

Laura Gustafsson

# TUOTANNONSUUNNITTELUKONSEPTIN KEHITTÄMINEN TILAUSOHJAUTUVASSA TUOTANNOSSA

Johtamisen ja talouden tiedekunta  
Diplomityö

Tarkastaja: yliopistonlehtori Rainer Breite  
Tarkastaja: yliopistonlehtori Anu Suominen  
Joulukuu 2025

# TIIVISTELMÄ

Laura Gustafsson: Tuotannosuunnittelukonseptin kehittäminen tilausohjautuvassa tuotannossa  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Johtamisen ja tietotekniikan DI-tutkinto-ohjelma  
Joulukuu 2025

---

Tässä diplomityössä kehitettiin tuotannosuunnittelukonsepti suomalaiselle yritykselle, jonka tuotantoprosessissa havaittiin puutteita tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa. Tutkimuksessa tunnistettiin merkittävä määrä hiljaista tietoa, joka tulisi saattaa näkyväksi koko tuotanto-organisaation käyttöön. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää tuotannosuunnittelujärjestelmän vaatimukset, tunnistaa tuotantoprosessin pullonkaulat sekä siirtää hiljainen tieto eksplisiittiseksi tiedoksi tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen tueksi.

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena ja aineisto kerättiin havainnoimalla tuotantoprosessia samalla haastatellen tuotantotyöntekijöitä sekä analysoimalla tuotantodataa. Nykytila-analyysi osoitti, että tuotantoa ohjataan pääosin kahdelle tuotantokoneelle tehtävän tuotantosuunnitelman perusteella. Tuotantokoneiden jälkeen tuotantotilaukset eivät kulje FIFO-periaatteen mukaisesti tuotantoprosessissa, eikä viimeistyskoneiden kapasiteettia ole otettu huomioon tuotannosuunnittelussa. Keskeneräisen tuotannon ohjaus onnistuu tällä hetkellä vain visuaalisen ohjauksen avulla tuotannosta käsin. Suurin pullonkaula muodostuu viimeistyskoneiden 2 ja 3 eteen, johon syntyy ajoittain yli kahden viikon puskuri.

Tutkimuksessa kehitettiin tuotannosuunnittelukonsepti, joka perustuu FIFO-periaatteeseen ja DBR-malliin. Konsepti mahdollistaa asemakohtaisen tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen kaikissa prosessivaiheissa. Lisäksi tutkimuksessa määritettiin tuotannosuunnittelujärjestelmän keskeiset vaatimukset käyttäjäryhmittäin.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että arvoa tuottavaa aikaa on vain noin 7 % tuotannon kokonaisläpimenoajasta. Tämän vuoksi pullonkaulojen käyttöasteen maksimointi, asetusajojen minimointi sekä kapasiteetin hallinta ovat keskeisiä tuotannon tehostamiseen käytettäviä keinoja.

Tämä tutkimus tarjoaa käytännönläheisen ratkaisun tuotannosuunnittelukonseptin luomiseen ja nostaa esille keskeisiä tekijöitä, jotka on huomioitava, kun hiljaista tietoa siirretään eksplisiittiseksi tuotannosuunnittelun käyttöön. Tutkimus osoittaa, miten vahvasti hiljaisen tiedon varassa oleva tuotantoprosessi voidaan muuttaa tuotannosuunnittelujärjestelmän ja yksinkertaisten ohjausperiaatteiden avulla toimivaksi konseptiksi.

Avainsanat: tuotannosuunnittelu, pullonkaulat, hiljainen tieto, DBR, FIFO, tuotannosuunnittelujärjestelmä

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

# ABSTRACT

Laura Gustafsson: Development of a Production Planning Concept in Make-to-Order Production

Master of Science Thesis

Tampere University

Master's programme in Management and information technology

December 2025

---

In this thesis, a production planning concept was developed for a Finnish company whose production process exhibited deficiencies in production planning and control. The study identified a significant amount of tacit knowledge that should be created explicit and accessible to the entire production organization. The objective of the research was to define the requirements for a production planning system, identify bottlenecks in the production process, and convert tacit knowledge into explicit knowledge to support production planning and control.

The research was conducted as a case study, with data collected through observation of the production process, interviews with production employees, and analysis of production data. The current state analysis revealed that production is primarily managed based on a production plan for two main machines. After these machines, production orders do not follow the FIFO principle within the process, and the capacity of finishing machines has not been considered in production planning. At present, work-in-progress is controlled only through visual management in production. The most significant bottleneck occurs before finishing machines 2 and 3, where buffers occasionally exceed two weeks.

The study developed a production planning concept based on the FIFO principle and the Drum-Buffer-Rope (DBR) model. The concept enables station-specific production planning and control across all process stages. Additionally, the research defined the key requirements for the production planning system by user group.

The results indicate that value-adding time accounts for only about 7% of the total production lead time. Therefore, maximizing the utilization of bottleneck resources, minimizing setup times, and managing capacity are essential strategies for improving production efficiency.

This research provides a practical solution for creating a production planning concept and highlights critical factors to consider when converting tacit knowledge into explicit knowledge and leveraging it for production planning. The study demonstrates how a production process heavily reliant on tacit knowledge can be transformed into a functional concept through a production planning system and simple control principles.

**Keywords:** production planning, bottlenecks, tacit knowledge, DBR, FIFO, production planning system

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin Originality Check service.

# TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmanprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: Copilot GPT-4-versio

Käyttötarkoitus: Copilotia on käytettyä tekstin muotoilemiseen ja tarkastamiseen. Copilotin avulla tekstiä on muokattu helppolukuisemmaksi, akateemiseen tyyliin sopivammaksi ja loogisemmin jäsenneilyksi. Copilotia on käytetty kuvien huolitteluun (mm. selkeämmät muodot ja suuremmat viivat). Copilotia on käytetty myös laajojen kokonaisuuksien hahmottamisen apuna ja tutkimuskysymysten ideoinnissa.

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

## ALKUSANAT

Jo seitsemännellä luokalla päätin, että minusta tulee vielä diplomi-insinööri – vaikka en silloin vielä tiennyt tarkalleen, mitä se tarkoittaa tai miksi juuri se tuntui oikealta. Nyt, vuosia myöhemmin, tämä päätös on konkretisoitunut valmiiksi diplomityöksi.

Työni aihe on ollut minulle erityisen merkityksellinen, ja olen kiitollinen siitä, että sain mahdollisuuden paneutua siihen syvällisesti. Haluan kiittää ohjaajaa, joka antoi minulle vapauden ja tuen perehtyä aiheeseen, joka on näin lähellä sydäntäni. Kiitos myös yliopiston ohjaaja Rainer Breite arvokkaasta tuesta ja asiantuntevasta ohjauksesta työni eri vaiheissa.

Erityisesti haluan kiittää puolisoani Tuomasta, joka tuki minua kärsivällisesti ja kannusti eteenpäin koko prosessin ajan.

Vantaalla, 18.12.2025

Laura Gustafsson

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. TEORIA .....	4
2.1 Tuotannonohjaus .....	4
2.1.1 Työkuorman hallinta MTO ja MTS tuotannoissa .....	5
2.1.2 Pullonkaulat ja TOC .....	9
2.1.3 Työntö- ja imuohjaus sekä niiden yhdistelmä .....	13
2.1.4 Läpimenoaika .....	15
2.2 Tuotantosysteemin hiljaisen tiedon siirtäminen .....	16
2.2.1 Tiedon ulottuvuudet .....	16
2.2.2 Tiedon luomisen prosessi (SECI-malli) .....	18
2.2.3 Hiljainen tieto tuotantokontekstissa .....	20
3. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄ .....	24
3.1 Tutkimusympäristö .....	25
3.2 Nykytila-analyysi .....	25
4. TULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI .....	31
4.1 Tuotannonsuunnittelujärjestelmän konsepti .....	31
4.2 Tuotantodatan käyttö tuotannonsuunnittelujärjestelmässä .....	34
4.2.1 Tuotannon läpimenoajat ja arvovirtakuvaus .....	39
4.2.2 Tuotannonsuunnittelujärjestelmän vaatimukset .....	43
4.2.3 Parametrien määrittäminen .....	44
4.3 Prosessin pullonkaulat .....	46
5. YHTEENVETO .....	48
5.1 Työn keskeiset tulokset .....	48
5.2 Käytännön suositukset .....	49
5.3 Työn arviointi .....	50
5.4 Jatkotutkimus-/jatkokehitysaiheet .....	51
LÄHTEET .....	53
LIITE A: .....	58
LIITE B: .....	59

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

C/T	Cycle Time, kiertoaika
C/O	Changeover Time, asetusaika
DBR	Drum-Buffer-Rope, rumpu-puskuri-köysi-tuotannonohjaus metodi
FIFO	First In First Out, varastonhallinta-menetelmä
MTO	Make-to-Order, tilausohjautuva tuotanto
MTS	Make-to-Stock, varasto-ohjautuva tuotanto
NNVAT	Necessary Non-Value-Adding Time, välttämätön arvoa lisäämätön aika
SECI	Tiedon luomisen prosessimalli
SMED	Single Minute Exchange of Die, menetelmä asetusaikojen minimointiin
TOC	Theory of Constraints, teoria tuotannon rajoitteista ja niiden hallinnasta
VSM	Value Stream Mapping, arvovirtakuvaus
VAT	Value-Adding Time, arvoa lisäävä aika
WIP	Work-in-Process, keskeneräinen tuotanto
WLC	Workload Control, työkuorman hallinta

# 1. JOHDANTO

Oikein valituilla tuotannonohjausmenetelmillä, keskeneräisen tuotannon hallinnalla ja pullonkaulojen systemaattisella tunnistamisella on merkittävä vaikutus tuotantokapasiteetin kasvattamiseen tuotantoympäristössä. Prosessien kriittisten kohtien tunnistaminen ja niihin kohdistettavat oikeanlaiset ohjaustoimenpiteet tasapainottavat tuotannon virtausta ja lyhentävät läpimenoaikoja. Tarkkaan määritetyn tuotantokonseptin avulla pystytään hallitsemaan tuotannon kokonaiskuormitusta tehokkaasti. Tämä puolestaan voi johtaa merkittäviin hyötyihin yritykselle, kuten toimituskyvyn vahvistumiseen, asiakastyytyväisyyden kasvuun ja kilpailukyvyn vahvistumiseen.

Kohdeyrityksen tuotantoprosessissa on tällä hetkellä merkittävä määrä hiljaista tietoa, ja tuotannon sujuvuus riippuu vahvasti yksittäisten ammattilaisten osaamisesta. Tuotantoa ohjataan vain kahden ensimmäisen tuotantovaiheen perusteella, jolloin tuotanto on työntöohjattua, eikä eri työvaiheiden tuotantokapasiteettia huomioida tuotannosuunnittelussa. Tällä hetkellä on tyypillistä, etteivät tuotteet valmistu tuotannosta samassa järjestyksessä, missä ne on suunniteltu valmistettavan. Myös keskeneräisen tuotannon määrä on aika-ajoin korkea. Tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen tarvittava tieto ei ole helposti saatavissa ja hyödynnettävässä muodossa. Tämän vuoksi tuotantoa ohjataan usein ad hoc -periaatteella tuotannontyöntekijöiden toimesta, sillä muilla ei ole riittävästi ymmärrystä prosessin eri vaiheiden vaatimuksista. Tuotannosuunnittelussa on tällä hetkellä puutteita ennustettavuudessa, mikä vaikeuttaa valmiiden tuotteiden toimitusaikojen vahvistamista. Nykytila-analyysi osoittaa, että tuotannon pullonkaulat muodostuvat erityisesti limittäin toimivien viimeistyksen tuotantokoneiden kohdalle, synnyttäen ajoittain yli kahden viikon puskurin tuotantoon. Tämä johtaa pitkiin läpimenoaikoihin ja vaikeuksiin pysyä tarkoissa toimitusajoissa. Kysynnän ennustaminen on tällä hetkellä myös haasteena, koska tilaukset saapuvat usein yllättäen tai eri aikataulussa kuin on ennustettu, mikä osaltaan vaikeuttaa entisestään tuotannosuunnittelujärjestelmän puuttumisesta aiheutuvia operatiivisia ongelmia.

Tutkittava tuotantolaitos toimii osana työympäristöä, jossa tuotteiden estetiikalla ja laadulla on suuri painoarvo. Vaikka tuotteita jatkojalostetaan sopimusvalmistajien tehtailla, toimii tutkittava tuotantoympäristö Suomessa, koska sitä pidetään yrityksen tuotekehi-

tykselle tärkeänä. Oma tuotanto mahdollistaa tarkkaan suunnitellut ja huolellisesti viimeistellyt tuotteet, jotka eivät olisi mahdollisia, jos tuotanto olisi kokonaisuudessaan ulkoistettu. Oma tuotanto mahdollistaa myös erilaisten kollaboraatioiden ja markkinointipahtumien suunnittelun jouhevasti ja kustannustehokkaasti.

Tuotannosuunnittelun tukemiseksi ja sen kehittämiseksi olisi tärkeää tunnistaa hiljainen tieto järjestelmällisesti ja siirtää se strukturoiduksi eksplisiittiseksi tiedoksi. Näin tieto voidaan hyödyntää laajemmin organisaatiossa, tukea tuotannosuunnittelua ja -ohjausta, sujuvoittaa operatiivista toimintaa sekä vähentää päätöksentekorasitetta tuotannontyöntekijöiltä. Tämä edellyttää organisaatiokulttuurin muutosta, jossa korostetaan tiedon jakamisen ja hyödyntämisen kulttuuria ja otetaan tarkoituksenmukaisia työkalujen käyttöön kommunikoinnin tueksi. Tuotannosuunnittelujärjestelmän käyttöönotto mahdollistaisi tuotantoprosessin eri vaiheiden paremman seurannan ja analysoinnin, mikä puolestaan loisi pohjan ennakoivalle tuotannosuunnittelulle. Järjestelmän lisäksi on tärkeää kehittää toimintamalleja, jotka tukevat tehokasta operatiivista toimintaa. Hiljaisen tiedon siirtämistä eksplisiittiseen muotoon on tutkittu paljon. Hiljaista ja eksplisiittistä tietoa ovat tutkineen muun muassa Nonaka ja Takeuchi (1995); Choo, C.W. (2000), Davenport, T.H. and Grover, V. (2001), Smith, E.A. (2001) ja Haldin-Herrgard, T. (2000), joten niiden ominaisuuksia on tutkittu laajasti. Monissa kirjallisuuden lähteissä Nonakan ja Takeuchin (1995) SECI-malli toimii pohjana tiedon luomisen prosessille, niin kuin tässäkin tutkimuksessa. Tuotannosuunnittelua ja -ohjausta on tutkittu paljon ja siitä löytyy tutkimuksia laajasti. Vaikka tuotannosuunnittelua on tutkittu laajasti, hiljaisen tiedon systemaattinen tunnistaminen ja siirtäminen eksplisiittiseksi tiedoksi tässä kontekstissa on jäänyt vähälle huomiolle. Tämä tutkimus pyrkii paikkaamaan kyseistä aukkoa.

Tämän diplomityön tarkoituksena on kehittää yrityksen tuotantoympäristön tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen käytäntöjä. Tutkimuksessa pyritään määrittämään tuotannosuunnittelukonsepti sekä analysoimalla tuotantoprosessin pullonkauloja ja prosessin virtausta. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään, miten tuotantoprosessiin liittyvä hiljainen tieto voidaan siirtää eksplisiittiseksi, jotta se voidaan hyödyntää osana tuotannosuunnittelujärjestelmää.

Tutkimusongelmana on, miten nykyistä tuotannosuunnitteluprosessia voidaan kehittää siten, että se tukee tehokasta ja joustavaa tuotantoa, hyödyntää yrityksen hiljaisen tiedon pääomaa sekä mahdollistaa prosessin läpinäkyvän ohjauksen ja nopean reagoinnin muutoksiin. Tutkimuksen tavoitteen on saada aikaan kehitysehdotus, jonka perusteella voidaan lähteä kehittämään ja implementoimaan uutta tuotannosuunnittelujärjestelmää yrityksen tuotantoon. Tutkimus pyrkii vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten nykyinen tuotannosuunnittelu ja -ohjaus toimii, ja mitkä ovat sen keskeiset piirteet ja haasteet?
2. Mitkä ovat keskeiset vaatimukset ja ominaispiirteet yrityksen tuotannosuunnittelujärjestelmälle, jotta se tukee tehokasta ja oikea-aikaista tuotantoa sekä mahdollistaa nopean reagoinnin muutoksiin?
3. Miten prosessin eri tekijät vaikuttavat pullonkaulan sijaintiin ja tuotantoprosessin tehokkuuteen?

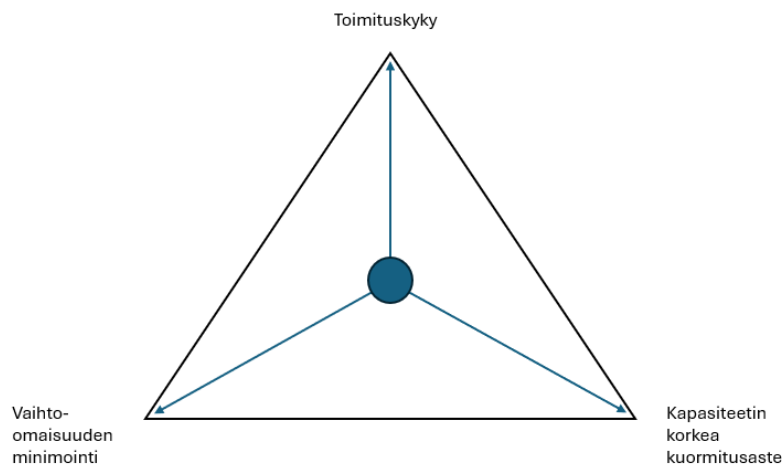
Tutkimuksen tulokset voivat toimia pohjana laajemmalle tuotannosuunnittelun kehittämiseksi, erityisesti sellaisissa tuotantoympäristöissä, joissa visuaalinen laatu on keskiössä.

Tutkimuksen eteneminen on monivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa toteutetaan nykytila-analyysi tuotantoprosessista. Tämän jälkeen hyödynnetään erilaisia analyysityökaluja ja menetelmiä keskeisten vaatimusten määrittelyyn tuotannosuunnittelukonseptissa. Tämän jälkeen analysoidaan tuotantoprosessin pullonkauloja visuaalisin sekä laskennallisin menetelmin. Näiden avulla pyritään ymmärtämään prosessin pullonkaulojen luonnetta ja löytämään keinoja niiden hallintaan tuotantoprosessissa. Lopuksi muodostetaan kehitysehdotus, jonka pohjalta voidaan luoda tuotannosuunnittelujärjestelmä, joka tukee tuotannon ennakoitavuutta, läpimenoaikojen hallintaa ja operatiivisen toiminnan sujuvuutta.

## 2. TEORIA

### 2.1 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjauksen keskeisiksi tavoitteet vastaavat pitkälti toiminnanohjauksen tavoitteita, jotka ovat kapasiteetin korkea tuottavuus, toimintaan sitoutuneen vaihto-omaisuuden minimointi sekä toimitusvarmuus. Kuva 1 havainnollistaa tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuutta. Näiden kolmen tavoitteen optimointi samanaikaisesti voi olla vaikeaa, koska keinot näihin tavoitteisiin ovat useasti ristiriidassa toisten tavoitteiden kanssa. Läpäisyajojen lyhentäminen on soittautunut erittäin tehokkaaksi keinoksi tuotannonohjauksen ristiriitaisten tavoitteiden toteuttamisessa (Haverila et al. 2005).



**Kuva 1.** Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuus (mukaillen Haverila et al. 2005)

Goldratt & Cox (1986) mukaan läpivirtaus (throughput), varastotaso (inventory) ja operatiiviset kustannukset (operational expenses) määrittävät tuotannon kannattavuuden. Läpivirtauksella tarkoitetaan sitä, kuinka paljon yritys tuottaa tuloja myymällä valmistettuja tuotteita. Tämän perusteella tuotteen valmistaminen on kannattavaa vain, jos se saadaan myytyä. Varastotasolla tarkoitetaan investoitua varallisuutta, jonka yritys on investoinut tuottaakseen tuotteet, jotka on suunniteltu myydä. Operatiivisilla kustannuksilla taas tarkoitetaan kuluja, jotka muodostuvat varastoon sidotun omaisuuden muuttamisesta läpivirtaukseksi.

Tuottavuutta eli tuotannon kannattavuutta voidaan kuvata tuotetun ja käytettyjen resursien suhteella (Andersson & Bellgran 2015), jossa käytetyt resurssit tarkoittavat valmistuskustannuksia. Tuottavuus voidaan määritellä myös arvonlisäyksenä verrattuna tuotannon käyttämiin resursseihin (Tomiura 2007; Brandt, Van Biesebroeck & Zhang 2012). Valmistuksen tuottavuus vaihtelee tuotantoprosessin vaihteluiden ja tehtaan toiminnan

tehokkuuden mukaan, erityisesti suhteessa ajan ja saannon menetyksiin. Myös esimerkiksi tuote-mixin muutokset vaikuttavat tuottavuuteen. (Gólcher-Barguil et al. 2019)

Molemmat teoriat korostavat sitä, että tuottaakseen voittoa yrityksen tulee keskittyä oikeiden asioiden valmistamiseen ja välttää turhaa toimintaa kaikessa sen toiminnassa. Yrityksen tulisi siis pyrkiä kaikessa sen toiminnassaan löytämään ei arvoa lisäävä toiminta ja minimoida se. Tässä kappaleessa hahmotetaan teoriaa tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen ympärillä ja esitetään olennaiset teoriat tutkittavan tuotantoympäristön tuotannosuunnittelu konseptin luomiseksi.

### 2.1.1 Työkuorman hallinta MTO ja MTS tuotannoissa

Tavallisimmat tuotannonohjausmuodot ovat varasto-ohjautuva MTS (Make-to-Stock) ja tilausohjautuva MTO (Make-to-Order). Tuotantotilaukset tehdään perustuen varastotasoihin MTS tuotannossa ja asiakastilauksiin MTO tuotannossa. Kumpikaan näistä ei välttämättä yksissään riitä hallitsemaan asiakkaan kysyntää ja siksi yritykset adaptoivat erilaisia hybridiversioita näistä kahdesta (Costa et al. 2023). Tällöin MTS tasoittaa hyvin MTO tuotannon kysynnänvaihtelua.

MTS-tuotannossa ohjauspiste sijaitsee prosessin lopussa, jolloin tuotanto käynnistyy varastotason perusteella. MTO-tuotannossa ohjauspiste sijaitsee prosessin alkuvaiheessa, jossa tietty tilaus aloittaa tuotantoprosessin. (Rafiei & Rabbani 2011.) Ohjauspiste (Order penetration point, OPP) tarkoittaa pistettä, jossa tietty tuote kohdistuu tietylle tilaukselle (kuva 2).

Tuotannonohjausmuoto	Hankinta	Tuotanto	Toimitus
MTO	OPP	—————→	—————→
MTO-MTS	-----→	OPP	—————→
MTS	-----→	-----→	OPP

**Kuva 2.** Ohjauspiste (mukaillen Rafiei & Rabbani 2011)

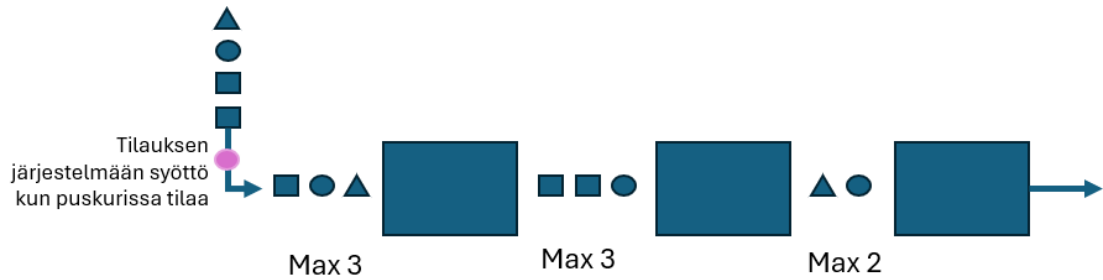
MTO-MTS hybridi tuotannossa ohjauspiste sijaitsee tuotannossa, jossa tuotteita prosessoidaan ja puolivalmisteet valmistetaan joko MTO tai MTS tuotteiksi. Hybridimallin soveltuvuus riippuu tuotteiden modulaarisuudesta (Rafiei & Rabbani 2011).

