Tampereen yliopisto

Antti Kulmala

ERÄTUOTANNON KEHITTÄMINEN KOSMETIIKKA- JA HYGIENIATUOTANNOSSA

Kapasiteetin nosto, asetusaikojen lyhentäminen ja ajojärjestyssääntöjen luominen

Diplomityö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastajat: Jussi Heikkilä ja Miia Martinsuo
Kesäkuu 2023

TIIVISTELMÄ

Antti Kulmala: Erätuotannon kehittäminen kosmetiikka ja hygieniatuotannossa: kapasiteetin nosto, asetusaikojen lyhentäminen ja ajojärjestyssääntöjen luominen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Tuotantotalouden diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2023

Korkea vaihtelu ja pienet eräkoot vaativat tuotannonsuunnittelu- ja ohjausperiaatteiden kehittämistä, jotta yritys pysyy kilpailukykyisenä. Diplomityön kohdeyrityksen kosmetiikka- ja hygieniatuotteiden erätuotannossa havaittiin haasteita, jotka olivat johtaneet tuotteiden saatavuus- ja toimitushaasteisiin, joiden lisäksi yritys hakee kasvua. Tämän tapaustutkimuksen tavoitteena oli kehittää kohdeyrityksen tuotannon hienokuormitusta, toimitusvarmuutta ja oikea-aikaisuutta sekä luoda selkeät priorisointisäännöt tuotantojärjestyksen luomiseen. Suurimmiksi ongelmiksi tunnistettiin käyttämätön kapasiteetti ja tuotevaihtojen asetusajat, johon haettiin kirjallisuudesta lyhentämismenetelmiä ja keinoja hyödyntää asetusaikoja tuotantojärjestyksen suunnittelussa.

Kirjallisuuskatsauksessa käsitellyt artikkelit tarjosivat konkreettisia asetusaikojen lyhentämismenetelmiä, joiden koettiin olevan sopivia kohdeyrityksen tuotantoon ja joilla odotettiin saavutettavan merkittäviä hyötyjä. Asetusaikojen lyhentämismenetelmien lisäksi kirjallisuus tarjosi tietoa tuotevaihtojen tehostamiseksi, minkä perusteella luotiin systemaattinen tuotevaihtojen tehostamisprosessi, jota hyödynnettiin kohdeyrityksen tuotantoon. Lisäksi kirjallisuudessa esitetyt tuotantojärjestyksen priorisointisäännöt huomioitiin kohdeyrityksen priorisointisäännöissä.

Analyyseihin hyödynnettiin dataa useista lähteistä. Kvantitatiivista dataa hyödynnettiin erityisesti kapasiteetin käytön analysoimiseen sekä asetusaikojen vaikutuksen arvioimiseen. Laadullinen aineisto tuki prosessien ja tuloksien ymmärtämistä. Analyysi aloitettiin tarkastelemalla kohdeyrityksen nykyisiä tuotannonsuunnittelu ja -ohjausperiaatteita sekä tuotantoprosesseja ongelmien havaitsemiseksi. Tämän tueksi analysoitiin valittujen tuotantolinjojen kapasiteetin käyttöä pullonkaulojen tunnistamiseksi. Merkittäväksi todetuista asetusajoista suoritettiin mittaukset vertailuksi ja tärkeimpien kehityskohteiden tunnistamiseksi.

Tarkastelemalla tuloksia havaittiin, että yhdellä tuotantolinjalla esiintyi merkittävästi tarpeetonta käyttämätöntä kapasiteettia, joka ratkaistiin rekrytoimalla työvoimaa, nostamalla päivittäistä maksimituotantomäärää ja parantamalla toimintatapoja. Asetusaikojen lyhentämiseen hyödynnettiin kirjallisuuden perusteella luotua systemaattista tuotevaihtojen tehostamisprosessia ja koottuja lyhentämismenetelmiä, joiden avulla asetusaikoja saatiin lyhennettyä jokaisella tuotantolinjalla. Tehdyt asetusaikamittaukset toimivat myös ajojärjestyssääntöjen luomisessa. Vertailemalla todellisia toteutuneita ja suunniteltuja tuotantojärjestyksiä uusilla periaatteilla luotuihin tuotantojärjestyksiin huomattiin uusilla periaatteilla saavutettavan merkittäviä aikasäästöjä asetusaikoihin.

Tutkimuksen aikana tehtiin myös muutoksia kohdeyrityksen tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmään parantamalla tuotannon ja myynnin yhteistyötä, eräkokojen määrittämistä ja tuotannon lattiatason ohjausta muun muassa visuaalisuuden avulla. Edellä mainittujen saavutettujen tuloksien lisäksi koko tuotannon tehokkuutta saatiin nostettua ja toimitusaikatauluista saatiin tarkempi kuva. Tulevaisuudessa tulee huolehtia uusien periaatteiden hyödyntämisestä sekä tarkastella pullonkaula-ajattelun, ennakoivan kunnossapidon ja lineaarisen optimoinnin mahdollisuuksia. Näiden lisäksi kohdeyrityksen tulisi osallistaa henkilökuntaa laajemmin, kartoittaa investointitarpeita, hyödyntää Lean- ja JIT-periaatteita (engl. just-in-time) sekä kehittää hankintaa.

Tutkimuksen tieteellinen merkitys koostuu korkeaan vaihteluun sekä laatu- ja hygieniavaatimuksia sisältävän tuotannon suunnittelu- ja ohjausperiaatteiden kehittämisestä. Erityisesti luotu systemaattinen tuotevaihtojen tehostamisprosessi sekä ajojärjestysprosessi myöhästymisten ja asetusaikojen lyhentämiseksi tarjoavat avainkirjallisuuteen lisäarvoa. Tutkimuksessa havaittiin, että näillä sekä mittauksiin perustuvilla LSU-periaatteilla (engl. least setup) voidaan saavuttaa merkittäviä aikasäästöjä asetusaikojen osalta kohdeyrityksessä. Näitä periaatteita tulisikin testata ja hyödyntää vastaavissa tuotantoympäristöissä vertailun ja yleistämisen parantamiseksi.

Avainsanat: tuotannonsuunnittelu- ja ohjaus, asetusaika, tuotevaihto, erätuotanto, tuotannon aikatauluttaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Antti Kulmala: Improving batch production in cosmetics and hygiene production: increasing capacity, shortening setup times and creating production sequence rules
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree in Industrial Engineering and Management
June 2023

High variability and small production batches require developing production planning and control principles for the company to remain competitive. The target company of this study produces cosmetics and hygiene products in batch production where problems with the availability of products and challenges with deliveries have been detected. In addition, company seeks for growth. The objective of this case study was to develop the fine loading of production, delivery times, timeliness, and to make clear principles to determine production sequence. Major problems were unused capacity and setup times for which solution was sought from literature. Also, ways to use setup times in production sequence was sought.

The articles discussed in literature review offered concrete ways that were found to be good for shortening setup times, which seemed to be suitable for the company's production environment and which were expected to achieve major benefits. In addition to ways for shortening setup times, the literature provided information on how to make product changeovers more efficient, which was used for the company's production. In addition, the traditional production sequencing rules presented in literature were considered when creating rules for company.

There were multiple sources of data, and quantitative data was particularly used to analyze the use of capacity and to evaluate the effect of setup times. Qualitative data supported the understanding of production processes and results. The analysis began by examining the company's current manufacturing planning and control (MPC) principles and processes to detect problems. To support this, the capacity utilization of chosen production lines was analyzed to identify bottlenecks. Setup times found to be significant, and measurements were made for comparison and to identify the most important developments.

It was found from results that one production line had significant amount of unused capacity, which was resolved by labor, increasing the daily maximum production volume, improving operating procedures, and clarifying instructions. Systematic process for improving the efficiency of changeovers based on literature was used to shorten up setup times as well as using different shortening methods. This resulted in setup times shortening on every examined production line. Setup times were also used in creating production sequencing rules and by comparing the actual and planned production sequences with the new sequence based on new principles, it was noticed that new principles result in significant time saving in setup times.

During the research, there were changes made to company's MPC-system by improving cooperation between sales and production, determination of lot sizes, and floor level production control. In addition to previously mentioned results, the efficiency of the entire production was increased, and a more accurate view of the delivery schedules was obtained. In the future, company must take care of the utilization of these new principles and examine the possibilities of theory of constraints, predictive maintenance, and linear optimization. In addition, company should involve the staff more, seek for investments needs, use Lean and just-in-time principles, and develop procurement.

The scientific contribution of the research consists of developing production planning and control principles in a production with high variability, quality, and hygiene requirements. Especially, the created systematic process of increasing the efficiency of changeovers and the process of production sequencing to reduce delays and setup times bring value to literature. It was found that with these processes and using created least setup principles based on measurements, significant time savings can be achieved in setup times in object company. These principles should be utilized and tested in similar environments to improve the comparison and generalization.

Keywords: manufacturing planning and control, setup time, changeover, batch production, production sequence

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

ALKUSANAT

Diplomityö oli kokonaisuudessaan opettava, mielenkiintoinen ja haastava projekti. Ajoittain pitkälle tulevaisuuteen tuntunut työn valmistuminen valmistuikin lopulta suunnitellussa aikataulussa. Lopputulokseen olen erittäin tyytyväinen ja uskon saavutettujen oppien kantavan jatkossakin.

Melkoinen uurastus sekä tämän diplomityön että opiskeluiden takana on palkitsevaa valmistumisen lähestyessä. Diplomityön ollessa viimeinen askel kohti valmistumista tahdoin nähdä sen eteen myös paljon vaivaa. Työ oli hyvin itsenäinen prosessi, jonka aikana sain kuitenkin toimia myös hienojen ihmisten kanssa. Haluan kiittää kohdeyritystä mielenkiintoisesta ja haastavasta tutkimusmahdollisuudesta sekä uusista opeista ja tukevasta työympäristöstä. Kiitos myös läheisille ja ystäville saamastani tuesta. Erityiskiitokset diplomityöni ohjaajalle Jussi Heikkilälle tuesta, ajatuksista, ohjauksesta ja rakentavasta palautteesta.

Tampereella, 19.6.2023

Antti Kulmala

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Tutkimuksen kohdeyritys ja tausta 1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet, rajaukset ja tutkimuskysymykset 2
1.3 Tutkimuksen rakenne 3
2. KIRJALLISUUSKATSAUS 5
2.1 Tuotannonsuunnittelu ja -ohjausjärjestelmä 5
2.2 Tuotannon hienokuormitus 7
2.2.1 Pullonkaulojen tunnistaminen ja poistaminen 9
2.2.2 Lyhyen aikavälin kapasiteetin suunnittelu 11
2.2.3 Tuotevaihdot ja asetusajat kosmetiikkateollisuudessa 13
2.2.4 Tuotannon ajojärjestys 16
2.3 Asetusajat ajojärjestyksen perustana 18
2.3.1 Asetusaikojen lyhentämisperiaatteet 19
2.3.2 Asetusaikojen lyhentäminen SMED-menetelmillä 23
2.3.3 Asetusajat ajojärjestyksessä 25
2.4 Yhteenveto 26
3. TUTKIMUSMETODOLOGIA 30
3.1 Tutkimuksen toteutus 30
3.2 Aineiston keruu- ja analysointimenetelmät 31
3.3 Aineiston käsittely 34
4. TULOKSET 36
4.1 Kohdeyrityksen tapauksen nykytila 36
4.1.1 Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus 36
4.1.2 Tuotantoprosessit 38
4.2 Kapasiteetin käyttö ja pullonkaulat 42
4.2.1 Kapasiteetin käytön tarkastelu 42
4.2.2 Kapasiteetin käytön analysointi 44
4.2.3 Yhteenveto kapasiteetin käytöstä ja pullonkaulat 48
4.3 Asetusaikamittaukset 49
5. TULOSTEN TULKINTA JA TOIMENPITEET 53
5.1 Tulosten tarkastelu 53
5.2 Tehtävät toimenpiteet 53
5.2.1 Värilinjan käyttämättömän kapasiteetin ratkaiseminen 53
5.2.2 Asetusaikojen lyhentäminen 55
5.2.3 Ajojärjestyssääntöjen luominen 62
5.2.4 Tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmän muutokset 71
6. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT 75
6.1 Tulosten yhteenveto 75
6.2 Tutkimuksen tieteellinen merkitys 77
6.3 Tutkimuksen ja sen tulosten arviointi 78

6.4 Jatkotutkimuskohteet ja kehitysehdotukset kohdeyritykselle 81
LÄHTEET 83
LIITE A: A-PULLOTUSLINJAN VIIKON 40 KAPASITEETIN KÄYTTÖ 86
LIITE B: D-PULLOTUSLINJAN VIIKON 40 KAPASITEETIN KÄYTTÖ 87
LIITE C: VÄRILINJAN VIIKON 40 KAPASITEETIN KÄYTTÖ 88
LIITE D: LINJOJEN ASETUSAIKAMITTAUKSET 89
LIITE E: LINJOJEN UUSINTA-ASETUSAIKAMITTAUKSET 90

KUVALUETTELO

Kuva 1 *Tuotannonsuunnittelu- ja -ohjausjärjestelmä (mukaillen Jacobs et al. 2018, luku 1)* *6*
Kuva 2 *Systemaattinen SMED-prosessi (Singh et al. 2018 mukaillen)* *21*
Kuva 3 *Tuotevaihtojen tehostamisprosessi* *28*
Kuva 4 *Pullotuslinjojen prosessikaavio* *39*
Kuva 5 *Värilinjan prosessikaavio* *41*
Kuva 6 *A-linjan kapasiteetin jakautuminen* *45*
Kuva 7 *D-linjan kapasiteetin jakautuminen* *46*
Kuva 8 *Värilinjan (G) kapasiteetin jakautuminen* *47*
Kuva 9 *Työtehon kehitys tutkimuksen aikana (Kohdeyritys 2023).* *76*

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1 *Tutkimuksessa käytetyn aineiston luokittelu 33*
Taulukko 2 *Pakkauslinjojen teoreettinen ja suunniteltu kapasiteetti 43*
Taulukko 3 *Pakkauslinjojen käytettävissä oleva ja käyttämätön kapasiteetti..... 44*
Taulukko 4 *Pakkauslinjojen viikon 40 kapasiteettitunnusluvut..... 48*
Taulukko 5 *A-pullotuslinjan asetusajat..... 50*
Taulukko 6 *D-pullotuslinjan asetusajat..... 51*
Taulukko 7 *Värilinjan asetusajat 51*
Taulukko 8 *A-pullotuslinjan sisäisessä ja ulkoisessa ajassa tehtävät asetukset..... 55*
Taulukko 9 *D-pullotuslinjan sisäisessä ja ulkoisessa ajassa tehtävät asetukset 56*
Taulukko 10 *Värilinjan sisäisessä ja ulkoisessa ajassa tehtävät asetukset 57*
Taulukko 11 *A-pullotuslinjan asetusaikojen vertailu 59*
Taulukko 12 *D-pullotuslinjan asetusaikojen vertailu..... 60*
Taulukko 13 *Värilinjan asetusaikojen vertailu 61*
Taulukko 14 *D-pullotuslinjan asetusajat komponenteittain ja puolivalmisteittain 64*
Taulukko 15 *A-pullotuslinjan ajojärjestysvertailu esimerkki 1 ..... 65*
Taulukko 16 *A-pullotuslinjan ajojärjestysvertailu esimerkki 2 ..... 66*
Taulukko 17 *Värilinjan ajojärjestyksestä riippuvaiset asetusajat 68*
Taulukko 18 *Värilinjan ajojärjestysvertailu 70*

