisesti mahdollista määrittää kokonaisuuden kannalta ”optimaalisinta” tuotantoeräkokoa. Valinta tehokkuuden muotojen priorisoimisesta riippuu yrityksen strategisista tavoitteista ja painotuksista. Valintojen epäsuorat vaikutukset voivat näkyä yrityksen toiminnassa vasta viiveellä, ja siten niitä on hyvin vaikea suoraan integroida muuttujiksi tai parametreiksi tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmään.

Valittaessa tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmää, on olennaista tuntea aiheen teoriapohja syvällisesti. Tämän lisäksi on kriittisesti kyettävä arvioimaan ympäristöä, johon menetelmää sovelletaan. Menetelmän valintaan vaikuttavat oleellisesti ainakin tuotanto- ja tuotannonohjausmuoto, kysynnän ennustettavuus sekä kustannusrakenne. Yksikään

kirjallisuudesta löydettävistä tuotantoeräkoon määrittämisen menetelmistä ei sellaisenaan ole välttämättä optimaalinen tai edes käyttökelpoinen yksittäiselle yritykselle. Tämän takia yritysten on usein tarpeellista yhdistellä tai muokata valmiita menetelmiä vastaamaan juuri omiin tarpeisiinsa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta tuotantoeräkoon optimoinnin olevan usein haastava ja moniulotteinen prosessi, joka vaatii tasapainottelua ja kompromisseja. Valmiita ja paljon tutkittuja menetelmiä on useita, mutta menetelmän valinta ei ole yksiselitteistä, vaan se tulee tehdä kokonaisvaltaisten analyysien ja yrityksen strategiatyön pohjalta. Yritysten tulee olla valmiita mukauttamaan menetelmiä omien tarpeidensa mukaisiksi. Näin yrityksillä on mahdollisuus löytää kokonaisvaltaisesti toimivia ratkaisuja, jotka tukevat heidän liiketoimintaansa sekä parantavat kilpailukykyä omissa markkinaympäristöissään.

Lähteet

AccountingInsights Team. (2024) *Economic Lot Size: Factors, Calculations, and Industry Applications*. Accounting Insights. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.11.2024]. Saatavilla: https://accountinginsights.org/economic-lot-size-factors-calculations-and-industry-applications/

Alfares, H. K. & Ghaithan, A. M. (2019) EOQ and EPQ production-inventory models with variable holding cost: State-of-the-art review. *Arabian journal for science and engineering.* 44 (3), s. 1737–1755.

Aloulou, M. A., Dolgui, A. & Kovalyov, M. (2014) A bibliography of non-deterministic lot-sizing models. *International journal of production research.* 52 (8), s. 2293–2310.

Bougher, T. O. (1984) Lot sizing in group technology production systems. *International journal of production research.* 22 (1), s. 85–93.

Castellano, D., Gallo, M., Grassi, A. & Santillo, L. (2019) Batching decisions in multi-item production systems with learning effect. *Computers & industrial engineering.* 131, s. 578–591.

Cheng, T. C. E. (1990) An EOQ model with pricing consideration. *Computers & Industrial Engineering*, 18 (4), s. 529–534.

Christefa, D., Mawengkang, H. & Zarlis, M. (2022) Data-driven decision making in large scale production planning. *SinkrOn*, 6 (3), s. 2068–2071.

Christopher, M. (2011) Logistics & supply chain management. 4th ed. *Harlow: Financial Times Prentice Hall.*

Dimitrova, K., Panayotova, T. & Veleva, N. D. (2021) Model for Research into the Factors Influencing the Effective Planning and Management of Production Capacity. *Annual Journal of Technical University of Varna.* 38 (1), s. 65–75.

Erlenkotter, D. (1990) Ford Whitman Harris and the Economic Order Quantity Model. *Operations research*. 38 (6), s. 937–946.

Faraoni, M., & Petretto, L. (2009) Market-Driven Management and Global Supply Chain. *Symphonya. Emerging Issues in Management*. (2), s. 58–74

Ferguson, M., Jayaraman, V. & Souza, G. (2007) Note: An application of the EOQ model with nonlinear holding cost to inventory management of perishables. *European Journal of Operational Research*. 180 (1), s. 485–490.

Fullerton, R. R. & McWatters, C. S. (2001) The production performance benefits from JIT implementation. *Journal of operations management*. 19 (1), s. 81–96.

Haneveld, W. K. K. & Teunter, R. H. (1998) Effects of discounting and demand rate variability on the EOQ. *International journal of production economics.* 54 (2), s. 173–192.

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., & Miettinen, A. (2009) Teollisuustalous. 6. painos. Ylöjärvi: Infacs Oy.