Kundu et al. (2022) tutkivat työkuorman hallinnan (Workload Control) käyttöönottoa MTS-MTO hybridiympäristössä ja havaitsivat merkittäviä parannuksia läpimenoaikojen

ennustettavuudessa, mikä lisäsi yrityksen luotettavuutta huomattavasti. Vaikka teoreettiset mallit eivät ole pystyneet toteamaan, että työkuorman hallinnalla olisi vaikutusta työn tuottavuuteen, Bertrand ja Van Ooijen (2002) toteavat tutkimuksessaan, että ihmisen operoimassa tuotantoympäristössä pystytään löytämään optimaalinen työkuorma, joka lisää tuottavuutta. Työkuorman hallinta sopii erityisen hyvin tuotantoympäristöihin, joissa tuotantotilaukset eivät valmistu aina samaa ennalta määritettyä reittiä tuotantoprosessin läpi, esimerkiksi tällaisia ovat job shop- tyyppiset tuotantoympäristöt. Työkuorman hallinta keskittyy hallitsemaan koko tuotannon työkuormaa (Thürer 2017) ja voi siksi olla kompleksinen toteuttaa. Työkuorman hallintaa implementoidessa tulee esimerkiksi ryhmitellä tuotantokoneet, joiden välillä voidaan jakaa tuotantokapasiteettia ja varmistaa nopea tiedonkulku tuotannosta, samalla kun tarvitaan myös tarkkoja kapasiteettiarvioita eri tuotantokoneista. Toisaalta mikä tahansa tuotannonsuunnittelu ja -ohjausjärjestelmä saattaa vaatia vastaavia määrittämiä. (Stevenson 2006.)

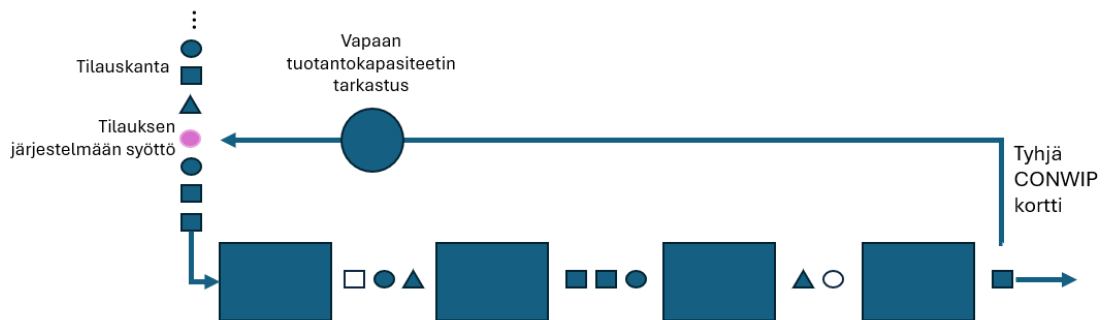
Työkuorman hallinta on alkujaan kehitetty MTO tuotantoympäristöön, jossa tuotantoprosessiin kuuluu useampia perättäisiä operaatioita, jotka tulee suorittaa tietyssä järjestyksessä (Stevenson et al. 2005). Työkuorman hallintakonsepteille on ominaista, että uusia työtilauksia vapautetaan tuotantoon vain, jos työkuorma pysyy asetettujen maksimirajojen sisällä. Näin varmistetaan, ettei keskeneräinen tuotanto kasva liian suureksi ja toimitusajat pysyvät ennustettavina (Stevenson 2006).

Spearman ja Hopp (1990) kehittivät ConWIP (constant work in process) periaatteen, jonka avulla voidaan hallita tuotantoprosessien työkuormaa. ConWIP:n toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin Kanbanin, mutta CONWIP keskittyy ohjaamaan vain tuotantotyökuormaa eikä ota huomioon varastotasoa Kanbanin tapaan. (Roser 2021). ConWIP sopii erityisesti MTO tuotantoon. ConWIP:ä voidaan soveltaa usealla tavalla tuotannossa. Ensimmäisen tapa on rajoittaa jokaisen tuotantovaiheen edessä olevan puskurin määrää. Tämä on havainnollistettu kuvassa 3, jossa pienemmät kolmiot, ympyrät ja neliot kuvaavat tuotantotilauksia ja isommat suorakulmiot eri tuotannonvaiheita. Tässä mallissa ei tarvita erillisiä CONWIP kortteja, vaan uusia tilauksia syötetään tuotantoon vain, jos puskurit eivät ole täynnä.



**Kuva 3.** ConWIP-malli rajallisen tilan tuotantolinjoille (mukaillen Roser & Shook 2021)

Toinen tapa käyttää ConWIP periaatteita on ohjata tuotantoa ConWIP korteilla (kuva 4), jotka rajoittavat tuotannossa olevien tilausten määrää ottamatta huomioon yksittäisten tuotantovaiheiden välissä olevia puskureita. (Roser 2021). Kuvassa 4 on käytetty symboleita edeltävän kuvan tapaan, lisäksi valkoinen neliö ja ympyrä, jotka havainnollistavat määrätyn puskurin vapaata tuotantokapasiteettia.



**Kuva 4.** ConWIP systeemi käyttäen tuotantokapasiteetin rajoittamista (mukaillen Roser & Shook 2021)

Kingmanin yhtälö käsittelee odotusajan ja tuotannon virtaukseen vaikuttavien tekijöiden, käyttöasteen ja läpimenoajan vaihtelun, välistä suhdetta. Kingmanin yhtälö auttaa ymmärtämään vaihtelua erityisesti prosesseissa, joissa käyttöasteen ja vaihtelun vaikutus ei ole lineaarinen ja jossa odotusaikojen vaikutukset korostuvat. Kingmanin kaava arvioi **keskimääräistä odotusaikaa jonossa**, joten se ei ota huomioon koko järjestelmää:

$$W_q \approx \left( \frac{\rho}{1-\rho} \right) \left( \frac{c_a^2 + c_s^2}{2} \right) \tau, \quad (1)$$

$W_q$  = keskimääräinen odotusaika jonossa

$\rho$  = kapasiteetin käyttöaste

$\tau$  = tehollinen aika tai prosessointiaika

$c_a$  = saapumisajan vaihtelukerroin

$c_s$  = tehollisen ajan vaihtelukerroin (De Meyer et al. 2018)

Huomataan, että läpimenoaikaan vaikuttaa suuresti vaihtelu ja käyttöaste. Korkea käyttöaste missä tahansa tuotannon vaiheessa kerää tuotantoon WIP:ä ja läpimenoajat pidentyvät. Keskeneräinen tuotanto (WIP, Work in Process) tarkoittaa inventaariota, joka on siirtynyt valmistusprosessiin, jolloin se ei ole enää raaka-aineina varastossa, mutta se ei ole vielä valmis tuote. Kingmanin kaavan avulla pystytään hahmottamaan prosessin pullonkauloja ja tämän avulla kohdistamaan parannustoimet oikeaan paikkaan (De Meyer et al. 2018).

Myös Lean-periaatteen Heijunka tarkoitus on vähentää vaihtelua tuotannossa ja parantaa tehokkuutta sekä toimitusvarmuutta tuotannossa. Heijunkan avulla tasoitetaan tuotannonvaihtelua vähentämällä suurien ja epätasaisten tuotantoerien valmistusta ja pyrkimällä tasaiseen tuotantoon pienten ja tasakokoisten erien avulla. Eräkokojen tulee kuitenkin vastata varastotasojen tarpeita. (Rewers & Diakun 2021; Alvarez, Avella & Martinez 2024). Hampson (1999) kyseenalaistaa tietyt tuotantokonseptit, jotka ovat keskeisiä Lean teoriassa ja toteaa, että ne saattavat itse asiassa estää 'leanin' toteutumista. Hän nostaa yhdeksi tällaiseksi konseptiksi Heijunkan. Alvarez, Avella ja Martinez (2024) tarkastelivat tutkimuksessaan tilannetta, jossa tehdas toimii alle 100 %:n kapasiteetilla, tällöin kokonaiskustannukset pienenevät aina, kun vaihtoja oli vähemmän. Toisaalta tutkimus osoitti, että kun tehdas toimii täydellä kapasiteetillaan ja vaihtoajat ovat lyhyehköjä, on kustannustehokasta valmistaa tuotteet pienemmissä erissä.

Työkuormaa voidaan siis hallita erilaisilla kysynnän vaihtelun hallintaan painottuvilla keinoilla. Kingmanin yhtälö tarjoaa matemaattisen mallin, jonka avulla voidaan arvioida keskimääräistä odotusaikaa ja tämän avulla paikantaa muun muassa pullonkauloja. Malli osoittaa, että korkea käyttöaste ja suuri vaihtelu kasvattavat läpimenoaikaa ja WIP:n määrää tuotannossa. Heijunka puolestaan pyrkii tasoittamaan tuotannon vaihtelua tasoittamalla tuotantokuormaa, sekä parantamalla toimitusvarmuutta, pienillä ja tasaisilla eräkoilla. Kuitenkin sen tehokkuus riippuu tuotantoympäristöstä, eikä sitä voida soveltaa kaikissa tilanteissa.

SMED (Single Minute Exchange of Die) on yksi Leanin työkaluista, jonka tarkoitus on vähentää tuotevaihtoihin kuluvaa aikaa ja näin ollen tehostaa tuotantoa. SMED:n periaatteena on muuntaa vaihtoon käytettävät vaiheet sisäisistä (koneen ollessa pysähdyksissä) ulkoisiin (suoritetaan laitteen ollessa käynnissä) ja samalla yksinkertaistaa ja viraviivaistaa vaihteita, jotka tulee suorittaa koneen ollessa pysähdyksissä. SMED:n tavoite

on laskea sisäinen aika alle kymmeneen minuuttiin nimensä mukaisesti. Vaihtoaikaan kuluva aika voidaan jakaa neljään eri osa-alueeseen:

1. Valmistelu (P) ja organisointi
2. Asennus (M) ja irrottaminen
3. Kalibrointi (C), keskitys, mitoitus, linjaus, mittaus ja testaus
4. Koeajot (T) ja säädöt.

SMED-prosessin vaiheet seuraavat Dr. Shingon (1985) asettamia vaihteita:

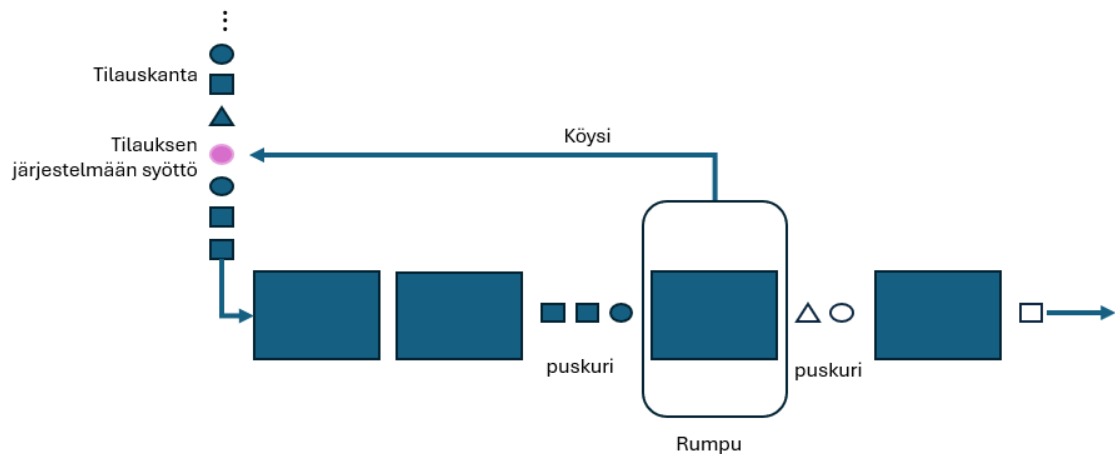
1. Tunnista kaikki vaiheet sen mukaan, suoritetaanko ne sisäisen vai ulkoisen ajan puitteissa.
2. Muunna mahdollisimman monta vaihetta sisäisestä ulkoiseksi.
3. Poista, järjestele uudelleen, yksinkertaista tai yhdistä kaikki jäljellä olevat vaiheet. (Protzman, Whiton & Protzman 2019).

### 2.1.2 Pullonkaulat ja TOC

Dr. Eliyahu Goldratt esitteli kirjassaan *The Goal* (1984) teorian tuotannon rajoitteista (TOC, The Theory of Constraints). Teorian mukaan pullonkaula on se tuotantokone, jonka kapasiteetti on pienempi, kuin kysyntä. Myöhemmin Goldratt (1990) laajensi pullonkaulojen merkityksen, jolloin pullonkaulana voidaan nähdä mikä tahansa rajoittava tekijä, joka rajoittaa järjestelmän suorituskykyä. Tällöin tuotannon virtaus tulisi asettaa pullonkaulan kapasiteetin tasolle (Goldratt 1984). Eikä prosessiin voida vapauttaa lisää tilauksia millekään pullonkaulaa edeltävälle työasemalle, kun prosessin pullonkaulan koko kapasiteetti on käytetty. (Lödding & Rossi 2013). Mabin ja Balderstone (2003) osoittavat tutkimuksessaan, että yritykset hyötyvät TOC:sta esimerkiksi lyhentyneinä läpimenoaikoina, jotka puolestaan kasvattavat yrityksen liikevaihtoa. Tuotannon rajoitteet tulee ensisijaisesti tunnistaa ja ohjata tuotantoprosessia näiden rajoitteiden mukaisesti. TOC ongelmanratkaisuprosessin vaiheet:

1. Identifioi systeemin rajoitteet
2. Ymmärrys rajattujen resurssien parhaasta mahdollisesta käytöstä
3. Muiden resurssien ohjaamisen tukemaan rajattua resurssia
4. Rajatun resurssin käytön maksimoiminen (ylityöt, lisäresurssit yms.)
5. Esteiden poistaminen rajatun resurssin maksimaaliselta hyödyntämiseltä (Corbett 1998)

Hyvin samankaltainen sovellutus ConWIP:n kanssa on Goldrattin (1984) kehittämä Rumpu-Puskuri-Köysi (Drum-Buffer-Rope, DBR) teoria, jonka avulla voidaan hallita tuotannon työkuormaa (kuva 5). Rumpu (Drum) on rajoitus tai pullonkaula, joka määrää koko järjestelmän tahdin, aivan kuten rumpu asettaa rytmin marssissa. Puskuri (Buffer) on suojaava välivarasto, joka vaimentaa alkupään prosessien vaihtelua ja ylläpitää tasaista työkulkua. Köysi (Rope) on viestintämekanismi, joka ohjaa työn vapauttamista varmistuen, että se vastaa rajoitteen kapasiteettia ja estää liiallisen työn lisääntymisen. Tämä teoria ConWIP:n tavoin toimii parhaiten MTO ympäristössä. Teoria pohjautuu tuotannon työkuorman hallintaan pullonkaulojen avulla. Suurin eroavaisuus ConWIP:iin on se, että DBR keskittyy työkuorman hallintaan pullonkaulan avulla eikä pyri erikseen hallitsemaan työkuormaa prosessissa pullonkaulan jälkeen. (Roser 2021).



**Kuva 5.** Rumpu-Puskuri-Köysi (DBR) (mukaillen Roser & Shook 2021)

Myös CONWIP:ä voidaan hallinnoida valitun tai valittujen pullonkaulojen avulla, jolloin ennen uuden tuotantotilauksen vapauttamista tuotantoon ei tarkastellakaan koko tuotantoprosessin vapaata kapasiteettia, vaan pullonkaulan kapasiteettia. DBR:ssä, jos pullonkaulan edessä puskurin raja ei täyty, voidaan lisätä tuotantotilauksia vapauttaa tuotantoon. CONWIP:ssä tarkastelu vapaasta kapasiteetista tehdään kuitenkin vasta, kun tuotantotilaus valmistuu tuotantoprosessista. (Roser 2021.)

Pullonkaulojen määrittäminen on tärkeää tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen näkökulmasta. Visuaalista havainnointia voidaan käyttää pullonkaulojen havainnoimisessa, tällöin tuotantoprosesseja havainnoidaan fyysisesti tuotantoon menemällä ja havainnoimalla tuotantotilausten pakkaantumispisteet. Prosessin eri vaiheet tulee tutkia järjestelmällisesti jokaisen vaiheen pullonkaulojen havainnoimisen varalta ja niiden määrittämiseen on löydetty monenlaisia tapoja visuaalisen havainnoinnin lisäksi. Pullonkauloja voi-

daan määrittää vertaamalla eri vaiheiden läpimenoaikoja hitaimpien toimintojen havaitsemiseksi (Hopp & Spearman 2000). Myös WIP:n kokoa seuraamalla ennen mahdollisia pullonkauloja voidaan havaita hitain prosessivaihe (Lawrence & Buss 1994). Myös keskimääräisiä odotusaikoja vertailemalla pystytään löytämään tuotantoprosessin pullonkaulat (Faget & Herrmann 2005). Tyypillistä tuotantolinjojen pullonkauloille on suurempi läpimenoaika kuin muilla asemilla. Läpimenoaika ottaa huomioon pitkittyneet huoltotoimenpiteet, asetusajat ja muut tekijät, kuten hylkäykset ja tuotantohävikin, jotka vaikuttavat tuotteen keskimääräiseen prosessointiaikaan (Hopp & Spearman 2000). Pullonkauloille on tyypillistä, että prosessinvaiheen aktiivinen aika on inaktiivista aikaa suurempi (Sengupta et al. 2008).

Betterton ja Silver (2012) tutkivat, että pullonkaulalla on yleisesti pienin lähtöjen välinen varianssi (Interdeparture Time Variance), koska tuotantokone on lähes koko ajan toiminnassa. Jos pullonkaula ei edeltävien prosessivaiheiden takia pysty operoimaan mitään jollain aikavälillä, vähentää se koko prosessin kapasiteettia. Tämän vuoksi tulisi keskittyä pullonkaulojen suorituskyvyn maksimoimiseen ja häiriöiden minimoimiseen. Tällöin alistamalla muita prosessin osia pullonkaulaprosessin tarpeille maksimoidaan pullonkaula prosessinvaiheiden käyttö minimoimalla odotusaika.

On olemassa erilaisia pullonkauloja ja ne voivat myös vaihdella (Roser et al. 2002). Varsinkin prosessissa, jossa on useampia erillisiä prosessinvaiheita, voi tietyn koneen häiriöt johtaa sen koneen päättymiseen pullonkaulaksi. Lyhyen aikavälin pullonkaulat johtuvat tilapäisistä ongelmista, kuten laitevioista tai poissaoloista, ja vaativat välittömiä operatiivisia toimia, kuten ylitöitä. Prosessin alussa olevat koneet ovat todennäköisemmin pullonkauloja kuin prosessin lopussa olevat, vaikka niiden käyttö olisi samalla tasolla (Roser et al. 2002).

Sitä vastoin pitkän aikavälin pullonkaulat jatkuvat perustavanlaatuisen kapasiteetin rajoitusten tai suunnitteluvirheiden vuoksi ja vaativat strategisia investointeja kapasiteetin laajentamiseen tai prosessien uudelleensuunnitteluun. Fyysisiin pullonkauloihin liittyy konkreettisia resursseja, kuten koneita, työasemia tai kuljetusta, ja ne korjataan tyypillisesti laitepäivityksillä tai layoutin muutoksilla. Ei-fyysiset pullonkaulat johtuvat aineettomista tekijöistä, kuten tiedonkulusta tai päätöksentekoprosesseista, ja ne voidaan ratkaista prosessien uudelleensuunnittelulla tai organisaatiokulttuurin mukauttamisella. Muuttuvat pullonkaulat, jotka voivat vaihtaa paikkaa arvaamattomasti eri prosessivaiheiden välillä, vaikeuttavat hallintaa ja vaativat dynaamista resurssien allokointia. Pullon-

kaulojen muodostumisen ja niiden luonteen tunnistaminen on ratkaisevan tärkeää joustavien tuotantoprosessien kehittämisessä. (mm. Sengupta et al. 2008; Goldratt & Cox 1986).

CONWIP, DBR ja Työkuorman hallinta (Workload Control, WLC) ovat kaikki tuotannon suunnittelu- ja ohjausstrategioita, joiden tavoitteena on hallita tuotannon virtausta erityisesti pienerätuotannossa (job shop). Näitä kolmen tuotannonohjaustavan eroavaisuuksia on vertailtu taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Eri tuotannonohjaustapojen vertailua.

	<b>CONWIP</b>	<b>DBR</b>	<b>WLC</b>
<b>Ohjaustapa</b>	Imuohjaus	Imuohjaus pullonkaulaan asti	Hybridi
<b>Fokusoituminen</b>	WIP:n kokonaisrajoittaminen	Pullonkaulat	Työkuorman kokonaisrajoittaminen
<b>Vapautustapa</b>	ConWIP kortit / kun puskurissa tilaa	Köysi	Kokonaiskapasiteetin mukaan
<b>Kompleksisuus</b>	Matala	Keskitaso	Korkea
<b>Toimii parhaiten</b>	Tasainen tuotantoympäristö	Pullonkaulavaltainen järjestelmä	High-mix, tarkat toimitusaikavaatimukset
<b>Toimitusvarmuus</b>	Kohtalainen	Kohtalainen	Korkea

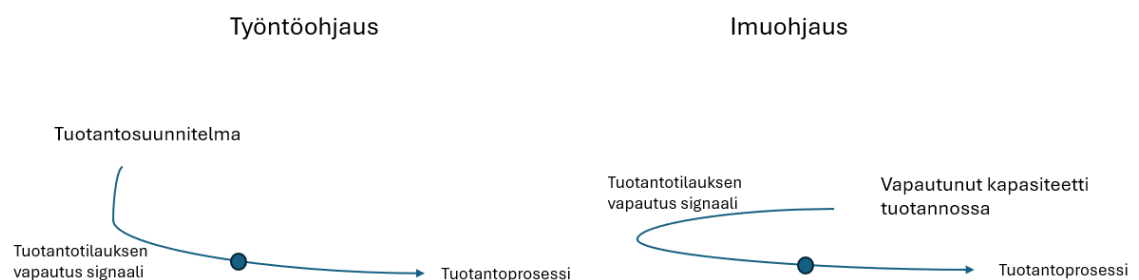
Taulukosta huomataan, että WLC on kompleksisempi, kuin ConWIP tai DBR. WLC on tuotantojärjestelmä, jossa kapasiteettirajoitteet korostuvat ja tämän vuoksi se on vaikeampi implementoida, kuin ConWIP tai DBR. Niillä kaikilla on kuitenkin samat tavoitteet, jotka ovat suorituskyvyn parantaminen, läpimenoajan lyhentäminen ja WIP:n hallinta (Thürer 2017).

Liikkuvat pullonkaulat aiheuttavat hämmennystä (Lawrence & Buss 1994) ja vaikeuttavat tuotannonohjausta (Craighead et al. 2001). Tuotannonohjauksessa joudutaan tekemään kompromissi (trade-off) pullonkaulan tehokkuuden suojelemaan ja lyhyiden läpimenoaikojen välillä, koska puskurivarastot suojaavat pullonkaulojen kapasiteettia tehokkaasti, mutta suuret puskurivarastot tuotannossa kasvattavat tuotannon läpimenoaikoja. On siis tärkeää löytää kompromissi näiden kahden väliltä ja määrittää vähimmäis- puskuri, jonka pitäisi pystyä suojelemaan pullonkaula operaation kapasiteettia yleisissä tuotannon ongelma- ja vikatilanteissa.