LYHENTEET JA MERKINNÄT

APS	Advanced planning and scheduling Tuotannon hienokuormitusjärjestelmä
BOM	Bill of materials Tuoterakenne
CTM	Cycle time management and deduction Läpimenoajan hallinta ja vähentäminen
DBR	Drum-buffer-rope Rumpu-puskuri-köysi -pullonkaulaohjausperiaate
DFC	Design for changeover Tuotevaihtosuunnittelu
EDD	Earliest due date Aikaisin toimituspäivä
ERP	Enterprise resource planning Toiminnanohjausjärjestelmä
ETO	Engineer-to-order Tilauksesta suunnittelu ja valmistus
FIFO	First in first out FIFO-sääntö tarkoittaa tavaroiden vapauttamista siinä järjestyksessä, kun ne ovat saapuneet paikalle
H-SMED	Human-centric single minute exchange of die H-SMED huomioi perinteisen SMED (lähestymistapa tuotevaihtojen asetusaikojen lyhentämiseen) lisäksi henkilöstön tarkemmin
JIT	Just-in-time Juuri oikeaan aikaan ja tarpeeseen -tuotannonohjausperiaate
LSU	Least setup Lyhin asetusaika
MES	Manufacturing execution system Tuotannonohjausjärjestelmä
MPC	Manufacturing planning and control Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus
MPS	Master production schedule Tuotannon karkeasuunnitelma
MRP	Material requirements planning Materiaalitarvelaskenta
MTO	Make-to-order Tilauksesta valmistus

MTS	Make-to-stock Varastoon valmistus
OPP	Order penetration point Tilauksen kohdennuspiste
PAC	Production activity control Tuotannon lattiatason ohjaus
SFC	Shop-floor scheduling and control Tuotannon lattiatason aikataulutus ja hallinta
SPT	Shortest processing time Lyhin tuotantoaika
S&OP	Sales and operations planning Myynnin ja tuotannon suunnittelu
SMED	Single minute exchange of die SMED on lähestymistapa tuotevaihtojen asetusaikojen lyhentämiseen.
TOC	Theory of constraints Pullonkaulateoria

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen kohdeyritys ja tausta

Merkittävä vaihtelu, laaja tuotevalikoima ja pienet eräkoot ovat nykyään hyvin yleisiä monissa tuotantoympäristöissä, jolloin yritykset joutuvat tehostamaan erityisesti tuotevaihtojaan pysyäkseen kilpailukykyisenä. Tässä tutkimuksessa tuodaan tuotannonsuunnittelu- ja ohjaustutkimuskenttään korkeiden laatu- ja hygieniavaatimuksien omaava tuotantoympäristö, jossa pyritään tehostamaan tällaisen tuotantoympäristön hienokuormitusta. Tutkimuksessa hyödynnetään aiempaa kirjallisuutta tuotannon tehostamiseksi ja luodaan uusia periaatteita tuotannonsuunnitteluun ja -ohjaukseen sekä analysoidaan niiden vaikutusmahdollisuuksia.

Tutkimuksen kohdeyritys valmistaa erilaisia kosmetiikka- ja hygieniatuotteita, kuten shampoita, hoitoaineita, hiusmaskeja, suihkeita, saippuoita, rasvoja, hiusvärejä, hiusvahoja, permanentteja, hapetteita ja käsidesejä. Osa valmistettavista tuotteista on yrityksen omia ja osa valmistetaan Private Label -asiakkaille. Yrityksen valmistamien lopputuotenimikkeiden määrä on yli 1000 kappaletta ja tuotantomäärät yhteensä noin puoli miljoonaa kappaletta kuukausittain. Kohdeyrityksen laaja tuotevalikoima johtaa merkittävään vaihteluun tuotannossa, joka aiheuttaa haasteita erityisesti tuotannon hienokuormitukselle.

Kohdeyrityksen tehtaalla sijaitsee yrityksen kaikki toiminnot. Tuotannon kannalta oleellisimmat toiminnot ovat puolivalmisteiden valmistus, tuotepakkaamo, varasto ja tuotekehitys. Tuotanto toteutetaan pääasiassa omien tuotteiden kohdalla varasto-ohjautuvasti eli MTS-periaatteella (engl. make-to-stock) ja Private-label tuotteiden kohdalla tilausohjautuvasti eli MTO-periaatteella (engl. make-to-order). Joissain tapauksissa tuotteet myös suunnitellaan asiakkaille eli ETO-periaattella (engl. engineer-to-order). Kosmetiikan toimialan säätely tuo mukanaan korkeat laatuvaatimukset, joka näkyy kohdeyrityksessä puolivalmisteiden ja lopputuotteiden mikrobiologisena ja kemiallisena testauksena. Tämä tarkoittaa sitä, että lopputuotteet joutuvat läpäisemään nämä testit ennen markkinoille vapautusta, joka tarkoittaa noin kolmen viikon lisäaikaa ennen kuin tuote on saatavilla asiakkaalla johtaen lisähaasteeksi tuotantotilauksien ajoittamiselle.

Kohdeyritys luo arvoa asiakkailleen laajalla valikoimallaan sekä laadukkailla ja uusilla tuotteillaan. Yrityksen asiakkaat arvostavatkin erityisesti tuotteiden laatua ja hintaa sekä

toimitusvarmuutta ja joustavuutta. Yrityksen tuotannon suorituskykytekijöinä voidaan nähdä olevan kustannustehokkuus, laatu, joustavuus sekä laaja tuotevalikoima. Kehitettävää löytyy vielä toimituskyvyn, tuottavuuden ja luotettavuuden sekä oikea-aikaisuuden parantamisessa. Haasteiksi on tunnistettu erityisesti työtehokkuus sekä tuotannon ajojärjestyksen kehittäminen.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet, rajaukset ja tutkimuskysymykset

Kohdeyrityksen tuotepakkaamon merkittävänä ongelmana diplomityön aloitushetkellä on sen aikataulusta jäljessä oleminen, joka on johtanut sekä Private Label -asiakkaiden toimitusaikalupauksista myöhästymiseen että omien tuotteiden saatavuusongelmiin. Kohdeyrityksessä on koettu tärkeäksi kehittää tuotannon tehokkuutta parantamalla operatiivista suorituskykyä. Tehokkuudella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa jatkossa tuotoksien ja panoksien suhdetta, jota mitataan kohdeyrityksessä kappalemäärän ja henkilötyötuntien avulla muodossa kpl/h/hlö. Lisäksi yritys hakee kasvua ja selkeyttä prosesseihinsa sekä pyrkii parantamaan tuotannon kapasiteetin käyttöä, tuottavuutta, toimitusvarmuutta ja oikea-aikaisuutta.

Kohdeyrityksen valmistaessa kosmetiikka- ja hygieniatuotteita on havaittu, että tuotantolinjojen asetusajoilla on suuri merkitys tuotteiden läpimenoaikoihin. Asetusajat ovat kuitenkin niin moniulotteisia, ettei tuotantojärjestyksen priorisoinnille ole luotu selkeitä sääntöjä. Asetusaikojen vaikutuksen lisäksi ei ole selkeää tietoa tuotannon pullonkauloista ja muista kehittämiskohteista. Tuotepakkaamon nimikkeiden suuren määrän aiheuttaman vaihtelun vuoksi linjojen asetusajat ovat merkittäviä, joka johtuu muun muassa tuotteiden eroavista koostumuksista, tuoksuista ja väreistä, jotka vaikuttavat linjojen täyttökoneiden ja pumppujen tyhjentämiseen, pesemiseen tai purkamiseen riippuen peräkkäisistä töistä. Lisäksi eroavat komponentit ja tuotteiden koot vaikuttavat pakkauslinjojen säätöihin.

Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen toimeenpanon ja aikatauluttamisen tasoon, jolloin suunnittelutason resurssisuunnittelu, myynnin ja tuotannonsuunnittelu, kysynnän suunnittelu sekä toimeenpanotason toimittajien ohjaus ja laadunhallinta jäävät vähemmälle tarkastelulle. Tutkimus rajataan koskemaan tuotannon, joka sisältää kohdeyrityksessä puolivalmisteiden valmistuksen sekä tuotepakkaamon, osalta pelkkään tuotepakkaamoon. Puolivalmisteiden valmistusta käsitellään vain pintapuolisesti tuotepakkaamon toiminnan ymmärtämiseksi. Lisäksi tutkimus rajataan kohdeyrityksen toiveesta kolmelle kriittisimmälle tuotantolinjalle.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää kohdeyrityksen tuotannon hienokuormitusta ja erityisesti lyhentää haastavaksi todettuja asetusaikoja parantaen tuotannon tehokkuutta. Lisäksi tavoitteena on luoda selkeät priorisointisäännöt tuotannonsuunnittelulle paremman tuotantojärjestyksen ja tätä kautta tehokkuuden tavoittelemiseksi. Tavoitteiden pohjalta muodostetaan seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Miten kohdeyrityksen erätuotantoa voidaan kehittää tuotannon tehokkuuden, toimitusvarmuuden ja oikea-aikaisuuden parantamiseksi?
2. Miten pakkauslinjojen asetusajat tulisi huomioida tuotantojärjestyksen priorisointisääntöjen luomisessa?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan analysoimalla kohdeyrityksen nykytilaa tarkastelemalla nykyisiä tuotannonsuunnittelu- ja -ohjausperiaatteita sekä tuotantoprosesseja. Tämän jälkeen kirjallisuutta hyödyntäen analysoidaan tuotannon kapasiteetin käyttöä pullonkaulojen ja kehityskohteiden tunnistamiseksi. Toiseen tutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan hyödyntämällä kirjallisuudessa hyväksi todettuja asetusaikojen lyhentämismenetelmiä ja testaamalla niiden toimivuutta kohdeyrityksen tuotantoympäristössä. Saatujen mittaustulosten tarkoituksena on toimia priorisointisääntöjen pohjana hyödyntäen lisäksi kirjallisuudessa hyväksi todettuja sääntöjä.

1.3 Tutkimuksen rakenne

Tämä tutkimus on jaettu johdantoon, kirjallisuuskatsaukseen, tutkimusmetodologiaan, analyysiin ja tuloksiin, tulosten tulkintaan ja toimenpiteisiin sekä yhteenvetoon ja päätelmin. Johdannon jälkeen luvussa 2 luodaan yleiskatsaus tuotannonsuunnittelu – ja ohjausjärjestelmään tunnetun kirjallisuuden kautta. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään tuotannon hienokuormitusta muun muassa pullonkaulateorian ja kapasiteetin suunnittelun kautta. Näiden kautta syvennytään tuotevaihtoihin, asetusaikoihin sekä ajojärjestykseen. Luvussa esitetään asetusaikojen lyhentämisperiaatteita ja -menetelmiä sekä näiden hyödyntämistä ajojärjestyksessä. Luvun lopuksi luodaan yhteenveto kirjallisuudesta.

Luvussa 3 kuvataan tutkimusmetodologiaa, jossa tarkastellaan tutkimuksen toteutusta sekä aineiston keruu- ja analysointimenetelmiä tarkemmin. Luvussa 4 kuvataan kohdeyrityksen nykytilaa nykyisten tuotannonsuunnittelu- ja ohjausperiaatteiden sekä tuotantoprosessien kautta. Lisäksi luvussa tarkastellaan ja analysoidaan kapasiteetin käyttöä pullonkaulojen tunnistamiseksi sekä esitetään suoritetut asetusaikamittaukset. Luvussa 5 tarkastellaan mitattuja ja analysoituja tuloksia sekä kuvataan niiden perusteella tehtyjä toimenpiteitä tunnistettujen haasteiden ratkaisemiseksi. Luvussa 6 luodaan yh-

teenveto tuloksista sekä arvioidaan tutkimuksen tieteellistä merkitystä ja tulosten merkitystä sekä luotettavuutta. Luvun lopussa esitetään myös jatkotutkimuskohteet sekä tulevaisuuden kehitysehdotukset kohdeyritykselle.

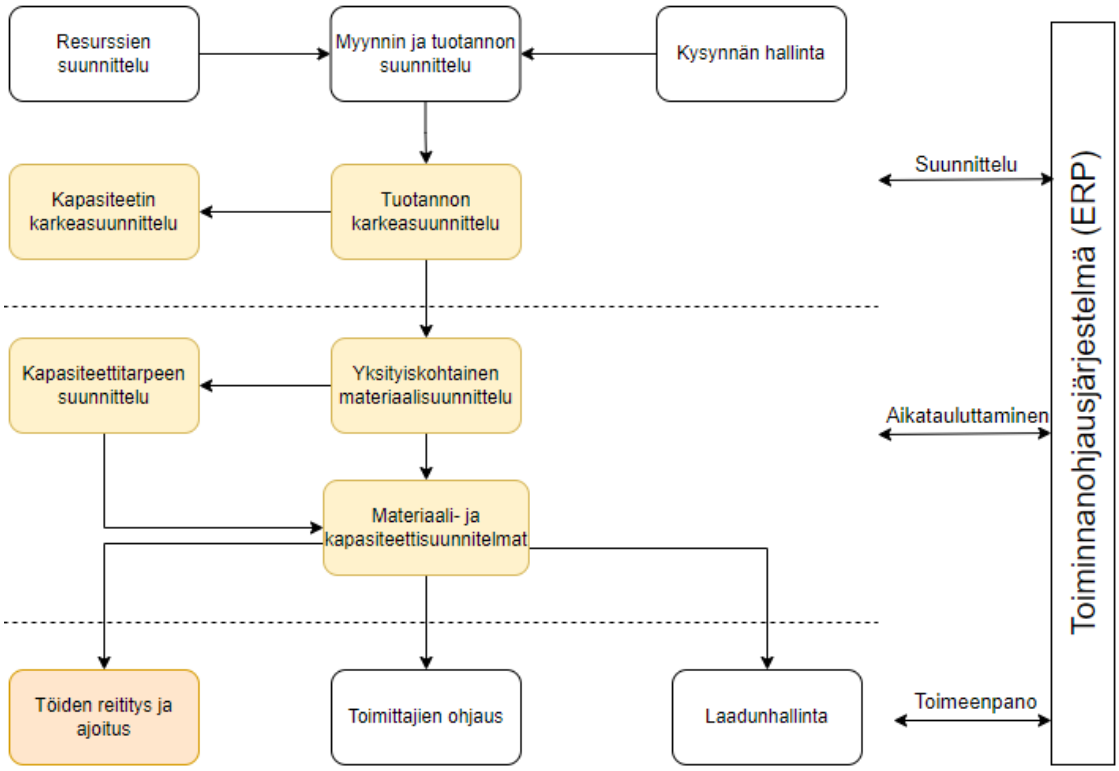
2. KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Tuotannonsuunnittelu ja -ohjausjärjestelmä

Valmistavan yrityksen kilpailukyvyn säilymisen vaatimuksena on ymmärtää sen strategiset ja operationaalisten kysymykset liittyen markkinoiden, tuotteiden ja tuotannon välisiin yhteyksiin (Olhager & Wikner 2000). Tuotannon tavoitteena on vastata markkinoiden vaatimuksiin ja sen suorituskykymittareina ovatkin joustavuus, laatu, luotettavuus, nopeus ja kustannukset. Edellä mainitut suorituskykytavoitteet eivät usein ole kaikki samanaikaisesti saavutettavissa, jolloin yritys joutuu tekemään kompromisseja ja valitsemaan millä tekijöillä se haluaa tuottaa asiakkaalleen arvoa. (Slack & Lewis 2020, s.17, 62–66, 76–77)

Tuotannosta tarvitaan tietoa yrityksen johdolle, asiakkaille ja toimittajille sekä keinoja ongelmien ratkaisuun, jotta asiakkaille voidaan viestiä tuotannon tilanteesta. Tähän tarkoitukseen on tuotannon suunnittelu- ja ohjausjärjestelmä eli MPC-järjestelmä, joka käsittää kaiken suunnitteluun ja ohjaukseen liittyvän tuotannossa, kuten materiaalien hallinnan, koneiden ja ihmisten aikatauluttamisen sekä toimittajien ohjauksen ja toimitukset asiakkaille. (Jacobs et al. 2018, luku 1.0–1.1) MPC-järjestelmän perimmäisenä tarkoituksena on hallita ja suunnitella kokonaisuutta, jonka kulmakivinä ovat asiakas, tuotteet sekä prosessi lähtien liikkeelle asiakkaan tuote- ja toimitustarpeista, johon tuotantoprosessin täytyy vastata (Olhager & Wikner 2000).