Hu, J., Munson, C. & Silver, E. (2004) A modified Silver–Meal heuristic for dynamic lot sizing under incremental quantity discounts. *The Journal of the Operational Research Society*, 55 (6), s. 671–673.

Jans, R. & Degraeve, Z. (2008) Modeling industrial lot sizing problems: a review. *International journal of production research.* 46 (6), s. 1619–1643.

Junior, M. L. & Filho, M. G. (2010) Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International journal of production economics*. 125 (1), s. 13–21.

Kabadayi, N. & KeskinTürk, T. (2015) Comparison of Periodic-Review Inventory Control Policies in a Serial Supply Chain. *Alphanumeric journal*. 3 (2), s. 44–61.

Lean Six Sigma Training Certification. (2024) *Lean Techniques – Kanban Pull System. The Only Guide You Need.* [Verkkosivu]. [Viitattu 23.11.2024]. Saatavilla: https://www.6sigma.us/lean-tools/lean-techniques-kanban-pull-system-the-only-guide-you-need/

Logistiikan maailma (2024) *Tuotantomuodot: Tilauksen kohdennuspiste (OPP)*. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.9.2024]. Saatavilla: https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/

Mehra, A., Minis, I. & Proth, JM. (1996) Hierarchical production planning for complex manufacturing systems. *Advances in engineering software*. 26 (3), s. 209–218.

Modig, N., Åhlström, P. & Tillman, M. (2016) *Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin*. 6. painos. Tukholma: Rheologica Publishing.

Olhager, J. & Van Donk, D. P. (2024) Managing Customer Order Decoupling Points in Supply Chains. *The Palgrave Handbook of Supply Chain Management*. Cham, Sveitsi: Springer International Publishing. s. 1115–1137.

Peters, T. (1990) Time-Obsessed Competition. *Management Review*, 79 (9), s. 16–21.

Rasmi, S. A. B. & Türkay, M. (2021) *Aggregate planning: strategies, models, and analysis*. 1. painos Cham, Sveitsi: Springer.

Rudberg, M. & Wikner, J. (2004) Mass customization in terms of the customer order decoupling point. *Production planning & control.* 15 (4), s. 445–458.

Sakki, J. (2014) *Tilaus-toimitusketjun hallinta: digitalisoitumisen haasteet*. 8. painos Vantaa: Jouni Sakki.

Schmidt, M., Münzberg, B. and Nyhuis, P. (2015) Determining lot sizes in production areas – Exact calculations versus research based estimation. *Procedia CIRP*. 28, s. 143–148.

Schmitt, T. G., Klastorin, T. & Shtub, A. (1985) Production classification system: concepts, models and strategies. *International journal of production research.* 23 (3), s. 563–578.

Schulz, T. (2011) A new Silver–Meal based heuristic for the single-item dynamic lot sizing problem with returns and remanufacturing. *International journal of production research.* 49 (9), s. 2519–2533.

Segerstedt, A., Abdul-Jalbar, B. & Samuelsson, B. (2023) Reformulated Silver-Meal and Similar Lot Sizing Techniques. *Axioms.* 12 (7).

Silver, E. & Miltenburg, J. (1984) Two modifications of the Silver-Meal lot sizing heuristic. *INFOR: Information systems and operational research*. 22 (1), s. 56–69.

Sunday, A., Omolayo, M. I., Samuel, A., Samuel, O. O., Abdulkareem, A. & Moses, E. (2021) The role of production planning in enhancing an efficient manufacturing system – an overview. *E3S Web of Conferences*, 309, 01002

Tagaras, G. & Vlachos, D. (2001) A Periodic Review inventory system with emergency replenishments. *Management science*. 47 (3), s. 415–429.

Teunter, R. H., Bayindir, Z. P., Heuvel, D. & Wilco, V. (2006) Dynamic lot sizing with product returns and remanufacturing. *International journal of production research.* 44 (20), s. 4377–4400.

Tripathy, P. K., Wee, W. M., Majhi, P. R. (2003) An EOQ model with process reliability considerations. *The Journal of the Operational Research Society*, 54 (5), s. 549–554.

Vaz, A. & Mansori, S. (2017) Target days versus actual days of finished goods inventory in fast moving consumer goods. *International Business Research*. 10 (6), s. 19–34.

Wakode, R. B., Raut, L. P. & Talmale, P. (2015) Overview on Kanban methodology and its implementation. *International Journal for Scientific Research & Development*. 3 (2), s. 2518–2520.

Zäpfel, G. & Missbauer, H. (1993) New concepts for production planning and control. *European Journal of Operational Research*. 67 (3), s. 297–320.