Umble ja Srikanth (1990) suosittelee, että puskurin koko pitäisi olla puolet tuotannon läpimenoajasta. Craighead et al. (2001) löysivät yhteyden suojaavan kapasiteetin ja lyhentyneen läpimenoajan väliltä, mutta korostavat WIP:n rajoittamista määrätulle tasolle. Suojaava kapasiteetti (protective capacity) tarkoitetaan ylimääräistä kapasiteettia, joka osoitetaan ei-pullonkaula operaatioille tuotannossa suojellakseen pullonkaulan kapasiteettia (Gondratt 1990; Lawrence & Buss 1994). Craighead et al. (2001) tutkimuksessaan pullonkaulaa ennen ja jälkeen sijaisevien prosessivaiheiden kapasiteettia verrattuna pullonkaulan kapasiteettiin nostettiin 110 prosentista 150 prosenttiin ja tällöin tuotannon keskimääräinen läpimenoaika pieneni 7 prosentilla. Pullonkaulan puskuria voidaan pienentää, jos tuotantoprosessissa on käytössä kohtuullinen suojaava kapasiteetti sen muilla prosessivaiheilla.

### 2.1.3 Työntö- ja imuohjaus sekä niiden yhdistelmä

Imu- ja työntöohjauksen ero on materiaalivirran ohjaustapa. Bonney et al. (1999) kuvaillee imuohjauksen toimintaperiaatteen niin, että informaatiovirta kulkee vastakkaiseen suuntaan, kuin prosessin materiaalivirta, jolloin tuotantoon tulee vapauttaa uusia tuotantotilauksia vain prosessin seuraavan vaiheen antaessa *signaalin*. Kanban-järjestelmä on yksi hyvä esimerkki imuohjauksesta (Bonney et al. 1999). Myös Venkatesh (1996) kuvailee imu- ja työntöohjauksen eroja vastaavalla tavalla, eli imuohjauksessa edeltävä tuotannonvaihe operoi vain silloin, kun se on saanut signaalin seuraavalta työvaiheelta. Poiketen edeltävästä työntöohjauksessa tuotantovaihe tapahtuu ilman seuraavan vaiheen signaalia (Kuva 6).

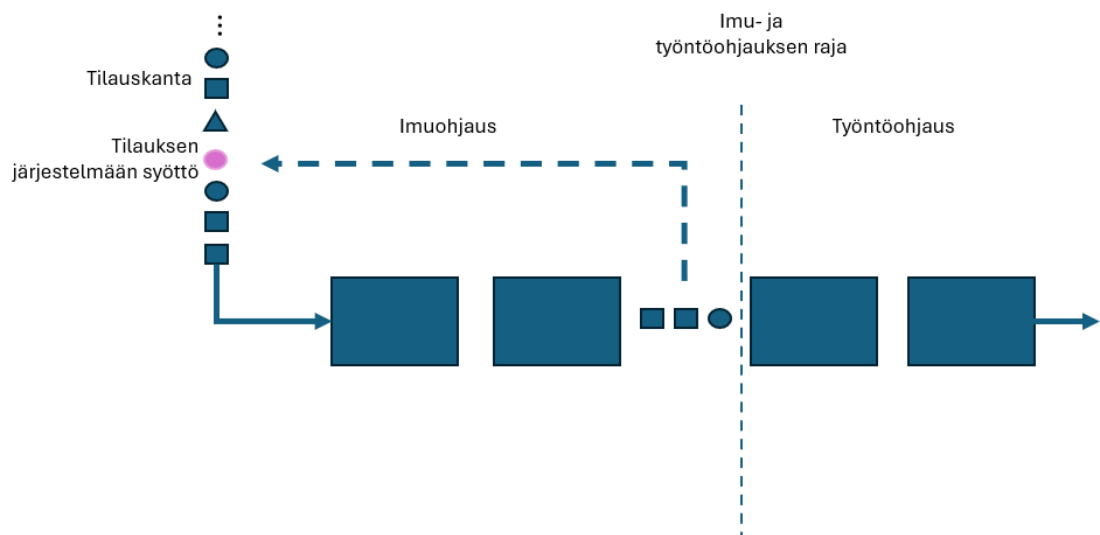


**Kuva 6.** Työntö- ja imuohjaus (mukailten Hopp & Spearman 2000)

Imuohjauksella pyritään pienentämään WIP:n määrää (Haverila et al. 2005). Monissa yrityksissä WIP on nostettu johdon tärkeäksi kysymykseksi, koska on tärkeä muuttaa se rahaksi kassavirran ja liikevaihdon parantamiseksi (Hemalatha et al. 2021). Keskenikäisen tuotannon pienentäminen parantaa yrityksen likvideettiä sekä helpottaa tuotannon

ennustettavuutta, joka parantaa asiakaspalvelua ja pienentää liiketoimintaan liittyviä riskejä (mm. Veil et al. 2011; Srinivasan & Viswanathan 2010). Aiemmistä tutkimuksista ei löydy yksiselitteistä näyttöä siitä, että matala WIP suoraan johtaisi korkeampaan laatuun tuotannossa, mutta aiempi kirjallisuus tukee erilaisten Lean-tekniikoiden käyttöönoton ja laadun paranemisen välistä yhteyttä. Leanin yksi tavoitteista on pienentää WIP:n määrää ja tämä viittaa epäsuoraan mutta merkitykselliseen yhteyteen WIP:n tason ja laadun välillä (mm. Gavriluță 2019; Alcaraz 2016). Keskeneräisen tuotannon vähentämisen tavoitteena on pienentää puskurivarastoja, ylläpitää jatkuvaa virtausta sekä välttää liiallista varastointia. (Hemalatha et al. 2021). On myös tärkeää varmistaa, että kunkin koneen ja työntekijän resurssit on käytetty oikein suhteessa kysyntään (Hemalatha et al. 2021). Tarkkojen ennusteiden avulla pystytään tarjoamaan hyvä pohja tuotannosuunnittelulle.

Syvempi tutkimus kuitenkin osoittaa, että imu- ja työntöohjauksen yhdistelmä (kuva 7) toimii parhaiten tuotantoympäristössä (Bonney et al. 1999). Imu- ja työntöohjaus voidaan yhdistää rajaamalla osa tuotantoprosessista toimimaan imuohjauksen periaatteilla ja loppu prosessi työntöohjauksen periaatteilla. On tärkeää valita rajapinnan sijainti huolella, jotta yhdistelmän avulla saadaan imuohjauksen tarjoama strateginen hyöty, mutta silti pystytään säilyttämään työntöohjauksen asiakaslähtöinen näkökulma. (Hopp & Spearman 2000.)



**Kuva 7.** Imu- ja työntöohjauksen yhdistelmä (Bonney et al. 1999).

Razmi et al. (1996) korostaa tutkimuksessaan, että imuohjaus systeemit toimivat tuotantoympäristössä, jossa kysynnän vaihtelu on vähäistä ja/tai materiaalien läpimenoajat ovat alhaiset ja/tai pääoman sitoutuminen ja kustannukset ovat alhaiset. Razmi et al. (1996) mukaan hybridi systeemi sopii tuotantoympäristöihin, joissa kysynnänvaihtelu on

vähäistä, läpimenoajat ovat pitkät sekä sitoutuminen että kustannukset ovat korkeat. Toisin sanoen imuohjaus toimii osana tuotannonohjausta ympäristöissä, joissa kysynnänvaihtelu on vähäistä.

#### 2.1.4 Läpimenoaika

Littlen lain mukaan läpimenoaika kasvaa suhteessa WIP:n kasvuun. Toisin sanoen läpimenoaikoja voidaan lyhentää pienentämällä keskeneräisen tuotannon määrää. (Hopp & Spearman 2000). Läpimenoaika kuvaa kokoisuudessaan aikaa, joka tarvitaan tietyn tuotteen valmistamiseen. Tarkastellessa tuotantoa voidaan rajata läpäisyajan analysointi valmistuksen läpäisy aikaan, eli aikaan työtilauksen saapumisesta osastolle siihen, kun se on valmis toimitettavaksi. (Haverila et al. 2005.)

Engehausen ja Lödding (2022) mukaan asetusajat (setup times) ovat riippuvaisia tuotantojärjestyksestä. Lyhyillä läpäisyajoilla on positiivinen vaikutus yrityksen toimintaan ja kilpailukykyyn (Haverila et al. 2005). Asetusaikoja voidaan pienentää ryhmittelemällä vastaavat tilaukset peräkkäin tuotantojärjestyksessä tai ryhmittelemällä tilaukset, joissa asetus aika on mahdollisimman pieni peräkkäin. (Lödding & Rossi 2013).

Asetusajalla tarkoitetaan aikaa, joka tuotantokoneen valmistetussa menee, ennen kuin kyseinen tuote voidaan prosessoida tuotantokoneella (Goldratt 1984). Asetusaikojen optimoimiseksi yritysten tulisi pyrkiä järjestämään tuotteet järkevään järjestykseen, jotka voidaan valmistaa peräkkäin ilman pitkiä asetus aikoja (Lödding & Rossi 2013). Lyhentyneet asetusajat lisäävät työaseman ja jopa koko prosessin kapasiteettia, jos kyseessä on tuotannonpullonkaula. Asetusaikojen optimoinnilla on yleensä myös positiivinen vaikutus WIP:n määrään. (Lödding & Rossi 2013).

Asetusajat ja prosessointiajat ovat tavallisimmin hyvin pieni osa kokonaisläpäisy ajasta (Goldratt 1984). Suurin osa läpäisy ajasta on odotusaikaa, jolloin itse työvaiheiden suorittamiseen kuuluu vain murto-osa kokonais ajasta. (Haverila et al. 2005.) Odotusaika voidaan jakaa kahteen erilaiseen odottamiseen: aikaan, joka menee odotellessa, kun muita tuotteita valmistetaan tuotantokoneilla (queue time) sekä aikaan, joka menee siihen, kun odotetaan puuttuvia komponentteja tuotteeseen (wait time). (Goldratt 1984.)

Tuotantokoneiden käyttöasteen maksimoiminen pyrkien hyödyntämään kaiken vapaana olevan kapasiteetin tuotannossa on kiistelty aihe. Kumar et al. (2020) argumentoivat, että vaikka koneiden käyttöasteen maksimointi voi parantaa tuotannon kokonaistehokkuutta, on samalla tärkeää ottaa huomioon tällaisen tuotannonohjaustavan vaikutukset resurssien hallintaan ja toiminnan tehokkuuteen kokonaiskuvassa.

Irjayanti et al. (2025) korostavat tuotannon läpivirtauksen optimointia ja koneiden seiso-tusaikojen minimoimisen tärkeyttä. Tutkimuksessa löydettiin tuotannon layoutin, virtauk-sen suoraviivaistamisen sekä työntekijöiden sijoittelun vaikutus tehokkuuteen sekä toi-mitusvarmuuden parantumiseen. Näillä toimilla pystytään parantamaan tuotannon te-hokkuutta eikä pelkästään tuotantokoneiden jatkuva käynnissä pitäminen tue tuotannon kokonaistehokkuuden tavoitteita. Myös Ezugwu (2024) korostaa, että keskittyminen tuo-tannon tehokkaaseen aikataulutukseen ja tehtävien hallintaan parantavat tuotannon te-hokkuutta sekä kestävyyttä selkeästi enemmän kuin pelkkä koneiden käynnissäpito.

## 2.2 Tuotantosysteemin hiljaisen tiedon siirtäminen

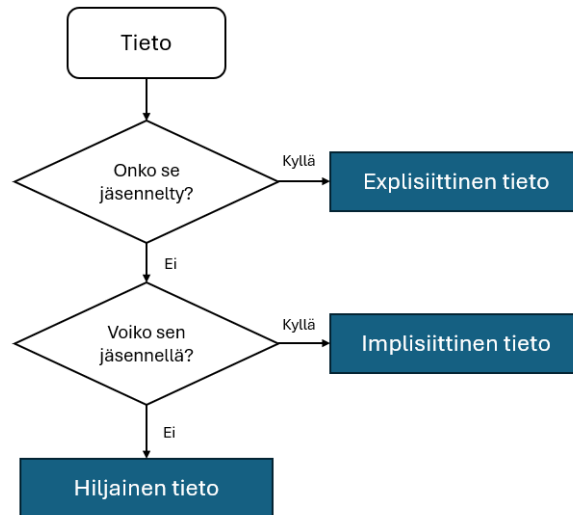
Tässä luvussa käsitellään keinoja hiljaisen tiedon siirtämiselle tuotanto organisaatiossa. Päällimmäisenä keinona käsitellään tiedon luomisen prosessia eli SECI-mallia, jonka avulla hiljainen tieto pystytään siirtämään strukturoiduksi eksplisiittiseksi tiedoksi, ja uu-delleen hiljaiseksi tiedoksi uusille työntekijöille – niin sanotuksi tekemällä opituksi tie-doksi. (Nonaka & Takeuchi 1995). Hiljaisen tiedon tehokas siirtäminen tukee tuotannon-ohjausmenetelmien toimivuutta, sillä se mahdollistaa tärkeän kokemustiedon hyödyntä-misen eri prosessivaiheissa. Tämän vuoksi hiljaisen tiedon siirtäminen näkyväksi, eks-plisiittiseksi tiedoksi, ei tue vain yksilön oppimista, vaan tuotannon tehokasta ja kilpailu-kykyistä toimintaa.

### 2.2.1 Tiedon ulottuvuudet

Tiedon eri ulottuvuudet esitellään usein Nonakaa ja Takeuchia (1995) eksplisiittisen ja hiljaisen tiedon määritelmää mukailleen. Eksplisiittistä tietoa voidaan ilmaista muodolli-sesti ja systemaattisesti. Se voidaan jakaa esimerkiksi datan, tieteellisten kaavojen ja käsikirjojen muodossa. Sitä voidaan käsitellä, siirtää ja varastoida suhteellisen helposti. Toisin kuin eksplisiittinen tieto, hiljainen tieto on henkilökohtaista ja vaikeasti muotoilta-vaa. Subjektiiiset oivallukset, intuitiot ja aavistukset ovat hiljaista tietoa. Hiljainen tieto juurtuu syvälle toimintaan, menettelyihin, rutiineihin, sitoutumiseen, ihanteisiin, arvoihin ja tunteisiin. Hiljaisen tiedon jakaminen on vaikeaa, koska se on abstraktissa muodossa. Hiljaista tietoa ei myöskään voida erottaa kontekstista, koska silloin sen tarkoitus voi muuttua (Nightingale 1998).

Nickols (2000) jakaa tiedon kolmeen kategoriaan: eksplisiittiseen, implisiittiseen sekä hil-jaiseen (tacit) tietoon (kuva 8). Hän esittää implisiittisen tiedon sellaiseksi, joka voidaan

muuttaa eksplisiittiseksi tiedoksi, kun taas hiljaisen tiedon sellaiseksi, jota ei voida muuttaa täysin eksplisiittiseksi. Kun tieto voidaan identifioida ja se saadaan määriteltyksi, implisiittinen tieto muuttuu eksplisiittiseksi.



**Kuva 8.** Implisiittinen tieto (Nickols 2000)

Jos hiljainen tieto voidaan muuttaa jäsenneeltäväksi tai muuten selkeästi ilmaistavaksi (articulating) tiedoksi, silloin se on implisiittistä tietoa. Implisiittinen tieto voidaan muuttaa eksplisiittiseksi tiedoksi. Osa tutkijoista kuitenkin näkee, että tieto itsessään sisältää sekä eksplisiittistä että hiljaista tietoa (esim. Polanyi 1966; Eraut 2004), jolloin niitä ei tulisi erottaa tarkastelussa toisistaan. Polanyi (1966) esittää, että ymmärtääkseen eksplisiittistä tietoa kunnolla, tulee oppijalla olla myös jonkin verran hiljaista tietoa asiasta. Eraut (2004) korostaa yksilön hiljaisen tiedon hyödyntämistä uuden (pääosin eksplisiittisen) tiedon omaksumisessa.

Reychav ja Weisberg (2009) tunnistivat yhteyden tiedon jakamisen ja asiakaslähtöisen toiminnan välillä. Heidän tutkimuksensa näyttää, että eksplisiittisen tiedon jakaminen käyttäen teknologisia sovellutuksia lisää asiakaslähtöistä toimintaa. Hiljaisen tiedon jakamisen auttaa työntekijöitä suoriutumaan työstään paremmin, joka itsessään lisää asiakaslähtöistä toimintaa. Hiljaisen tiedon tunnistaminen on tärkeää, jotta se voidaan muuttaa eksplisiittiseksi, dokumentoida ja tuoda kaikkien työntekijöiden tiedoksi.

Implisiittisen tiedon erottelu hiljaisesta tiedosta on haastavaa, minkä vuoksi tässä tutkimuksessa hiljainen tieto käsitellään yhtenä kokonaisuutena soveltaen Nonakan ja Takeuchin (1995) määrittelyä tiedon ulottuvuuksista. Samalla ymmärtäen, ettei kaikkea hiljaista tietoa välttämättä ole mahdollista muuntaa eksplisiittiseksi tiedoksi (Nickols 2000).

## 2.2.2 Tiedon luomisen prosessi (SECI-malli)

Tieto (knowledge) on uskomuksia, näkökulmaa, tarkoitusta ja sitoutumista, ja informaatio (information), toisin kuin tieto, on toimintaa. Ja tieto, kuten informaatio, on merkityssidonnaista, sisältökohtaista ja suhteellista. (Nonaka & Takeuchi 1995.) Nonaka ja Takeuchi loivat SECI-mallin tiedon luomisen prosessimalliksi, joka käsittelee tiedon luomisen neljä eri vaihetta. Kuvassa 9 on havainnollistettu tiedon luomisen prosessia, jossa tietoa jalostetaan SECI-mallin mukaan. Sosialisatio ja Sisäistäminen ovat hiljaisen tiedon luomisen tapoja, kun taas Ulkoistaminen ja Yhdistäminen ovat eksplisiittisen tiedon luomisen tapoja.

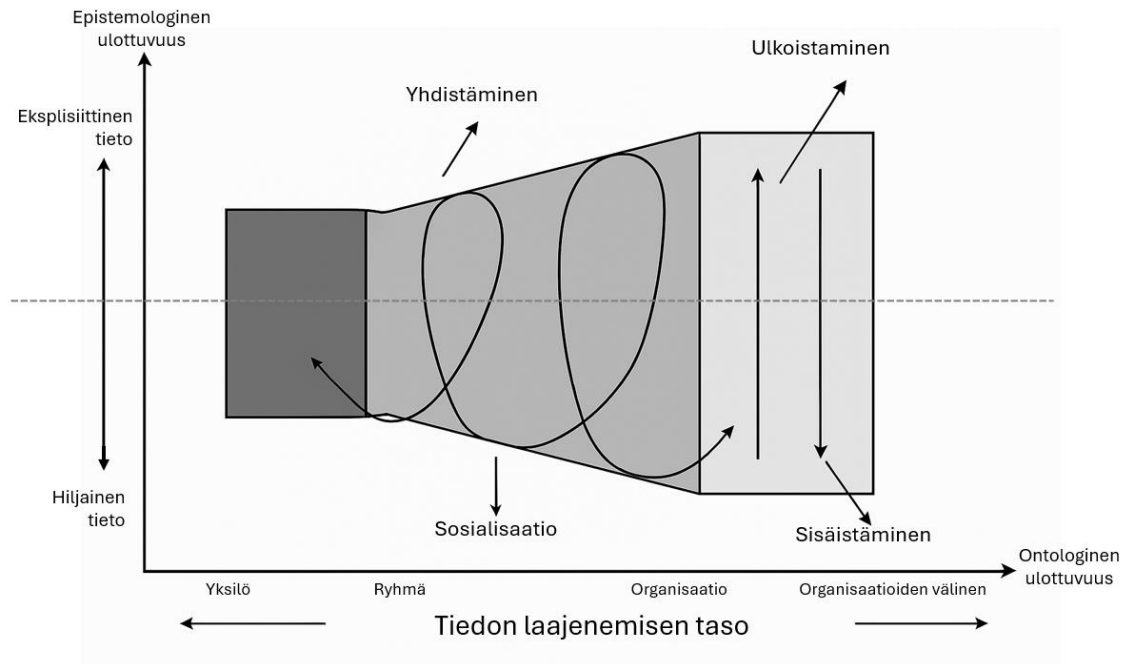


**Kuva 9.** SECI-malli (mukaillen Nonaka & Takeuchi 1995)

Sosialisatio (socialization) tapahtuu kahden yksilön tai yksilön ja ryhmän välillä tarkkailun, imitoinnin ja harjoittelun avulla. Se on tapa, jossa hiljainen tieto muunnetaan uudeksi hiljaiseksi tiedoksi. Työnperehdyttämisessä käytetään usein tätä tiedon luomisen tapaa. Ulkoistaminen (externalization) on tapa, jossa hiljainen tieto muotoillaan (articulating) eksplisiittiseksi tiedoksi ja sitä käytetään useimmiten esimerkiksi konseptisuunnittelussa, jossa pyritään hahmottamaan suuria kokonaisuuksia. Ulkoistamisessa käytetään metaforia (kertoo runollisesti, että jokin on jotain muuta) ja/tai analogeja (jokin on kuin jotain muuta selittävänä asiana) hiljaisen tiedon siirtämiseksi eksplisiittiseksi. (Nonaka & Takeuchi 1995).

Yhdistäminen (combination) on tapa, jossa eksplisiittinen tieto muunnetaan kompleksiseksi ja systemaattiseksi eksplisiittisen tiedon joukoksi ja yhdistetään yhtenäiseksi tietojärjestelmäksi tai systeemiksi. Yhdistämällä ja jalostamalla eksplisiittistä tietoa eri tietolähteistä pystytään luomaan uutta tietoa, joka on helpommin käytettävissä ja sovellettavissa. Yhdistetyllä tiedolla on merkittävä rooli esimerkiksi tuotannon sujuvassa hallinnassa ja johtamisessa. (Nonaka & Takeuchi 1995.) Kun hiljainen tieto on muunnettu sosialisointia, ulkoistamista ja yhdistämisen avulla strukturoiduksi eksplisiittiseksi tiedoksi, muuttuu tieto organisaatiolle tärkeäksi varannoksi. Kun tieto on saatettu systemaattiseksi tiedon joukoksi, pystytään se sisäistämään (internalization) ja muuttamaan jälleen hiljaiseksi tiedoksi. Sisäistämistä voidaan luonnehtia ”tekemällä oppimiseksi”. (Nonaka & Takeuchi 1995).

SECI-malli ei ole kertaluonteinen prosessi, jossa kaikki vaiheet - sosialisointi, ulkoistaminen, yhdistäminen ja sisäistäminen – käydään vain kerran läpi. Sen sijaan se etenee toisiaan seuraavien iteraatiokierrosten kautta, jolloin tietoa luodaan jatkuvasti. (Nonaka & Takeuchi 1995; Jghamou et al. 2022.) SECI-mallin mukainen tiedon luomisen prosessi on jatkuvan tiedon rikastamisen ja luomisen prosessi, jossa tieto muuntuu ja laajenee jatkuvasti sekä eksplisiittisen että hiljaisen tiedon ulottuvuuksissa. Tietoa luodaan yksilönä, ryhmänä sekä organisaationa, että organisaatioiden välillä. Kuvassa 10 on havainnollistettu SECI-mallin mukainen tiedon luomisen prosessi eri epistemologisilla ja ontologisilla ulottuvuuksilla. Epistemologinen ulottuvuus kuvaa tiedon luonnetta, tässä mallissa joko eksplisiittistä tai hiljaista tietoa. Ontologinen ulottuvuus taas kuvaa tiedon saatavuuden tasoa: yksilö, ryhmä, organisaatio tai organisaatioiden välinen. (Nonaka & Takeuchi 1995.)