MPC-järjestelmän toiminnot voidaan jakaa kolmeen aikahorisonttiin: pitkään aikaväliin, keskipitkään aikaväliin ja lyhyeen aikaväliin. Pitkällä aikavälillä MPC-järjestelmän tarkoituksena on tuottaa tietoa tarvittavasta kapasiteetista, kuten laitteista, teknologiasta, henkilöstöstä ja toimittajista, jotta tulevaisuuden kysyntään kyetään vastaamaan. Keskipitkällä aikavälillä MPC-järjestelmän tarkoituksena on saada tarjonta vastaamaan kysyntään sekä volyymin että valikoiman osalta, jolloin tarkastelukohtana on tiettyjen materiaalien ja kapasiteettitarpeen suunnittelu. Lyhyellä aikavälillä tuotannon tavoitteiden saavuttamiseksi vaaditaan yksityiskohtaista resurssien eli ihmisten, materiaalien, laitteiden ja tuotantolinjojen aikatauluttamista. (Jacobs et al. 2018, luku 1.1) Alla olevassa kuvassa 1 on kuvattuna MPC-järjestelmän toiminnot.



Kuva 1 Tuotannonsuunnittelu- ja -ohjausjärjestelmä (mukaillen Jacobs et al. 2018, luku 1)

Kuvassa 1 esitetty viitekehys kokoaa MPC-järjestelmän, joka on jaettua kolmeen tasoon: suunnitteluun, aikatauluttamiseen ja toimeenpanoon. Tässä tutkimuksessa käsitellyt kokonaisuudet MPC-järjestelmästä on korostettuna kuvassa 1 keltaisella. Pääpaino on töiden reitityksessä ja ajoituksessa, joka on korostettuna kuvassa 1 oranssilla.

Tuotannon karkeasuunnittelu eli MPS (engl. master production scheduling) pohjautuu S&OP:iin (engl. sales and operations planning) ja se kuvaa, mitä tuotteita tuotetaan lähitulevaisuudessa. S&OP:n voidaan nähdä volyymisuunnitelmana, kun taas MPS huomioi tarkemmin myös tuotevalikoiman (Olhager & Wikner 2000). MPS toimii samalla myös pohjana kapasiteetin karkeasuunnittelulle sekä linkittyy aikatauluttamisen tasoon yksityiskohtaiselle materiaalisuunnittelulle eli MRP:lle (engl. material requirements planning). MRP kuvaa jaksokohtaiset vaatimukset kaikille raaka-aineille ja komponenteille, joita tarvitaan MPS:n kuvaamaan lopputuotteiden valmistamiseen. MRP:tä taas hyödynnetään kapasiteettitarpeen suunnittelussa, jolloin tarkoituksena on laskea kaikkiin tuotantovaiheisiin tarvittavaa työvoima- sekä konekapasiteettia ja näiden pohjalta luodaan materiaali- ja kapasiteettisuunnitelmat, joihin pohjautuvat myös töiden reititykset ja ajoitukset. (Jacobs et al. 2018, luku 1.2.1)

MPC-järjestelmän vaatimukset riippuvat tuotantoprosessin luonteesta sekä asiakkaiden odotuksista, kuten toimitusnopeudesta ja -varmuudesta sekä joustavuudesta ja kustannuksista. MPC-järjestelmä myös muuttuu jatkuvasti asiakkaiden odotusten mukaisesti. (Jacobs et al. 2018, luku 1.3) Tässä tutkimuksessa jatkossa käytetyt termit perustuvat edellä esitettyyn Jacobs et al. (2018) MPC-järjestelmään. Kuten kuvasta 1 huomataan MPC-järjestelmän jokaisella tasolla tulisi olla integroituna myös yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä eli ERP (engl. enterprise resource planning). ERP integroi yhteen yrityksen eri toimintoja, joka mahdollistaa yhtenäisen tiedon käytön läpi eri organisaatioiden sekä tehostaa viestintää näiden välillä (Dechow & Mouritsen 2005; Olson et al. 2013).

ERP tukee MPC-järjestelmää, sillä materiaali- ja kapasiteettisuunnitelmien toteutus vaatii koneiden, linjojen ja ihmisten yksityiskohtaista aikatauluttamista siten että tilaukset ja komponentit saapuvat oikea-aikaisesti. ERP:tä hyödynnetään tuotantojärjestelmän kannalta muun muassa kapasiteetin suunnitteluun, toimitusaikalupauksiin sekä ennustamiseen. (Jacobs et al. 2018, luku 1.2.1; Jacobs & Weston 2007). ERP:n tukena voidaan hyödyntää MES- (engl. manufacturing execution system) ja APS-järjestelmiä (engl. advanced planning and scheduling), jotka on kehitetty erityisesti tuotannon töiden reitityksen ja ajastuksen tasolle, jossa MES-järjestelmät parantavat tuotannonohjausta erityisesti lattiatasolla ja APS-järjestelmät vastaavat edistyneesti tuotannon hienokuormituksesta ja aikatauluttamisesta. (Olhager & Wikner 2000) Kyseisten järjestelmien avulla tuotannon hienokuormitusta, johon syvennytään seuraavassa luvussa, voidaan tehostaa.

2.2 Tuotannon hienokuormitus

Oleellinen osa tuotantojärjestelmän toimivuutta on sen hienokuormituksen sujuvuus. Jotta tuotanto kykenee vastaamaan markkinoiden vaatimuksiin eli laatuun, toimitusnopeuteen, luotettavuuteen, joustavuuteen ja kustannuksiin, kasvaa tuotannon suunnittelu- ja ohjausjärjestelmän merkitys suureksi (Olhager & Wikner 2000). MPC-järjestelmän täytyy päivittäin tarkkailla resurssien käyttöä ja tuloksia, jotta tuotannon suorituskyvystä, kuten työvoiman tehokkuudesta ja materiaalin käytöstä, kyetään raportoimaan. MPC-järjestelmän tulee reagoida myös fyysisiin muutoksiin tuotannon lattiatasolla sekä tarjota ajantasaista tietoa toiminnan sujumiseksi. (Jacobs et al. 2018, luku 1.1, 1.3) Tuotannon hienokuormituksen tärkeimpänä tavoitteena voidaan nähdä olevan osa läpimenoajan hallintaa ja vähentämistä eli CTM:ää (engl. cycle time management and deduction), jonka tarkoituksena on vähentää kokonaisaikaa, joka kuluu kaikkiin toimintoihin tilausten, suunnittelun, tarjonnan hallinnan, tuotannon ja jakelun aikana (Miltenburg & Sparling 1996).

CTM tarkoituksena on kohdistaa parannuksia niihin toimintoihin, jotka vievät paljon aikaa koko läpimenoajasta, sillä läpimenoajan lyhentäminen johtaa kustannusten, laadun ja joustavuuden parantumiseen. Tavoite läpimenoajan lyhentämisestä johtaa siihen, että kaikki tarpeettomat toiminnot tulee tunnistaa ja eliminoida sekä tarpeelliset toiminnot tehostaa johtaen matalimpiin kustannuksiin. Myös joustavuus eli yrityksen kyky vastata nopeasti muuttuviin olosuhteisiin kehittyy läpiemoajan lyhentyessä. (Miltenburg & Sparling 1996)

Tuottavuutta voidaan parantaa Jit Singh & Khanduja (2009) mukaan joko vähentämällä tarvittavia resursseja eli panoksia tai nostamalla tuotoksia. CTM lähestymistapoja tähän on kaksi: inkrementaalinen ja läpimurto. Inkrementaalisen lähestymistavan tarkoituksena on tehdä vakaita ja jatkuvia pieniä parannuksia. Näitä tulisi tehdä silloin, kun parannusten kiireellisyys on kohtalaista ja käytettävissä olevien resurssien määrä on rajattua. (Miltenburg & Sparling 1996) Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti inkrementaalisiin parannuksiin, sillä kohdeyrityksen käytettävissä olevat resurssit ovat rajattuja.

Tuotannon hienokuormituksen ja CTM kannalta oleellinen asia on ymmärtää tilauksen kohdennuspiste eli OPP (engl. order penetration point), sillä eri tuotantoympäristöissä, kuten MTS ja MTO sijaitsee eri vaiheessa toimitusketjua. OPP kuvaa sitä pistettä toimitusketjussa, jossa tietty tuote linkitetään tiettyyn asiakkaan tilaukseen (Olhager 2003). Läpimenoajan lyhentäminen tarjoaa mahdollisuuden sijoittaa OPP:n laajemmin eri pisteisiin. Ennen OPP:ta tulisi hyödyntää MTS, virtautettua ja imuohjautuvaa tuotantoa volyymien ollessa korkeita, kun taas OPP:n jälkeen kyseeseen tulee MTO, ajastettu ja työntöohjautuva tuotanto räätälöityjen lopputuotteiden ja alhaisemman volyymin vuoksi. Yritykset, joilla on suuret määrät standardoituja tuotteita valitsevat yleensä MTS:n, virtautetun ja imuohjautuvan tuotannon. (Olhager & Wikner 2000; Olhager 2003)

Toimitusnopeus liittyy suoraan OPP:n asemaan, sillä jos nopeat toimitukset ovat yrityksen kilpailuvalttina, tulisi OPP sijoittaa mahdollisimman lähelle asiakasta. (Olhager 2003) MTS-ympäristössä kilpailuvalttina on palveluaste eli se, kuinka moneen tilaukseen kyetään vastaamaan. Haasteina on erityisesti varastotasojen suunnittelu, eräkoon päättämäinen sekä kysynnän ennustaminen. (Soman et al. 2004) OPP onkin tyypillisesti varastointipiste, joissa oikea määrä ja valikoima tuotetta tai osakokoonpanoja on varastoituna ja josta se luvataan tietylle asiakkaalle (Olhager & Wikner 2000). OPP on oleellinen, sillä esimerkiksi MTS-ympäristössä asiakkaan kokemaa läpimenoaikaa voidaan vähentää tuottamalla perustuotteita varastoon. Haasteena tässä on kuitenkin varastokustannusten nousu sekä mahdolliset muutokset asiakkaan vaatimuksissa. (Miltenburg & Sparling 1996)

Tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa tulee huomioida selkeästi OPP:n edeltävät sekä sen jälkeiset vaiheet erillään. OPP:ta edeltävät vaiheet vaativat erilaisen tuotantostrategian kuin OPP:n jälkeinen toiminta: alkupää toimii ennustelähtöisesti, kun taas loppupää toimii todellisten asiakastilauksien perusteella (Olhager 2003). MPC-järjestelmän rakenteen kannalta on olennaista ymmärtää sekä OPP että pullonkaulat (Olhager & Wikner 2000). Toimintojen tarpeellisuuden määrittämisen apuna voidaankin hyödyntää pullonkaula-ajattelua, johon syvennytään seuraavassa luvussa. Pullonkaula-ajattelu taas toimii tukena lyhyen aikavälin kapasiteetin suunnitteluun, jonka jälkeen luvussa syvennytään vielä erityisesti tuotevaihtoihin, asetusaikoihin sekä ajojärjestykseen.

2.2.1 Pullonkaulojen tunnistaminen ja poistaminen

Olennainen osa tuotannonsuunnittelua ja -ohjausta on mitata tuotannon suorituskykyä, jotta sitä voidaan kehittää tunnistettujen haasteiden pohjalta (Olhager & Wikner 2000). Tuotantojärjestelmän kehittämisen sekä erityisesti tuotannon hienokuormituksen kannalta yrityksen tulee tunnistaa järjestelmässä esiintyvät pullonkaulat, jotta järjestelmän kapasiteettia kyetään nostamaan. Tuotantolinjojen teoreettista kapasiteettia heikentävätkin pullonkaulat, jotka rajoittavat koko prosessin läpivirtausta (Kikolski 2016).

Urban & Rogowska (2020) mukaan pullonkauloja ovat ne tekijät, jotka rajoittavan yrityksen kykyä kasvattaa tehokkuuttaan ja voittojaan. Goldratt (1990, s.5) taas määrittelee pullonkaulat sellaisiksi tekijöiksi, jotka estävät tuotantojärjestelmää saavuttamasta tavoitetta korkeampaa suorituskykyä. Lozano et al. (2019) mukaan pullonkaulat ovat kalleimpia tai eniten resursseja vaativia tehtäviä. Stevenson (2018, s. 201) mukaan taas pullonkauloja ovat ne toiminnot, joiden kapasiteetti on pienempi kuin muiden toimintojen. Tiivistettynä tässä tutkimuksessa pullonkauloilla tarkoitetaan jatkossa kaikkia niitä tekijöitä, jotka rajoittavat prosessin kykyä saavuttamasta tavoiteltua kapasiteettia.

