



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **Vaihtelu ja puskureiden merkitys vaihtelun hallinnassa**

Samppa Knuutinen

TUOTANTOTALOUS

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2024

# TIIVISTELMÄ

Vaihtelu ja puskureiden merkitys vaihtelun hallinnassa

Samppa Knuutinen

Oulun yliopisto, Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2024, 28 s.

Työn ohjaajat yliopistolla: Jukka Majava & Osmo Kauppila

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan vaihtelua ja puskuroinnin merkitystä organisaatioiden toiminnassa. Työn tavoitteena on selvittää vaihtelun vaikutusta organisaatioiden suorituskykyyn ja puskureiden roolia sen hallinnassa. Tutkimuksessa pyritään tunnistamaan vaihtelun aiheuttamia haasteita ja selvittämään mitä eri puskurityyppejä organisaatiot käyttävät tasaamaan kysynnän ja tarjonnan välisen epäsuhdan.

Kirjallisuuden perusteella vaihtelu, eritoten poikkeava vaihtelu, aiheuttaa organisaatioille useita haasteita, kuten jaksoajan kasvun, toimitusvarmuuden heikentymisen ja asiakastytyväisyyden laskun. Organisaatioiden käyttämiä puskurityyppejä on kolme: varasto-, aika-, ja kapasiteettipuskuri. Puskurit ovat keskeisessä roolissa vaihtelun hallinnassa, mahdollistaen joustavuuden säilyttämisen ja häiriöiden minimoimisen.

Tutkimus suoritetaan kirjallisuuskatsauksen avulla. Kirjallisuuskatsausosiossa tarkastellaan aluksi vaihtelua, sen seurauksia ja lähteitä. Vaihtelun jälkeen käsitellään eri puskureita. Vaikka työ ja työn lähteet keskittyvät pääasiassa valmistavaan teollisuuteen, ovat sen tulokset sovellettavissa muillekin aloille.

Tätä työtä voidaan käyttää vaihteluun ja puskurointiin tutustuttaessa. Vaihtelusta ja puskuroinnista on paljon kirjallisuutta, jotka menevät paljon syvenmälle kumpaankin aiheeseen. Tämän työn lukemalla saa kuitenkin peruskäsityksen vaihtelusta, sen tuomista haasteista ja puskureista.

*Asiasanat: vaihtelu, puskurit, puskurointi*

# ABSTRACT

Variability and the significance of buffers in variability management

Samppa Knuutinen

University of Oulu, Degree Programme of Industrial Engineering and Management

Bachelor's thesis 2024, 28 pp.

Supervisors at the university: Jukka Majava & Osmo Kauppila

In this bachelor's thesis, variability and the significance of buffering in organizational operations are examined. The aim is to explore the impact of variability on organizational performance and the role of buffers in its management. The study seeks to identify challenges posed by variability and to investigate the types of buffers organizations use to balance the gap between supply and demand.

The literature indicates that variability, especially variability due to special cause, poses several challenges for organizations, such as increased cycle time, decreased delivery reliability and reduced customer satisfaction. There are three types of buffers utilized in organizations: inventory, time and capacity buffers. Buffers play a crucial role in managing variability, enabling flexibility and minimizing disruptions.

The study is conducted through a literature review. The literature review section first examines variability, its causes and sources. After variability, buffers are examined. While the focus of the work and its sources primarily concern the manufacturing industry, the findings are applicable to other sectors as well.

This work serves as an introduction to the topics of variability and buffering. There is extensive literature available on both subjects, delving much deeper into each, or in a broader context. However, reading this thesis provides a fundamental understanding of variability, the challenges it causes and the buffer mechanisms.

*Keywords: variability, buffers, buffering*

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	5
2 KIRJALLISUUSKATSAUS.....	7
2.1 Vaihtelu.....	7
2.1.1 Mitä vaihtelu aiheuttaa.....	9
2.1.2 Mikä vaihtelua luo.....	13
2.2 Puskurit.....	15
2.2.1 Varastopuskuri.....	16
2.2.2 Aikapuskuri.....	18
2.2.3 Kapasiteettipuskuri.....	19
3 POHDINTA.....	22
4 YHTEENVETO.....	24

LÄHDELUETTELO

## 1 JOHDANTO

Jokainen organisaatio pyrkii maksimoimaan tuotot mahdollisimman pienin kustannuksin samalla säilyttäen hyvän asiakastytyväisyyden. Tätä varten on muun muassa ennustettava kysyntää ja mallinnettava kuinka paljon tuotteita organisaation tarvitsee hankkia ja valmistaa. Tarve ennustamiselle ja mallintamiselle johtuu vaihtelusta muun muassa kysynnässä ja prosessointiajoissa (Hopp & Spearman 2011). Kuinka organisaatioiden kuuluisi ottaa vaihtelu huomioon?

Edellä esitetyn kysymyksen myötä tutkimusaiheeksi valikoitui vaihtelu ja puskurointi. Tutkimuksen kautta halutaan perehtyä vaihtelun vaikutuksiin, lähteisiin ja hallintaan. Vaihtelu vaikuttaa jokaisen organisaation toimintaan, joten se on tärkeä aihe ymmärtää. Vaihtelun pienentämisen sijaan perehdytään puskureihin, sillä ne ovat välttämättömyys jokaiselle organisaatiolle. Vaihtelun vaikutuksia käsitellessä tulee käsitellä myös tuotannon virtausta.

Kandidaatintyön tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin vaihteluun ja puskurointiin liittyvän kirjallisuuden avulla:

1. Mitä vaihtelu aiheuttaa organisaatioiden toiminnassa?
2. Mikä merkitys puskureilla on vaihtelun hallinnassa?

Kandidaatintyön tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksessa kerätään ja käsitellään aikaisempia tutkimuksia ja niiden tuloksia (Snyder 2019). Tutkimuksen tulosten tulee olla julkisia, tiedeyhteisön kritisoitavissa olevia ja objektiivisia (Salminen 2011). Tämän tutkimuksen tulokset tullaan esittämään opponointitilaisuudessa, jolloin tiedeyhteisö voi antaa työstä palautetta. Myös työn ohjaajat tulevat tarkistamaan tutkimuksen.

Työssä kerätään tietoa vaihtelusta ja puskureista käyttämällä Oulun yliopiston tarjoamia viitetietokantoja ja Google Scopusta. Jotta kokonaiskuvasta saataisiin luotua hyvä,

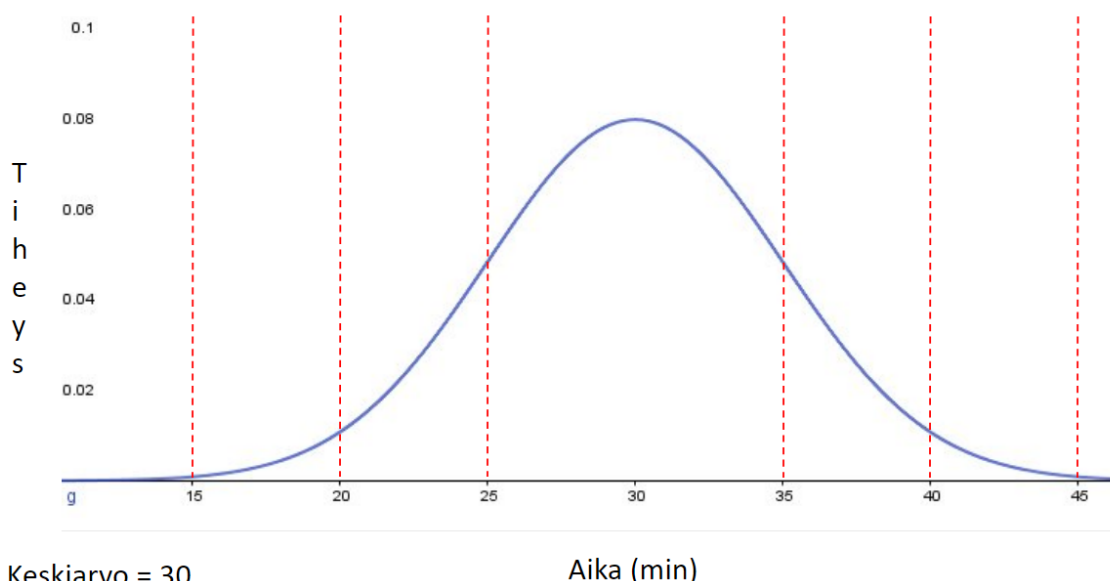
pyritään aineistoksi keräämään monipuolista ja luotettavaa materiaalia. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään vaihteluun, sen vaikutuksiin ja lähteisiin sekä puskurointiin ja materiaalin virtaukseen organisaatioissa. Kirjallisuuskatsauksen jälkeen pohditaan vaihtelua ja sen seurauksia sekä puskurointia. Tutkimus lopetetaan yhteenvetoon.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Vaihtelu