**Kuva 10.** Tiedon spiraali (mukaillen Nonaka & Takeuchi 1995)

### 2.2.3 Hiljainen tieto tuotantokontekstissa

Nonakan ja Takeuchin (1995) SECI-malli tarjoaa prosessimaisen lähestymistavan hiljaisen tiedon siirtämiseksi eksplisiittiseen muotoon ja takaisin hiljaiseksi tiedoksi koko työyhteisön käytettäväksi, eritoten kokemustiedon siirtämiseen uusille työntekijöille. Tiedon eri ulottuvuudet - hiljainen, (implisiittinen) ja eksplisiittinen - auttavat tunnistamaan tiedon, joka on dokumentoitavissa ja jaettavissa koko työyhteisön käyttöön, sekä tiedon, joka voidaan siirtää vain vuorovaikutuksen ja käytännön kautta. (Nickols 2000.) Jotta tietoa voidaan siirtää onnistuneesti työyhteisön sisällä, tulee ymmärtää siihen liittyvät haasteet, jotka voivat hankaloittaa tiedon siirtoa SECI-mallin mukaisesti. Haasteita lisää se, että tutkimusten mukaan organisaatiot käyttävät huomattavasti enemmän aikaa luoden uutta tietoa, kuin pohtien miten olemassa oleva tieto saataisiin valjastettua organisaation hyväksi (Blanchard et al. 2007). Myös tiedon ja toiminnan välinen kuilu (the knowing-doing gap) nähdään haasteena organisaatioissa. Tällä tarkoitetaan haasteita muuttaa olemassa oleva tieto konkreettiseksi toiminnaksi organisaatioissa. Tiedon ja toiminnan välinen kuilu korostuu usein tilaus-toimitusketjun hallinnassa, jossa hiljaisen tiedon siirtäminen ja käytännön osaaminen ovat keskeisiä. (Pfeffer & Sutton 2000.)

Monet asiat voivat haitata organisaatiossa hiljaisen tiedon siirtämistä, muun muassa negatiivinen puhe, pelko, mittaaminen ja sisäinen kilpailu, estävät tiedon soveltamista käytäntöön. (Pfeffer & Sutton 2000.) Yksilön ongelmia tiedon hyödyntämisessä voivat olla muun muassa se, ettei tieto ole saatavilla tai se on virheellistä, vanhentunutta tai esitetty

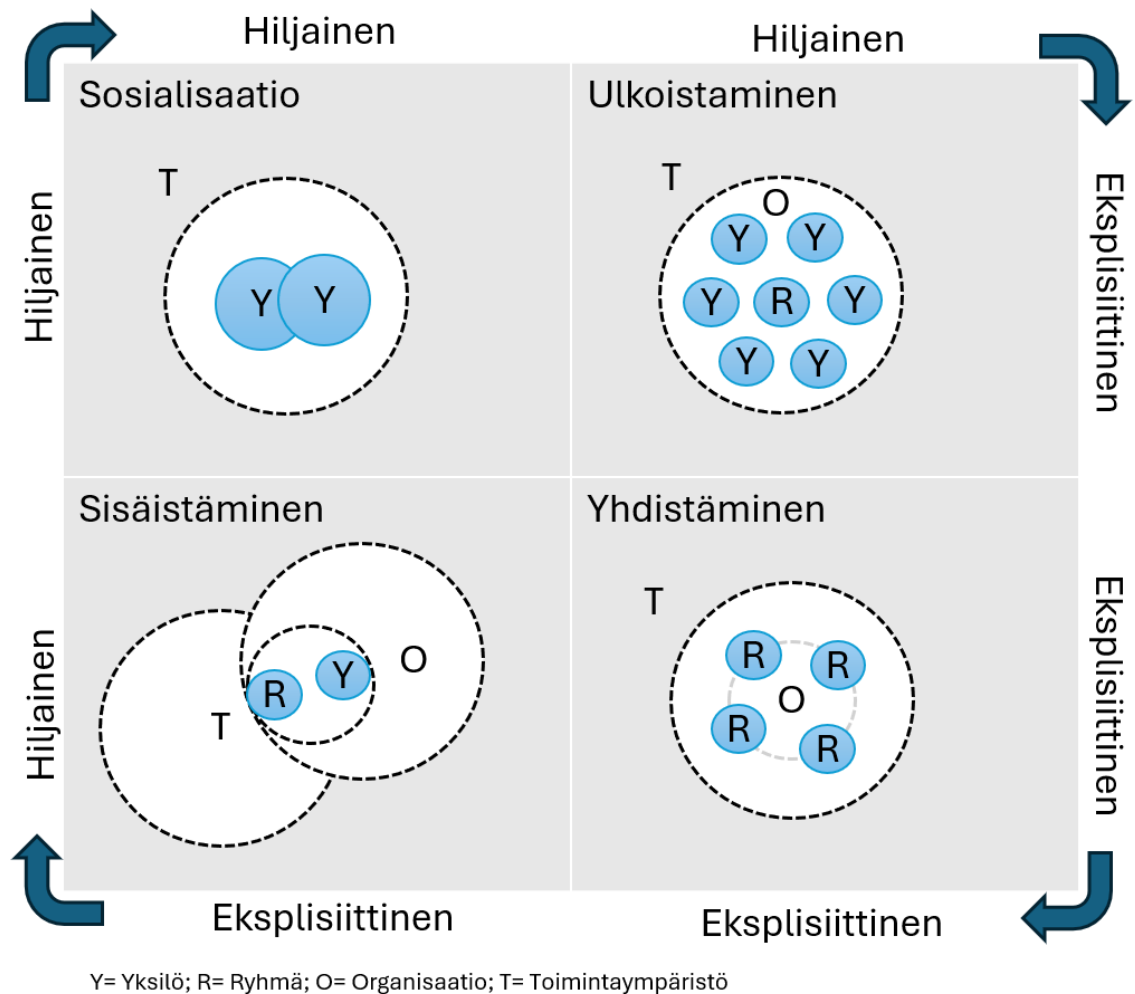
niin, ettei se ole ymmärrettävässä muodossa. Toisaalta syynä voi olla myös laiskuus ottaa asioista selvää, jolloin tehdään ”niin kuin ennenkin” tai ongelmaa ei ole tunnistettu, eikä tämän vuoksi ole ymmärretty hakea tietoa. (Haamann & Basten 2019). Taulukkoon 2 on koottu lista tekijöistä, jotka estävät tiedon jakamista.

**Taulukko 2. Tiedon jakamisen esteet**

<b>Esteen nimi</b>	<b>Kuvaus</b>	<b>Lähde</b>
<b>Rajoitteet transaktiivisen muistin hallinnassa</b>	Työntekijät eivät tiedä tiedon olemassaolosta tai sen lähteestä, mikä vaikeuttaa tiedon soveltamista.	Alavi & Tiwana (2002)
<b>Riittämätön yhteisymmärrys</b>	Työntekijät näkemykset ja toimintatavat eroavat toisistaan, mikä vaikeuttaa yhteisten toimintamallien mukaan toimimista.	Alavi & Tiwana (2002)
<b>Vanhentuneiden menetelmien käyttö</b>	Työntekijät turvautuvat vanhoihin toimintatapoihin, vaikka ne eivät sovellu uusiin tilanteisiin.	Pfeffer & Sutton (2000)
<b>Ajanpuute</b>	Ajanpuutteen vuoksi työntekijällä ei ole pääsyä tiedon äärelle, joten hän ratkaisee ongelman itse.	Davenport & Prusak (2000)
<b>Pelon kulttuuri</b>	Pelko estää työntekijöitä esittämästä parannusehdotuksia ja hyödyntämästä tietoa.	Davenport & Prusak (2000)
<b>Luottamuksen puute</b>	Luottamuksen puute saattaa heikentää työntekijöiden halukkuutta jakaa tietoa kollegoilleen.	Renzl (2008), Haamann & Basten, (2019)
<b>Laiskuus</b>	Työntekijällä ei ole halua hankkia tarvittavaa tietoa.	Haamann & Basten, (2019)

Monia näistä esteistä voidaan pyrkiä hallitsemaan, muun muassa Jones, Cline ja Ryan (2006) tutkimus korostaa, että tiedon jakaminen ei tapahdu itsestään, vaan organisaatiokulttuurilla on vahva vaikutus tiedon jakamisen ja luomisen prosesseissa, eikä sen roolia yrityksen kilpailukyvyn ylläpitämisessä pidä väheksyä. On tärkeää ymmärtää oman organisaation esteet tiedon luomiselle ja pyrkiä poistamaan nämä esteet.

SECI-mallin eri vaiheiden tiedon luominen tapahtuu erilaisten vuorovaikutusten kautta (Chujfi & Meinel 2020). SECI-mallin tavoite on saada rikastettua tietoa yhä korkeampiin ontologisiin ulottuvuuksiin, jotta tieto olisi koko organisaation käytössä. Kuvassa 11 on kuvattu SECI-mallin eri vaiheiden interaktiivista toimintaa, jonka avulla tietoa saadaan siirrettyä ja rikastettu hiljaisesta tiedosta eksplisiittiseksi ja jälleen hiljaiseksi tiedoksi. Kuvassa nähdään, että sosialisatiossa yksilöt jakavat tietoa toisten yksilöiden kanssa, kun taas ulkoistamisessa yksilöt jakavat tietoa ryhmälle ja yhdistämisessä ryhmät jakavat tietoa organisaatiolle. Sisäistäminen taas toimii kaikkien ulottuvuuksien vaikutuksesta.



**Kuva 11.** Tiedon luominen eri ontologisissa ulottuvuuksissa (mukailten Chujfi & Meinel 2020)

Aivoriihi (brainstorming) on hyvä esimerkki sosialisatiossa ja ulkoistamisessa yhdistelmästä. Sen avulla yksilöt pystyvät jakamaan tietojensa tietystä aiheesta ja muuttamaan sen eksplisiittiseksi kirjaamalla ajatuksia yhteisesti ylös. (Nonaka & Takeuchi 1995.) Yhdistäminen tapahtuu eksplisiittisen tiedon kokoamisena yhteen niin, että tieto on käytössä kaikilla samanlaisena. Kyse on uuden eksplisiittisen tiedon luomisesta jo olemassa olevan

muun eksplisiittisen tiedon pohjalta (Jghamou et al. 2022). Tällä voidaan tarkoittaa esimerkiksi yksittäisten työohjeiden kokoamista yhdeksi ohjemanuaaliksi. Yhdistämisellä varmistetaan, että kaikilla organisaation jäsenillä on yhtäläinen tieto ja mahdollisuus hyödyntää sitä. Muita yhdistämisen tapoja ovat muun muassa koulutusmateriaalin koostaminen, raporttien ja mittarien konsolidointi sekä useamman järjestelmän datan yhdistäminen. (Oliveira et al. 2011; Nonaka & Takeuchi 1995; Jghamou et al. 2022.) Sisäistäminen tapahtuu esimerkiksi koulutusten ja perehdytysten kautta sekä käytännön tekemisen avulla, kun työ opitaan konkreettisesti tekemällä (Nonaka & Takeuchi, 1995).

Baldé, Ferreira ja Maynard (2018) löysivät tutkimuksessaan yhteyden SECI-mallin käytön sekä tiimin sisäisen motivaation, että luottamuksen kasvuun. Myös yksilöiden luovuus lisääntyi SECI-mallia käyttäessä. On myös huomioitavaa, että tehokas tiedon hallinta tapahtuu tiimeissä, joissa tiedon lähde, yleisesti järjestelmä, on kaikille tuttu ja helposti saavutettavissa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että tiimeissä, joissa on transaktiivista muistia tukeva tietojärjestelmä käytössä suoriutuvat tehokkaammin työstä (Faraj & Sproull 2000).

### 3. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄ

Tämä tutkimus on tapaustutkimus, jossa tarkastellaan kohdeyritystä, tällöin tutkimuksessa kerätään yksityiskohtaista ja syvällistä tietoa yksittäisestä tapauksesta. Tapaustutkimukselle tyypillisiä on se, että tapausta tutkitaan sen ympäristössä ja luonnollisessa tilanteessa. Tapaustutkimuksessa analyysimenetelmät eli metodit voivat olla monenlaisia, kuten havainnointia, haastatteluja ja asiakirjojen tutkimista, ja ne valitaan sen mukaan, mitkä parhaiten sopivat tutkittavaan tapaukseen (Eriksson & Koistinen 2005). Tapaustutkimuksen tarkoituksena on kuvata tapaukselle tyypillisiä ilmiöitä. Tapaustutkimukselle on tyypillistä laadullinen (kvalitatiivinen) aineisto, mutta sen rinnalla käytetään usein myös määrällistä (kvantitatiivista) aineistoa (Deacon et al. 1998).

Vaikka tutkimuksessa tarkastellaan yksittäistä yritystä, voi se olla välillisesti merkittävä. Stake (1995) mukaan tapaustutkimus voi olla itsessään merkittävä, tai se voi toimia välineellisenä tapaustutkimuksena (instrumental case study), tällöin tapaustutkimuksella on välineellinen merkitys eli sen avulla pyritään ymmärtämään jotain laajempaa viitekehystä. Tällöin tapaus on kiinnostava yleisten teemojen tai teoreettisen viitekehänsä vuoksi. Tapaustutkimuksessa tapauksen määrittely, analysointi ja ratkaisu ovat tutkimuksen keskeisin tavoite (Eriksson & Koistinen 2005).

Tutkimuksessa käytetty data on kerätty useista erilaisista lähteistä yrityksen sisältä. Tutkimusaineisto on kerätty osaksi tuotannontyöntekijöiden ylläpitämistä Excel-tiedostoista, manuaaleista ja tuotannonsuunnittelussa tällä hetkellä käytettävistä raportointivälineistä sekä erilaisten mittausten avulla tuotantoprosessista. Empiiristä aineistoa on täydennetty havainnoimalla ja haastatteleamalla tuotannontyöntekijöistä. Haastattelut on pyritty toteuttamaan niin, että osallistetaan kaikkia tuotannontyöntekijöitä tutkimuksen aineistonkeruuseen.

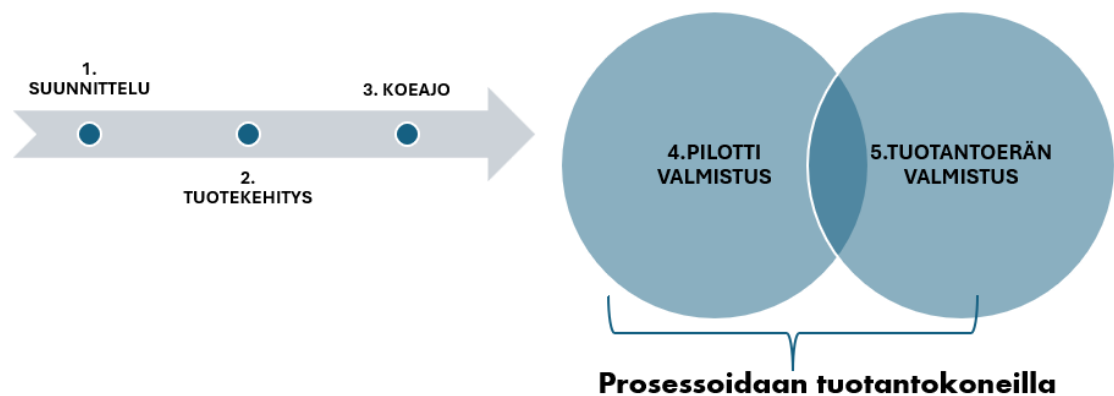
Tutkimuksessa pyritään vastaamaan kolmeen eri tutkimuskysymykseen, joissa keskitytään tutkimaan tuotantoympäristön nykytilaa, sen teknisiä ominaisuuksia ja määrittämään näiden ominaisuuksien pohjalta tuotannonsuunnittelujärjestelmälle vaatimukset. Tapaustutkimuksessa analyysimenetelmien valitseminen on haastavaa, koska itse tutkimusmenetelmä ei anna tarkkoja rajoituksia analyysimenetelmien käyttöön. Kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen on pyritty vastaamaan vertaamalla kerättyä aineistoa olemassa oleviin tutkimuksiin. Tavoitteena on löytää yhtäläisyyksiä näiden kahden väliltä ja osoittaa, kuinka aiempia käsitteitä ja malleja voidaan soveltaa tutkittavaan yrityksen tilanteeseen. Kerätyn datan avulla on pyritty löytämään osoitettuun malliin sopivia datan-

lähteitä, joiden avulla pystytään muodostamaan vaatimuksia vastaava tuotannosuunnittelujärjestelmä. Viimeiseen tutkimuskysymykseen, joka koskee tuotannon pullonkauloja, vastataan samoin vertaamalla aineistoa aiempiin tutkimuksiin ja etsimällä sovellettavia malleja ja käsitteitä yrityksen kontekstiin.

### 3.1 Tutkimusympäristö

Tutkimuksen tutkimusympäristönä toimii suomalaisen keskisuuren yrityksen tuotantoprosessi. Tuotannossa työskentelee noin 15 työntekijää ja tuotantoympäristö koostuu kymmenestä erilaisesta työpisteestä. Tuotantoprosessi on diskontinuoitu eli prosessin eri vaiheet tapahtuvat eri aikaan ja eri tuotantokoneilla, eivätkä ne ole suorassa fyysisessä yhteydessä koneiden välillä. Tuotantolaitos on niin sanottu puolivalmistetehdas, koska noin 70 % tuotteista lähtee vielä jatkoprosessointiin toiselle tehtaalle. Loput noin 30 % tuotteista lähetetään suoraan varastoon ja sieltä asiakkaille.

Yritys pitää arvossaan pääkonttorin yhteydessä sijaitsevaa tuotantolaitosta, joka mahdollistaa intensiivisen suunnittelu- ja tuotekehitysprosessin yhdistämisen operatiiviseen toimintaan. Tuotteen suunnittelutyö viimeistellään koeajoissa tuotannossa, jossa suunnittelu ja tuotantotekniset vaatimukset yhdistetään toimivaksi kokonaisuudeksi, jolloin tuote ja tekniset toteutustavat ovat yhteensopivia ja lopputuote vastaa sekä esteettisiä että tuotannollisia tavoitteita. Tuotteen suunnittelu- ja tuotantoprosessi on havainnollistettu kuvassa 12.

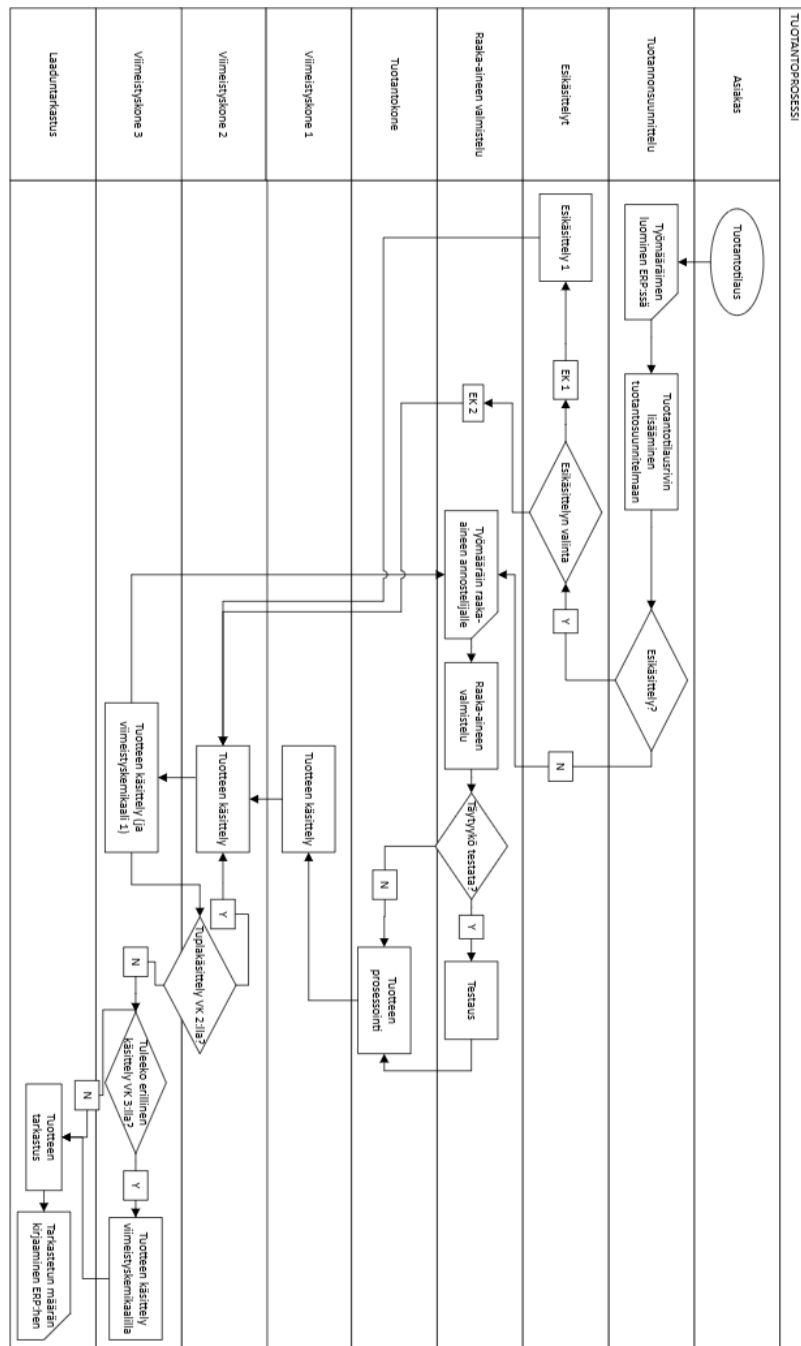


*Kuva 12. Tuotteen suunnittelu- ja tuotantoprosessi*

### 3.2 Nykytila-analyysi

Nykytila-analyysi tehtiin havainnoimalla tuotantoprosessia ja haastatteleamalla tuotannon työntekijöitä heidän omassa työympäristössään, niin kuin tapaustutkimukselle on luonnollista.

Nykytila-analyysissa hyödynnettiin SECI-mallin sosialisatiovaihetta tunnistamalla tiedon siirron käytännöt haastatteluiden ja havainnoinnin avulla. Tiedon siirto tapahtuu pääosin epämuodollisesti suullisten ohjeiden, yhteisten ongelmanratkaisutilanteiden ja käytännön työn seuraamisen kautta. Sosialisatian avulla pyrittiin ymmärtämään hiljainen tieto, joka on keskeinen tuotannonohjauksessa ja luomaan edellytykset sen ulkoistamiselle eksplisiittiseen muotoon. Osana nykytila-analyysin tuloksia saatiin prosessikuvaus, jossa kuvattiin tuotantoprosessin eri vaiheet. Tuotantoprosessi kuvattiin uimaratamallin (swimlane diagram) avulla, joka on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Tuotantoprosessi

Tällä hetkellä tuotantoa ohjataan Excel-taulukoiden avulla, joihin on laadittu viikko-ohjelmat (Tuotantokone 1 ja Tuotantokone 2). Viikko-ohjelmat muodostetaan tuotantotilauksista, jotka saadaan kahdesta lähteestä, joko toimitusketjun hallintatyökalun kautta tuotannonsuunnittelijan toimesta, tai erilliseltä Demand & Production Planning (DPP) -tiimiltä. DPP vastaa puolivalmisteiden jatkojalostustarpeiden suunnittelusta ja tekee niiden pohjalta tuotantotilaukset tutkittavan tuotantolaitoksen tuotannonsuunnittelijalle. Viikko-ohjelmien tuotantokapasiteetti määritetään prosessoitavien tuotteiden määrän perusteella sekä tuotannonsuunnittelijan kokemukseen perustuvan arvion avulla. Viikko-ohjelma jaetaan edeltävän viikon torstaina tuotantotyöntekijöille.