Roser et al. (2015) mukaan pullonkaulat ovat sellaisia prosesseja, jotka vaikuttavat koko järjestelmän suorituskykyyn ja mitä suurempi vaikutus on, sitä merkittävämpi itse pullonkaula on. Pullonkaulojen ymmärtäminen onkin olennainen osa tuotantoprosessien tehostamista, sillä kasvanut kilpailu sekä muuttuvat asiakastarpeet ajavat yrityksiä tunnistamaan tuotantoprosessiensa heikkoja kohtia, jotta suorituskykyä voidaan parantaa kysyntään vastaamiseksi (Kikolski 2016). Goldratt mukaan (1990, s.5) jokaisessa järjestelmässä on aina vähintään yksi pullonkaula, joka rajoittaa järjestelmän tehokkuutta. Goldratt (1990, s.8) esittää prosessin, jonka tarkoituksena on kehittää tuotantojärjestelmää hyödyntäen pullonkaula-ajattelua:

1. Tunnista tuotantojärjestelmän pullonkaulat.
2. Tee päätös, kuinka pullonkauloja käytetään.

3. Ohjaa tuotantojärjestelmän muut toiminnot tukemaan pullonkaulan käyttöä.
4. Tehosta pullonkaulan kapasiteettia.
5. Kun kyseinen pullonkaula ei enää rajoita tuotantojärjestelmän tehokkuutta, palaa kohtaan yksi tunnistamaan uudet pullonkaulat, mutta huolehdi, että uudet käytännöt jatkuvat edellisen pullonkaulan parissa.

Urban & Rogowska (2020) mukaan ensimmäinen vaihe yllä mainittua prosessia on merkittävin vaihe, jolloin tulisi määrittää tarkasti sen resurssin sijainti, joka rajoittaa kapasiteettia eniten ja tunnistaa ongelman juurisyy. Ensimmäisessä vaiheessa pullonkaulojen tunnistamisen lisäksi on tärkeää myös priorisoida ne perustuen niiden vaikutukseen tuotantojärjestelmän tehokkuuden kannalta. Kun toisessa vaiheessa on päätetty, kuinka pullonkauloja tullaan käyttämään, täytyy kolmannessa vaiheessa ohjata ne tuotantojärjestelmän toiminnot, jotka eivät ole pullonkauloja, siten että pullonkaula pystyy toimimaan täydellä kapasiteetillaan. Tämän jälkeen neljännessä vaiheessa tarkoituksena onkin nostaa pullonkaulan kapasiteettia niin, ettei se enää rajoita tuotantojärjestelmän tehokkuutta, esimerkiksi investointien keinoin. Ennen investointeja pullonkaulaa tulee kuitenkin hyödyntää täysimääräisesti, jotta investointi ei olisi turha. Pullonkaulan poistuminen kyseisestä toiminnosta siirtää sen väistämättä muualle, jolloin palataan takaisin kohtaan yksi. (Goldratt 1990, s.5–7; Urban & Rogowska 2020)

Edellä mainittua prosessia jatketaan, kunnes rajoittavaa tekijää ei kyetä ratkaisemaan. Nykyään harvoin rajoitteena tulee olemaan liian pienet markkinat, vaan usein pullonkaulat kohdistuvat tuotantoympäristöön sekä joissain tapauksissa myös hankintaan. (Goldratt 1990, s. 7–8) Urban ja Rogowskan (2020) mukaan tuotantojärjestelmän kapasiteetille on tyypillisesti kolmenlasia rajoitteita: Resurssit, joilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että yritys uskoo kapasiteettinsa olevan korkeampi kuin se todellisuudessa on, materiaalit ja menettelytavat, joilla tarkoitetaan kaikkia periaatteita ja paradigmoja, jotka heikentävät yrityksen suorituskykyä. Pullonkaularesurssit estävät siis tuotantotilauksia saavuttamasta tavoitteittaan, mikä aiheuttaa Kikolskin (2016) mukaan erilaisia ongelmia tuotantoon: Mikäli tuotantolinjan kapasiteetti ei riitä kysyntään vastaamiseen, yritys menettää pahimmassa tapauksessa asiakkaittaan. Toisaalta liiallinen varastointi ennen prosessin pullonkaulaa aiheuttaa tarpeettomia varastointikustannuksia.

Tuotannon pullonkaulan suhde OPP:hen ilmenee siten, että resurssitehokkuuden kannalta pullonkaulan tulisi olla ennen OPP:ta, jolloin pullonkaulan ei tarvitse reagoida vaihteleviin kysyntään ja tuotteisiin. Virtaustehokkuuden kannalta pullonkaulan tulisi taas OPP:n jälkeen, jotta pullonkaulan tulisi toimia vain tuotteissa, joihin yrityksellä on jo todellisia asiakastilauksia. OPP:n siirtoa eteenpäin eli kohti asiakasta voidaan perustella

sillä, että tämä lyhentää toimitusaikaa asiakkaille sekä lisää tuotannon tehokkuutta esimerkiksi parantamalla pullonkaulatoimintoja. OPP:n siirtoa taaksepäin eli poispäin asiakkaasta voidaan perustella sillä, että se mahdollistaa korkeamman räätälöinnin mahdollisuuden sekä tuotantoprosessin välivarastojen vähentämisen. (Olhager 2003)

Tuotantojärjestelmän käytettyä kapasiteettia tulisi verrata suunnitelmiin, sillä jos tulokset poikkeavat suunnitelmista, täytyy yrityksen ryhtyä toimenpiteisiin tulosten parantamiseksi tai suunnitelman muuttamiseksi (Jacobs et al. 2018, luku 1.2.1). Pullonkaulojen tunnistamiseksi eli toimintojen, jotka johtavat myöhästymisiin ja suunnitelmasta poikkeamiseen, voidaankin hyödyntää lyhyen aikavälin kapasiteetin suunnittelua, johon syvennytään seuraavaksi. Tämä voidaan toteuttaa muun muassa siten, että pullonkaulan havaitsemisessa analysoidaan tuotantoaikaa ja verrataan sitä todelliseen käytettävissä olevaan aikaan (Roser et al. 2015).

2.2.2 Lyhyen aikavälin kapasiteetin suunnittelu

Tuotannon suorituskykyä tulisi mitata, jotta nähdään, kuinka hyvin asetettuihin tavoitteisiin kyetään vastaamaan sekä mahdollisten toimenpiteiden tunnistamiseksi (Slack & Lewis 2020, s.53). Kuten aiemmin mainittiin pullonkaula rajoittaa koko tuotantojärjestelmän tuotoksia, jonka vuoksi sitä tulisi tarkastella kapasiteetin osalta (Olhager & Wikner 2000). Kapasiteetinhallinnassa tärkeintä on suunnittelun ja toteutuksen yhteensopivuuden seuraaminen, jotta kyetään arvioimaan suunnitelman toimivuutta ja tekemään mahdollisia korjaavia toimenpiteitä. Yksi käytetyimmistä tavoista tämän toteutukseen on panosten ja tuotosten tarkastelu (engl. input/outpout control), jossa tarkastelukohteen, eli esimerkiksi tuotantolinjan, suunniteltua työpanosta ja -tulosta verrataan todellisiin vastaaviin lukuihin. (Jacobs et al. 2018, luku 10.4.1).

Usein käytetyn kapasiteetin tarkastelu perustuu työtunteihin. Teoreettisesta kapasiteettista on vähennettävä tauot ja muut vaikuttavat tekijät, jotta todellinen suunniteltu kapasiteetti on realistinen. (Jacobs et al. 2018, luku 10.4.1) Analysoimalla tarkemmin suunniteltua kapasiteettia muun muassa huomioimalla suunnittelemattomat huollot, saadaan selville tarkastelukohteen todellinen käytettävissä oleva kapasiteetti. Analysoimalla yhä tarkemmin käytettävissä olevaa kapasiteettia muun muassa asetusaikojen, todellisen tuotantoajan ja käyttämättömän kapasiteetin osalta, saadaan tärkeää tietoa prosessin pullonkauloista.

Pullonkaulan tunnistamisen jälkeen, tulisi siihen hyödyntää pullonkaulaohjaukseen eli TOC (engl. theory of constraints) perustuvaa DBR (engl. drum-buffer-rope) -tekniikkaa, jonka toimintaperiaate voidaan tiivistää seuraavasti: Pullonkaula toimii tuotannon rumpuna, joka määrää koko prosessin tahdin. Pullonkaulan eteen sijoitetaan puskurivarasto,

joka pitää huolen siitä, ettei pullonkaula joudu koskaan vaille tehtävää. Köysi toimii linkkinä pullonkaulan ja sitä edeltävien vaiheiden välillä siten, että se viestii pullonkaulan tarpeista ja lähettää signaalin edeltäville vaiheille. (Olhager & Wikner 2000) TOC tarkoituksena on kehittää aikataulu, joka nostaa pullonkaulan ja täten koko prosessin tuotokset lyhentäen läpimenoaikoja sekä vähentämällä ylimääräistä varastointia (Stevenson 2018, s. 713).

Pullonkaulan jälkeiset toiminnot ovat kriittisiä ajoituksen kannalta, kun taas edellisten vaiheiden tarkoituksena on toimittaa pullonkaulan tarvitsemat materiaalit, jotta pullonkaula voi toimia suurimmalla mahdollisella kapasiteetillaan (Olhager & Wikner 2000). Estyneet prosessin vaiheet sekä täydet varastot viittaavat OPP:n jälkeiseen pullonkaulaan. Vajaalla teholla toimivat eli niin sanotut nälkäiset prosessit ja tyhjät varastot taas viittaavat OPP:ta edeltävään pullonkaulaan. Estynyt prosessi täytyy pysäyttää, koska sen jälkeinen vaihe on täynnä. Nälkäinen prosessi taas on pysäytettävä, koska sitä edeltävä puskurivarasto tai prosessi on tyhjä. (Roser et al. 2015.)

Tuotannon pullonkaulojen havaitseminen on avain tuotannon kapasiteetin parantamiseksi. Pullonkaulan tarkempi analysointi antaa lisätietoa taustaulla olevista juurisyistä, jotka korjaamalla kapasiteettia voidaan parantaa. (Roser et al. 2015) Mikäli esimerkiksi tarkastelukohteella esiintyy käyttämätöntä kapasiteettia, tulisi sen juurisyy selvittää, johtuuko se esimerkiksi materiaalipuutteista vai suunnittelemattomista tilauksista. Ylimääräistä kapasiteettia voidaan hiljaisina aikoina hyödyntää muun muassa valmistamalla varastoon tiettyjä tuotteita kausiluonteiseen kysyntään vastaamiseksi, jotta kysyntähuiput kyetään ennakoimaan (Olhager & Wikner 2000; Olhager 2003).

Kikolski (2016) tuotannon pullonkauloja voidaan ratkaista muun muassa ylitöiden ja lisävuorojen hyödyntämisellä, tehostamalla pullonkauloja edeltäviä toimintoja pullonkaulan suurimman mahdollisen kapasiteetin mahdollistamiseksi sekä ostamalla markkinoilta pidemmälle jalostettuja komponentteja tai hyödyntämällä alihankintaa. Ennen kyseisiä toimenpiteitä, tulee kuitenkin olla selvä tieto pullonkaulan taustalla olevasta juurisyystä. Usein tuotos poikkeaa suunnitelluista muun muassa häiriöiden, poissaolojen, huonon laadun ja konerikkojen vuoksi (Jacobs et al. 2018, luku 10.4.1). Lisäksi tuotevaihtoihin liittyvät asetus- ja puhdistusajat ovat merkittävä osa käytettyä kapasiteettia monella teollisuudenalalla, kuten elintarvike-, kosmetiikka- ja lääketeollisuudessa, joissa laatu- ja turvallisuusvaatimukset johtavat erityisiin puhtausvaatimuksiin. Tuotannon tehokkuuden kannalta onkin oleellista ymmärtää asetusaikojen sekä erityisesti puhdistusten vaikutukset. (Stefansdottir et al. 2017) Tuotevaihtoihin ja asetusaikoihin syvennytään tarkemmin seuraavassa luvussa.

2.2.3 Tuotevaihdot ja asetusajat kosmetiikkateollisuudessa

Kosmetiikkatuotanto koostuu yleensä kahdesta päävaiheesta: ensimmäisessä vaiheessa raaka-aineista valmistetaan puolivalmiste ja toisessa vaiheessa puolivalmiste pakataan vaatimusten mukaisesti. Kosmeettisia tuotteita on muun muassa voiteet, hajuvedet, shampoot ja kauneudenhoitotuotteet. Sekä puolivalmisteet että lopputuotteet eroavat ominaisuuksiltaan toisistaan, jolloin eri tuoteperheiden välillä aika, joka valmistukseen ja säilömiseen menee, vaihtelee. Puolivalmisteen säilömisaika tarkoittaa sitä, että niiden valmistusaikataulu tulee olla tiukasti integroituna lopputuotteen pakkauksen aikatauluun. Riippuvuus on selvä, sillä tuote voidaan pakata vasta sitten kun puolivalmiste on laatuvaatimuksiltaan valmis. (Schimidt et al. 2022)

Kosmetiikkateollisuudessa, joka vastaa useilta vaatimuksiltaan elintarviketeollisuutta, on usein suuri määrä nimikkeitä, jotka eroavat toisistaan muun muassa pakkauksiltaan ja eräpäiviltään sekä tuotantoprosesseiltaan, jolloin ne ovat usein haastavia tuotannonohjauksen kannalta. Vastaavia haasteita löytyy kosmetiikkatuotteiden lisäksi muun muassa lääketeollisuudesta (Schimidt et al. 2022). Olennaista on huomioida säilyvyysvaatimukset, eräpäivät, varastotasot sekä tuotevaihtoihin liittyvät asetusajat ja kustannukset, jotka tekevät tuotannonsuunnittelusta haastavaa (Doganis & Sarimveis 2007). Soman et al. (2004) kuvaa kyseisille toimialoille tyypillisiksi seuraavat piirteet:

- Pitkät tuotetyypeistä riippuvat asennus- ja puhdistusajat.
- Raaka-aineiden, puolivalmisteiden ja lopputuotteiden rajallinen säilyvyys.
- Sama puolivalmiste voidaan pakata useisiin eri lopputuotekokoihin.
- Pakkausvaihe vaatii paljon työvoimaa, kun taas puolivalmistusvaihe ei.

Doganis & Sarimveis (2007) mukaan kyseisillä teollisuuden aloilla lopputuotteet eroavat myös usein toisistaan esimerkiksi pitoisuuksien, maun, ainesosien, koon ja muiden ominaisuuksien perusteella. Kosmetiikkateollisuudessa tyypillistä maksimisäilymisajan lisäksi on myös se, että tuotteet tulee säilyttää vähimmäisajan ennen kuin ne voidaan vapauttaa asiakkaalle (Schimidt et al. 2022).