Hedvall ja kumppanit (2023) kirjoittavat vaihtelun olevan jotain poikkeavaa tai eroavaa oletetusta tilanteesta. Shewhart (1931) määrittää vaihtelun muutoksiksi prosessin tuloksissa ja Pound ym. (2014) mukaan vaihteluksi voidaan kutsua kaikkea, mikä poikkeaa säännöllisestä ja ennakoitavasta käyttäytymisestä. Vaihtelu on luonnollista, sitä on kaikkialla eikä sitä koskaan saada kokonaan poistettua (Shewhart 1931; Deming 1986; Pound ym. 2014). Mitat, prosessien kestot, koneiden hajoamiset, lämpötilat, materiaalin vahvuus, kysyntä ja tarjonta ovat kaikki esimerkkejä asioista, jotka sisältävät vaihtelua (Hopp & Spearman 2011).

Todennäköisyys liittyy vaihteluun vahvasti. Yritykset pyrkivät pitämään vaihtelun tiettyjen sallittujen rajojen sisällä. Vaihteluun liittyen tärkeitä työkaluja ovat normaalijakauma ja eksponentiaalinen funktio, joista jälkimmäiseen ei tässä työssä perehdytä lainkaan. Normaalijakauma kuvaa tapahtumien todennäköisyyksiä ja sen keskeisimmät parametrit ovat keskiarvo ja keskihajonta (Piirainen 2014). Keskihajonta kuvaa kuinka kaukana yksittäiset havainnot ovat keskiarvosta (Pound ym. 2014). Kuva 1 havainnollistaa toimitusaikojen sijoittumista normaalijakaumalle. Pystyakseli kuvaa todennäköisyystiheyttä ja vaaka-akseli aikaa minuutteina. Toimitusajan keskiarvo on 30 minuuttia ja keskihajonta 5 minuuttia. Punaiset katkoviivat osoittavat keskihajontaa. Toimitusajat voivat tässä tapauksessa satunnaisesti vaihdella noin 15 ja 45 minuutin välillä. Erityissyyntä seurauksena toimitusaika voi venyä pidemmäksi tai jäädä lyhyemmäksi.

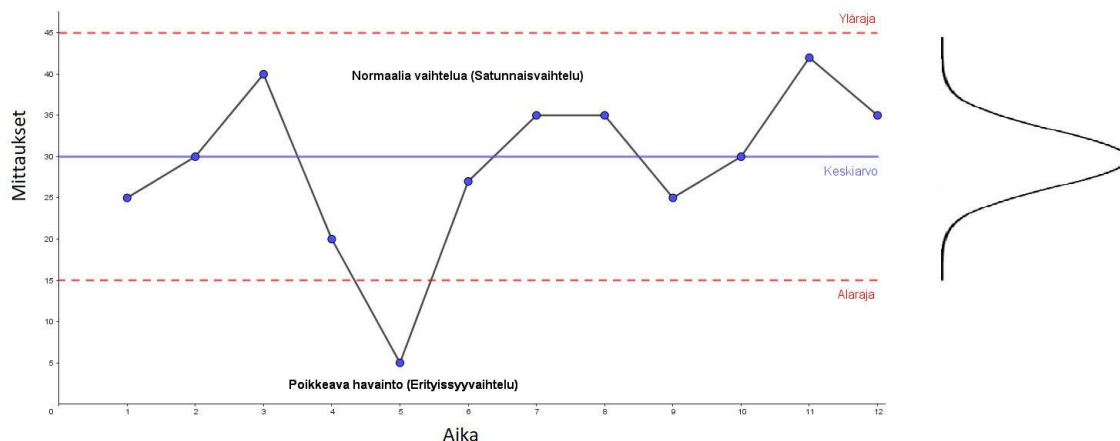


Keskiarvo = 30  
Keskiahajonta = 5

Kuva 1. Normaalijakauma toimitusajalle (mukaillen Piirainen 2014)

Vaihtelu voidaan jakaa satunnaissyvaihteluun eli stabiiliin vaihteluun ja erityissyvaihteluun eli epästabiiliin vaihteluun (Deming 1986; Piirainen 2014). Satunnaissyvaihtelun taustalla ei yleensä ole olemassa mitään erillistä syytä ja sen voidaan ajatella olevan peräisin systeemistä itsestään (Shewhart 1931; Deming 1986). Jos prosessissa esiintyy vain satunnaissyvaihtelua, voidaan sanoa, että prosessi on stabiili eli ennustettava. Stabiili prosessi mahdollistaa ennustavien kaavojen käytön laskennassa (Shewhart 1931; Pound ym. 2014). Vastaavasti jos prosessissa esiintyy satunnaissyvaihtelun lisäksi erityissyvaihtelua, voidaan prosessin sanoa olevan epästabiili eli ei-ennustettava. Erityissyvaihtelu on erityisen paljon poikkeava havainto, jonka taustalta löytyy yksittäinen mahdollisesti tunnistettava syy, joka voidaan korjata (Shewhart 1931; Deming 1986). Kuva 2 havainnollistaa satunnaisen vaihtelun ja erityissyvaihtelun eron. Satunnaisvaihtelu pysyy ala- ja ylärajan välissä, mutta erityisyy aiheuttama vaihtelu alittaa tai ylittää rajan.





Kuva 2. Satunnais- ja erityisyysvaihtelun ero (mukaien Piirainen 2014)

### 2.1.1 Mitä vaihtelu aiheuttaa

Vaihtelu aiheuttaa yksittäisten prosessien ja koko virtauksen keston vaihtelua ja sitä kautta huonompaa läpimenoa, tuhlettua kapasiteettia, korkeampaa jaksoaikaa, isompia varastoja, pidempää läpimenoaikaa ja/tai huonompaa asiakaspalvelua (Pound ym. 2014). Demingin (1986) mukaan suuri vaihtelu aiheuttaa prosessin huonoa toimivuutta, viiveitä ja vikoja.

Vaihtelun seurausten vakavuus riippuu vaihtelun määrästä. Vaihtelun suuruutta voidaan kuvata keskihajonnan ja keskiarvon suhteella variaatiokerroimella (1):