Osa tuotantotilauksista edellyttää esikäsittelyä ennen varsinaista tuotantokoneilla tapahtuvaa prosessointia. Esikäsittely voidaan jakaa kahteen erilliseen prosessiin: Esikäsittely 1 (EK 1) ja Esikäsittely 2 (EK 2). EK 1 suoritetaan erillisellä työpisteellä, jossa materiaali käsitellään ensin ja seuraavana päivänä materiaali siirtyy Viimeistyskoneille 2 ja 3 (VK 2 ja 3) jatkokäsittelyyn. Tuotantoprosessi ei välttämättä ole lineaarinen, vaan laitteistoa voidaan hyödyntää tuotannon eri vaiheissa. Tuotannonsuunnittelija tulostaa työmääräimet valmiiksi EK 1:n työpisteelle, ja tuotannontyöntekijä suorittaa materiaalin prosessoinnin sovittuna päivänä. Prosessointi EK 1:llä tapahtuu tyypillisesti edeltävällä viikolla ennen varsinaista tuotantoa Tuotantokoneella 1 tai 2 (TK 1 ja TK 2).

EK 2 koostuu joko materiaalin käsittelystä VK 3:lla tai VK:lla 2 ja 3. Tämä esikäsittely on tarpeen silloin, kun materiaali toimitetaan sellaisessa muodossa, jota ei voida suoraan prosessoida tuotantokoneella. Esimerkiksi tilanteissa, joissa materiaalin komponentit eivät ole riittävän puhtaita, jolloin ne täytyy käsitellä Viimeistyskoneilla ennen varsinaista tuotantoa.

Esikäsittelytiedot eivät siirry suoraan esikäsittelijöille, joten tuotantotyöntekijöiden on tarkastettava tuotantokoneiden työjärjestystä ja tarvittaessa reagoitava esikäsittelytarpeeseen sen pohjalta. Tuotannontyöntekijät katsovat seuraavan viikon viikko-ohjelmasta tuotantotilaukset ja oman ammattitaidon avulla aloittavat esikäsittelyt jo tarvittaessa edellisen viikon perjantaina.

Raaka-aineiden valmistelussa kaikki raaka-aineet, lukuun ottamatta esikäsiteltäviä materiaaleja, annostellaan tuotantoprosessia varten annostelujärjestelmän avulla reseptien mukaisesti. Jokaiselle tuotteelle on määritetty oma resepti, jonka oikeellisuus testataan vedosten avulla. Vedos otetaan lähes jokaisesta annoksesta ja niitä verrataan referenssiin laadun varmistamiseksi. Raaka-aineiden valmistelussa työskentelevä tuotannon-

työntekijä suorittaa ennakkoon viikko-ohjelman mukaiset raaka-aineannostelut tuotantoprosessia varten. Tyypillisesti raaka-aineet annostellaan valmiiksi seuraavan kahden tai kolmen päivän tarpeisiin, jotta tuotanto pysyy käynnissä ilman viivästyksiä. Varsinainen materiaalin prosessointi tapahtuu Tuotantokoneilla 1 ja 2 (TK 1 ja 2). Tuotantokone valitaan tuotantotilauksen edellyttämän prosessointitavan mukaan. Tuotteelle on määritetty sopiva kone koeajon perusteella, jolloin sen prosessointimenetelmä ja tarvittavat muotit on testattu ja vahvistettu joko TK 1:lle tai 2:lle. Muoteilla tarkoitetaan tuotantokoneella käytettäviä rakenteita, joiden avulla pystytään valmistamaan yksilöityjä tuotteita. Seuraava tuotantotyö valitaan viikko-ohjelman mukaan. Välillä viikko-ohjelman järjestystä vaihdetaan esimerkiksi tehokkuuden parantamiseksi. TK 1:llä valmistetaan kaikki sellaiset tuotteet, joiden tekniset vaatimukset sopivat sen kapasiteettiin ja ominaisuuksiin. Mikäli tuote vaatii laajempia erityisominaisuuksia, valmistetaan se TK 2:llä.

Tuotantokoneiden prosessitehokkuutta heikentävät pitkät vaihtoajat monimutkaisten tuotantotilausten välillä, sekä tuotantotilausten tuotantoaikojen huono ennustettavuus, joka voi aiheuttaa tehotonta aikaa työvuorojen lopussa. Lisäksi ohuiden materiaalien prosessointi vaatii erityistä huomiota esimerkiksi koneen puhdistuksen ja toimivuuden osalta, joka lisää osaltaan tuotannon epävarmuutta.

Tuotantokoneiden jälkeen prosessoitava tuote jatkaa VK:lle 1, jossa tuotteen viimeistely aloitetaan. Koneen ajonopeus tyypillisimmällä annosreseptillä on sama eikä koneen ajojärjestyksellä ole merkitystä. VK:n 1 eteen kasaantuu puskurivarastoa vain, jos tuotantotyöntekijää ei saada työpisteelle jonakin työpäivänä esimerkiksi poissaolon vuoksi. Seuraavaksi tuotteet menevät VK:lle 2, joka toimii samatahtisesti VK 3:n kanssa, jolloin näiden koneiden ajonopeudet tulee olla keskenään samat. Viimeistyskoneeseen 2 syötetään tuotetta toisesta päästä ja toisesta päästä se kuljetetaan VK 3:lle. Tuotteen käsittely VK 2:lla tapahtuu reseptin tummuuden mukaan joko kerran tai kahdesti. Suurin osa tuotteista luokitellaan tummaksi, joten useassa tapauksessa tuote joudutaan käsittelemään kahdesti. Osa materiaaleista vaatii toistuvan käsittelyn, vaikka resepti olisikin vaalea. Tällä hetkellä suurin puskurivarasto sijaitsee VK:n 2 ja 3 edessä. Puskurissa saattaa olla noin kahden viikon työt jonossa. Töitä ei ohjata FIFO (First-In-First-Out) periaatteen avulla, vaan tuotantotyöntekijä valitsee viimeisteltävät tuotteet oman osaamisensa ja tuotannonsuunnittelijan toiveiden perusteella.

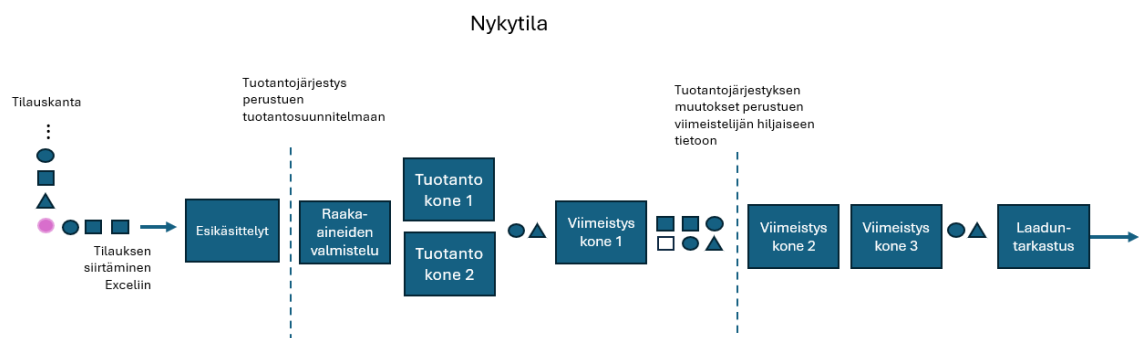
Viimeisenä tuote käsitellään VK 3:lla. Huomattava osa tuotteista viimeistellään VK 2:n käsittelyn jälkeen VK 3:lla käsittelyllä 1, joka voidaan ajaa suoraan tuotteeseen ensimmäisellä käsittelykerralla. Joissakin tuotteissa ei ole ollenkaan erillistä käsittelyä, vaan tuote vain kuivataan VK 3:lla (kuivaus). Muut viimeistykset ajetaan kuivaan tuotteeseen,

joten kangas pitää ensin ajaa koneen lävitse ja sen jälkeen uudelleen läpi käsittelykemi-  
kaalin kanssa. Jotkin käsittelyt ovat aikaa vieviä ja ruuhkauttavat viimeistykseen.

Kun tuotteet ovat valmiita, tehdään niille laaduntarkastus laaduntarkastusosastolla. Tuot-  
teet voidaan jakaa kahteen kategoriaan (Tuote 1 ja Tuote 2), joiden laaduntarkastus ta-  
pahtuu omilla koneillaan. Tuotteet 1 lähetetään jatkojalostettavaksi ja Tuotteet 2 lähete-  
tään varastoitavaksi laaduntarkastuksen jälkeen, koska ne ovat valmiita tuotteita. Näiden  
kahden tuotteen välinen tuotemix on epätasainen ja eri laaduntarkastuspisteet ruuhkau-  
tuvat vuorotellen.

Tällä hetkellä tuotannosuunnittelu toimittaa tuotantotilauksen perustiedot tuotantoon,  
kuten materiaalitiedot, reseptit, koneasetukset, tilausmäärät ja tiedon siitä, onko ky-  
seessä Tuotteen 1 vai 2 tilaus. Satunnaisesti osa tarvittavista tiedoista ei ole saatavilla  
tuotannontyöntekijöillä, mikä vaikuttaa negatiivisesti työtehokkuuteen sekä työtyytyväi-  
syyteen.

Tuotantoa ohjataan tällä hetkellä TK 1:n ja 2:n työjärjestyksen avulla. Työjärjestys on  
näkyvässä Excel-taulukossa, joka jaetaan kerran viikossa tuotantotyöntekijöille. Tämän  
jälkeen tuotantotilaukset siirtyvät VK 1:n kautta VK 2:n edessä odottavaan puskurivaras-  
toon, jossa niitä ei välttämättä käsitellä saapumisjärjestyksessä. Tieto muiden, kuin Tuot-  
tantokoneiden, prosessivaiheiden tuotantojärjestyksestä puuttui kokonaan. Puuttuvan  
tiedon vuoksi tuotannossa tehdään paljon päätöksiä hiljaiseen tietoon perustuen. Myös  
priorisointeja tapahtuu tällä hetkellä paljon tuotannosuunnittelijan toimesta. Priorisointi  
tapahtuu suusanallisesti kerrottuna tuotannontyöntekijöille. Kuvassa 14 on hahmotettu  
tuotannonohjaus prosessin nykytilassa. Tuotantojärjestys perustuu tuotantosuunnitel-  
maan, mutta se saattaa muuttua prosessin aikana. Tuotanto on tällä hetkellä työntöoh-  
jattu eikä tuotannon eri työvaiheiden kapasiteettia oteta huomioon tuotannosuunnitte-  
lussa.



**Kuva 14.** Nykytila

Nykytila-analyysin perusteella tuotantoprosessin pullonkaula on limittäin toimivat tuotantokoneet VK 2 ja 3, koska tähän kohtaan työvaihetta muodostuu satunnaisesti yli kahden viikon puskuri suurista ylityömääristä riippumatta. Edellisten vuosien aikana ylitöiden määrä on ollut huomattavan korkealla VK 3:n osalta. Erityisesti aikaa vieviä tuotantotilauksien viimeistelyä on tehty viikonloppuvetoisesti jo pidemmän aikaa.

Nykyisellään tuotannonsuunnittelu keskittyy suunnittelemaan Tuotantokoneiden tuotantojärjestystä, mikä perustuu tuotantotilauksen toimituspäivään. Tämän jälkeen tuotantojärjestys ei kuitenkaan kunnioita tuotannosuunnitelman järjestystä, vaan tuotanto VK:illa 1, 2 ja 3 tapahtuu tuotantotyöntekijän valitsemassa järjestyksessä. Tämä voi johtua satunnaisiin erittäin pitkiin läpimenoaikoihin. Koska tuotantoprosessi ei toimi FIFO periaatteen mukaisesti, saattaa jotkin tuotteet jäädä huomattavan pitkäksi aikaa odottamaan viimeistystä. Pitkien läpimenoaikojen vuoksi on vaikea pysyä luvatuissa toimitusajoissa. Tällä hetkellä tuotantojärjestyksen hallinnoimiseen ei ole muuta keinoa, kuin fyysisesti tuotannosta käsin ohjaaminen. Tuotannonsuunnittelijalla on näin vain rajattu keino vaikuttaa todelliseen tuotantojärjestykseen Tuotantokoneiden jälkeen.

Tilauksien kysyntä on vaikeasti ennustettavaa. Useat tilaukset tulevat ennustamatta tai eri aikataulussa kuin oli arvioitu. Tilaukset tulevat usein hyvin nopealla aikataululla. Lähtökohtaisesti suuret tilaukset tehdään neljästi vuodessa, jonka lisäksi kysyntä koostuu kampanja- ja kustomoiduista tilauksista sekä jatkuvan malliston tilauksista. Teoriassa jatkuvan malliston avulla kysyntää pystyttäisiin tasapainottamaan, koska tilauksia voitaisiin ohjata MTS-ohjauksen tavoin. Näin ei kuitenkaan tehdä tällä hetkellä.

## 4. TULOKSET JA TULOSTEN ANALYYSINTI

Nykytila-analyysissa nousi esille useita haasteita, jotka liittyivät tiedon jakamiseen ja tuotannon ohjaukseen. Nykytilassa tiedon jakaminen tuotannossa ei ole systemaattista ja suuri osa päätöksistä perustuu tuotantotyöntekijöiden hiljaiseen tietoon. Viikko-ohjelma ei kata kaikkia tuotannonvaiheita, jolloin suuri vastuu jää muun muassa esikäsittelyiden osalta tuotantotyöntekijöiden intuition ja kokemuksen varaan. Koska selkeää viikko-ohjelmaa ei ole saatavilla, aiheuttaa se erityisesti haasteita prosessin sujuvuudessa ja tehokkuudessa. Tämä on erityisesti havaittavissa, kun päätöksiä tehdään ilman selkeää tietoa esikäsittelyistä tai muiden työvaiheiden priorisoinneista. Niin kuin Reyhav ja Weisberg (2009) havaitsivat, hiljaisen tiedon jakaminen parantaa asiakaslähtöisyyttä ja työntekijöiden työssä suoriutumista. Tuotannossa hiljaisen tiedon siirtäminen eksplisiittiseksi tiedoksi toisi tuotantoprosessin eri vaiheet näkyvämmiksi ja auttaisi parantamaan tehokkuutta, koska tuotantosuunnitelma luotaisiin eksplisiittiseen tietoon perustuen. Tällöin tuotantosuunnitelma olisi mitoitettu oikein tuotannon kapasiteettiin nähden, eikä tuotannon ohjaaminen jäisi yksittäisten työntekijöiden osaamisen varaan.

Organisaatiokulttuurilla on suuri vaikutus tiedon jakamiseen (Jones, Cline & Ryan 2006). Nykytilanteessa organisaatiokulttuuri ei tue tehokasta tiedon jakamista, sillä tiedon siirto perustuu osin suusanallisiin ohjeisiin ja on suurimmaksi osaksi epävirallista. Tämän vuoksi tuotannon työntekijöiden on tehtävä päätöksiä hiljaisen tiedon varassa, ilman tarvittavaa eksplisiittistä tietoa. Tuotannonsuunnittelija ohjaa ja priorisoi tuotantoa suusanallisesti, mikä altistaa virheille. Tiedonjakamisen esteet, kuten kunnollisen järjestelmän puuttumisen sekä epäselvät tiedonsiirron prosessit, heikentävät koko tuotannon sujuvuutta ja ennustettavuutta, mikä on havaittavissa myös nykytila-analyysissä. Kun tietoa ei jaeta systemaattisesti, organisaation kilpailukyky kärsii, koska prosessin ennakoitavuus ja tehokkuus heikkenevät. Niin kuin Baldé, Ferreira ja Maynard (2018) tutkimus korostaa, on tärkeää jakaa hiljaista tietoa tiimissä. Jakamalla tietoa voidaan parantaa päätöksentekokyvykkyyttä ja vähentämään epävarmuutta.

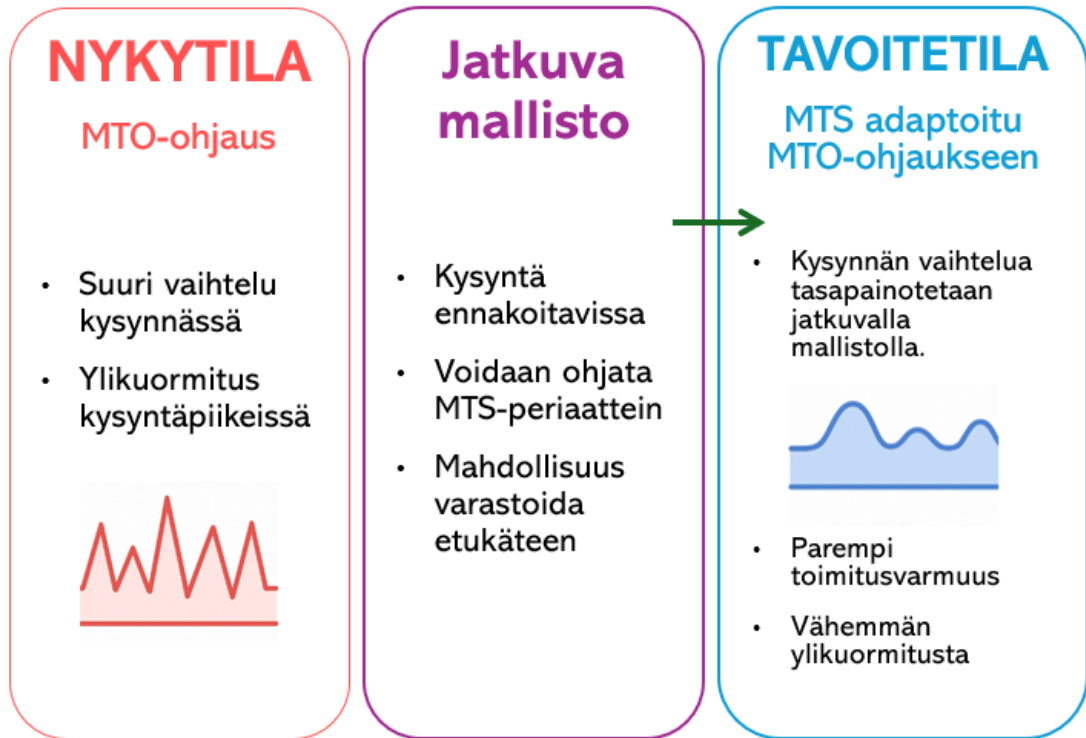
### 4.1 Tuotannonsuunnittelujärjestelmän konsepti

Tutkittavan tuotantoympäristön työntekijöiden työtyytyväisyys on ollut matala edellisten vuosien mittauksissa, mikä voi osakseen selittyä epäselkeillä työnkuvilla ja tuotannonsuunnittelun sekä -ohjauksen puuttumisella. Tutkimuksessaan Addae, Parboteeah ja Velinor (2008) huomasivat, etteivät työntekijät toimi yhtä tehokkaasti, kun heidän vastuunsa eivät ole selkeät. Saman huomasivat myös Um ja Harrison (1998), kun he tutkivat työtyytyväisyyden vähentymistä epäselkeiden työnkuvauksien vuoksi. Ramhit (2019)

löysi negatiivisen korrelaation työtyytyväisyyden ja epäselkeiden työtehtävien väliltä. Tämän perusteella selkeällä tuotannosuunnittelukonseptilla olisi positiivinen vaikutus myös työtyytyväisyyteen.

Tuotannonohjauksen keskeisiä tavoitteita ovat kapasiteetin korkea tuottavuus, toimintaan sitoutuneen vaihto-omaisuuden minimointi, toimitusvarmuus sekä tuotannon läpäisyajan minimointi. Erityisesti läpäisyajojen minimointi edistää näiden kaikkien tavoitteiden toteutumista (Haverila et al. 2005). Hallitsemalla keskeneräisen tuotannon määrää pystytään lyhentämään läpäisyajoja, koska tuotantokoneiden eteen ei muodostu usean päivän tai viikon puskuria. Imuohjauksella voidaan vähentää WIP:n määrää (Haverila et al. 2005), joskin syvempi tutkimus osoittaa, että MTO-MTS hybridi tuotantoympäristössä, sekä imu-, että työntöohjauksen yhdistelmä toimii parhaiten (Bonney et al. 1999). Tämän vuoksi tuotannosuunnittelukonseptissa tulisi pystyä hallinnoimaan tuotantoa imuohjauksen periaattein, mutta tarvittaessa huomioida muun muassa pilottivalmistuksen ja muiden tuotannon erityispiirteiden vaikutus ohjaustapaan, ja tämän vuoksi myös työntöohjauksen periaatteita tulee voida soveltaa tuotannonohjauksessa.

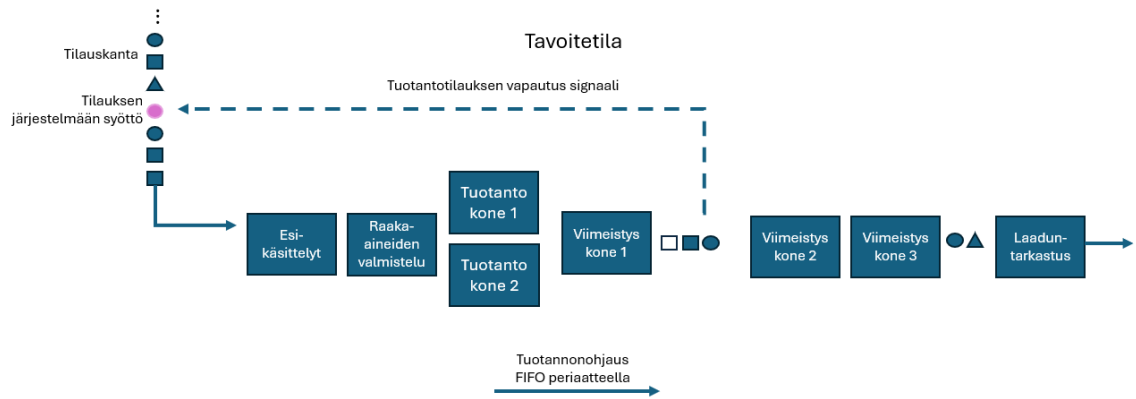
On osoitettu, ettei MTO yksissään välttämättä riitä hallitsemaan asiakkaan kysyntää (Costa et al. 2023) ja siksi MTS tulee adaptoida MTO-tuotannon kanssa tuotannonohjausmuodoksi, jolloin pystytään reagoimaan paremmin kysynnänvaihteluun ja ennustamattomiin tilauksiin. Nykytila-analyysin mukaan suurin osa kysynnästä ohjautuu MTO-tuotantona, mutta muista poiketen jatkuvan malliston kysyntää voitaisiin ohjata MTS-tuotannon periaatteiden mukaan. Kysynnän tasapainottaminen jatkuvan malliston avulla on havainnollistettu kuvassa 15. Tasapainottamalla kysyntää MTS:n avulla pystytään pienentämään kysyntäpiikeistä aiheutuvaa ylikuormitusta.



**Kuva 15.** Jatkuva mallisto kysynnän tasapainottamisen työkaluna

On kuitenkin huomioitava, että asetus- ja prosessointiajat muodostavat yleensä vain pienen osan tuotteen kokonaisläpäisyajasta (mm. Goldratt 1984; Haverila et al. 2005). Siksi tuotannosuunnittelukonseptia kehitettäessä on tärkeää pyrkiä minimoimaan tuotannon odotusajat. Toisaalta lyhyemmät asetusajat lisäävät työasemalle kapasiteettia ja voivat kasvattaa koko tuotantoprosessin kapasiteettia, mikäli kyseessä on pullonkaula. Lisäksi asetusajojen optimoinnilla on yleensä positiivinen vaikutus WIP:n määrään (Lödding & Rossi 2013). Vaikka asetusajojen osuus kokonaisläpäisyajasta on pieni verrattuna odotusaikaan, on hyvin tärkeää löytää keinot asetusajojen optimoimiseen odotusajan minimoimisen rinnalla. Koska asetusajat ovat riippuvaisia tuotantojärjestyksestä (Engehausen & Lödding 2022), tuotannosuunnittelujärjestelmän tulisi olla kyvykäs edistämään optimaalisen tuotantojärjestyksen muodostamista.