Tuotannon tehokkuus riippuu monista eri tekijöistä, joista yksi merkittävä onkin kosmetiikkateollisuudessa usein toistuvien tuotevaihtojen toteuttamisen tehokkuus. Tuotevaihdolla tarkoitetaan koko sitä prosessia, joka tapahtuu tuotannossa siirryttäessä tuotteesta toiseen aina siihen asti, kunnes uuden tuotteen tuotanto- ja laatutavoitteet saavutetaan (McIntosh et al. 1996). Tuotevaihtoihin kuluva asetusaika on yksi eniten aikaa vievistä arvoa tuottamaton toiminto useissa tuotantoympäristöissä (Braglia et al. 2017). Asetuk-

set määritellään kokoelmaksi valmistettavasta tuotteesta riippuvia asennus- ja valmistelutoimia, joita tulee suorittaa ennen uuden tuotannon aloittamista (Jit Singh & Khanduja 2009). Asetukset on siis sitä aikaa, kun linjalla ei tuoteta mitään (McIntosh et al. 1996).

Tuotevaihtojen ollessa paljon aikaa vievä arvoa tuottamaton toiminto, tulisi niiden vaikutusta vähentää. Asetukset ovat olennainen osa minkä tahansa tuotteen tuotannon läpimenoaikaa ja vaikuttaa täten suoraan myös tuotteen kokonaiskustannuksiin (Jit Singh & Khanduja 2009). Tarpeettomien työvaiheiden ja asetusaikojen lyhentäminen onkin edellytyksenä yrityksen kilpailukyvyn säilymiselle niiden vähentäessä merkittävästi tuotannon tehokkuutta (Parwani & Hu 2021; Singh et al. 2018). Yhtenä ratkaisuna tuotevaihtojen vaikutuksen vähentämiseen on tuotantoerien koon nostaminen, jolloin tuotevaihdot vievät suhteellisesti vähemmän aikaa. Tämä ei kuitenkaan usein ole järkevä ratkaisu, sillä yritysten täytyy pystyä tuottamaan pieniä eriä laajasta valikoimasta tuotteita lyhyessä ajassa pysyäkseen kilpailukykyisenä (Parwani & Hu 2021).

Vastatakseen laajan tuotevalikoiman ja pienerätuotannon tuomiin haasteisiin, yrityksen täytyy joko investoida moniin yksittäisiin tuotantolinjoihin, joka on usein kallista, tai olla kykenevä jatkuviin tuotevaihtoihin pienemmällä määrällä tuotantolinjoja. Pienerätuotanto onkin kannattavaa vain silloin, kun tuotevaihtoihin liittyvät kustannukset eli usein asetusajat saadaan lyhennettyä. (Parwani & Hu 2021) Kyky nopeaan tuotevaihtoon tuotantolinjalla tuotteesta toiseen on avain myös joustavuuden parantumiseen, läpimenoajan lyhentämiseen ja reagoivaan tuotantoon (Mileham et al. 1999).

Asetusaika on yksi tärkeimmistä tunnusluvuista, koska asetukset ovat välttämättömiä jokaiselle koneelle ja työasemalle, jonka vuoksi sitä tulisi tarkastella jokaisessa tuotantoympäristössä (Singh et al. 2018). Asetusaika riippuu aina valmistettavan tuotteen tyypistä ja tuotantojärjestelmän rajoituksista (Jit Singh & Khanduja 2009), mutta ne vaikuttavat samantapaisesti merkittävästi tuotannon läpimenoaikoihin ja sen vuoksi niillä on myös merkittävä vaikutus tuotannon kokonaiskustannuksiin. Asetusaikojen vähentäminen mahdollistaa pienemmät eräkoot, jotka lisäävät tuotannon joustavuutta sekä myös varastointikustannusten vähentämisen. (Singh et al. 2018; McIntosh et al. 1996) Tiivistettynä, asetusaika on yksi tärkeimmistä suorituskyvyn mittareista, koska se on välttämätön panos jokaiselle koneelle, jolloin tuotantoaikaa voidaan pidentää tai tuotantoerän läpimenoaikaa lyhentää lyhentämällä asetusaikaa (Jit Singh & Khanduja 2009).

Asetusaikojen vähentäminen nostaa arvoa tuottavaa tuotantoaikaa, jolloin käytettävissä olevaa kapasiteettia kyetään hyödyntämään tehokkaammin. Tämä onkin usein parempi vaihtoehto laiteinvestointien ja ylityötuntien sijaan (Singh et al. 2018). Lisäksi nopeiden

tuotevaihtojen mahdollistama pienerätuotanto vaikuttaa myös toimitusketjun pysymiseen virtaustehokkaana ja joustavana (Parwani & Hu 2021). Laaja tuotevalikoima ja pienet eräkoot kuitenkin johtavat usein väistämättä asetusaikojen suhteelliseen kasvuun tuotantoajasta, jonka vuoksi niiden lyhentäminen on tärkeää.

Ennen tuotevaihtojen tehostamista ja asetusaikojen lyhentämistä, on syytä syventyä tarkemmin näiden periaatteisiin. Mileham et al. (1999) mukaan tuotevaihdon nähdä koostuvan kolmesta vaiheesta:

1. Loppuvaihe (engl. run-down): Edellisen erän ajaminen loppuun tuotantolinjalla valmistautuen seuraavaa tuotetta varten.
2. Asennusaika (engl. set-up): Tämä sisältää vanhojen työkalujen ja laitteiden poistamisen sekä korvaamisen uusilla tarvittavilla.
3. Käynnistys (engl. run-up): Tämä sisältää eri hienosäätöjä ja tarkastuksia, joita suoritetaan tuotannon aikana, kunnes laatuvaatimukset ja haluttu tuotantonopeus saavutetaan.

Tuotevaihdon erittely edellä mainittuihin vaiheisiin on tärkeää, sillä liian usein tuotevaihtoihin kuluvan ajan lyhentämisessä keskitytään pelkästään asennusajan lyhentämiseen. Tämä voi olla ongelmallista, koska nopeutetut asennusajat voivat nostaa käynnistysvaiheeseen kuluvaa aikaa, jos asennusten laadusta ei huolehdita heti alkuun (Mileham et al. 1999). Tuotevaihdoissa tulisikin pyrkiä lyhentämään sekä kokonaisuudessaan tuotevaihtoihin kuluva aika että muut häviöt. Mikäli asetusaikoja käsitellään erillään muista tavoitteista, voivat muut tavoitteet, kuten tehokkuus, luotettavuus ja hävikin vähentäminen, kärsiä huomattavasti (McIntosh et al. 1996). Tärkeää olisikin parantaa koko tuotevaihtoon kuuluvia toimintoja pelkkien asetusaikojen sijaan (Mileham et al. 1999).

Tuotevaihto voidaan McIntosh et al. (1996) mukaan jakaa myös sisäiseksi ja ulkoiseksi ajaksi. Sisäinen aika on sitä aikaa, jolloin tuotantolinja on pysähtyneenä. Ulkoinen aika taas on aikaa ennen tuotantolinjan pysähtymistä, joka on varattu valmisteleviin vaihtotoimenpiteisiin. Jako sisäiseen ja ulkoiseen aikaan on merkittävä, sillä tuotevaihtoon kuuluvien toimintojen erittely näihin aikoihin toimii tapana lyhentää tuotantolinjan pysähdyksissä olevaa aikaa. Tavoitteena onkin siirtää tarpeettomasti sisäisessä ajassa tehtävät toiminnot ulkoiseen aikaan (McIntosh et al. 1996).

Prosessiteollisuudessa tuotevaihdot koostuvat pääasiassa puhdistuksista, jotka on suoritettava koneiden ollessa pysähtyneenä eli sisäisessä ajassa. Erilaiset laatu- ja turvallisuusvaatimukset kemianteollisuudessa aiheuttavat nämä puhdistustarpeet. Puhdistukset aiheuttavat pitkiä seisokkeja koneille sekä aiheuttavat hukkaa ja kuluttavat energiaa.

Tuotevaihtoihin kohdistuvat puhdistukset aiheuttavatkin merkittävän osan kustannuksista. Erilaisia puhdistusvaatimuksia voi syntyä siirryttäessä tuotteesta toiseen tai tietyn ajanjakson kuluttua hygieniavaatimusten vuoksi. Puhdistuksia on myös usein erilaisia, jotka vaihtelevat muun muassa intensiteetin ja käytettävien aineiden osalta. Perinteisten asetusaikojen lisäksi tuotannon eräkoossa ja aikataulutuksessa tuleekin ottaa ehdottomasti huomioon tarvittavien puhdistuksien vaikutukset. (Stefansdottir et al. 2017)

Tiivistettynä tuotantoyritykset ovat jatkuvan paineen alla, sillä niiden tulee kyetä nostamaan tuottavuuttaan sekä parantamaan joustavuuttaan ja reagointikykyään muuttuviin asiakastarpeisiin. Yksi tapa tämän mahdollistamiseksi on kehittää nopeita tuotevaihtoja, jonka pohjana toimii niiden tehtävien tunnistaminen, jotka tehdään sisäisen ajan aikana niistä, jotka tehdään ulkoisen ajan aikana. Tuotevaihtoihin liittyvien asetusaikojen koetaan usein olevan muuttumattomia, jonka vuoksi yrityksissä on usein vaikeaa ymmärtää, mitä parannettavaa niissä olisi. Onkin tärkeää tunnistaa ne vaiheet tuotevaihdoista, joihin voidaan vaikuttaa. (McIntosh et al. 1996) Kuten edellä todettiin, tuotevaihdot ovat merkittäviä läpimenoajan kannalta, jolloin tuotannon ajojärjestyksellä voidaan prosessia tehostaa huomattavasti. Ajojärjestykseen syvennytään seuraavassa luvussa tarkemmin.

2.2.4 Tuotannon ajojärjestys

Tuotannon tavoitteiden kannalta tuotantolinjojen ajojärjestyksellä eli järjestyksellä, jolla työt vapautetaan tehtäväksi, on suuri merkitys. Töiden reitityksen ja ajoituksen tasolla puhutaan SFC:stä (engl. shop-floor scheduling and control), joka koskee yksittäisten töiden yksityiskohtaista aikatauluttamista tuotantolinjoille. SFC:n tavoitteena on muun muassa vähentää keskeneräistä tuotantoa sekä läpimenoaikoja muiden suorituskykytavoitteiden ohella. SFC:n voidaan nähdä olevan osa suurempaa kokonaisuutta eli PAC:ta (engl. production activity control), joka sisältää lisäksi toimittajien ohjauksen, johon tässä tutkimuksessa ei syvennytä tarkemmin. (Jacobs et al. 2018, luku 11.0, 11.1) Keskittymällä pidemmän aikavälin suunnitteluun myös SFC:ssä voidaan läpimenoaikaa lyhentää huomattavasti (Olhager & Wikner 2000).

SFC huolehtii tuotantotilauksien priorisoinnista, jotta asiakasvaatimuksiin ja tuotantotavoitteisiin kyetään vastaamaan. SFC viestii myös suoraan materiaali- ja kapasiteettisuunnitelmien suuntaan siitä, kyetäänkö asetettuihin tavoitteisiin vastaamaan. Tärkeä osa SFC:tä on aikataulu, jolla tarkoitetaan yksityiskohtaista suunnitelmaa siitä, kuinka tuotantotilaukset reititetään ja järjestetään sekä kuinka kauan yksittäiset erät vievät aikaa. Aikataulu voidaan usein esittää Gantt-kaavion muodossa. (Jacobs et al. 2018, luku 11.1–11.3)

Tuotannon läpimenoajan voidaan nähdä Jacobs et al. (2018, luku 11.3.1) mukaan koostuvan seuraavasti:

1. Jonotusaika eli aika, joka kuluu odottamiseen ennen erän aloitusta.
2. Asetusaika eli aika, joka kuluu työpisteen valmisteluun.
3. Ajoaika eli aika, joka kuluu tietyn eräkoon ajoon tietyllä ajonopeudella.
4. Siirtoaika eli aika, joka kuluu siirtoihin työpisteeltä toiselle.

Niin sanotussa yhden koneen ajoitus -ongelmassa keskitytään siihen, kuinka joukko töitä tulisi ajoittaa yhden koneen kautta asetetun tavoitteen mukaan. Perinteisenä tapana on järjestää työt siten, että seuraavaksi työksi valitaan aina se, jonka valmistumisaika on lyhin. Tätä kutsutaan SPT:ksi (engl. shortest processing time), jolloin keskimääräinen aika, jonka yksittäiset tuotantotilaukset ovat järjestelmässä, pienenee. Jos taas tavoitteena on maksimaalisten myöhästymisten vähentäminen, tulisi työt järjestää toimituspäivälupausten eli EDD (earliest due date) mukaan. (Jacobs et al. 2018, luku 11.2.1) Ongelmana kyseisessä lähestymistavassa on kuitenkin se, että se ei huomioi asetusaikoja, jotka ovat erityisesti kosmetiikkateollisuudessa olennaisia. Jacobs et al. (2018, luku 11.3.4,11.3.5) esittää erilaisia priorisointisointisääntöjä, joiden perusteella tuotannon ajojärjestys voidaan päättää:

- Random: Työjonosta valitaan mikä tahansa työ.
- FIFO (engl. first in first out): Työt aloitetaan siinä järjestyksessä, jossa ne ovat saapuneet työpisteelle tai on lukittu tietylle tuotantolinjalle.
- SPT: Työt aloitetaan erän keston mukaan lyhyimmästä pisimpään.
- EDD (engl. earliest due date): Työt järjestetään annetun toimitusaikalupauksen mukaan aikaisimmasta myöhäisimpään.
- LSU: Työt järjestetään tuotevaihtojen asetusaikoja lyhentäen.

Ajojärjestys voi olla usein myös yhdistelmä edellä mainittuja periaatteita. Asetusajat ovat usein toistuvia ja pakollisia, mutta ne tulee ottaa huomioon tuotannonsuunnittelussa erityisesti kosmetiikkateollisuudessa. Tuotevaihtoihin liittyvät asetusajat tekevätkin tuotantojärjestyksen päättämisestä haastavaa ja usein vaikeasti seurattavaa. (Soman et al. 2004) LSU on edellä mainituista haastavin, sillä se tarvitsee lisätietoa asetuksista sekä niiden kestoista ja riippuvuuksista Jacobs et al. (2018, luku 11.3.5). Tuotantojärjestys onkin kriittinen aikahäviöiden vähentämisessä, erityisesti prosessiteollisuudessa (Lintilä & Takala 2013). Tuotteiden välisten vaihtojen huomioiminen on joillakin toimialoilla erityisen tärkeä, sillä niillä voi olla merkittävä vaikutus läpimenoaikoihin ja kustannuksiin

(Doganis & Sarimveis 2007). Asetusajat ovat kosmetiikkateollisuudessa merkittäviä, mutta niiden huomioiminen ajojärjestyksessä vaatii lisätietoa peräkkäisten tuotteiden riippuvuuksista.