$$c = \frac{\sigma}{t}, \quad (1)$$

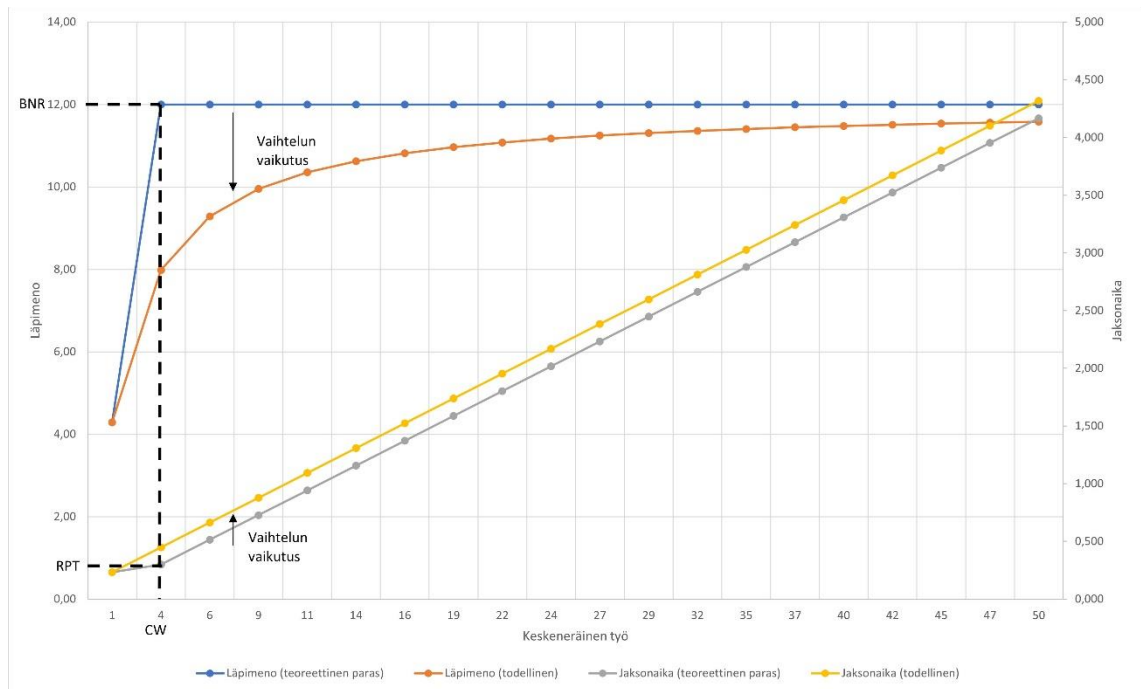
missä  $c$  on variaatiokerroin,  $\sigma$  on keskihajonta ja  $t$  on ajan keskiarvo (Piirainen 2014). Luonnollisen vaihtelun variaatiokerroin on tyypillisesti alle 0,75 eli se on matalaa vaihtelua. Kohtalaisen vaihtelun variaatiokerroin on 0,75 ja 1,33 välillä ja korkean vaihtelun variaatiokerroin on vähintään 1,33 (Hopp & Spearman 2011).

Matalan vaihtelun seurauksena prosessiajat jakautuvat tasaisesti normaalijakauman mukaisesti, jossa x-akselin arvona on prosessiaika ja y-akselin arvona

todennäköisyystiheys. Mitä suurempi vaihtelu, sitä laajemmalle alueelle jakauma yltää eli sitä todennäköisempää on pidempi prosessiaika (Hopp & Spearman 2011; Slack ym. 2013). Jo yhden työvaiheen vaihtelu vaikuttaa koko virtaukseen ja mitä aikaisemmassa vaiheessa virtausta vaihtelua esiintyy, sitä suuremmat vaikutukset sillä siihen on (Modig ym. 2013). Virtauksella tarkoitetaan mitä tahansa toimitusketjun tapahtumia, missä raaka-aine muuttuu väli- tai lopputuotteeksi ja/tai liikkuu paikasta toiseen prosessin sisällä (Stefansson ym. 2009; Rasouli ym. 2019; Cabrera ym. 2023).

Tuotannon virtaukseen liittyviä keskeisiä käsitteitä ovat keskeneräinen työ (Work In Progress WIP), läpimeno (Throughput TH) ja jaksoaika (Cycle time CT) (Hopp & Spearman 2011). Keskeneräinen työ tarkoittaa keskeneräistä tuotantoa ja sitä merkitään kappaleina (Piirainen 2014). Poundin ym. (2014) mukaan keskeneräisen työn määrä on ohjausarvo, jolla määritetään prosessin läpimeno ja jaksoaika. Läpimeno on prosessin keskimääräinen ulostulo tietyllä aikavälillä. Läpimenoa merkitään kappaleina per aikayksikkö (Pound ym. 2014). Jaksoaika on keskimääräinen aika, jonka tuote viettää keskeneräisenä työnä työn alkupisteestä loppupisteeseen. Se voi siis olla joko tietyn työvaiheen keskimääräinen kesto tai koko toimitusketjun läpi mentäessä kuluva keskimääräinen aika. Jaksoaikaa merkitään aikayksikkönä (Piirainen 2014).

Tuotannon virtausta pystytään edellä mainittujen termien avulla kuvata kuvan 3 kaltaiseen kuvioon. Kuten kuvasta 3 nähdään, vaihtelu aiheuttaa läpimenon laskemista ja jaksonajan kasvamista (Modig ym. 2013; Piirainen 2014; Pound ym. 2014). Harmaa viiva kuvaa teoreettista matalinta jaksoaikaa ja keltainen todellista. Sininen viiva kuvaa teoreettista korkeinta läpimenoa ja oranssi todellista. Teoreettisiin parhaisiin on käytännössä mahdotonta päästä vaihtelun takia, mutta vaihtelun vaikutusta voidaan pyrkiä minimoimaan (Modig ym. 2013).



Kuva 3. Keskenäinen työ, läpimeno ja jaksoaika (mukaillen Pound ym. 2014)

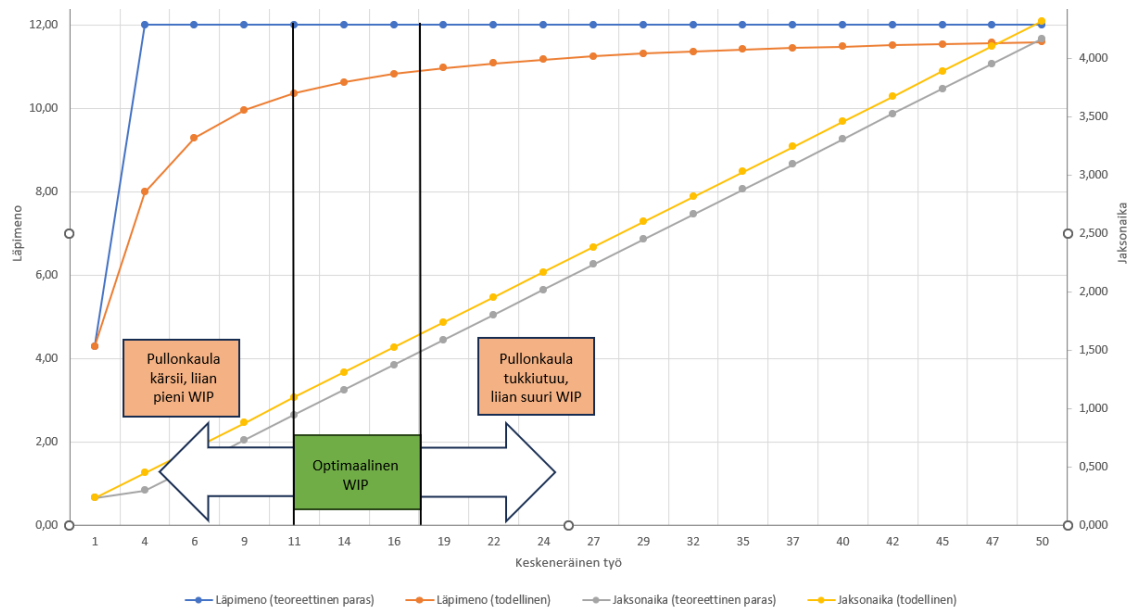
Kuvasta 3 nähdään, että keskenäisen työn määrän kasvaessa myös läpimeno ja jaksoaika kasvavat. Jokaisella prosessilla on kuitenkin yläraja läpimenoille ja alaraja jaksoajalle. Tätä keskenäisen työn määrää kutsutaan kriittiseksi keskenäisen työn määräksi (CW). Se on keskenäisen työn määrän taso, jolla saavutetaan maksimaalinen teoreettinen läpimeno pienimmällä mahdollisella teoreettisella jaksoajalla. Jos keskenäisen työn määrä kasvaa tämän pisteen yli, läpimeno sijaan vain jaksoaika kasvaa. Kyseistä maksimaalista läpimenoa merkitään kuvassa 3 termillä BNR eli bottleneck rate ja pienintä jaksoaikaa termillä RPT eli raw process time (Hopp & Spearman 2011; Piirainen 2014).