Kuvassa 16 on esitelty tuotannonohjauksen tavoitetila, joka perustuu tuotannosuunnittelukonseptiin. Konseptissa tuotantoa ohjataan FIFO-periaatteella, ja VK 2 edessä oleva puskuri määrittää uusien tuotantotilausten vapauttamisen tuotantoon. Lisäksi hyödynnetään Rumpu-Puskuri-Köysi-periaatetta, jossa limittäin toimivat tuotantokoneet VK 1 ja 2 muodostavat rummun ja VK 1:n edessä sijaitsee puskuri.



**Kuva 16.** Tuotannonohjauksen tavoitetila

Tuotannon pullonkaulojen luonne ei kuitenkaan ole yksiselitteinen. Määritysmenetelmän mukaan tuotannonpullonkaula on joko limittäin toimivat VK 2 ja 3 tai Tuotantokone 1. Tämänhetkisen visuaalisen havainnoinnin perusteella pullonkaulana olisi VK 2 ja 3, jonka perusteella DBR-järjestelmä tulisi implementoida niin, että pullonkaula sijoittuisi tähän. Myöhemmin tässä luvussa (4.3) tutkitaan tarkemmin tutkittavan tuotantoympäristön pullonkaulojen luonnetta.

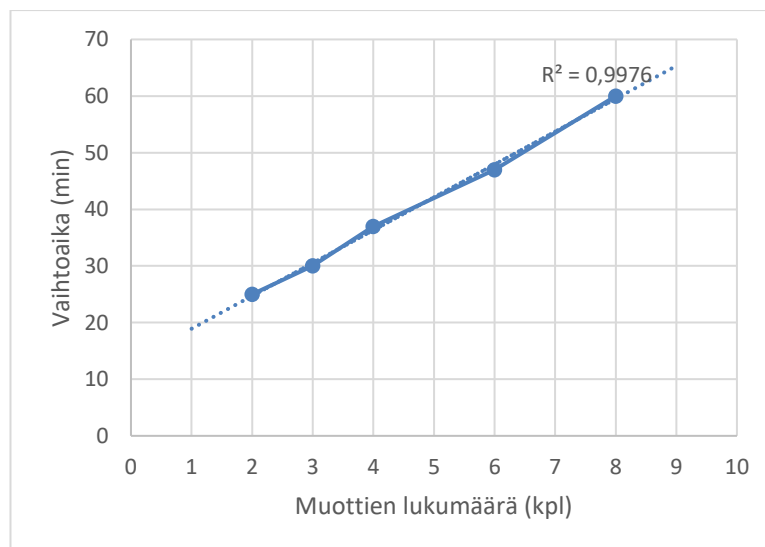
## 4.2 Tuotantodatan käyttö tuotannosuunnittelujärjestelmässä

Tuotannosuunnittelukonseptin muodostaminen edellyttää, että tuotantoa ohjata tuotannosuunnittelujärjestelmän avulla. Jotta tuotannosuunnittelujärjestelmä voidaan luoda, tulee tuotannon hiljainen tieto siirtää eksplisiittiseksi ja jalostaa tuotannosuunnittelujärjestelmän tiedoksi. Nykytila-analyysin perusteella huomataan, että pääsääntöisesti vain Tuotantokoneiden 1 ja 2 tuotantoa ohjataan järjestelmän avulla, ja muut prosessinvaiheet pyörivät lähinnä hiljaisen tiedon varassa. Jotta tuotantoa voidaan suunnitella ja ohjata, pitää määrittää eri prosessinvaiheille läpimenoajat sekä esikäsittelyyn että tuotantojärjestykseen vaikuttavat tekijät.

Hiljaisen tiedon perusteella ymmärrettiin tarvittavat parametrit, joiden avulla kapasiteettia ja tuotannon virtausta pystyttäisiin hallitsemaan tuotannosuunnittelujärjestelmässä. Tämä vaihe edustaa SECI-mallin sosialisatiota, jossa hiljainen tieto jaettiin ja muodostettiin yhteinen ymmärrys kokonaisuudesta. Tässä kappaleessa käsitellään tuotantodataa eri prosessinvaiheista ja määritetään keskimääräiset läpimenoajat tuotteille. Tätä varten tuotannossa suoritettiin mittauksia sekä koottiin ja täydennettiin tietoa eri Excel-taulukoista ja manuaaleista. Näin hiljainen tieto ulkoistettiin eksplisiittiseksi tiedoksi, mikä loi perustan tiedon yhdistämiselle ja tuotannosuunnittelujärjestelmän rakentamiselle.

Tuotantokone 1:n ajonopeuteen vaikuttaa merkittävimmin prosessoitavan materiaalin huokoisuus, jolloin tuotantotilausten prosessointiaikojen määrittämiseen voidaan käyttää materiaalikohtaisia ajonopeuksia. Nämä materiaalikohtaiset ajonopeudet on määritetty Tuotantokone 1:n työntekijöiden ylläpitämästä Excel-taulukosta, johon on kirjattu muistiin käytetyt prosessointinopeudet ja teknisiä huomioita, kuten muottien asettelu, helpottamaan tulevia valmistuskertoja kyseisellä tuotteella. Tuotantokoneen materiaalikohtaiset työstönopeudet on listattu liitteessä A. Liitteessä ilmenee, että vakionopeuksina voidaan materiaalista riippuen käyttää kolmea eri vaihtoehtoa: 12 m/min, 15 m/min tai 18 m/min. Materiaalien paksuudesta ( $\text{g/m}^2$ ) ei löydetty yksiselitteistä yhteyttä työstönopeuteen. Paksummat materiaalit vaativat yleisesti hitaamman työstönopeuden, mutta myös osa ohuemmista laaduista. Työstönopeudet ovat suurimmillaan neliöpainoltaan keskellä olevissa materiaaleissa. Jokaisen materiaalin keskimääräinen työstönopeus voidaan yksilöidä ja käyttää tuotannonsuunnittelujärjestelmässä.

Tuotantokoneen 1 vaihtoajat mitattiin kahden viikon ajan ja mittaukset perustuivat käytettyjen muottien määrään. Tulokset syötettiin kuvaajaan ja havaitaan, että vaihto aika kasvaa suhteessa muottien lukumäärän kasvuun. Kuvaajaan lisättiin sovitettu trendikäyrä (kuva 17), joka osoittaa, että lineaarinen malli sopii erinomaisesti dataan, jolloin puuttuvat muottien lukumäärät voidaan laskea lineaarisen regressiomallin perusteella. TK 1:n kapasiteetti päivässä on noin 7,5 tuntia. Lisäksi likaa keräävät osat tulee pestä ennen ohuiden materiaalien tai poikkeavan raaka-aineannoksen käyttöä. Tähän pesuun kuluu arviolta 30 minuuttia.



**Kuva 17.** Tuotantokoneen 1 vaihtoajat

Noin 90 % vuoden 2024 tuotannosta valmistettiin TK 1:llä ja loput 10 % TK 2:llä. Koska TK 2:n valmistusmäärät ovat huomattavasti TK 1:stä pienemmät, ei konetta tarvitse ope-roida, kuin keskimäärin yhtenä päivänä viikosta. TK 2:n vaihtoajat vaihtelevat suuresti, mutta keskiarvona yhden muotin asettamiselle voidaan pitää 3 minuuttia, jolloin vaihto- aika määräytyy muottien lukumäärän mukaan. TK 2:n käsittelynopeus on keskimäärin 450 m/h. Tämän koneen tuotannosuunnittelulle oleellista on määrittää, voidaanko yh- tenä tuotantopäivänä valmistaa tarvittavat tuotantotilaukset vai tarvitaanko toinen tuo- tantopäivä kyseiselle viikolle. Yleisesti lisäpäivä on resursoinnin näkökulmasta mahdol- lista.

VK 1:n ajonopeus on kaikille niille tuotteille sama, jotka on prosessoitu raaka-aineella 1. Raaka-ainetta 1 käytetään yli 90 % prosessoiduista tuotteista. Kun käytetään raaka-ai- netta 1 sekä 3, tuote kulkee ensin Viimeistyskoneilla prosessinomaisesti, mutta tämän jälkeen tuote vielä palaa Viimeistyskoneelle 1 ja tämän jälkeen vielä Viimeistyskoneelle 3. Pelkkää raaka-ainetta 3 sisältävät materiaalit käsitellään VK 1:lla niille spesifoidulla nopeudella ja lämpötilalla. Tämän jälkeen tuotteet käsitellään suoraan VK 3:lla. Viimeis- tuskoneen 1 kapasiteetti on noin 6,5 tuntia päivässä, koska aamulla koneen valmisteluun kuuluu noin tunnin verran. Taulukossa 3 on esitetty tämän koneen tuotantonopeudet.

**Taulukko 3. Viimeistyskoneen 1 tuotantonopeudet**

<b>Raaka-aine</b>	<b>Nopeus</b>
<b>1</b>	27,6 m/min = 1656 m/h
<b>2</b>	18,4 m/min = 1104 m/h
<b>3</b>	36 m/min = 2160 m/h

Viimeistyskoneen 2 päivittäinen kapasiteetti on 6–6,5 tuntia. Kapasiteettiin vaikuttaa lin- jaston puhdistukseen kuluva ajasta, joka puolestaan riippuu linjaston pesuvesien likai- suudesta. Kun VK 2 on käytössä, Viimeistyskoneet 2 ja 3 toimivat limittäin, sillä VK 2:lla käsitelty tuote on työstettävä VK 3:lla välittömästi käsittelyn jälkeen. Jotta prosessi sujuu viiveittä, on näiden kahden tuotantokoneen tuotantonopeudet oltava samat. Tuotanton- opeus VK 2:ssa on 40 m/min muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Taulukossa 4 on esitetty tämän koneen tuotantonopeudet.

**Taulukko 4. Viimeistyskoneen 2 tuotantonopeudet**

<b>Käytetty materiaali/poikkeukset</b>	<b>Nopeus</b>
<b>Materiaali A</b>	40 m/min = 2400 m/h
<b>Materiaali B</b>	28 m/min = 1680 m/h
<b>Raaka-aine 2</b>	18,4 m/min = 1104 m/h
<b>EK 1</b>	40 m/min = 2400 m/h

Kaikki materiaalit, jotka sisältävät tiettyä komponenttia, pitää käsitellä kahdesti VK 2:lla. Tuotannon tehostamiseksi olisi tärkeää muodostaa tuotantosuunnitelma niin, että se mahdollistaisi mahdollisimman monen tätä komponenttia sisältävän materiaalin käsittelyn perästyksen. Käsittelyn jälkeen VK 2:lle pitää suorittaa huolellinen puhdistus, ennen kuin seuraavan tuotteen käsittely voidaan aloittaa. Riskinä on, että koneen teloista jää epäpuhtauksia seuraavaksi käsiteltävään tuotteeseen. Laaturiskin minimoimiseksi käsitellään vaaleaksi määritetyt tuotteet ensimmäiseksi näitä komponentteja sisältävän käsittelyn jälkeen. Tummaski luokitellut tuotteet tulee käsitellä kahdesti. Tuplakäsittelyn vaativasta tummuudesta ei ole mahdollista muodostaa yksitelitteistä listausta, koska väriä ei pysty määrittämään välttämättä suoraan tuotteen värikoodista. Värikoodit muodostuvat kolmesta numerosta, joissa jokainen numero edustaa tiettyä väriä. Koodien variaatiot ovat kuitenkin rajalliset, eivätkä kaikki, varsinkaan yleisimpien tuotteiden, koodit vastaa väriä. Tällöin tuplakäsittelyn tarve pitää määrittää manuaalisesti. Manuaalisen määrityksen tulisi ensisijaisesti tehdä tuotannosuunnittelija, mutta vasta VK 2:lla todellinen tuplakäsittelyn tarve selviää ensimmäisen käsittelyn jälkeen.

Viimeistyskoneiden 2 ja 3 kapasiteettia kuormittavat paitsi Tuotantokoneilta tulevat tuotteet myös Esikäsitteilyistä tulevat materiaalit, jotka käsitellään Viimeistyskoneilla. Esikäsitellyt materiaalit tulee käsitellä seuraavana aamuna VK 2:lla. Näiden käsittely tulee tehdä ensimmäisenä, koska käsittelylämpötila on näillä matalampi. Materiaalit käsitellään myös VK 3:lla ja osa materiaaleista lähtee tämän jälkeen sellaisenaan toiseen tehtaaseen jatkojalostettavaksi. Osa materiaaleista taas jatkaa varsinaiseen tuotantoprosessiin TK:lla 1 tai 2. Tällaisissa tilanteissa esikäsitteily on tehty materiaalille, koska se ei muuten olisi työstettävissä Tuotantokoneilla. Vaadittavista esikäsiteltävistä materiaaleista on muodostettu listaus, mutta työntekijän tulee itse seurata, löytyykö tuotantosuunnitelmasta tuotteita, joihin käytetään kyseisen listauksen materiaaleja.

Tuotteen ajonopeudet VK 3:lla eroavat toisistaan, joten käsittelyyn kuluva aika pitää määrittää käytettävän viimeistyskemikaalin perusteella. Taulukossa 5 on esitetty eri vii-

meistyskemikaalien yhteydessä käytetyt ajonopeudet sekä tieto siitä, voidaanko viimeistyskemikaalit ajaa tuotteelle suoraan käsittelyn jälkeen, vai edellyttääkö prosessi tuotteen kuivaamista ennen viimeistyskemikaalien ajamista tuotteelle. Mikäli tuotetta ei tarvitse kuivata ennen viimeistyskemikaalien lisäämistä, kemikaalit voidaan ajaa tuotteelle heti ensimmäisellä ajokierroksella. Jos taas kuivaus on tarpeen, tuote ajetaan ensin VK 3:n läpi kuivausvaihetta varten.

**Taulukko 5. VK 3 tuotantonopeudet**

Käsittely-kemikaali	Kuivaus pakollinen?	Ajonopeus
1		40 m/min
1	x	40 m/min
805		40 m/min
13	x	10 m/min
40	x	20–30 m/min
42	x	20–30 m/min
48	x	20–30 m/min
54	x	8 m/min
55	x	8 m/min
58	x	30 m/min

Yksi työntekijä tarkastaa valmist tuotteita noin 1000 metriä vuoronsa aikana. Laaduntarkastuksessa työskentelee kolme tarkastajaa, jotka tarkastavat valmist tuotteita, joten viikkokapasiteetti näille tuotteille on 15 000 metriä. Jatkoprosessointiin toisille tehtaalle lähteviä tuotteita voidaan tarkastaa viikossa enintään 25 000 metriä.

Taulukossa 6 on vielä koottuna eri tuotantokoneiden viikkokapasiteetit poissulkien koneen ylös ajoin ja viikoittaisiin huoltotöihin kuluva aika.

**Taulukko 6. Kapasiteetti tuotantokoneittain**

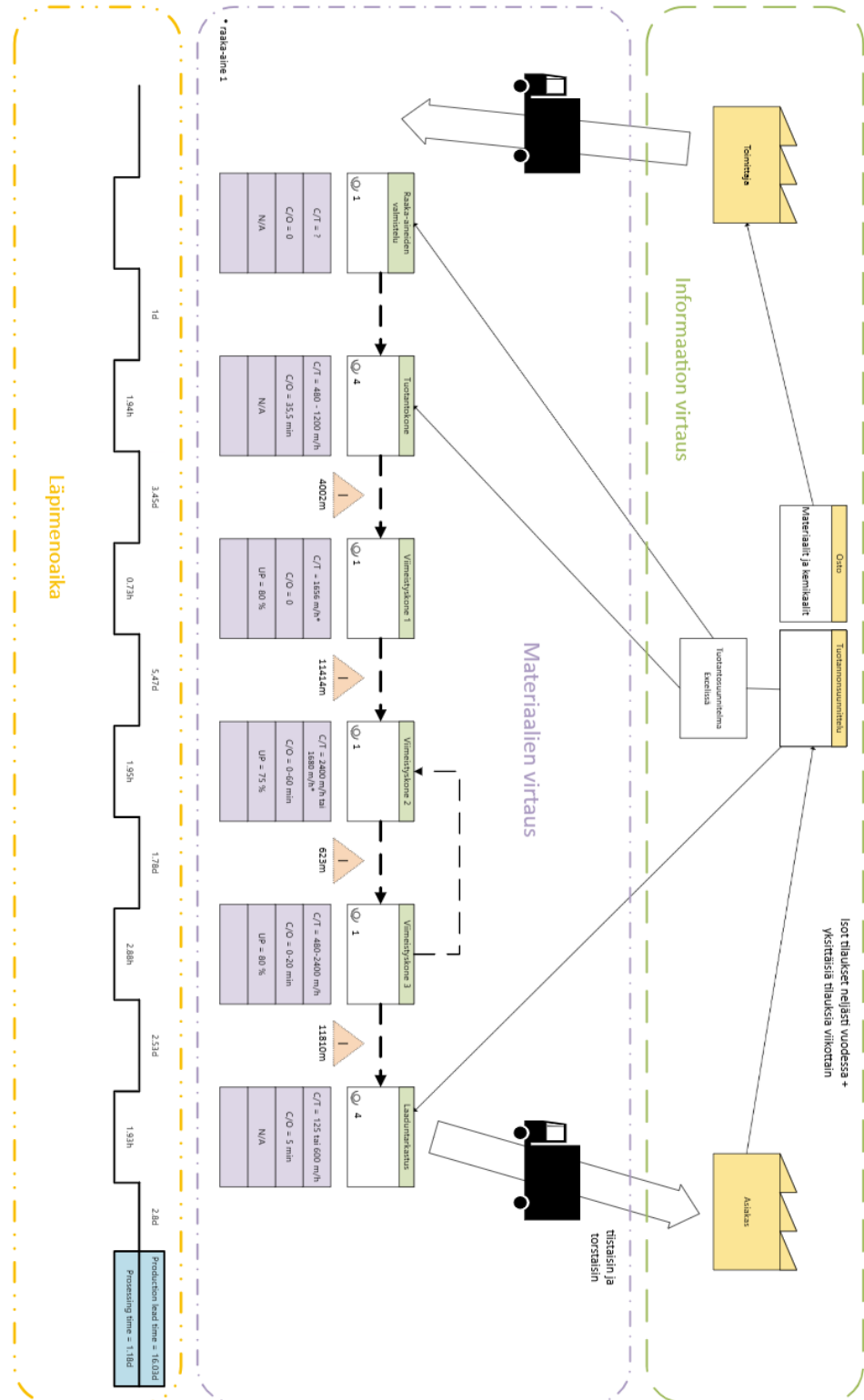
Osasto	Kapasiteetti (h/vko)
<b>Raaka-aineiden valmistelu</b>	35
<b>EK 1</b>	kapasiteetti perustuu resurssien saatavuuteen
<b>TK 1</b>	37.5
<b>TK 2</b>	kapasiteetti perustuu resurssien saatavuuteen
<b>VK 1</b>	32.5
<b>VK 2</b>	30
<b>VK 3</b>	32.5
<b>Laaduntarkastus</b>	15 000 m + 25 000 m

#### 4.2.1 Tuotannon läpimenoajat ja arvovirtakuvaus

Tuotannon kokonaisläpimenoaikojen rakenteen syvempää ymmärrystä varten tarkasteltiin arvoa lisäävän ja arvoa lisäämättömän ajan suhdetta. Arvoa lisäävä aika (Value-Adding Time, VAT) on läpimenoajasta se aika, jonka aikana tuote muuttuu tavalla, josta asiakas on valmis maksamaan. Arvoa lisäämätön aika (Non-Value-Adding Time, Non-VAT) taas kuvastaa aikaa, joka ei lisää arvoa tuotteelle. Tämä aika tulisi minimoida tai poistaa. Lisäksi teoria lisää kolmannen määrään, Välttämätön arvoa lisäämätön (Necessary Non-Value-Adding Time, NN VAT) aika, joka ei lisää arvoa, mutta on nykyisissä olosuhteissa välttämätöntä. (Tomiura 2007; Martin & Osterling 2014.)

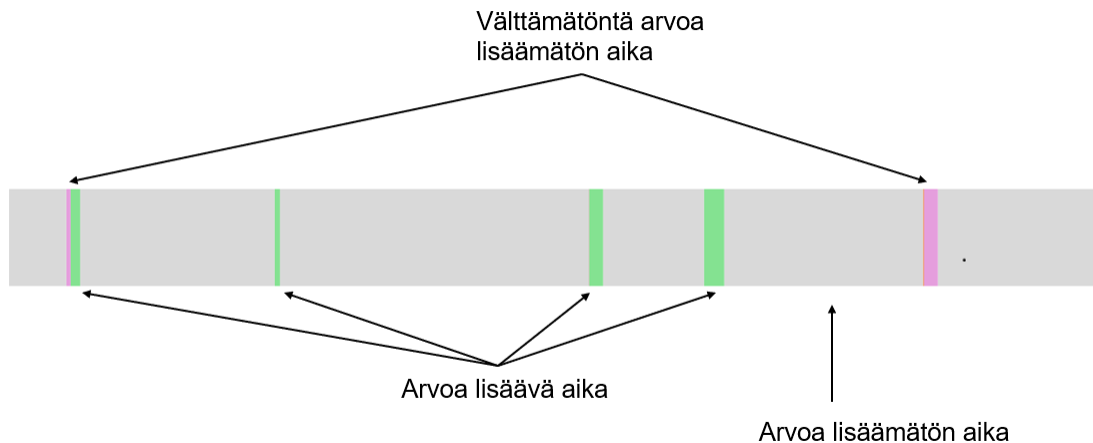
Arvovirtakuvauksessa on käytetty 20 tuotantotilauksen otantaa, jotka on valittu satunnaisotannalla aikaväliltä huhtikuu 2025- kesäkuu 2025. Arvovirtakuvauksessa (VSM) on havainnollistettu informaatio ja materiaalivirrat sekä tuotannonläpimenoaika kokonaisuudessaan. Prosessin eri vaiheille on laskettu kiertoaika (Cycle Time, C/T) ja asetusaika (Changeover Time, C/O). Kiertoaika kuvaa aikaa, joka kestää yhden tuotteen tai tehtävän prosessointiin kussakin prosessin vaiheessa. Asetusaika kuvaa aikaa, joka kuluu koneen muuttamiseen toisen tuotteen valmistamiseen sopivaksi. Näiden kahden arvon lisäksi VSM:ään liittyy vahvasti käyttöajan (Uptime, UP) laskeminen. (Martin & Osterling 2014). Kuvassa 18 on visuaalinen arvovirtakuvaus prosessista. Tutkittavassa prosessissa kaikille prosessinvaiheille käyttöaika ei ollut luotettavasti laskettavissa, eikä tutkimuksen puitteissa ollut mahdollista järjestää useamman päivän mittauksia luotettavan käyttöajan keskiarvon saavuttamiseksi. Arvovirtakuvauksessa nämä on merkitty N/A.

Arvovirtakuvaus toimii visuaalisena ”käsikirjoituksena”, joka ei ainoastaan selvennä, miten tuotantoprosessi toimii, vaan myös paljastaa sen ongelmia. Nykytilannetta kuvaavan arvovirtakuvausten tulisi heijastaa mahdollisimman tarkasti sitä, miten asiakaspyyntö muutetaan tuotteeksi tai palveluksi ja toimitetaan asiakkaalle (Martin & Osterling 2014).



Kuva 18. Arvovirtakuvaus (Value Stream Map)

On huomioitavaa, ettei C/O tai laaduntarkastukseen käytetty aika ole arvoa tuottavaa aikaa, koska se ei lisää asiakkaan arvoa. Ne ovat kuitenkin välttämättömiä prosessille, jolloin ne ovat välttämätöntä arvoa lisäämätöntä aikaa (NNVAT). Tällöin niihin käytetty aikaa pitää pyrkiä minimoimaan, koska sitä ei voida poistaa kokonaan. Kuvassa 19 on havainnollisten prosessointiajan määrää kokonaisläpimenoajasta. Tässä tutkimuksessa prosessointiaika koostuu Arvoa lisäävästä ja Välttämättömästä arvoa lisäämättömästä ajasta.