Luvussa 2.2.1 esitetty pullonkaulojen tunnistaminen ja poistaminen on oleellista tuotannon hienokuormituksen parantamiseksi. Tähän voidaan hyödyntää luvussa 2.2.2 esitettyä lyhyen aikavälin kapasiteetin suunnittelua. Luvussa 2.2.3 kuvattiin tuotevaihtojen ja asetusaikojen merkitystä erityisesti kosmetiikkateollisuudessa, jossa ne osoittautuvat tyypillisiksi pullonkauloiksi. Luvussa 2.2.4 esitettiin tuotannon ajojärjestyksen teoriaa, jonka tarkoituksena on toimia pohjana prioriteettisääntöjen luomisessa. Yksi merkittävistä priorisointisäännöistä on LSU-periaate, jonka huomioiminen on tärkeää pullonkaulan vaikutuksen vähentämiseksi erityisesti tuotantoympäristöissä, joissa tuotevaihdot ovat toistuvia, kuten kosmetiikkateollisuudessa.

Tiivistettynä asetusajat ovat merkittäviä tuotannon hienokuormituksen ja tätä kautta tehokkuuden kannalta. Tuotevaihtoihin liittyvät asetukset, erityisesti puhdistukset, vievät kosmetiikkateollisuudessa merkittävästi aikaa tuotantoerien läpimenoajoista, jonka vuoksi niiden vaikutus tulisi vähentää ja niitä huomioida ajojärjestyksen perustana. Tämän toteutukseen syvennytään seuraavassa luvussa.

2.3 Asetusajat ajojärjestyksen perustana

Kosmetiikkateollisuuden tuotevaihtoihin liittyvät puhdistukset sekä eroavista komponenteista johtuvat asetusajat aiheuttavat merkittäviä pysähdyksiä tuotantolinjoille. Lisäksi laajan tuotevalikoiman, jossa eräkoot ovat pieniä, suurimpia haasteita ovat usein asetusajat, jotka vaikuttavat merkittävästi koko tuotannon suorituskykyyn (Braglia et al. 2017). Pienerätuotanto johtaa toistuviin tuotevaihtoihin ja tätä kautta koneiden pysähdyksiin (Parwani & Hu 2021). Ylimääräiset puhdistukset lisäävät myös merkittävästi hävikkiä (Stefansdottir et al. 2017). Tuotevaihtoihin liittyvät puhdistukset ja asetusajat tulisikin vähentää, jotta tuotantolinjojen kapasiteettia kyetään hyödyntämään paremmin. Keinoina tämän toteuttamiseksi on tuotevaihtoihin liittyvien prosessien tehostaminen sekä asetusaikojen huomioiminen ajojärjestyksessä.

Mileham et al. (1999) esittävät kaksi eri strategiaa tuotevaihtoihin kuluvan ajan vähentämiseen riippuen tarvittavista vähennystarpeista:

1. Kevyempi tapa on kehittää tuotantojärjestelmää esimerkiksi lattiatason jatkuvan parantamisen ohjelmalla, jolloin nykyiset tehtävät tehdään tehokkaammin.
2. Radikaalimpi tapa on suunnitella ja toteuttaa täysin uusi tuotantojärjestelmä, jotta tehtävät voidaan toteuttaa tehokkaammin.

Tässä tutkimuksessa keskitytään kevyempään tapaan, koska kohdeyrityksen käytettävissä olevat resurssit ovat rajattuja ja toimenpiteiden kiireellisyys kohtalaista, kuten aiemmin todettiin. Tavoitteena on siis esittää vakaita ja pieniä parannuksia (Miltenburg & Sparling 1996), jotka toimeenpannaan, ja radikaalimpia tapoja vain sivutaan. Seuraavissa alaluvuissa syvennytään tarkemmin, kuinka asetusaikoja voidaan lyhentää eri menetelmillä ja kuinka asetusaikoja tulisi hyödyntää ajojärjestyksessä.

2.3.1 Asetusaikojen lyhentämisperiaatteet

Kuten aiemmin todettiin, tuotevaihdot ja niihin sisältyvät asetusajat ovat paljon aikaa vieviä arvoa tuottamattomia toimintoja, joiden vaikutusta tulisi vähentää. Asetusaikoja ei usein voi kokonaan poistaa, mutta monet toiminnot paisuttavat niitä, kuten standardoinnin puute, toimintavirheet sekä inhimilliset rajoitukset. Lozano et al. (2017) toteavat tuotevaihtoihin liittyvien ajallisten tappioiden johtuvan usein standardoimattomista työmenetelmistä, huoltovirheistä sekä varaosien ja operaattoreiden erikoistumisen puutteesta.

Paisuneet asetusajat johtuvat usein siitä, ettei lyhyempien tuotevaihtojen vaikutuksesta ja tärkeydestä ei ole tietoa, jolloin myös tämän kustannukset jäävät huomaamatta. Lisäksi asetusaikoihin kiinnitetään liian vähän huomioita, jolloin myös tuotannonsuunnittelu- ja aikataulutusvaiheessa tuotantotilaukset järjestetään epämääräisesti johtaen asetusaikojen paisumiseen. Standardoimattomien menettelyjen puute taas johtaa siihen, että kaikki tekevät toiminnot omalla tavallaan, joka johtaa laadun heikkenemiseen ja vaihteluun. Myös heikko siisteys sekä asentajien työkalujen puute johtaa odottamattomiin viiveisiin. (Jit Singh & Khanduja 2009)

SMED (engl. single minute exchange of die) on yksi lähestymistapa, jolla pyritään vastaamaan yllä mainittuihin haasteisiin sekä tehostamaan tuotantoa vähentämällä tuotevaihtojen asetusaikoja. SMED perustuu ajattelutapaan, jonka mukaan mikään tuotevaihto ei saisi kestää enempää kuin kymmenen minuuttia. SMED:n tarkoituksena on tunnistaa ja poistaa tarpeettomat tehtävät sekä viedä ulkoiseen aikaan niin sanotut sisäiset tehtävät ja lopulta vähentää näiden vaikutus yksinkertaistamisella tai standardoinnilla (Singh et al. 2018; Jit Singh & Khanduja 2009). SMED koetaan olevan tehokas keino, sillä sen periaatteita voidaan hyödyntää mihin tahansa tehtaaseen mihin tahansa koneeseen (McIntosh et al. 1996). SMED-periaatteet ovat toimivia tuotannon ongelmakohtien ratkaisemiseksi erityisesti kohdeyrityksen kaltaisessa tuotantoympäristössä (Lintilä & Takala, 2013). SMED:n on todettu olevan tehokas työkalu myös hukan vähentämiseen sekä tuotannon joustavuuden lisäämiseen taaten mahdollisuuden pienempiin eräkokoihin ja tuotannon virtautuksen parantamiseksi (Singh et al. 2018).

Tuotevaihtoihin voidaan nähdä kuuluvan aiemmin mainittuja sisäiseen ja ulkoiseen aikaan kuuluvia kahdenlaisia tehtäviä (Parwani & Hu 2021; Lozano et al. 2017):

1. Sisäiset tehtävät ovat sellaisia, joita voidaan tehdä vain silloin, kun tuotantokoneet eivät ole käynnissä.
2. Ulkoiset tehtävät ovat sellaisia, joita voidaan tehdä, kun kone on yhä käynnissä.

Liian usein tuotannossa tuotevaihdon asennustoimet suoritetaan vasta aiemman tuotteen valmistumisen jälkeen eli sisäisessä ajassa. SMED pyrkii ratkaisemaan tämän ja sen toteutukseen on esitetty monia erilaisia prosesseja. Jit Singh & Khanduja (2009) esittävät kolme vaihetta SMED toteutukseen tämän tilanteen parantamiseksi:

1. Jaa toiminnot ulkoisiksi ja sisäisiksi: tällöin asetusaika rajoittuu vain sisäisten tehtävien suorittamiseen kuluvaan aikaan.
2. Vie ulkoiseen aikaan sisäiset toiminnot mahdollisuuksien mukaan: tämä toteutetaan pääasiassa tekemällä teknisiä muutoksia asetusprosesseihin.
3. Vähennä ja virtaviivaista kaikki sisäiset ja ulkoiset toiminnot.

Jit Singh & Khanduja (2009) korostavat lisäksi, että mikäli SMED-ajattelutapaa hyödynnetään resurssiin tai toimintoon, joka ei ole pullonkaula, sen tuoma hyöty on pieni, sillä nämä toiminnot ovat jo nyt osittain käyttämättömiä vapaalla kapasiteetillaan. SMED-ajattelutapaa tulisikin hyödyntää vain pullonkauloihin, joilla on alhaisempi kapasiteetti kuin tarvitaan, ja jotka vaativat välitöntä huomiota. Lozano et al. 2019 korostavatkin aluksi niiden koneiden, pisteiden ja komponenttien tunnistamista, joihin tehdään säännöllisesti muutoksia tuotevaihtojen yhteydessä. Tällaisia muutoksia voivat olla esimerkiksi muodot, työkalut sekä materiaalit. Viimeinen vaihe on erityisen tärkeä, sillä virtaviivaistamalla ja standardoimalla tuotevaihtoihin liittyvät asetukset voidaan asetusaikoja vähentää merkittävästi (Braglia et al. 2017).

Parwani & Hu (2021) esittävät SMED:n toteutukseen lisäksi benchmarkin asettamisen asetusajoille eli mittaamisen, kuinka asetus normaalisti tapahtuu ja kuinka kauan se kestää. Toiminnot tulisikin purkaa niin pieniksi kuin mahdollista, jonka jälkeen tunnistetaan tarpeettomat viivästyksiä aiheuttavat osatoiminnot. Lozano et al. (2019) korostavat tarvetta muuttaa sisäiset toiminnot ulkoisiksi sekä suunnitella toimenpiteet tuotevaihtojen lyhentämiseksi, jonka jälkeen tulisi tunnistaa pullonkaulat ja löytää parannuksia näiden vaikutuksen vähentämiseksi. Kun nämä aiemmat vaiheet on toteutettu, seuraava pullonkaula täytyy löytää sekä parantaa ja tätä prosessia jatketaan, kunnes kaikki tavoitteet on

saavutettu. Usein haastavaa on myös ylläpitää saavutettuja kehityksiä vanhojen toimintatapojen eläessä yhä, koska näihin on luonnollista palata. Yrityksen tuleekin olla tietoinen näistä haasteista. (McIntosh et al. 1996)

Singh et al. (2018) esittävät hyvin samankaltaisesti edellä mainittuja periaatteita systemaattisen SMED-mallin avulla, joka on esitettynä kuvassa 2, lähtien kriittisten toimintojen tunnistamisesta aina johtopäätöksiin asti.

Kuva 2 Systemaattinen SMED-prosessi (mukaillen Singh et al. 2018)

On huomattava, että edellä esitetyt SMED-lähestymistavat keskittyvät usein tiettyyn koneeseen tai laitteeseen ja sen asennusprosesseihin, mutta jättävät huomioimatta koko tuotantoprosessin, jossa asennus tapahtuu. Tämän vuoksi SMED:stä on kehitetty myös mukautettu versio H-SMED (engl. human-centric single minute exchange of die), joka on erityisen sopiva yrityksille, joissa tuotevaihdot vaativat paljon henkilöresursseja, ja joissa sisäisiä toimintoja on vaikea viedä ulkoiseen aikaan. Perinteisen SMED:n lisäksi H-SMED hyödyntää muun muassa Lean-periaatteita, ergonomiaa sekä tuotannonohjausjärjestelmästä saatavaa dataa. (Braglia et al. 2017) H-SMED onkin syntynyt yhdistämällä perinteiseen SMED:iin Lean-työkalujen, kuten 5S, sekä ergonomian ja data-analyysin piirteitä (Fonda & Meneghetti 2022). Perimmäisenä tarkoituksena on se, että yhdistämällä perinteisiin SMED-ajatteluun edellä mainittuja piirteitä, voidaan työntekijöiden suorituskykyä parantaa tuotevaihtoprosessissa.

H-SMED on erityisen tärkeä työkalu sellaisissa tuotantoympäristöissä, joissa työvoimalla on edelleen suuri merkitys. Tavoitteena onkin lisäksi parantaa resurssien saatavuutta siellä, missä niitä tarvitaan, jotta tuotantojärjestelmän tehokkuutta voidaan parantaa tuotevaihdoissa (Fonda & Meneghetti 2022). H-SMED prosessi korostaa ei-optimoituja olosuhteita tuotevaihdoissa, jolloin tavoitteena on vähentää perinteisen SMED-toiminnan vaivaa ja kustannuksia. Tavoitteena on helpottaa määrittämään ne toimenpiteet, joita vaaditaan asetusaikojen lyhentämiseksi. (Braglia et al. 2017) H-SMED tavoitteena on auttaa työntekijöitä jatkuvan parantamiseen sykliin tuotevaihtoprosesseissa johtaen koko tuotantojärjestelmän suorituskyvyn paranemiseen (Fonda & Meneghetti 2022).

Braglia et al. (2017) mukaan H-SMED:n toteutuksessa tärkeintä on ymmärtää tuotevaihtoprosessi, tunnistaa potentiaaliset kehityskohdat, siirtyä ehdotuksista käytäntöön sekä kouluttaa ja ohjata jatkuvan parantamisen syklissä. H-SMED sisältää myös perinteisen SMED:n tavoitteet, jolloin pyrkimyksenä on asetusaikojen systemaattinen vähentäminen muuttamalla sisäiset tehtävät ulkoisiksi sekä yksinkertaistamalla ja virtaviivaistamalla kaikkia asennuksia. Myös Fonda & Meneghetti (2022) esittävät vastaavan H-SMED prosessin syventyen sen toteutukseen:

1. Ymmärrä tuotevaihtoprosessi: Keinoina muun muassa haastattelut ja havainnointi, videointi, toimintojen listaaminen ja tuotevaihdon mallintaminen; Tärkeää ymmärtää, mitkä ovat tyypillisiä ongelmia tuotevaihdoissa; Havainnoi, mitä toimintoja oikeasti tuotevaihdon aikana tehdään, missä työkalut sijaitsevat ja kuinka liikutaan; Ole avoin ja kuuntele operaattoreiden ehdotuksia.
2. Tunnista potentiaaliset kehityskohdat: Ulkoisten ja sisäisten toimintojen tunnistaminen, ergonomiaan perustuvat ratkaisut, tuotevaihtoprosessin uudelleen järjestely ja koulutus sekä 5 s-periaatteiden ymmärtäminen.
3. Siirry ehdotuksesta käytäntöön: Toteuta testaukset pienelle kohderyhmälle, videoi tuotevaihdot, listaa toiminnot ja analysoi kehitykset; Testaa ja hienosäädä kaikkia vaiheessa 2 tunnistettuja ratkaisuja; Tunnista, mitä uusia haasteita ilmenee; Tarkoituksena on sopeutua uusiin vaatimuksiin ja parantaa hyvinvointia.
4. Kouluta ja ohjaa: Laajenna koulutusta ja varmista muutosten toteutuminen; Tuotannonohjausjärjestelmäperustainen lattiatason ohjaus voi olla tehokas tapa ohjaukseen; Tietämyksen lisääminen sekä koulutus koko kohderyhmälle.