Liian suuri keskenäisen työn määrä johtaa jaksoajan kasvamiseen ja resurssien turhaan sitoutumiseen (Hopp & Spearman 2011; Modig ym. 2013). Montgomery (2019) määrittelee, että laatu on kääntäen verrannollinen vaihteluun. Eli vaihtelun ollessa suurta, laatu on heikkoa ja kun laatu on heikkoa, töitä menee pilalle ja ne täytyy tehdä uudelleen. Tämä kasvattaa entisestään jaksoaikaa (Piirainen 2014; Hedvall & Mattsson 2022). Jaksoajan kasvaminen aiheuttaa jonoutumista ja sitä kautta tuotteiden valmistumisen keston kasvua. Tämä voi johtaa siihen, että toimitusajoista ei voida pitää kiinni ja

asiakastyytyväisyys kärsii. Kun prosessi on tukossa liiasta työstä, myös reagoitukyky yllättäviin tilanteisiin heikkenee. Liian pienen keskeneräisen työn määrän seurauksena sen sijaan pullonkaula kärsii työn vähydestä. Nyt jaksoaika on pieni, mutta niin on myös läpimeno. Kun läpimeno laskee, tuotteita ei valmistu enää yhtä paljoa ja sen seurauksena liikevaihto heikkenee. Työn puute tarkoittaa myös tuhlettua kapasiteettia, kun koneet tai ihmiset eivät tee työtä (Modig ym. 2013; Slack ym. 2013; Pound ym. 2014).

Määrittämällä optimaalisen keskeneräisen työn määrän, saadaan systeemi toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla. Tällöin systeemillä on mahdollisimman korkea läpimeno mahdollisimman pienellä jaksoajalla. Optimaalinen keskeneräisen työn määrä on määriteltävä erikseen jokaiselle yritykselle, sillä tuotantosysteemit ja organisaatioiden tavoitteet ja strategiat eroavat toisistaan (Hopp & Spearman 2011; Grznár ym. 2019). Kuvassa 4 havainnollistetaan optimaalisen keskeneräisen työn määrää. Pound ym. (2014) mukaan optimaalisen työn määrän alue on se, missä todellisen läpimenon kaari alkaa tasoittumaan.

Keskeneräisen työn määrän hallintaa kutsutaan tehdasfysiikassa termillä CONWIP (Pound ym. 2014). CONWIP tulee sanoista Constant Work in Progress ja se on tuotannon ohjausjärjestelmä, missä jokaisella työasemalla on rajattu työkappaleiden määrä. Rajattu määrä varmistaa, että tuotanto virtaa sujuvasti. CONWIP-järjestelmän avulla pystytään optimoimaan tuotannon tehokkuus (Spearman ym. 1990).



Kuva 4. Keskeneneräisen työn määrän optimointi (mukaillen Pound ym. 2014)

Sir John Littlen vuonna 1961 esittelemä kaava, Littlen laki, sitoo yhteen keskeneneräisen työn (WIP), läpimenon (TH) ja jaksoajan (CT) (Piirainen 2014). Littlen laki valoittaa prosessien toimintaa (Modig ym. 2013). Littlen laki (2):

$$WIP = TH * CT, \quad (2)$$

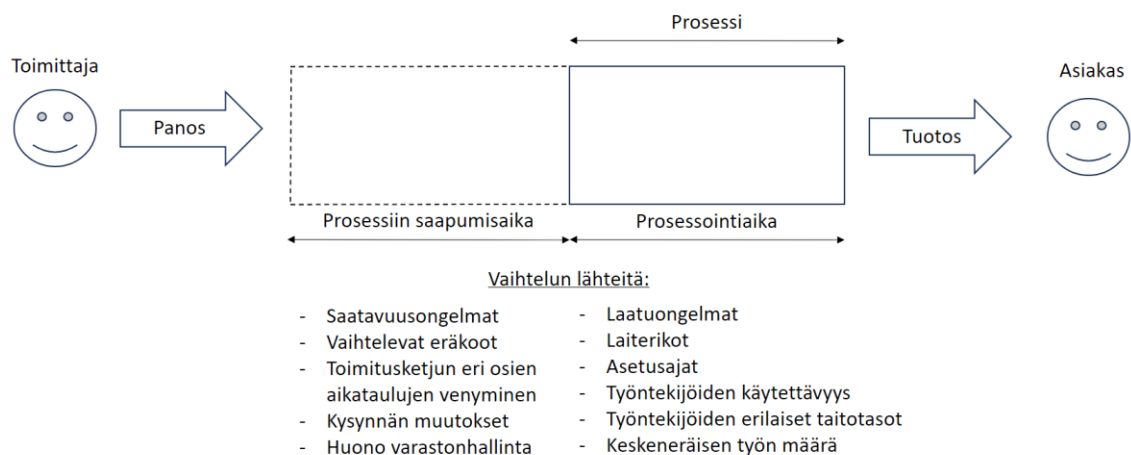
missä WIP on keskeneneräisen työn määrä, TH on läpimeno ja CT on jaksoaika.

Hoppin ja Spearmanin (2011) mukaan lakia voidaan soveltaa jonon pituuden määrittämiseen, jaksoajan määrittämiseen, jaksoajan mittaamiseen, varaston suunnitteluun ja varaston kiertoon.

### 2.1.2 Mikä vaihtelua luo

Jotta vaihtelu kyetään huomioimaan tuotantojärjestelmien hallitsemisessa ja suunnittelussa, tulee ymmärtää mikä vaihtelua luo. Piirainen (2014) ja Hedvall & Mattsson (2022) jakavat vaihtelun lähteet sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin. Tuotannossa esiintyvän ajallisen vaihtelun voi jakaa myös virtauksen vaihteluun ja prosessointiajan vaihteluun. Virtauksen vaihtelulla tarkoitetaan kappaleen prosessiin saapumisajossa esiintyvää vaihtelua. Virtauksen vaihtelun katsotaan johtuvan ulkoisista tekijöistä.

Prosessointiajan vaihtelun taas ajatellaan johtuvan sisäisistä tekijöistä ja sillä tarkoitetaan prosessointi- eli valmistusajassa esiintyvää vaihtelua (Modig ym. 2013; Slack ym. 2013; Hedvall & Mattsson 2022). Kuvassa 5 on havainnollistettu virtauksen ja prosessointiajan vaihtelun eroa ja lueteltu joitakin Hoppin & Spearmanin (2011), Slack ym. (2013) ja Hedvallin & Mattssonin (2022) mainitsevia vaihtelun lähteitä.



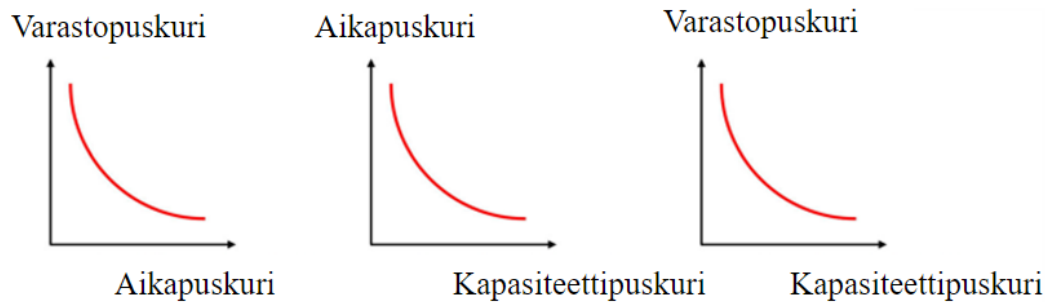
Kuva 5. Vaihtelun lähteitä (mukaillen Hedvall & Mattsson 2022)

Hoppin & Spearmanin (2011) mukaan keskeisimmät vaihtelun lähteet ovat luonnollinen vaihtelu, katkokset, asetteen teot ja uudelleen tekeminen. Luonnollinen vaihtelu on sama asia kuin aikaisemmin mainittu satunnaissyvaihtelu. Katkokset voivat olla ennalta ehkäistäviä, kuten esimerkiksi koneiden rikkoutuminen tai ennalta ehkäisemättömissä olevia katkoksia, kuten esimerkiksi laitteiden asetusten säätö. Laatuongelmat johtuvat vaihtelun suuruudesta ja ne aiheuttavat uudelleen tekemistä (Hopp & Spearman 2011; Love ym. 2018; Montgomery 2019).