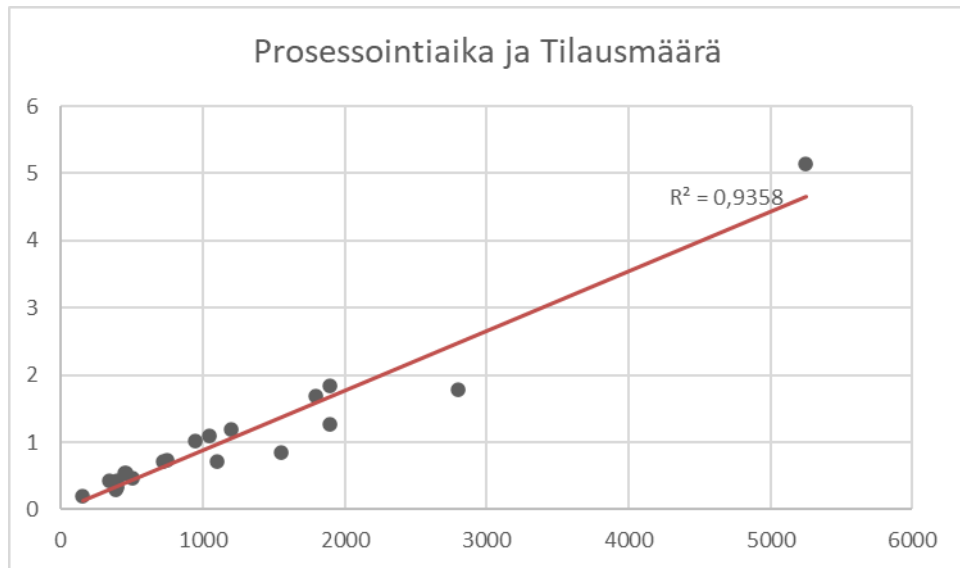
**Kuva 19.** *Prosessointiaika vs. läpimenoaika koko arvoketjussa*

Lasketaan Arvon tuotto aste (Activity Ratio, R), joka heijastaa arvovirran virtausastetta. Martin ja Osterling (2014) mukaan ei ole yhtään tavatonta, että aktiivinen prosessointiaika jää jopa alle 5 % kokonaisläpimenoajasta. Arvon tuotto aste lasketaan jakamalla kokonaisprosessointiaika kokonaisläpimenoajalla ja kertomalla tulos sitten sadalla, jolloin se muunnetaan prosenttiluvuksi:

$$\frac{\text{Kokonaisprosessointiaika}}{\text{Kokonaisläpimenoaika}} \times 100 = \text{Arvon tuotto aste (Martin \& Osterling 2014)}$$

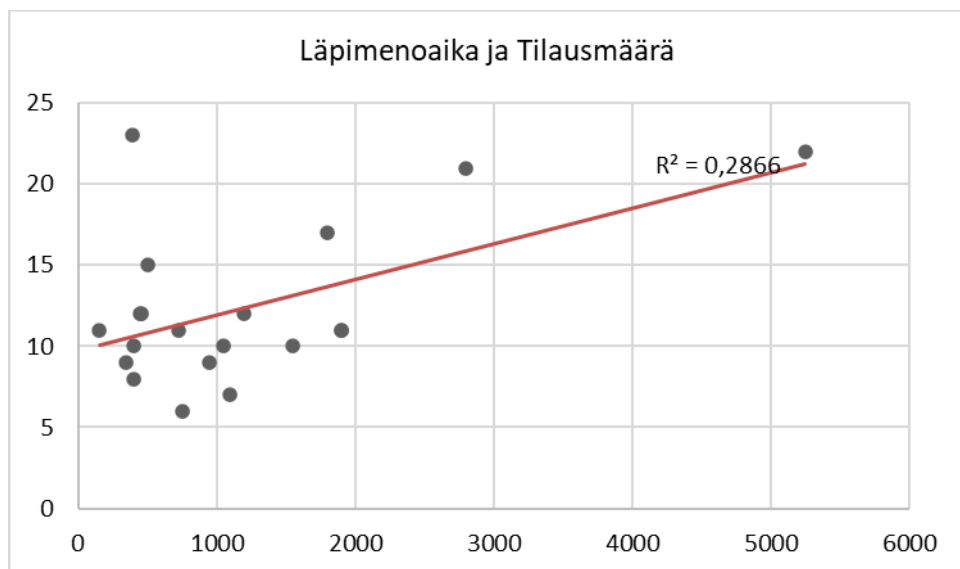
$$\frac{1,18d}{16,03d} \times 100 = 7,36\%$$

Arvovirtakuvauksen pohjalta tutkittiin prosessointiajan, tilausmäärän ja läpimenoajan suhdetta. Prosessointiajan ja tilausmäärän väliltä löytyy erittäin vahva positiivinen korrelaatio (kuva 20). Tämä on loogista, sillä tuotantoprosessin eri vaiheet perustuvat prosessointinopeuteen, jota mitataan yksikössä metriä minuutissa.



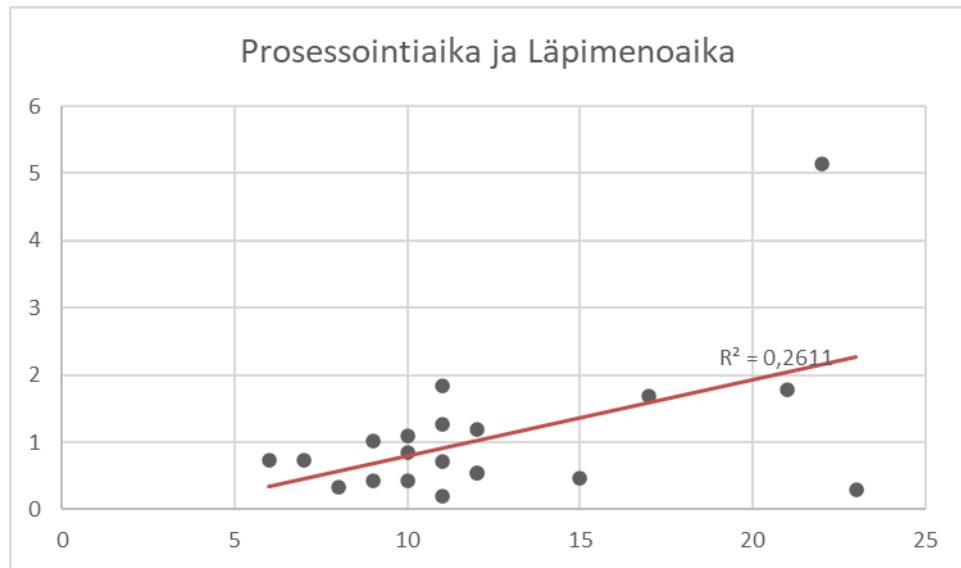
**Kuva 20.** *Prosessointiajan ja tilausmäärän korrelaatio*

Läpimenoajan ja prosessointiajan suhdetta tilausmäärään analysoitaessa havaitaan, ettei kummallakaan ole tilastollisesti vahvaa korrelaatiota tilausmäärän kanssa. Kuvissa 21 ja 22 nähdään kuitenkin kohtalainen positiivinen korrelaatio molempien muuttujien ja tilausmäärän välillä. Näiden tulosten perusteella voidaan tulkita, että tilausmäärän ja prosessointiajan kasvaessa myös läpimenoajassa esiintyy jonkinasteista kasvua.



**Kuva 21.** *Läpimenoajan ja tilausmäärän korrelaatio*

Prosessointiaika kasvaa erityisesti VK 3:n hitaiden ajonopeuksien ja valmistuotteiden pitkien tarkastusaikojen vuoksi, mikä voi aiheuttaa suhteessa paljon pidemmän prosessointiajan tuotteelle. Tulosten mukaan vaikutus läpimenoaikaan on kuitenkin vain kohtalainen (kuva 22).



**Kuva 22.** *Prosessointiajan ja läpimenoajan korrelaatio*

Koska läpimenoajan ja prosessointiajan sekä tilausmäärän välillä havaitaan vain kohtalainen positiivinen korrelaatio, voidaan todeta, ettei läpimenoaika riipu pelkästään tilausmäärästä, vaan myös muun muassa tuotannon resursseista, tuotantojärjestyksestä ja prosessien tehokkuudesta. Tehokas tuotannonohjaus vähentää tilausmäärien ja asetusajojen vaihtelua ja siksi se on keskeinen tekijä läpimenoaikojen hallinnassa. Kun tuotannon puskurit pidetään hallinnassa DBR-periaatteen mukaisesti, sekä samalla FIFO-periaatteita noudattaen, pystytään varmistamaan tuotannon suunnitelmallinen eteneminen sekä estämään läpimenoaikojen venymistä.

#### 4.2.2 Tuotannonsuunnittelujärjestelmän vaatimukset

Tuotannonsuunnittelu konseptin pohjalta tutkittavan tuotantoympäristön tuotannonsuunnittelua tukemaan tulisi implementoida järjestelmä, jonka avulla pystytään suunnittelemaan, ohjaamaan sekä valvomaan tuotannon toimintaa ajantasaisesti. Tuotannonsuunnittelujärjestelmän tulisi tarjota näkymät kahdelle eri käyttäjäryhmälle. Järjestelmän kaksi käyttäjäryhmää tulisi olla tuotannonsuunnittelija sekä tuotantotyöntekijät. Tuotannonsuunnittelijan tulee pystyä hallinnoimaan tilauskantaa järjestelmän avulla. Yksinkertaisten kuormituskuvaajien käyttö tukee tuotannonsuunnittelua ja nämä tulisi sisällyttää tuotannonsuunnittelujärjestelmään. Tilaukannan hallinnalle välttämättömät tiedot ovat Liitteessä B, jossa esitellään tuote- ja valmistustiedot, jotka syötetään järjestelmään. Myös arvot, jotka tulee olla muokattavissa suunnittelunäkymässä, on määritetty liitteessä. Tuotantotyöntekijöiden näkymän tulee olla yksinkertainen ja helppo käyttää. Tuotantonäkymässä jokaisen eri tuotantokoneen vieressä on tietokoneet, josta tuotantotyöntekijät voi-

vat käyttää järjestelmää. Jokaisella tuotantovaiheelle tulisi olla oma näkymä, josta työntekijät näkevät tuotantotilauksen perustiedot. Tuotantokoneiden ja laaduntarkastuksen tulee myös pystyä kirjaamaan erinäisiä arvoja järjestelmään. Tällaisia arvoja ovat muun muassa prosessoitujen ja tarkastettujen tuotteiden määrä laatuluokittain.

Tuotantokoneen 1 ja laaduntarkastuksen syöttämää dataa tulee voida hyödyntää raportoinnissa. Järjestelmän tulisi siksi mahdollistaa vaivaton tiedon koonti valmistetuista ja tarkastetuista määristä sekä läpimenoajoista. Jotta tuotantokapasiteetin kuormitusta voidaan hallinnoida tuotannonsuunnittelujärjestelmässä, tulee tilausta syötettäessä tuotantotilauksille laskea prosessointiajat tuotantokoneille. Nämä voidaan laskea luvun 4.2.3 esittelemällä tavalla.

Tuotantoa tulee ohjata FIFO periaatteella, joten tuotantosuunnitelma on laadittava siten, että se on asetusajojen puitteissa mahdollisimman optimaalinen kaikille tuotantokoneille, joilla asetusajat ovat pitkiä ja kapasiteetti siten rajoittava tekijä. Näitä tuotantokoneita ovat Tuotantokone 1 ja Viimeistyskoneet 2 ja 3. Tuotannonsuunnittelujärjestelmän tulisi tukea optimaalisen tuotantojärjestyksen muodostamista, jotta tuotannonkapasiteetti voidaan hyödyntää tehokkaasti.

Tuotannonsuunnittelukonseptissa hyödynnetään Rumpu-Puskuri-Köysi-periaatetta, jossa limittäin toimivat tuotantokoneet VK 2 ja 3 toimivat rumpuna ja VK 2:n edessä sijaitsee puskurin. Järjestelmän tulisi tukea tätä tuotannonohjaustapaa, jolloin järjestelmä antaisi vapautus signaalin uusille tuotantotilauksille, kun VK 1:n ja 2:n välissä olevassa puskurissa on tilaa. Tämä mahdollistaa tuotannonläpimenoajojen pysymisen kurissa, jolloin prosessia on helpompi hallita ja ennustaa.

### 4.2.3 Parametrien määrittäminen

Tiedon ulkoistamisen jälkeen tieto tulee yhdistää strukturoiduksi ja systemaattiseksi eksplisiittisen tiedon joukoksi ja yhtenäistää tietojärjestelmäksi tai systeemiksi (Nonaka & Takeuchi 1995). Tuotannonsuunnittelujärjestelmän rakentamiseksi vaadittavat parametrit on määritetty ja tässä alaluvussa käsitellään niiden ja aputaulukoiden suhdetta. Tuotantodatasta on koottu viisi aputaulukkoa; *Esikäsittelytaulukko*, *Materiaalitaulukko*, *Muottitaulukko*, *Viimeistyskone\_1\_aputaulukko* ja *Viimeistyskone\_3\_aputaulukko*. Taulukoiden tietojen avulla määritetään parametrit *Esikäsittely\_2*, *Tuotantokone\_1\_prosessointiaika*, *Viimeistyskone\_1\_prosessointiaika*, *Viimeistyskone\_2\_prosessointiaika* ja *Viimeistyskone\_3\_prosessointiaika*.

Esikäsitteily 2 määräytyy tuotantotilauksen materiaalin mukaan. Esikäsitteilytiedot on koottu materiaalin perusteella *Esikäsitteilytaulukoon*. Taulukosta selviää materiaalin Esikäsitteily 2 tarpeet.

Tuotantotilauksen prosessointinopeus Tuotantokoneilla määräytyy muottien lukumäärän ja materiaalin mukaan. Materiaaliin perustuva prosessointiaika saadaan *Materiaalitaulukosta*. Tämän lisäksi vaihto aika saadaan *muottitaulukosta*, johon ne on määritetty muottien lukumäärän mukaan. Prosessointiaika saadaan määritettyä kaavalla 2:

$$\begin{aligned} \text{Tuotantokone}_1\text{ prosessointiaika} & & (2) \\ &= \text{vaihtoaika (h)} \\ &+ \text{tuotantomäärä (m)} \times \text{prosessointinopeus (m/h)} \end{aligned}$$

Viimeistyskoneen 1 prosessointiaika määräytyy raaka-aineen perusteella. Viimeistyskoneen 1 prosessointiaika on suhteessa muihin parametreihin hyvin muuttumaton, mutta joitain pieniä muutoksia eri raaka-aineiden välillä on. Viimeistyskoneen 1 tuotantonopeus saadaan *Viimeistyskone\_1\_aputaulukosta* raaka-aineen perusteella ja Viimeistyskone\_1 prosessointiaika lasketaan kaavalla 3:

$$\begin{aligned} \text{Viimeistyskone}_1\text{ prosessointiaika} & & (3) \\ &= \text{tuotantomäärä (m)} \times \text{tuotantonopeus (m/h)} \end{aligned}$$

*Viimeistyskoneen 2 prosessointiaika* riippuu sekä materiaalin edellyttämästä prosessointinopeudesta että tuplakäsittelytarpeesta. Myös reseptin tummuus vaikuttaa tuplakäsittelyn tarpeeseen, mutta sitä ei pysty määrittämään vakioiden avulla, vaan ne aiheuttavat valitettavaa vaihtelua käsittelynopeuksissa. *Materiaalitaulukosta* löytyy käsittelynopeudet ja mahdollinen tuplakäsittelytarve materiaalin perusteella. Käsittelyaika määritetään kaavalla 4 tuplakäsittelyn perusteella, mutta se tulee voida määrittää myös manuaalisesti tuotannonsuunnittelijan toimesta.

$$\begin{aligned} 2 \times \text{käsittely} = \text{kyllä} & \rightarrow \text{käsittelyaika} & (4) \\ &= 2(\text{tuotantomäärä (m)} \times \text{käsittelynopeus (m/h)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \times \text{käsittely} = \text{ei} & \rightarrow \text{käsittelyaika} \\ &= \text{tuotantomäärä (m)} \times \text{käsittelynopeus (m/h)} \end{aligned}$$

Prosessointiaika Viimeistyskone 3:lla määräytyy tuotantotilaukselle määritetyn käsittelyn perusteella. Viimeistyskoneen 3 prosessointiaika lasketaan *Viimeistystaulukosta* saadun prosessointinopeuden mukaan kaavalla 5:

$$\begin{aligned} \text{Viimeistyskone}_3\text{prosessointiaika} & & (5) \\ & = \text{tuotantomäärä (m)} \times \text{prosessointinopeus (m/h)} \end{aligned}$$

### 4.3 Prosessin pullonkaulat

Tutkimustuloksissa ilmenee ristiriita pullonkaulan sijainnin määrittämisessä. Teorian mukaan pullonkaula on se prosessin osa, jonka kapasiteetti on pienempi, kuin kysyntä (Goldratt 1984). Visuaalisesti suurin välivarasto esiintyy Viimeistyskoneen 2 ja 3 muodostaman tuotantokokonaisuuden edessä, mikä viittaa siihen, että järjestelmän pullonkaulana toimisivat nämä kaksi rinnakkaista tuotantokonetta. Pullonkauloja voidaan määrittää myös vertaamalla eri vaiheiden läpimenoaikoja (Hopp & Spearman 2000). Laskennallisesti tarkasteltuna (asetusajat + läpimenoajat) Tuotantokone 1 osoittautuu kuitenkin kapasiteetiltaan kysyntää pienemmäksi. Viimeistyskoneiden 2 ja 3 taas pitäisi yleisesti katsoa koko kysynnän tarpeet.

Visuaalinen havainnointi korostaa usein hetkellisiä tai tilapäisiä rajoitteita, kun taas laskennalliset analyysit kykenevät paljastamaan rakenteellisia kapasiteettirajoitteita paremmin. Tämä ero johtuu siitä, että visuaalinen havainnointi perustuu nykyhetken tarkasteluun, jolloin pullonkaulan pysyvyyttä ei voida varmuudella päätellä. Goldrattin (1990) mukaan järjestelmän ohjaaminen tulee perustua todelliseen rajoitteeseen, joka voi olla piilevä eikä aina visuaalisesti havaittavissa. Myös ei-fyysiset pullonkaulat tulee ottaa huomioon, jotka johtuvat aineettomista tekijöistä, kuten tiedonkulusta tai päätöksentekoprosesseista (Sengupta et al. 2008).

Tällä hetkellä visuaalisen pullonkaulan muodostuessa Viimeistyskoneen 2 eteen, voidaan todeta, ettei tuotantoa pystytä nykyisillä työkaluilla ohjaamaan niin, että Viimeistyskoneiden 2 ja 3 kokonaiskapasiteetti tulisi hyödynnetyksi. Tuotannosuunnittelujärjestelmän avulla voidaan tunnistaa prosessin ongelmakohtia ja kehittämään tuotannonohjausta. Tämän vuoksi on todennäköistä, etteivät nämä tuotantokoneet ole enää jatkossa rajoittavia tekijöitä prosessissa. Toinen mahdollinen selitys tämän hetken pullonkaulojen sijainnille on se, ettei tutkimuksessa ole pystytty asettamaan näkyväksi kaikkia toimintoja, jotka kuluttavat näiden koneiden kapasiteettia. Myös tähän haasteeseen tuotannosuunnittelujärjestelmän avulla pystytään vastaamaan, sillä sen käyttöönoton jälkeen jo-

kainen tuotannonvaihe tulee näkyväksi. Tämä mahdollistaa jatkuvan parantamisen keinoin tuotannon kehittämisen ja kapasiteetin kokonaisvaltaisen hyödyntämisen. Kun järjestelmä on otettu käyttöön, tulee toteutuneita tuotantomääriä tarkastella erityisesti Viimeistyskoneiden 2 ja 3 osalta sekä pyrkiä tunnistamaan syyt mahdollisille pienille tuotantomäärille. Tämän avulla mahdolliset kapasiteetin käyttöön liittyvät haasteet voidaan ratkaista. Tämä analyysi tukee tuotannon jatkuvaa kehittämistä.

## 5. YHTEENVETO

### 5.1 Työn keskeiset tulokset

Tutkimus toteutettiin hyödyntäen Nonakan ja Takeuchin (1995) SECI-mallia. Sosialisatiovaiheessa nykytila kartoitettiin haastattelujen ja havainnoinnin avulla. Nykytila-analyysin pohjalta saatiin kokonaiskuva hiljaisesta tiedosta, joka tulisi muuttaa eksplisiittiseksi tuotannosuunnittelujärjestelmän rakentamista varten. Eri tuotantokoneilla suoritettut mittaukset sekä tietojen kokoaminen ja jäsentäminen Excel-taulukoista ja manuaaleista ulkoistivat tiedon eksplisiittiseen muotoon. Näiden tietojen yhdistämisen tuloksena muodostettiin tuotannosuunnittelukonsepti ja määritettiin järjestelmän luomiselle välttämättömät parametrit.

Tutkimuksessa kehitetty tuotannosuunnittelu konsepti mahdollistaa tuotannon suunnittelun ja ohjauksen systemaattisesti koko tuotantoprosessin läpi. Konsepti perustuu FIFO-periaatteeseen sekä Rumpu–Puskuri–Köysi (DBR)-malliin, jossa Viimeistyskoneet 2 ja 3 toimivat tuotannon rytmittävinä vaiheina eli "rumpuna". Aiemmasta tutkimuskirjallisuudesta ei löydy juurikaan vastaavaa yhdistelmää FIFO- ja DBR-mallin soveltamisesta tutkimuksen kaltaisessa tuotantokontekstissa tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen, joten tämä työ tuo uutta näkökulmaa käytännön kontekstissa.

Vaikka työn ensisijainen tavoite on kehittää ratkaisu tietylle yritykselle, sen lähestymistapa tarjoaa lisäarvoa myös akateemiselle keskustelulle. Tutkimus osoittaa, miten vahvasti hiljaisen tiedon varassa oleva tuotantoprosessi voidaan muuttaa tuotannosuunnittelujärjestelmän ja yksinkertaisten ohjausperiaatteiden avulla toimivaksi tuotantokonseptiksi.

Tutkimuksessa määritettiin tuotannosuunnittelujärjestelmän keskeiset vaatimukset kahdelle käyttäjäryhmälle, tuotannosuunnittelijalle ja tuotannontyöntekijöille. Keskeiset vaatimukset tuotannosuunnittelujärjestelmälle ovat tuotannon hienokuormituksen mahdollistaminen, ajantasainen raportointi sekä kapasiteetin hallinta. Työntekijöiden näkyvän tulee olla yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Tuotannon eri tuotantokoneilla tulee olla omat näkymät ja järjestelmän tulee tukea FIFO-periaatteen toteutumista. Tuotannosuunnittelujärjestelmän suunnittelun tueksi tutkimuksessa on analysoitu tuotanto-dataa eri prosessivaiheissa ja muodostettu laskentamalleja, joiden avulla voidaan arvioida tuotantoaikoja ja tämän lisäksi määrittää järjestelmän muut parametrit.

Tutkimuksessa on tunnistettu tuotannon pullonkauloja sekä visuaalisin että laskennallisin menetelmin. Tulokset osoittavat, että visuaalisesti havaitut ja laskennallisesti todetut

pullonkaulat eivät välttämättä sijaitse samassa paikassa tuotannossa, mikä korostaa tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen tärkeyttä. Arvovirtakuvauksen perusteella arvoa tuottava aika tuotannon kokonaisläpimenoajasta on vain noin 7 %. Tämän vuoksi pullonkaulojen tunnistaminen ja niiden käyttöasteen maksimointi sekä asetusajan minimointi ovat keskeisiä tuotannon tehostamisessa. Tutkimuksessa havaittiin, että tällä hetkellä Viimeistyskoneet 2 ja 3 aiheuttavat suurimman pullonkaulan tuotannossa, mutta potentiaalisesti myös Valmistuskone 1 voisi olla rajoittava pullonkaula.