Edellä esitettyjen asetusaikojen lyhentämisperiaatteiden lisäksi SMED tarjoaa myös konkreettisia toimenpiteitä ja työkaluja asetusaikojen vähentämiseksi, joihin syvennytään seuraavassa alaluvussa.

2.3.2 Asetusaikojen lyhentäminen SMED-menetelmillä

SMED vähentää niin sanottua arvoa tuottamatonta aikaa standardoimalla toimintoja yksikertaisilla menetelmillä, jonka vuoksi sillä on merkittävät vaikutusmahdollisuudet tuotannon suorituskyvyn parantamiseksi (Singh et al. 2018). SMED sisältää sääntöjä ja toimenpiteitä, jotka koskevat koneiden, työkalujen sekä tuotteiden suunnittelua. Näiden toimenpiteiden on osoitettu lyhentävän merkittävästi tuotevaihtoaikoja johtaen virtaustehokkaampaan ja reagoivampaan tuotantoympäristöön (Mileham et al. 1999). Laajemmin SMED:n voidaan nähdä olevan osa DFC:tä eli tuotevaihtosuunnittelua (engl. Design for changeover, DFC). DFC koostuu Mileham et al. (1999) mukaan neljästä osasta:

1. Tuotesuunnittelu: kiinnitys, muovaaminen, koneistettavat osat ynnä muut.
2. Konesuunnittelu: puristimet, täyttökoneet, kuljettimet, jyrsimet ja porat ynnä muut.
3. Työkalusuunnittelu: muotit ja kiinnitykset ynnä muut.
4. Järjestelmäsuunnittelu: suojaus, palvelut ja seuranta ynnä muut.

Mileham et al. (1999) esittävät DFC:hen pohjautuvia sääntöjä, joiden tarkoituksena on vähentää tuotevaihtojen fyysistä rasitusta sekä säätöjä ja muutoksia. Nämä säännöt eivät ainoastaan vähennä tuotevaihtoaikoja merkittävästi vaan myös tarjoavat ympäristöä, jossa Lean-periaatteita voidaan noudattaa. DFC:hen kuuluvalla tuotesuunnittelulla itsessään voi olla valtava vaikutus varsinkin silloin, jos tuote on suunniteltu sellaisessa ympäristössä, jossa ei ole huomioitu tuotannon rajoitteita eikä olemassa olevaa koneistoa. Esimerkkinä Mileham et al. (1999) mainitsee juomatölkkien tuotannon, jossa helpompaa on muuttaa täytön korkeutta kuin kuljettimien halkaisijaa, jolloin eri tuotekoot tulisi tuotannon kannalta suunnitella halkaisijoiltaan samoiksi ja korkeudeltaan muuttuviksi.

Mileham et al. (1999) mukaan tuotesuunnittelun lisäksi sekä kone-, työkalu- että järjestelmäsuunnittelussa, jossa parannetaan nykyistä tai luodaan täysin uutta järjestelmää, tulisi huomioida, että työkalut ovat kiinnitettävissä koneisiin sekä palvelut, suojaukset ja apulaitteet ovat kytkettävissä. Lisäksi työkalujen ja koneen sekä työkalun ja tuotteen välinen asento tulee olla oikea ja varmistaa että tulos vastaa määritettyä laatua hienosäätämällä toimintaparametreja. Koneelle ja työkaluille täytyy taata helppo pääsy ja varmistaa, että tuotejäämät, muovimateriaali sekä muu lika on helposti poistettavissa laitteistosta. Jit Singh & Khanduja (2009) mukaan lisäksi työkalusarjat, joissa on kaikki tarvittavat työkalut, kiinnikkeet ja varaosat, joita tarvitaan tietyssä järjestyksessä, tulee olla saatavissa helposti ja ajoissa.

Parantuneet tuotevaihdot mahdollistuvat huolehtimalla vaihtojen laadusta sekä erityisesti tarkoista sijainneista ja paremmista säätöjen asetuksista (McIntosh et al. 1996).

Tehokkaat asennukset edellyttävät selkeää työvoiman organisointia, jotta tärkeisiin toimintoihin kyetään varaamaan resursseja ja jotta toimintaan osallistuvat henkilöt tietävät omat vastuualueensa sekä merkityksensä (Jit Singh & Khanduja 2009). Työvoiman lisääminen kriittisille toiminnoille voi olla tarpeen, jotta asetukset voidaan suorittaa rinnakkain peräkkäisyyden sijaan (Mileham et al. 1999).

Mileham et al. (1999) tutkimusten perusteella myös alla olevia ohjeistuksia tulisi huomioida, erityisesti pakkausteollisuudessa:

- Keveys: käytä vähemmän ja kevyitä materiaaleja.
- Yksinkertaistaminen: Vähennä mekanismien määrää; Eliminoi tarve vaihtaa ne osat, jotka eivät liity tuotevaihtoon; Eliminoi tarve vaihtaa koko tuotantolinja; Poista putkiliitokset tai käytä pikaliittimiä; Vähennä tarvittavien työkalujen määrää; Vähennä työkaluun tarvittavien osien määrää; Yksinkertaista ohjausmenettelyjä, kuten ajoituksia; Käytä lyhyitä voimansiirtoliitäntöjä.
- Standardointi: Käytä samankokoisia sulkukorkeuksia puristimissa; Käytä samankokoisia kiinnityspultteja; Käytä samantyyppisiä sähkömoottoreita.
- Turvaaminen: Käytä pienin mahdollinen määrä kiinnikkeitä lujuuden tarpeen mukaan; Poista käsikäyttöiset puristimet.
- Sijainti ja säädöt: Poista koneella tehtävät säädöt sekä toteuta älykästä säätöä.
- Käsittely: Eliminoi puhdistustarpeet tai varmista sen helppous; Eliminoi tarve käsitellä kuumia sekä kömpelöitä esineitä; Tarjoa apuvirtaa; Mahdollista kaukokäyttö; Varmista työkalujen helppo siirto koneelle ja hyvä koneelle pääsy.

Lozano et al. 2017 korostavat artikkelissaan SMED-periaatteiden hyödyntämistä elintarviketeollisuudessa, joka sisältää monia samoja erityispiirteitä kuin kosmetiikka- ja hygieniateollisuudessa: monet koneet on modifioitu tietyn tyyppisiin tuotteisiin, ja komponentit sekä raaka-aineet ovat erittäin herkkiä ympäristön muutoksille, kuten kosteudelle, lämpötilalle ja mekaaniselle rasitukselle. Tällaisella toimialla tuotevaihtoon liittyvät asetusajat ovat merkittäviä myös siksi, että usein yksi kone tuottaa monia erilaisia tuotteita vaatien eri asetuksia (Parwani & Hu 2021).

Tuotevaihtoaikoja ei kuitenkaan usein ole koneiden suunnittelussa, ja vaikka olisikin, ohjeita tavoitellun asetusajan muuttamiseksi tarvitaan (Mileham et al. 1999). Tuotevaihdot tuleekin standardoida ja ohjeet dokumentoida, jotta toiminnasta saadaan vakioitua. Tuotevaihtojen kannalta on hyödyllistä jakaa työtehtävät selkeästi operaattoreiden kesken sekä huolehtia siitä, että tarvittavat työnkalut ja komponentit ovat välittömästi käytettävissä, jotta tuotevaihtoon kuluva aika saadaan vähennettyä. Tämä vaatii sen, että kun

tuotantokoneeseen on suunniteltu vaihto, siihen kuluva aika sekä sen vaatimat resurssit tulee määritellä selvästi. Tämä mahdollistaa asetusaikojen sisällyttämisen tuotantolinjojen aikataulusuunnitelmiin, joka taas mahdollistaa tuotevaihtoon kuluvan ajan ja mahdollisesti tarvittavien resurssien vähentämisen. (Lozano et al. 2017)

Kuten aiemmin todettiin, mikäli asetusaikoihin kiinnitetään liian vähän huomiota tuotannonsuunnittelu- ja aikataulutusvaiheessa, epämääräiset ajojärjestykset johtavat asetusaikojen merkittävään paisumiseen. Keinoina tilanteen parantamiseksi on muun muassa asetusaikojen jaksottaminen, jolloin voidaan keskittyä tärkeimpiin vaiheisiin eliminoiden tarpeettomia tehtäviä. Aikatauluttamalla työtä voidaan vähentää asetusaikoja, joka tarkoittaa muun muassa työntekijöiden tehtävien uudelleen suunnittelua sekä tarpeettomien tehtävien eliminointia. (Parwani & Hu 2021) Yksi tapa on myös järjestää suunnitellut tuotantoerät hyödyntäen asetusaikojen vähentämistä. Parwani & Hu (2021) mukaan tuotevaihtojen aiheuttamiin asetusaikojen vähentämiseen voidaan käyttää esimerkiksi heuristia aikataulutusmalleja. Seuraavassa alaluvussa syvennytään siihen, kuinka vähennetyt asetusajat voidaan vielä huomioida ajojärjestyksessä kokonaisuudessaan tehostaen tuotannon läpimenoaikoja.

2.3.3 Asetusajat ajojärjestyksessä

Tuotevaihtoihin liittyy asetusaikoja, jotka vaihtelevat eri tuotteiden välillä. Doganis & Sarimveis (2007) tutkimuksessa todettiin tuotantojärjestyksen parantamisesta tulevan haastavaa, kun tuotteille ja koneille asetetaan lisärajoituksia, kuten erityisesti prosessiteollisuudessa laatu- ja turvallisuusvaatimuksia sekä tuotteiden vaihtelun ollessa laajaa. Asetusajat ovat usein riippuvaisia tuoteperheistä ja kosmetiikkateollisuudessa tuotevaihtojen asetusajat riippuvat myös puhdistamiseen tarvittavasta ajasta, jotka ovat riippuvaisia tuoteperheiden eroavaisuuksista. Mikäli tuotteet vastaavat kriittisiltä ominaisuuksiltaan toisiaan, voidaan joissain tapauksissa hyödyntää esimerkiksi vain osittaisia puhdistuksia täyspuhdistuksen sijaan. (Schimidt et al. 2022)

Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa aikataulutuksen kannalta on tärkeää tuotteiden väliset riippuvuudet sekä ensisijaisuudet, kuten esimerkiksi gluteenittomien tuotteiden valmistus ennen gluteenia sisältäviä (Stefansdottir et al. 2017). Kosmetiikkateollisuudessa vastaavat riippuvuudet ja ensisijaisuudet voivat olla esimerkiksi hajusteettomien tuotteiden valmistus ennen hajustettuja tai tuotteiden ajojärjestys vaaleimmasta sävystä kohti tummempaa. Lisäksi muutettaessa ensimmäisen ja seuraavan tuotteen järjestystä päinvastoin, ei asetusaika välttämättä ole sama. Kosmetiikkateollisuudessa esimerkiksi hajusteettoman tuotteen jälkeen voi ajaa hajustetun tuotteen ilman puhdistuksia, mutta

päinvastoin toimittaessa näin ei voi toimia. Puhdistusten lisäksi merkittäviä asetusaikoja aiheuttavat tuoteperheiden vaihtelevat komponentit.

Asetusaikojen tuotantojärjestyksessä huomioonottamiseksi tulisi hyödyntää tuotteiden jäsentelyä esimerkiksi tuoteperheittäin ja ominaisuuksittain. Stefansdottir et al. (2017 mallissa tuotteet luokiteltiin ominaisuuksien, kuten erotettavuuden, korvattavuuden ja joustavuuden perusteella. Luokittelu koettiin oleelliseksi, sillä tarvittavat puhdistukset olisi hyvä luokitella järjestelmällisesti, jotta tuotannonsuunnittelussa kyettäisiin paremmin huomioimaan puhdistukset ja ajoittamaan ne paremmin. Tutkimuksen jatkotutkimuskohteena mainitaan vastaavanlaisen mallin käyttöä muissa tuotantoympäristöissä, erityisesti sellaisessa, joissa esiintyy sekä valmistusta että pakkausta.

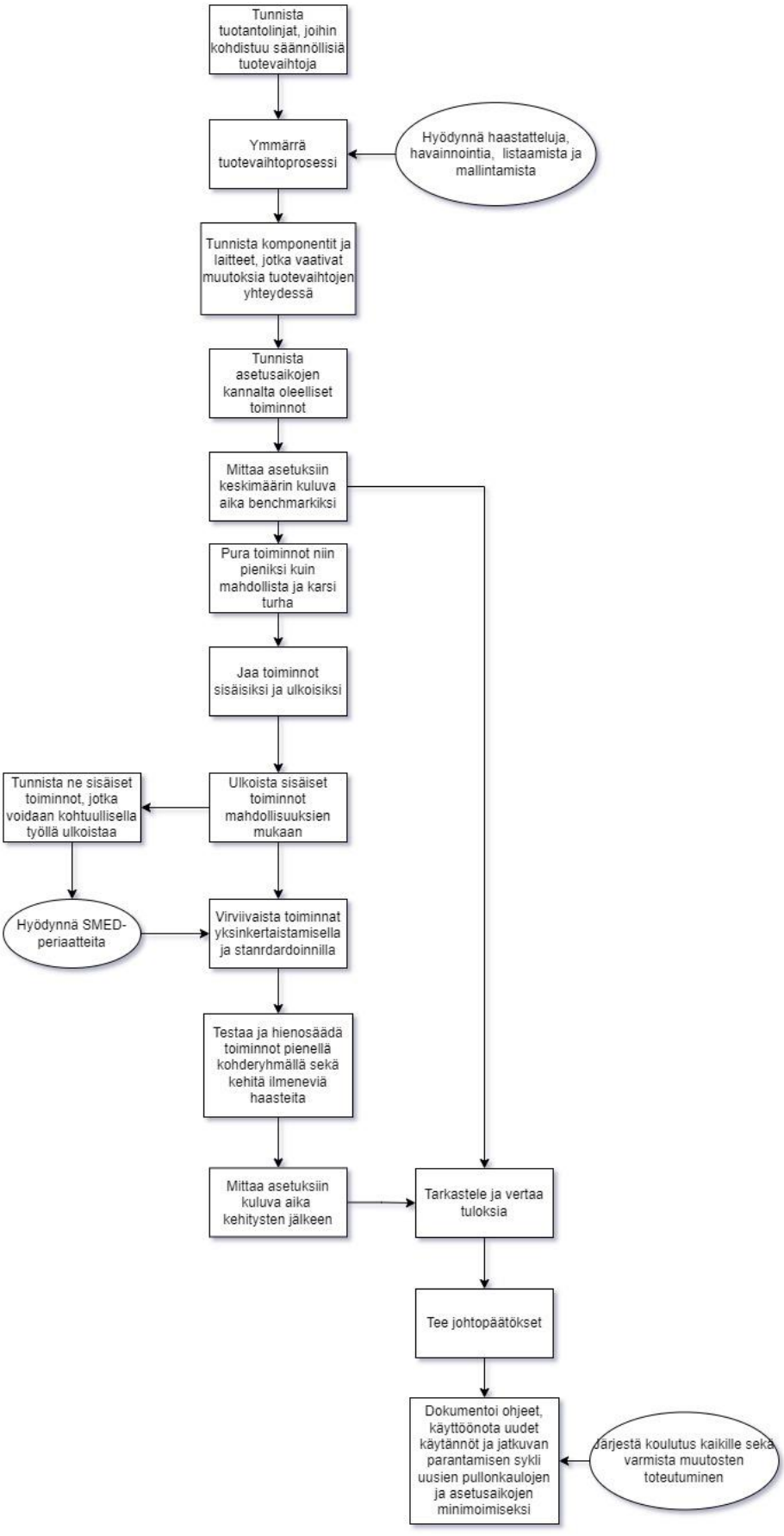
Lopputuote jaetaan usein eri tasoihin, kuten komponentteihin ja puolivalmisteisiin. Tätä kutsutaan tuoterakenteeksi eli BOM:ksi (engl. bill of materials) (Olhager & Wikner 2000). Tässä tutkimuksessa tarkoituksena onkin hyödyntää tuoteperheiden lisäksi tuotteiden tuoterakenteita ajojärjestyksen parantamisessa. Tuoterakenteilta voidaan selvittää tuotteiden yhteneväisyydet komponenttien osalta sekä selvittää muun muassa puolivalmisteiden väliset riippuvuudet. Seuraavassa luvussa esitetään yhteenveto systemaattisesta tavasta nostaa kosmetiikkatuotannon kapasiteettia ja lyhentää asetusaikoja sekä kuinka niitä tulisi hyödyntää ajojärjestyksessä.