## 2.2 Puskurit

Ideaalitilanteessa kysyntä ja tarjonta kohtaisivat täysin, jonka myötä varastoja ei tarvittaisi lainkaan, käyttöaste olisi aina 100 % ja hukkaa ei olisi. Todellisessa maailmassa vaihtelu on kuitenkin koko ajan enemmän tai vähemmän läsnä, joka tekee edellä mainitut asiat vain haaveiksi (Slack ym. 2013; Pound ym. 2014). Vaihtelua voidaan joko pienentää tai hallita puskureiden avulla, joista jälkimmäiseen tässä työssä keskitytään. Puskureita ovat varasto-, kapasiteetti-, ja aikapuskuri (Hopp & Spearman 2004; Modig ym. 2013; Pound ym. 2014; Hedvall ym. 2017). Puskuri on ylimääräinen resurssi, jolla voidaan tasoittaa epäsuhdassa olevat kysyntä ja tarjonta (Oehmen ym. 2009; Hedvall ym. 2023; Romero-Silva ym. 2024). Hoppin ja Spearmanin (2011) mukaan puskurit eivät ole hukkaa, kunhan niitä käyttää oikein.

Oikeiden puskureiden käyttöönotto ja niiden sijainnin ja koon määrittäminen on yrityksille äärimmäisen arvokasta. Huonolla puskureiden hallinnalla on samankaltaisia seurauksia kuin vaihtelulla, kuten läpimenon heikkeneminen, jaksoajan piteneminen ja tarpeettoman varaston kasvaminen (Amjath ym. 2023). Kuitenkin jo vuonna 1988 on todettu, että yleisiä ohjeita puskureiden valintaan ei ole olemassa (Hedvall ym. 2023). Puskureiden valintaan ei ole yksiselitteistä ohjetta, sillä jokainen yritys on erilainen omine ongelmineen ja tarpeineen (Pound ym. 2014). Parhaan puskurin valintaan liittyy myös vaihtelun lähde ja puskuriin liittyvät kulut (Schmitt 1984). Jokaisella puskurilla on omat hyvät sekä huonot puolensa ja ne on ymmärrettävä ennen puskureiden valintaa. Yleensä yritys tarvitsee useamman kuin yhden tyyppisen puskurin (Pound ym. 2014; Hedvall ym. 2023). Kuva 6 esittää puskureiden yhteensovittamista. Mitä suurempi varastopuskuri, sitä pienempi kapasiteetti- ja aikapuskuri tarvitaan ja niin edelleen (Hopp & Spearman 2011; Hedvall ym. 2017).



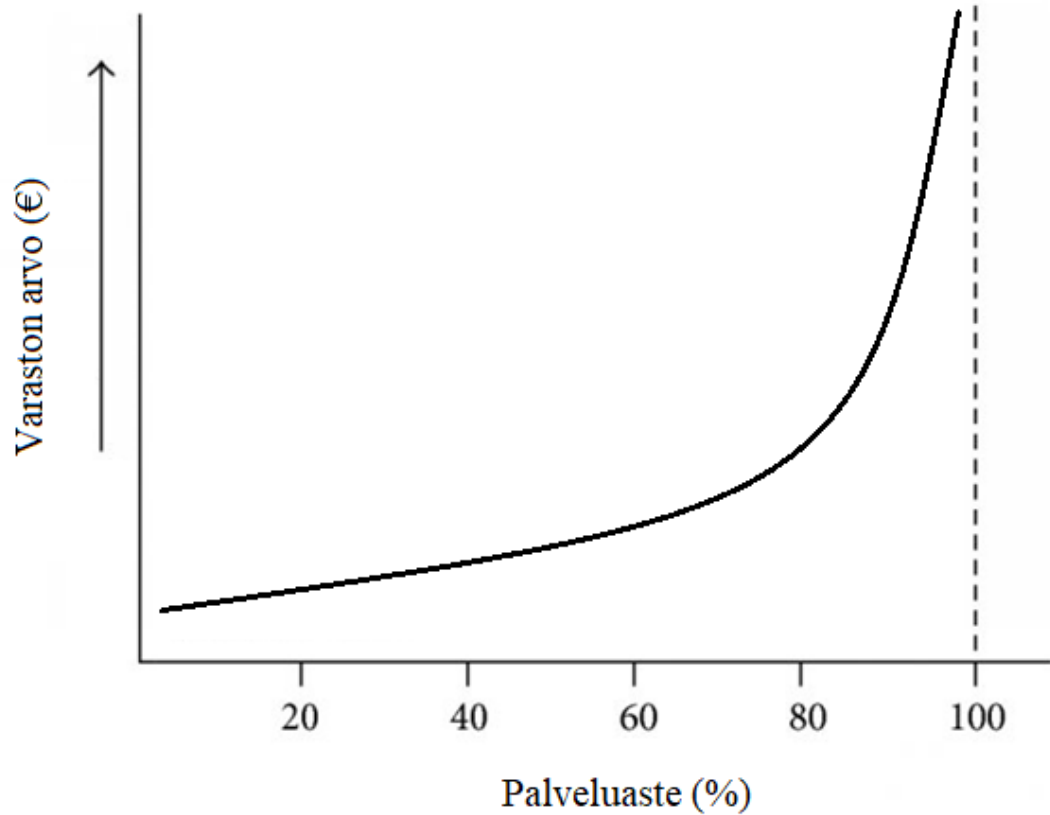
Kuva 6. Puskurit (mukaiillen Hedvall ym. 2023)

### 2.2.1 Varastopuskuri

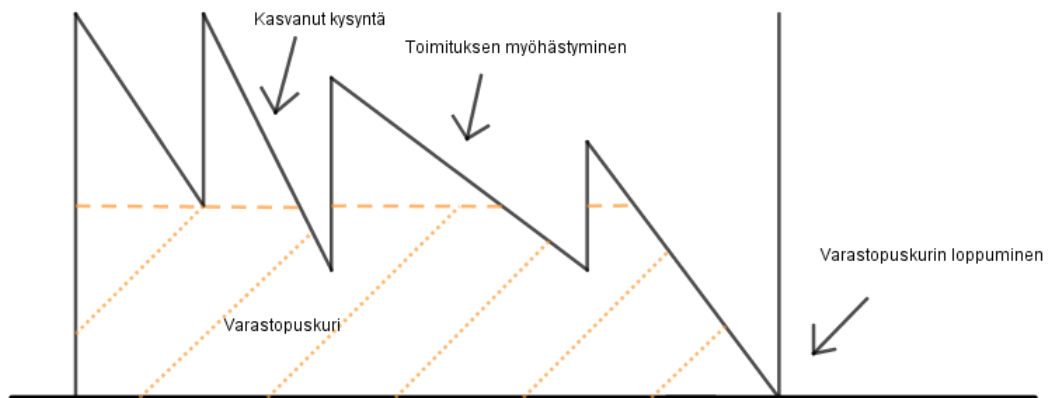
Varastopuskuri tarkoittaa nimensä mukaan varastoa. Varasto on ylimääräistä materiaalia valmistusvaiheessa tai valmistusvaiheen ja kysynnän välissä (Hopp & Spearman 2004; Hedvall ym. 2023). Esimerkiksi jotkin komponentit, joita käytetään lopputuotteen kasaamiseen, voidaan varastoida, jolloin ne ovat valmistusvaiheen ylimääräistä materiaalia. Varastossa olevat lopputuotteet, jotka ovat lähetettävissä suoraan asiakkaalle, ovat ylimääräistä materiaalia valmistusvaiheen ja kysynnän välillä (Pound ym. 2014).

Varastopuskuri toimii työkaluna kysynnän, toimitusajan ja korvaustäydennysajan vaihtelulle. Palveluaste tarkoittaa kuinka suuri osa tilauksista pystytään toimittamaan asiakkaalle luvatussa ajassa. Mitä suurempi palveluaste, sitä suurempi varasto. Jos tavoitellaan 100 % palveluastetta, täytyy yrityksen pystyä toimittamaan tuotteet myös pahimmassa mahdollisessa tilanteessa. Tällöin kysyntä nousee yllättäen huomattavasti korkeammalle kuin yleensä ja tavarantoimittaja on myöhässä. Palveluasteen ollessa 100 % varaston tulisi olla niin suuri, että sieltä voisi lähettää tuotteet asiakkaille luvatussa toimitusajan sisällä kaikissa tilanteissa (Pound ym. 2014). Kuva 7 näyttää kuinka varaston arvo kasvaa palveluasteen kasvaessa. Pysty-akselilla on varaston arvo ja vaakakselilla palveluaste. Kuva 8 havainnollistaa kuinka varastopuskuri toimii käytännössä.