Tutkimus vahvistaa aiempien tutkimusten havaintoja pullonkaulojen monimuotoisuudesta ja osoittaa käytännön esimerkin kautta, kuinka teoreettiset mallit ja empiirinen tutkimus täydentävät toisiaan tuotannonprosessien analysoimisessa ja kehittämisessä.

## 5.2 Käytännön suositukset

Tutkimuksen perusteella voidaan antaa useita käytännön suosituksia, jotka tukevat tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen kehittämistä:

1. Tuotannonsuunnittelujärjestelmän kehittäminen ja käyttöönotto

Tuotannonsuunnittelujärjestelmän käyttöönotto tukee FIFO-periaatteen toteutumista tuotannossa, sekä antaa työvälineet pullonkaulojen ohjaukseen DBR-mallin avulla. Järjestelmä mahdollistaa myös reaaliaikaisen seurannan ja raportoinnin.

2. Hiljaisen tiedon systemaattinen siirtämistä eksplisiittiseksi tiedoksi

Vaikka hiljaista tietoa on siirretty eksplisiittiseen muotoon tämän tutkimuksen aikana, on tiedon siirtämistä jatkettava. Tämä tukee päätöksentekoa, vähentää virheitä ja tehostaa työskentelyä. Tämä auttaa myös tulevaisuudessa uusien työntekijöiden perehdyttämistä.

3. Kysynnän tasapainottaminen MTS-tuotannolla

Jatkuvan malliston tuotteita tulee hyödyntää tuotannonsuunnittelussa tuotannon ylikuormituksen hillitsemiseksi ja toimitusvarmuuden parantamiseen. Näitä tuotteita voidaan valmistaa hiljaisempina ajankohtina määritettyjen minimi- ja maksimiarvojen puitteissa, jolloin kysyntää siirtyy pois kysyntäpiikeistä.

### 5.3 Työn arviointi

Tutkimuksen luotettavuuden arviointi on olennainen osa tieteellistä tutkimusta. Keskeisimmät käsitteet luotettavuutta arvioitaessa ovat reliabiliteetti ja validiteetti, jotka arvioivat erityisesti kvantitatiivisen tutkimuksen mittauksen luotettavuutta. Kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuutta arvioidessa on käyty keskustelua näiden kahden käsitteen sopivuudesta sen arviointiin (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.) Riippumatta tutkimusmenetelmästä, on kuitenkin tärkeää suorittaa metodilähtöinen tarkastelu, jotta tutkimuksen luotettavuus voidaan varmistaa. Tämä tutkimus sisältää sekä kvantitatiivista että kvalitatiivista aineistoa, mikä edellyttää luotettavuuden tarkastelua molempien näkökulmasta. Reliabiliteetilla tarkoitetaan tutkimuksen luotettavuutta ja toistettavuutta – eli sitä, antaisiko tutkimus samat tulokset, jos se toistettaisiin samanlaisissa olosuhteissa. Tätä voidaan tarkastella johdonmukaisuuden, muuttumattomuuden sekä olosuhteiden perusteella. Validiteetilla tarkoitetaan tutkimuksen pätevyyttä eli mittaako tutkimus sitä, mitä sen on tarkoitus mitata. Validiteetin tarkastelu kohdistuu tutkimuksen asetelmaa, menetelmiin ja niiden sopivuuteen tutkittavaan kontekstiin. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006; Tietoarkisto n.d.).

Havainnointi ja haastattelut voivat sisältää subjektiivisuutta, jolloin reliabiliteetti on korkeintaan kohtalainen. Toisaalta aineistoa on kerätty tasapuolisesti kaikilta tutkimusympäristöön kuuluvilta työntekijöiltä, joka itsessään lisää tutkimuksen reliabiliteettia. Suuri osa tutkimuksen keräytystä aineistosta on kvantitatiivista ja niiden osalta mittaukset on esitetty hyvin, joka lisää tutkimuksen reliabiliteettia. Tutkimuksen monimenetelmällisyys ja triangulaatio (haastattelut, havainnointi sekä kvantitatiiviset mittaukset) vahvistavat tutkimustulosten luotettavuutta. Nykytila-analyysi ja arvovirtakuvaus on järjestelmällisesti kuvattuna työssä, joka lisää työn toistettavuutta. Työ tuottaa selkeän kontribuution käytännön tasolla. Tutkimuksen tulokset vastaavat tutkimuskysymyksiin, joka lisää sisäistä validiteettia. Tuotannosuunnittelukonseptin vaatimusten määrittely on käytännönläheinen sekä hyvin perusteltu ja sen pohjalta voidaan kehittää tuotannosuunnittelujärjestelmä kohdeympäristöön. Implementoinnin rajaus tutkimuksen ulkopuolelle heikentää kuitenkin ulkoista validiteettia. Lisäksi jotkin lähteet ovat huomattavan vanhoja, mutta niiden käyttö on perusteltua, sillä tieteenala on hyvin vakiintunut, jolloin peruskäsitteet ja teoriat ovat edelleen relevantteja.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että tutkimuksen sisäinen ja konstruktiivinen validiteetti ovat hyvällä tasolla, kun taas ulkoinen validiteetti kärsii implementoinnin puutteen vuoksi.

Työn kvantitatiivisen osan reliabiliteetti on vahva, mutta kvalitatiivisen osan vain kohtalainen. Kvalitatiivisen osan reliabiliteettia olisi voinut vahvistaa strukturoiduilla haastatteluilta sekä haastatteluiden sanatarkalla litteroinnilla.

## 5.4 Jatkotutkimus-/jatkokehityksaiheet

Diplomityön viimeistelyn ohella tuotannonsuunnittelujärjestelmän kehittäminen on aloitettu tutkimuksessa määritetyn konseptin pohjalta. Järjestelmän kehitystyön ensimmäisessä vaiheessa tuotannonsuunnittelujärjestelmä keskittyy tuomaan näkyväksi tuotannon kaikki työvaiheet, mahdollistaen näin tuotannon ajantasaisen valvonnan ja hallinnan. Järjestelmä perustuu FIFO periaatteeseen, ja sen avulla voidaan hallita koko prosessin kulkua hyödyntämällä puskurin kapasiteettia DBR-teorian mukaisesti. Järjestelmä sisältää kaksi erillistä käyttöliittymää: tuotannonsuunnittelijan sekä operaattorien näkymän, jolloin järjestelmä vastaa konseptin mukaisiin tarpeisiin. Operaattorin käyttöliittymä on rakennettu niin, että työntekijä voi valita oman työasemansa näytöltä ja näin järjestelmän käyttö pysyy yksinkertaisena ja käyttäjäystävällisenä.

Tuotannonsuunnittelunäkymä antaa laajemman mahdollisuuden tuotantoprosessin ohjaamiseen ja hallintaan. Konseptin keskeiset vaatimukset tuotannonsuunnittelujärjestelmälle ovat tuotannon hienokuormituksen mahdollistaminen, ajantasainen raportointi sekä kapasiteetin hallinta. Järjestelmä tukee näitä määritettyjä vaatimuksia muun muassa reaaliaikaisella laadun- sekä valmistustietojenraportoinnilla, tuotantokapasiteetin seurannalla ja hallinnalla sekä selkeällä tuotantopistekohtaisella työjonolla, joita tuotannonsuunnittelija voi hallinnoida prosessin kaikissa vaiheissa.

SECI-mallin viimeinen vaihe, sisäistäminen, ei kuulunut tämän tutkimuksen laajuuteen, sillä järjestelmän käyttöönottoa ei ole vielä aloitettu. Sisäistämisvaiheessa eksplisiittinen tieto siirtyy jälleen hiljaiseksi tiedoksi työntekijöiden käytännön toiminnan kautta. Käytännössä tämä tapahtuu esimerkiksi koulutuksen, ohjeistusten ja päivittäisen työn myötä. Tämä vaihe on kriittinen, sillä se edellyttää perusteellista perehdytystä uuden konseptin mukaiseen työskentelyyn järjestelmän avulla. Tiedon spiraalin mukaisesti kyse on tiedon luomisen jatkuvasta prosessista, jossa tieto rikastuu ja laajenee jatkuvasti sekä eksplisiittisen että hiljaisen tiedon ulottuvuuksissa. Siksi käyttäjäkokemusten kerääminen ja prosessien kehittäminen ovat olennainen osa konseptin jatkuvaa parantamista, sillä se ohjaa organisaatiota SECI-mallin mukaiseen spiraalimaiseen kehitykseen.

Yhtenä jatkotutkimusaiheena tuotannonsuunnittelujärjestelmän osalta voitaisiin tarkastella koneoppimiseen perustuvan optimointialgoritmin hyödyntämistä tuotannonsuunnittelujärjestelmässä. Algoritmi voisi oppia tuottamaan alustavan hienokuormitetun tuotantojärjestyksen tuotantotilausten ja kapasiteettirajoitusten pohjalta. Tällöin tuotannonsuunnittelijan rooli voisi keskittyä tarkastamaan ja tarvittaessa hienosäätämään tuotantosuunnitelmaa, mikä vähentäisi paljon manuaalista työtä ja vapauttaisi aikaa muille työtehtäville. Optimointialgoritmi voisi hyödyntää muun muassa historiallista tietoa tuotantojärjestyksistä, muutoksista ja kapasiteettirajoitteista. Mahdollisena menetelmänä voitaisiin soveltaa esimerkiksi neuroverkkoihin (an artificial neural network, ANN) perustuvaa mallia, joka tukisi päätöksentekoa (mm. Schneckenreither, Haeussler & Gerhold 2021).

Tuotannonsuunnittelujärjestelmän lisäksi on tärkeä tarkastella tuotannon muita kehitysmahdollisuuksia tulevaisuudessa. Vaikka tuotannonsuunnittelujärjestelmä tuo merkittäviä parannuksia tuotantoprosessin hallintaan, on sen vaikutus kokonaisvaltaiseen tuotannon sujuvuuteen vain rajallinen. Erityisesti monet tuotevaihdot kuormittavat tuotantoprosessia, eikä kaikkia niistä aiheutuvia haasteita pystytä ratkaisemaan vain tuotannonsuunnittelujärjestelmän avulla. Erityisesti Tuotantokone 1 kuormittuu tuotannossa lukuisista tuotantovaihdoista, sillä jokaisen eri tuotteen jälkeen tuotanto joudutaan keskeyttämään. Tällöin laitteisto on puhdistettava ja säädettävä uudelleen vastaamaan seuraavan tuotteen teknisiä vaatimuksia. Asetusajat ovat merkittäviä ja tuotannon keskeytyksiä on paljon. Nämä heikentävät koneen käyttöastetta ja koko prosessin tehokkuutta. Asetusaikoihin voidaan vain rajallisesti vaikuttamaa työjärjestyksen optimoinnin keinoin. Tämän vuoksi jatkotutkimuksena tulisi tarkastella, miten vaihtoajoja voitaisiin minimoida. Yhtenä potentiaalisena työkaluna voidaan hyödyntää SMED-menetelmää, sillä se vähentää tehokkaasti koneiden asetusajoja tuotevaihtojen yhteydessä.

## LÄHTEET

Addae, H.M., Parboteeah, K.P. & Velinor, N. (2008). Role stressors and organisational commitment: Public sector employment in St. Lucia. *International Journal of Manpower*, 26(6), 567–582.

Alavi, M. and Tiwana, A. (2002), “Knowledge integration in virtual teams: the potential role of KMS”, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol. 53 No. 12, pp. 1029-1037.

Alcaraz, J. L. G., Macías, A. A. M., Luevano, D. J. P., Fernández, J. B., López, A. de J. G., & Macías, E. J. (2016). Main benefits obtained from a successful JIT implementation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(9–12), 2711–2722.

Alvarez, L., Avella, L., & Martinez, R. (2024). Impact and critical factors in Heijunka implementation an action research study. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(3), 753–776.

Andersson, C. & M. Bellgran. “On the Complexity of Using Performance Measures: Enhancing Sustained Production Improvement Capability by Combining OEE and Productivity.” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 35, 2015, pp. 144–54

Baldé, M., Ferreira, A. I., & Maynard, T. (2018). SECI driven creativity: the role of team trust and intrinsic motivation. *Journal of Knowledge Management*, 22(8), 1688–1711.

Betterton, C. E. & Silver, S. J. (2012) Detecting bottlenecks in serial production lines - a focus on interdeparture time variance. *International journal of production research*. 50 (15), 4158–4174.

Blanchard, K. H., Meyer, P. J. & Ruhe, D. (2007) Know can do: Put your know-how into action. 1st ed. San Francisco, Calif: Berrett-Koehler Publ.

Bonney, M. C. et al. (1999) Are push and pull systems really so different? *International journal of production economics*. 59 (1), 53–64.

Brandt, L., Van Biesebroeck, J. & Zhang, Y. Creative Accounting or Creative Destruction? Firm-Level Productivity Growth in Chinese Manufacturing. *Journal of Development Economics*, vol. 97, no. 2, 2012, pp. 339–51

Chujfi, S. & Meinel, C. (2020) Matching cognitively sympathetic individual styles to develop collective intelligence in digital communities. *AI & society*. 35 (1), 5–15.

Costa, F. et al. (2023) Comparative study of bottleneck-based release models and load-based ones in a hybrid MTO-MTS flow shop: an assessment by simulation. *Operations management research*. 16 (1), 33–48.

Corbett, T. (1998). Throughput accounting: TOC's management accounting system. *The North River Press*.

Craighead, C. W., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D (2001) Protective capacity positioning: Impact on manufacturing cell performance. *European journal of operational research*. 134 (2), 425–438.

- De Meyer, A., Davies, J., Schmenner, R., Holweg, M., & Lawson, B. (2018). APPENDIX G: THE KINGMAN FORMULA. In *Process Theory*. Oxford University Press, Incorporated.
- Deacon, D. et al. (1998) Collision or collusion? A discussion and case study of the unplanned triangulation of quantitative and qualitative research methods. *International journal of social research methodology*. 1 (1), 47–63.
- Engehausen, F. & Lödding, H. (2022) Managing sequence-dependent setup times - The target conflict between output rate, WIP and fluctuating throughput times for setup cycles. *Production planning & control*. 33 (1), 84–100.
- Eraut, M. (2004) Informal learning in the workplace. *Studies in continuing education*. [Online] 26 (2), 247–273.
- Eriksson, P., & Koistinen, K. (2005). *Monenlainen tapaustutkimus (Vol. 4)*. Helsinki: Kulttajatutkimuskeskus.
- Ezugwu, A. E.-S. (2024) Metaheuristic Optimization for Sustainable Unrelated Parallel Machine Scheduling: A concise overview with a proof-of-concept study.
- Faget, P. et al. (2005) Applying discrete event simulation and an automated bottleneck analysis as an aid to detect running production constraints', in *Proceedings - Winter Simulation Conference*. IEEE. p. 7 pp. – 1407.
- Faraj, S., & Sproull, L. (2000). Coordinating Expertise in Software Development Teams. *Management Science*, 46(12), 1554–1568.
- Gavriluță, A. (2019) Study on improvement of a manufacturing system using lean manufacturing. *Calitatea*. 20 (S1), 365–370.
- Gólcher-Barguil, Luis Alejandro, et al. "Measuring Operational Excellence: An Operational Excellence Profitability (OEP) Approach." *Production Planning & Control*, vol. 30, no. 8, 2019, pp. 682–98
- Goldratt, E. M. & Cox, J (1986). *The goal: a process of ongoing improvement*. Great Barrington, MA: North River Press.
- Goldratt, E. M. (1990). *What is this thing called theory of constraints and how should it be implemented?* Great Barrington, MA: North River Press.
- Haamann, T., & Basten, D. (2019). The role of information technology in bridging the knowing-doing gap: an exploratory case study on knowledge application. *Journal of Knowledge Management*, 23(4), 705–741.
- Haverila, M. et al. (2005) *Teollisuustalous*. 5. p. Ylöjärvi: Infacs johtamistekniikka.
- Hampson, I. (1999). Lean production and the toyota production system - Or, the case of the forgotten production concepts. *Economic and Industrial Democracy*, 20(3), 369–391.
- Hemalatha, C. et al. (2021) Lean and agile manufacturing for work-in-process (WIP) control. *Materials Today: Proceedings*. 4610334–10338.
- Hopp, J. W., & Spearman, M. L. (2000). *Factory physics second edition*, ISBN 978–0256247954.

- Irjayanti, M., Azis, A. M., Susilawati, & Sobari, A. R. (2025). Transformative innovations igniting coffee supply chain process efficiency. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 14(1), 44–15.
- Jacob, D., Bergland, S., & Cox, J. (2009). *Velocity: Combining Lean, Six Sigma and the Theory of Constraints to achieve breakthrough performance-A business novel*. Simon and Schuster.
- Jghamou, A., Maziri, A., Mallil, E. H., & Echaabi, J. (2022) SECI Model Combined with ISO 9001 2015 to Support Organizational KM for Manual Assembly Manufacturing Operations. *International journal of knowledge management* (1), 1–21.
- Jones, M. C., Cline, M. & Ryan, S. (2006). Exploring knowledge sharing in ERP implementation: an organizational culture framework. *DECISION SUPPORT SYSTEMS*, 41(2), 411–434.
- Kumar, L., Pooja, & Kumar, P. (2020). Production Process Smoothing and Elimination of Bottleneck. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 804(1), 12051-.
- Kundu, K. et al. (2022) Implementing workload control through lean-based project in MTO-MTS environment. *Journal of manufacturing technology management*. 33 (5), 893–912.
- Lawrence, S.R. and Buss, A.H., 1994. Shifting production bottlenecks: causes, cures, and conundrums. *Production and Operations Management*, 3 (1), 21–37.
- Lödging, H. & Rossi, R. (2013) *Handbook of Manufacturing Control: Fundamentals, description, configuration*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mabin, V.J. and Balderstone, S.J., The performance of the theory of constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications. *Int. J. Op. and Prod. Manage.*, 2003, 23, 568–595.
- Martin, K. & Osterling, M. (2014) *Value stream mapping : how to visualize work and align leadership for organizational transformation*. 1st edition. New York, New York: McGraw-Hill Education.
- Nightingale, P. (1998) A cognitive model of innovation. *Research policy*. [Online] 27 (7), 689–709.
- Nickols, F. (2000) The Tacit and Explicit Nature of Knowledge: The Knowledge in Knowledge Management', *The Knowledge Management Yearbook 2000-2001*. 1st edition. Butterworth-Heinemann. pp. 12–21.
- Nonaka, I. & Takeuchi, N. 1995. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamic of Innovation*. Oxford University Press ISBN-13 978-0-19-509269-1
- Oliveira, M., Maçada, A., & Curado, C. (2011). Knowledge management mechanisms within the SECI model.
- Pfeffer, J. and Sutton, R.I. (2000), *The Knowing-Doing Gap: How Smart Companies Turn Knowledge into Action*, Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Polanyi, M. (1966) The Logic of Tacit Inference. *Philosophy (London)*. 41 (155), 1–18.

- Protzman, C., Whiton, F., & Protzman, D. (2019). *Implementing lean : twice the output with half the input!* (1st edition). Routledge.
- Rafiei, H. & Rabbani, M. (2011) Order partitioning and Order Penetration Point location in hybrid Make-To-Stock/Make-To-Order production contexts. *Computers & industrial engineering*. 61 (3), 550–560.
- Ramhit, K. S. (2019) The impact of job description and career prospect on job satisfaction : a quantitative study in Mauritius. *SA Journal of Human Resource Management*. 17 (1), 1–7.
- Razmi, J., Rahnejat, H., & Khan, M. K. (1998). Use of analytic hierarchy process approach in classification of push, pull and hybrid push-pull systems for production planning. *International journal of operations & production management*. 18 (11), 1134–1151.
- Reychav, I. & Weisberg, J. (2009) Going beyond technology: Knowledge sharing as a tool for enhancing customer-oriented attitudes. *International journal of information management*. 29 (5), 353–361.
- Renzl, B. (2008) Trust in management and knowledge sharing: The mediating effects of fear and knowledge documentation. *Omega* (Oxford). 36 (2), 206–220.
- Roser, C., Nakano, M., & Tanaka, M. (2002) 'Shifting bottleneck detection'. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. [Online]. 2002 IEEE. pp. 1079–1086 vol.2.
- Roser, C., & Shook, J. (2021). *All about Pull Production: Designing, Implementing and Maintaining Kanban, CONWIP, and Other Pull Systems in Lean Production*. All About Lean. com Publishing.
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. (2006). *KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto* [verkkajulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. <<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>>. (Viitattu 14.11.2025)
- Schneckenreither, M., Haeussler, S., & Gerhold, C. (2021). Order release planning with predictive lead times: a machine learning approach. *International journal of production research*. [Online] 59 (11), 3285–3303.
- Sengupta, S. et al. (2008) A new method for bottleneck detection', in *2008 Winter Simulation Conference*. 2008 IEEE. pp. 1741–1745.
- Stake, R. E. *The Art of Case Study Research*. SAGE, 1995.
- Stevenson, M. et al. (2005) A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International journal of production research*. 43 (5), 869–898.
- Stevenson, M. (2006) Refining a Workload Control (WLC) concept: a case study. *International journal of production research*. 44 (4), 767–790.
- Srinivasan, M. M. & Viswanathan, S. (2010) Optimal work-in-process inventory levels for high-variety, low-volume manufacturing systems. *IIE transactions*. 42 (6), 379–391.
- Tietoarkisto. (n.d.). Mittaaminen: Mittarin luotettavuus. Saatavilla: <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/mittaaminen/luotettavuus.html> (Viitattu 14.11.2025)

Thürer, M., Qu, T., Stevenson, M., Li, C. D., & Huang, G. Q. (2017) Deconstructing bottleneck shiftiness: the impact of bottleneck position on order release control in pure flow shops. *Production planning & control*. 28 (15), 1223–1235.

Tomiura, E. (2007) “Foreign Outsourcing, Exporting, and FDI: A Productivity Comparison at the Firm Level.” *Journal of International Economics*, vol. 72, no. 1, 2007, pp. 113–27, <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2006.11.003>.

Um, M., & Harrison, D.F. (1998). Role stressors, burnout, mediators, and job satisfaction: A stress-strain-outcome model and an empirical test. *Social Work Research*, 22(2), 100–115. <https://doi.org/10.1093/swr/22.2.100>

Umble, M. M., & Srikanth, M. L. (1990). Synchronous manufacturing: Principles for world-class excellence.

Veil, S. R. et al. (2011) A Work-In-Process Literature Review: Incorporating Social Media in Risk and Crisis Communication. *Journal of contingencies and crisis management*. 19 (2), 110–122.

Venkatesh, K. et al. (1996) A Petri net approach to investigating push and pull paradigms in flexible factory automated systems. *International journal of production research*. 34 (3), 595–620.

**LIITE A:**

materiaali	g/m2	prosessointinopeus (m/min)
21	180	15
55	105	15
57	105	12
74	125	12
75	200	12
114	340	12
236	135	18
238	180	15
242	135	18
263	120	12
264	190	15
267	240	12
268	240	12
276	220	15
281	170	18
304	465	12
327	190	18
334	465	12
403	155	15
404	155	15
410	160	15
412	160	15
613	195	15
614	195	15
683	170	15
684	170	15
686	145	18
687	145	18

**LIITE B:**

Tuote- ja valmistustiedot	Muokattavissa
Tuotanto viikko	x
Työmääräinnumero	
Raaka-aine	
Tuotantokone	
Muottien lukumäärä	
Tuotenumero	
Nimi	
Värikoodi	
Materiaali koodi	
Materiaalin värikoodi	
Prosessoitava määrä	x
Mallisto	
Valmistumis-vko	x
Huom.	x
Varastoon vko	x
Tilattu määrä	x
Huom.	x
Käsittely	