Kuva 7. Varaston arvo VS palveluaste (mukaillen Pound ym. 2014)



Kuva 8. Varastopuskurin merkitys (mukaillen Hopp & Spearman 2011)

Korvaustäydennysaika on se aika mikä kuluu, kun yritys huomaa tarpeen tavaralle ja kun se tavara on yrityksen käytössä. Tähän kuuluu siis esimerkiksi tavaran osto, kuljetus ja vastaanotto. Korvaustäydennysajan kysyntä on se kysyntä, joka ilmenee

korvaustäydennysajan aikana. Korvaustäydennysaika lasketaan kertomalla hankkimisaika kysynnällä per aika (Hopp & Spearman 2011; Slack ym. 2013).

Varastopuskurin etu on, että se mahdollistaa valmiiden tuotteiden nopean lähettämisen asiakkaille. Erityisen hyödyllinen se on silloin, kun tilausmäärä ylittää normaalin tason. Valmiiden tuotteiden saatavuus varastosta pitää toimitusajat lyhyinä ja asiakkaat tyytyväisinä. Erityisesti, kun halutaan taata korkea palvelutaso, varastopuskuri on hyvä valinta. Tästä huolimatta varastojen ylläpito on kallista, joten on suositeltavaa varastoida edullisempia tuotteita. Varastopuskurin suurin haittapuoli onkin sen korkea hinta (Whybark & Williams 1976; Pound ym. 2014; Hedvall ym. 2023).

### 2.2.2 Aikapuskuri

Aikapuskuri kuvaa mitä tahansa viivettä kysynnän ja sen toteutuksen välillä. Esimerkiksi se voi olla ylimääräinen aika, joka lasketaan luvatusajan sisälle (Pound ym. 2014). Aikapuskurin yhteydessä keskeinen käsite on jaksoaika. Tässä yhteydessä jaksoajalla tarkoitetaan koko toimitusketjun läpikäyvän kappaleen keskimääräistä aikaa, joka ideaalitulanteessa noudattaa normaalijakaumaa ja sisältää vain satunnaista vaihtelua (Piirainen 2014).

Aikapuskurin määrittämiseksi on olemaista asettaa haluttu toimitusvarmuuden taso eli palveluaste. Mitä korkeampi taso on, sitä pidempi aikapuskuri tarvitaan vaihtelun huomioimiseksi. Tyypillisesti aikapuskuri määritellään jaksoajan keskiarvon  $\pm 3$  keskihajonnan mukaan. Jotta jaksoaika olisi stabiili eli ennustettava, on tärkeää hallita CONWIP-järjestelmää, joka viittaa keskeneräisen työn määrän hallintaan. Tämän avulla ohjataan sekä jaksoaikaa että läpimenoa, kuten kuvat 3 ja 4 havainnollistavat (Pound ym. 2014).

Jaksoaika toimii ylitason prosessimittarina, kun taas toimitusaika (lead time) on kunkin yrityksen itse määrittelemä vakio. Jaksoaika vaihtelee ja luvatusajalla puskuroidaan aikaa reagoimille, jos esimerkiksi tavara loppuukin kesken (Pound ym. 2014).

Varastopuskurin lisäksi myös aikapuskuri on tehokas työkalu, kun tavoitteena on varmistaa hyvä palvelutaso. Aikapuskuri antaa lisää aikaa tuotteen valmistamiseen ja lähettämiseen (Pound ym. 2014). Lisäksi aikapuskuri toimii hyvin tilanteissa, joissa myöhäiset toimitukset johtavat sanktioihin (Hedvall ym. 2023).

Toisin kuin varastopuskurin tapauksessa, aikapuskuri on erityisen hyödyllinen varmistettaessa ajoissa oleva toimitus korkeahintaisten ja harvoin tilattavien tuotteiden osalta. Kun asiakas tilaa tällaisen tuotteen, aikapuskuri tarjoaa riittävästi aikaa tilauksen käsittelyyn ja lähettämiseen (Hedvall ym. 2023).

Aikapuskurin heikkous ilmenee todellisen toimitusajan mahdollisena pitenemisenä. Aikapuskurin käyttö saattaa olla hankalaa markkinoilla, joilla nopea toimitus on olennainen vaatimus. Lisäksi monissa organisaatioissa aikapuskurin tarjoama ylimääräinen aika saattaa aiheuttaa virheellistä priorisointia toimitusten välillä (Chu & Hayya 1988; Hopp & Spearman 2011).

### 2.2.3 Kapasiteettipuskuri

Niin sanottua ylimääräistä kapasiteettia, jota ei tarvita keskiarvoisen kysynnän toteuttamiseen, voidaan kutsua kapasiteettipuskuriksi. (Fry ym. 1994; Hopp & Spearman 2011; Kasper ym. 2023) Kapasiteettipuskureiksi voidaan lukea esimerkiksi ylimääräinen laitteisto tai henkilöstö (Pound ym. 2014).

Käyttöaste kuvaa kuinka suuri osa kapasiteetista on käytössä. Jos käyttöaste on 100 %, se tarkoittaa, että kaikki käytettävissä oleva kapasiteetti on käytössä. Kuva 9 havainnollistaa, että mitä suurempi käyttöaste, sitä pidempi on myös jaksoaika. Käyttöasteen, vaihtelun, jaksoajan ja prosessointiajan yhteyttä yhdessä prosessin vaiheessa kuvaa Kingmanin kaava (3):

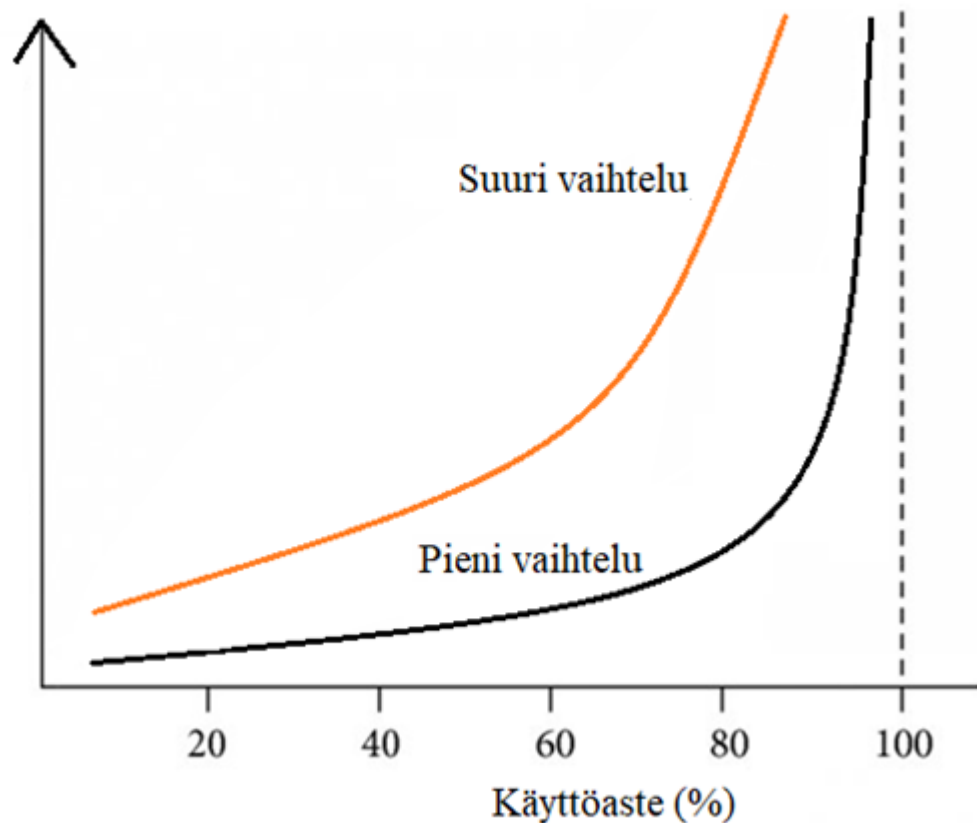
$$CT = t + CT_q, \quad (3)$$

missä  $CT$  on jaksoaika,  $t$  on prosessointiaika ja  $CT_q$  on aika, jonka tuote viettää jonossa odottaessaan pääsyä prosessinvaiheeseen. Kingmanin kaavaa kutsutaan myös VUT-kaavaksi. Yleisin kaavan muoto on (4):

$$CT_q = V * U * T, \quad (4)$$

missä  $V$  on vaihtelu,  $U$  on käyttöaste ja  $T$  on prosessointiaika. Kuten kaavasta nähdään, niin vaihtelu, käyttöaste ja aika vaikuttavat jaksoaikaan moninkertaistavasti (Hopp & Spearman 2011).

### Jaksoaika (kasvaa)



Kuva 9. Käyttöaste VS jaksoaika ja vaihtelun vaikutus (mukaillen Modig ym. 2013)

Kuva 9 esittää käyttöasteen ja jaksoajan suhteen lisäksi myös vaihtelun vaikutusta. Mitä suurempaa vaihtelu on, sitä nopeammin jaksoaika kasvaa suhteessa käyttöasteeseen.

Prosessin jonoutumista voidaan estää päästämättä käyttöastetta, vaihtelua tai aikaa liian suureksi. Vaihtelua kuitenkin esiintyy aina ja kuten aiemmin on mainittu, voidaan siihen reagoida kapasiteettipuskurilla eli ylikapasiteetilla. Mitä enemmän vaihtelua on, sitä enemmän ylikapasiteettia tulee olla. Isompi ylikapasiteetti tarkoittaa matalampaa käyttöastetta, joka taas johtaa jonoutumisen vähenemiseen, kuten Kingmanin kaava osoittaa (Hopp & Spearman 2011).

Kapasiteettipuskuri eroaa varasto- ja aikapuskurista joustavuudellaan. Kapasiteettipuskurina voi toimia esimerkiksi monitaitoiset työntekijät, jotka voivat siirtyä työpisteeltä toiseen tarpeen vaatiessa, monipuoliset koneet, jotka kykenevät käsittelemään monia töitä ja ylityö (Rappold & Yoho 2008; Hedvall ym. 2023).

Kun kapasiteettipuskurilla ei ole käyttöä vaihtelua vastaan, voi työntekijöiden vapautuneet työtunnit käyttää jatkuvaan kehittämiseen, kuten vaihtelun vähentämiseen. Vaihtelun vähentäminen mahdollistaa puskureiden pienentämisen (Fry ym. 1994; Modig ym. 2013).

Kapasiteettipuskuri pitää käyttöasteen kurissa, jolloin jaksoaika ei pääse kasvamaan liian suureksi (Pound ym. 2014). Kapasiteettipuskurin heikkous on sen hinta. Ylimääräinen henkilöstö, koneet ja ylityön teko on kallista. Riskinä on myös tehottomuus ja se, että ylimääräiset resurssit päätyvät olemaan hukkaa (Hedvall ym. 2023).

### 3 POHDINTA

Vaihtelu ja puskurit ovat olennaisia käsitteitä organisaatioiden toiminnassa. Kuten Hopp ja Spearman (2011) kirjoittavat, vaihtelu on luonnollinen osa jokaista toimintaympäristöä ja sen hallitsemiseen on olemassa erilaisia strategioita ja työkaluja. Puskurit, kuten varastot, mahdollistavat organisaatioiden joustavuuden ja tehokkuuden säilyttämisen myös vaihtelun läsnä ollessa.

Vaihtelulla on laaja-alainen merkitys niin tuotantoprosessien ja toimitusketjujen suorituskykyyn kuin tehokkuuteen. Vaihtelu voi aiheuttaa viivettä, pidempiä läpimenoaikoja, tarvetta turhan suurelle varastolle ja muita haitallisia seurauksia. Nämä vaikuttavat kustannusten nousuun ja heikentyneeseen asiakaspalveluun. Viimeistään nämä seuraukset näyttävät kuinka keskeistä vaihtelun hallinnan tulisi olla jokaisen organisaation toiminnassa.

Puskureiden rooli vaihtelun hallinnassa on keskeinen. On olemassa kolme eri puskurityyppiä: varasto-, aika-, ja kapasiteettipuskuri. Puskurit mahdollistavat aikaa reagointiin ja tavoitellun toimitusvarmuuden. Näiden avulla asiakastyytyväisyys saadaan ylläpidettyä halutulla tasolla. Puskureiden hallinta edellyttää tasapainoteltua kustannusten ja hyötyjen välillä ja yleensä vain yksi puskurityyppi ei riitä.

Kirjallisuus osoittaa, että vaihtelulla ja puskureilla on konkreettisia vaikutuksia yritysten toimintaan ja kilpailukykyyn. Siksi niiden huomioiminen suunnittelussa ja päätöksenteossa on äärimmäisen tärkeää. Kuten kaikki muutkin prosessit, vaihtelun hallinta ja puskureiden käyttö vaativat jatkuvaa seurantaa ja sopeutumista muuttuviin olosuhteisiin ja vaatimuksiin.

Kokonaisuudessaan vaihtelu ja puskurit muodostavat olennaisen osan organisaatioiden toimintaa. Niiden asianmukainen hallinta voi tuoda merkittäviä etuja kilpailukykyyn ja tehokkuuden näkökulmasta, kun taas niiden laiminlyönti johtaa ongelmiin ja kustannusten kasvuun. Vaihtelun ja puskuroinnin tarpeen ymmärtäminen ja tehokas

käyttö luo organisaatioille mahdollisuuden menestyä nykypäivän liiketoimintaympäristössä.

Vaikka tässä työssä käsiteltiin vain vaihtelun hallintaa puskureiden avulla, on vaihtelun pienentäminen vähintään yhtä tärkeää. Mitä pienempää vaihtelu on, sitä tehokkaampi prosessi yleensä on. Vaihtelun pienentäminen mahdollistaa muun muassa puskureiden pienentämisen, mikä vaikuttaa suoraan yritysten kannattavuuteen.

Tässä työssä haluttiin kuitenkin perehtyä juuri puskureihin. Kuten aiemmin jo mainittiin, ei vaihtelua pysty koskaan poistamaan kokonaan, vaan se on yhtä lailla fakta kuin vaikka painovoiman olemassaolo. Tämän takia puskureilla on olennainen merkitys yrityksille. Hopp ja Spearman (2011) kirjoittavat, että organisaatiot joko itse hallitsevat omia puskureitaan tai sitten ne muodostuvat ikään kuin itsestään. Ensimmäinen vaihtoehto on yleisesti ottaen taloudellisesti kannattavampaa.

Vaihtelun hallinnassa kaikkein tärkein asia on kuitenkin, että yrityksessä päätöksiä tekevät henkilöt ymmärtäisivät mitä vaihtelusta seuraa ja mikä sitä aiheuttaa. Yritysten on tehtävä jatkuvasti kompromisseja, jotka vaikuttavat vaihteluun.

Jos halutaan esimerkiksi laajentaa tuoteportfoliota, täytyy ymmärtää, että se lisää automaattisesti vaihtelua ja kasvattaa tarvetta varastolle. Jos varastoa pyritään pienentämään ilman muita toimenpiteitä, tulee se näkymään heikentyneessä asiakastyytyväisyydessä, jolloin varastotasoa taas nostetaan ennalleen. Tällainen epämääräinen toiminta yrityksissä johtunee siitä, että henkilöt eivät oikeasti ymmärrä yrityksen toimintaan liittyviä vuorovaikutussuhteita.

Paras keino vaihtelun hallintaan siis on lisätä johtajien ymmärrystä siitä mitä vaihtelu on, mitä seurauksia sillä on ja mistä se aiheutuu. Vaihtelun hallinta on kuin torni, joka varmasti sortuu, jos sen tukipilareita romutetaan.

## 4 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli tutustua vaihteluun ja puskurointiin liittyvään kirjallisuuteen ja selvittää mitä ne tarkoittavat, miten organisaatioiden tulisi toimia vaihtelun kanssa ja mitä hyötyä puskuroinnista on. Seuraavat tutkimuskysymykset muovasivat työn rakennetta:

1. Mitä vaihtelu aiheuttaa organisaatioiden toiminnassa?
2. Mikä merkitys puskureilla on vaihtelun hallinnassa?

Vaihtelu, etenkin poikkeava sellainen, aiheuttaa organisaatioiden toiminnassa lukuisia eri haasteita ja ongelmia, joista keskeisin lienee jaksoajan kasvaminen. Se kuormittaa valmistusprosessia ja heikentää alentuneen toimitusvarmuuden ja pidentyneen toimitusajan kautta asiakastytyväisyyttä.

Puskureilla on merkittävä rooli vaihtelun hallinnassa, sillä ne mahdollistavat kysynnän ja tarjonnan välillä olevan epäsuhdan tasaamisen. Puskurit auttavat minimoimaan vaihtelusta johtuvien häiriöiden määrän ja tason sekä takaamaan, että organisaation toiminta säilyy sujuvana. Puskureiden merkitys vaihtelun hallinnassa on organisaation toimintakyvyn ylläpitäminen muuttuvissakin tilanteissa.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa hyödynnettiin Oulun yliopiston tarjoamia viitetietokantoja sekä Google Scopusia. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin ensin mitä on vaihtelu, mitä vaikutuksia sillä on ja mikä sitä aiheuttaa. Viimeisenä käsiteltiin eri puskurityyppejä ja niiden vaikutusta vaihtelun hallinnassa.

Pohdinnassa pohdittiin vaihtelua ja sen seurauksia sekä puskureiden käytön merkityksellisuutta. Pohdinnassa käy ilmi, että vaihtelun ja puskureiden hallinnalla on vaikutus organisaation kilpailukykyyn ja tehokkuuteen. Jos ne jätetään huomioimatta, koituu ikäviä ongelmia kuten asiakastytyväisyyden heikkenemistä ja kustannusten nousua.



Tutkimuksen kirjallisuus keskittyi lähinnä valmistavaan teollisuuteen, jonka myötä muut toimialat, kuten palvelualat, rajautuivat pois. Niiden sisällyttäminen olisi antanut paremman käsityksen siitä, miten vaihtelu ja puskurointi ilmenevät erilaisissa konteksteissa teollisuuden lisäksi. Toisaalta monissa lähteissä, kuten Hoppin ja Spearmanin (2011) kirjassa mainittiin, että monet lainalaisuudet pätevät yhtä lailla kaikilla aloilla.

Tutkimus rajattiin käsittelemään ainoastaan vaihtelun hallintaa, ei pienentämistä. Tätä tutkimusta ei siis tule käyttää minkäänlaisena ohjekirjana vaihteluun liittyen. Vaihtelun pienentäminen on vähintään yhtä tärkeää kuin vaihtelun hallinta puskureiden avulla. Tutkimuksessa käytetty kirjallisuus koostui lähinnä teoksista, jotka puolustelevat puskurointia vaihtelun hallinnan keinona, joka voi vaikuttaa tutkimuksen luotettavuuteen.

Iso osa tutkimuksista, jotka otsikon ja tiivistelmän perusteella vaikuttivat hyvin aiheeseen sopivilta, olivat maksumuurin takana, joten kyseisiä lähteitä ei pystytty käyttämään. Nämä lähteet olisivat voineet tuoda erilaisia näkökulmia aiheeseen liittyen ja laajentanut tutkimuksen luotettavuutta.

Tutkimuksesta jäi uupumaan tapaustutkimusten tuoma konkretia. Se olisi havainnollistanut miten vaihtelun ja puskureiden hallinnassa on joko onnistuttu tai epäonnistuttu, ja mitä seurauksia kummallakin on organisaatioille ollut. Jatkotutkimuskohteena voisi siis olla tapaustutkimukset, joissa selvitetäisiin käytännössä puskureiden käytön tai käyttämättömyyden seurauksia organisaatiolle.

Tätä työtä voidaan sen puutteista huolimatta käyttää vaihteluun, sen seurauksiin ja lähteisiin sekä puskureiden käyttöön tutustuttaessa. Tutkimuksessa on pyritty käyttämään luotettavia lähteitä hyvän ja luotettavan kokonaisuuden kasaan saamiseksi.

## LÄHDELUETTELO

Amjath, M., Kerbache, L., Smith, J. M. G. & Elomri, A., 2023. Optimisation of buffer allocations in manufacturing systems: A study on intra and outbound logistics systems using finite queueing networks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13 (17), S. 9525.

Cabrera, E. G., Illés, B. & Cservedák, Á., 2023. Modelling and optimizing material flows in electrical energy distribution – first model. *Advanced Logistic Systems - Theory and Practice*, 17 (4), S. 51–57.

Chu, C.-H. & Hayya, J. C., 1988. Buffering decisions under MRP environment: A review. *Omega*, 16 (4), S. 325–331.

Deming, W., 1986. *Out of the crisis*. MIT, Center for Advanced Engineering Study.

Fry, T. D., Steele, D. C. & Saladin, B. A., 1994. A service-oriented manufacturing strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, 14 (10), S. 17–29.

Grznár, P., Gregor, M., Mozol, Š., Krajčovič, M., Dulina, L., Gašo, M. & Major, M., 2019. A system to determine the optimal work-in-progress inventory stored in interoperation manufacturing buffers. *Sustainability (Switzerland)*, 11 (14), S. 3949.

Hedvall, L., Mattsson, S. A. & Wikner, J., 2023. Identification and selection of safety buffers in manufacturing companies. *Production Planning & Control*.

Hedvall, L. & Mattsson, S.-A., 2022. Causes and actions related to self-induced variations in manufacturing companies. *Production Planning & Control*, S. 1–18.

Hedvall, L., Wikner, J. & Hilletoft, P., 2017. Introducing buffer management in a manufacturing planning and control framework. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, S. 366–373.

Hopp, W. J. & Spearman, M. L., 2004. To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing and Service Operations Management*, 6 (2), S. 133-148.

Hopp, W. J. & Spearman, M. L., 2011. *Factory physics*. 3 painos. Long Grove (IL): Waveland.

Kasper, T. A. A., Land, M. J. & Thürer, M., 2023. Unique control priorities for parallel machines in high-variety manufacturing. *Production Planning & Control*, S. 1–10.

Love, P. E. D., Smith, J., Ackermann, F. & Irani, Z., 2018. The praxis of stupidity: an explanation to understand the barriers mitigating rework in construction. *Production Planning & Control*, 29 (13), S. 1112–1125.

Modig, N., Åhlström, P. & Tillman, M., 2013. *Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin*. Tukholma: Rheologica Publishing.

Oehmen, J., Ziegenbein, A., Alard, R. & Schönsleben, P., 2009. System-oriented supply chain risk management. *Production Planning & Control*, 20 (4), S. 343–361.

Piirainen, A., 2014. *Vaihtelu*. Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Pound, E. S., Bell, J. H. & Spearman, M. L., 2014. *Factory physics for managers: how leaders improve performance in a post-lean six sigma world*. New York: McGraw-Hill.

Rappold, J. A. & Yoho, K. D., 2008. A model for level-loading production in the process industries when demand is stochastic. *Production Planning & Control*, 19 (7), S. 686–701.

Rasouli, M. R., Kusters, R. J., Trienekens, J. J. M. & Grefen, P. W. P. J., 2019. Service orientation in business networking: a demand-supply chain perspective. *Production Planning & Control*, 30 (1), S. 2–19.

Romero-Silva, R., Santos, J. & Hurtado-Hernández, M., 2024. A conceptual framework of the applicability of production scheduling from a contingency theory approach: addressing the theory-practice gap. *Production Planning & Control*, 35 (3), S. 262–282.

Salminen, A., 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus?: johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopiston julkaisuja. Opetusjulkaisuja.

Schmitt, T. G., 1984. Resolving uncertainty in manufacturing systems. *Journal of Operations Management*, 4 (4), S. 331–345.

Shewhart, W., 1931. *Economic control of quality of manufactured product*. Macmillan & Company.

Slack, N., Brandon-Jones, A. & Johnston, R., 2013. *Operations management*. 7 painos. Pearson Education Limited.

Snyder, H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, S. 333–339.

Spearman, M., Woodruff, D., & Hopp, W., 1990. CONWIP: A pull alternative to kanban. *International Journal of Production Research*, 28 (5), S. 879-894.

Stefánsson, H., Jensson, P. & Shah, N., 2009. Procedure for reducing the risk of delayed deliveries in make-to-order production. *Production Planning & Control*, 20 (4), S. 332–342.

Whybark, D. C. & Williams, J. G., 1976. Material requirements planning under uncertainty. *Decision Sciences*, 7 (4), S. 595–606.