2.4 Yhteenveto

Pienerätuotanto aiheuttaa usein toistuvia tuotevaihtoja, jotka vaikuttavat merkittävästi tuotannon läpimenoaikoihin. Parannuskohteiden tunnistamiseen tulisi hyödyntää pullonkaula-ajattelua, jotta tuotannon kapasiteettia voidaan nostaa tavoitellulle tasolle. Tämä voidaan toteuttaa seuraavasti hyödyntämällä lyhyen aikavälin kapasiteetin suunnittelua:

1. Määritetään tarkastelukohteen teoreettinen kapasiteetti.
2. Teoreettisesta kapasiteetista vähennetään vuorotyövaikutukset, tauot, muu tuotanto, suunnitellut huollot sekä siivoukset saaden suunniteltu kapasiteetti.
3. Suunnitellusta kapasiteetista vähennetään suunnittelemattomat huollot saaden tarkastelukohteen käytettävissä oleva kapasiteetti.
4. Huomioimalla tarkastelukohteen käytettävissä oleva kapasiteetti tarkemmin asetusajan, todellisen tuotantoajan ja käyttämättömän kapasiteetin osalta, saadaan vielä tarkempaa tietoa mahdollisista pullonkauloista.

Pullonkaulaan tulee hyödyntää TOC-periaatteen mukaista DBR-tekniikkaa, jotta pullonkaula toimii suurimmalla mahdollisessa kapasiteetillaan. Käytettävissä olevaa kapasiteettia voidaan kosmetiikkateollisuudessa hyödyntää paremmin vähentämällä tuotevaihtotoimenpiteisiin kuluvaa aikaa. Tuotevaihtoprosessin tehostaminen voidaan tiivistää kirjallisuudessa esitettyjen eri prosessien (Braglia et al. 2017; Fonda & Meneghetti 2022; Jit Singh & Khanduja 2009; Lozano et al. 2019; Parwani & Hu 2021; Singh et al. 2018) avulla alla olevan kuvan mukaisesti, joka sopii erityisesti kosmetiikkateollisuuteen.



Kuva 3 Tuotevaihtojen tehostamisprosessi

Kuvassa 3 esitetty ”Hyödynnä SMED-periaatteita” voidaan tiivistää seuraaviin keinoihin:

- Kuuntele operaattoreiden ehdotuksia sekä ymmärrä ja havainnoi tuotevaihdot.
- Analysoi tuotteiden kiinnityksiä sekä koneistuksia: voidaanko tuotetta muokata?
- Analysoi koneiden ominaisuuksia: ovatko täyttökoneet ja kuljettimet sopivia?
- Analysoi työkalujen ominaisuuksia: ovatko muotit ja kiinnitykset sopivia?
- Analysoi järjestelmiä: onko suojauksissa ja etäkäytössä kehitettävää?
- Yksinkertaista ja standardoi prosesseja: 5 s-periaatteiden hyödyntäminen, mekanismien vähentäminen, helpon pääsyn mahdollistaminen koneille ja työkaluille sekä työkalusarjojen hyödyntäminen.
- Aloituksen aikana työkalujen kiinnitettävyyden varmistaminen sekä työkalun, koneen ja tuotteen välisen asennon oikeuden varmistaminen ja hienosäätäminen.
- Jaa työvoima selkeästi tuotevaihdon sujuvoittamiseksi määrittelemällä vastuualueet sekä hyödyntämällä rinnakkain tekemistä.
- Vähennä puhdistustarpeet ja suunnittele tuotteet tuotantoympäristöön sopivaksi.

Hyödyntämällä asetusaikoihin perustuvaa ajojärjestystä voidaan läpimenoaikaa lyhentää vielä merkittävästi. LSU-priorisointiperiaatteen tulee olla perinteisten EDD ja FIFO ynnä muiden periaatteiden ohella osa ajojärjestystä. LSU-periaatteeseen perustuva ajojärjestys vaatii kuitenkin tietoa asetusaikojen kestoista ja tuotteiden välisistä riippuvuuksista, jotka täytyy ryhmitellä selkeästi. Tämä voidaan toteuttaa BOM:a hyödyntäen.

3. TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kehittää kohdeyrityksen tuotannon tehokkuutta parantamalla kapasiteetin käyttöä, tuottavuutta sekä toimitusvarmuutta ja tehostaa tuotannonsuunnitteluprosesseja. Tässä luvussa kuvataan tutkimuksen toteutusta, aineistoa, käytettyjä menetelmiä ja aineiston käsittelyä. Tarkoituksena on käsitellä tutkimusmetodologisesti tutkimusprosessia eli kuinka tutkimus on toteutettu ja kuinka tehty valintoja voidaan perustella (Saunders et al. 2019, s. 2).

3.1 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus on soveltava, sillä siinä ratkaistaan valitun yrityksen valittu ongelma (Saunders et al. 2019, s. 10). Tutkimuskohteen valinnassa ei siis hyödynnetty otantamenetelmää, sillä tutkimus saatiin kohdeyritykseltä toimeksiantona. Tutkimuksessa pyrittiin saamaan sekä tutkijan oma ajattelu että kirjallisuus ja empiiriset havainnot keskustelemaan keskenään. Lisäksi tavoitteena oli saada tutkimus siihen muotoon, että se olisi kohdeyrityksen lisäksi hyödynnettävissä laajemminkin. Tutkimuksen tarkoituksena ei kuitenkaan ollut perustutkimus, jossa tulokset hyödyttäisivät laajasti koko yhteiskuntaa (Saunders et al. 2019, s. 10).

Tutkimus toteutettiin 8.2022–5.2023 välisenä aikana. Tutkimuksen aikahorisontti on poikittaistutkimus, sillä sille on varattu ennalta määritetty aika (Saunders et al. 2019, s. 66). Tutkimus aloitettiin elokuussa 2022 alustavalla tutkimussuunnitelmalla kohdeyrityksen tunnistettujen haasteiden eli toimitusviivästysten ja tehokkuuden ratkaisemiseksi. Tutkimuksen tutkimusstrategia on tapaustutkimus, jossa syvennytään tiettyyn aiheeseen tai ilmiöön todellisessa toimintaympäristössä. Tutkimusstrategialla tarkoitetaan suunnitelmaa, jonka avulla vastataan asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Tapauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä kohdeyrityksen tiettyä ongelmaa. (Saunders et al. 2019, s. 189, 196)

Syyskuussa tutkimuksessa päätettiin keskittyä kohdeyrityksen tuotannon osalta tuotepakkaamoon ja sen kapasiteetin käyttöön. Tutkimuksen tapauksena on siis tuotannosta rajattu tuotepakkaamo, joka on rajattu vielä kolmelle kriittisimmälle tuotantolinjalle, jotka ovat kaksi automaattista pullotuslinjaa ja värien valmistuslinja. Näiden linjojen tarkempi prosessikuvaus esitetään luvussa 4.1.2. Tapaukseen sisältyy myös priorisointisääntöjen luominen näiden linjojen tuotantojärjestyksen tehostamiseksi. Tutkimuksen tutkimusfilosofia on siis pragmaattinen ongelman ollessa käytännöllinen ja kehitettäessä konkreetti-

sesti kohdeyrityksen käytänteitä. Pragmaattisessa lähestymistavassa tutkijan omat uskomukset vaikuttavat tutkimuksen luonteeseen ja aineisto sekä tulokset ovat käytäntöön sidottuja. (Saunders et al. 2019, s. 145).

Aiheen rajaamisen jälkeen luotiin alustavat tutkimuskysymykset sekä tehtiin nykytilakuvaus yrityksen tuotantoprosesseista sekä tuotannonsuunnittelu- ja ohjausperiaatteista dokumenttien, haastatteluiden ja havainnoin avulla. Prosessien ymmärtäminen oli tutkimuksen tekijälle helppoa, sillä hän oli työsuhteessa kohdeyritykseen entuudestaan. Nykytilakuvauksen ja ongelmakohtien havaitsemisen jälkeen tutkimuksessa keskityttiin teoreettiseen osuuteen ongelmiin syventymiseksi ja ratkaisuvaihtoehtojen selvittämiseksi. Päättelyn logiikkana tutkimuksessa on siis abduktiivinen päättely, jossa lähdetään liikkeelle havainnoista teoriaan ja testataan teorian pohjalta syntyneitä hypoteeseja. Tämä on toimiva ratkaisu, koska vastaavia haasteita on esiintynyt muilla yrityksillä ja aihetta tutkittu laajasti. (Saunders et al. 2019, s. 153–156)

3.2 Aineiston keruu- ja analysointimenetelmät

Tapaustutkimuksessa voidaan hyödyntää hyvin laajasti erilaisia analyysimenetelmiä, mutta analyysimenetelmät tulee kuitenkin valita tutkimusasetelmaan sopivaksi (Eriksson & Koistinen 2005, s. 4, 30). Keruu ja analysointimenetelmät valittiin tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Tutkimusotteena toimi monimenetelmätutkimus, jossa hyödynnetään sekä kvantitatiivisia että laadullisia menetelmiä tutkimuksen eri vaiheissa (Saunders et al. 2019, s.181–185). Tutkimuksen luotettavuutta pyrittiin lisäämään hyödyntämällä triangulaatiota kokonaisvaltaisempien tulkintojen saamiseksi. Triangulaatiolla tarkoitetaan eri menetelmien, lähteiden ja teorian yhdistämistä. Tutkimuksessa hyödynnettiin erityisesti aineistotriangulaatiota eli useiden eri aineistojen hyödyntämistä sekä menetelmätriangulaatiota eli useiden eri tiedonhankintamenetelmien hyödyntämistä. (Saunders et al. 2019, s. 185; Aaltio & Puusa 2020, luku 11)

Nykytilakuvaus toteutettiin dokumenttien, haastatteluiden ja havainnointien avulla. Tapaustutkimukselle tyypillistä onkin dokumenttien, havainnointien ja haastattelujen hyödyntäminen (Saunders et al. 2019, s.198). Havainnoinnilla tarkoitetaan tässä ihmisten ajatusten kuuntelemista sekä toimintatapojen katselemista oppimisen ja analysoinnin tueksi (Ghauri et al. 2020, s. 102). Haastattelut ja havainnoinnit toteutettiin ymmärryksen lisäämiseksi sekä tulosten tulkitsemiseksi ja analysoimiseksi.

Havainnointia toteutettiin läpi tutkimusprosessin tutkijan ollessa työsuhteessa kohdeyritykseen, mutta erityisesti tutkimuksen alussa, ennen joulukuussa tehtyä asetusaikamit-

tausta ja maaliskuussa tehtyä uutta asetusaikamittausta. Kolme merkittävimmistä havainnointikerroista kesti jokainen noin tunnin. Ensimmäisessä havainnoinnissa vertailtiin tuotantoprosessia käytännössä verrattuna dokumentoituun uusien työntekijöiden oppaaseen. Näiden pohjalta luotiin kuvissa 4 ja 5 esitetty pullotuslinjojen ja värilinjan prosessikaavio. Toisessa havainnoinnissa keskityttiin asetustoimenpiteisiin ja niiden vaikutuksiin. Kolmannessa havainnoinnissa toimittiin vastaavasti kuin toisessa, mutta tarkkailtiin myös uusien kehityskeinojen käyttöönoton vaikutuksia. Käytetyt vertailudokumentit olivat yrityksen Intranetistä löytyneitä prosessien kuvauksiin liittyviä toimintaohjeita.

Haastatteluissa hyödynnettiin harkinnanvaraista otantaa eli valikointia ja haastattelut rakennettiin helposti ymmärrettäviksi ja toteutettiin asiantuntijahaastatteluna (Saunders et al. 2019, s. 296–300). Tärkeimpiä epäformaaleihin keskusteluihin ja sähköposteihin osallistuvia olivat tuotantopäällikkö, tietohallintojohtaja, prosessimiehet sekä tuotepakkaamon vuorovastaavat ja operaattorit. Tuotepakkaamon vuorovastaavien haastattelut syyskuussa ja tammikuussa toteutettiin puolistrukturoituina, sillä tavoitteena oli saada haastateltavien oma ääni kuuluviin ilman kuitenkaan liiallisia vapauksia (Saunders et al. 2019, s. 438, 443). Nämä haastattelut litterointiin referoivana ja niiden sekä havainnointien ja epäformaalien keskustelujen pohjalta kerättiin laajasti muistiinpanoja.

Varsinaisia haastatteluja oli siis kaksi, joista ensimmäinen toteutettiin vuorovastaavan kanssa 30 minuutissa nykytilakuvauksen ja ensimmäisen havainnointikierroksen jälkeen syntyneiden kysymysten pohjalta. Toinen haastattelu kesti noin tunnin ja siinä käsiteltiin kirjallisuuden pohjalta tunnistettuja luvussa 2.4 esitettyjä tuotevaihtojen tehostamismenetelmiä, jotka toimivat haastattelun runkona, ja pohdittiin niiden toteuttamiskelpoisuutta kohdeyrityksen tuotantoympäristössä. Lisäksi haastattelussa määriteltiin asetustoimenpiteet sisäiseen ja ulkoiseen aikaan tehtäväksi, jonka runkona toimi liitteissä esitetyt aiemmat asetusaikamittaukset.

Tapauksen määrittämisessä oleellista on myös miettiä, minkälainen kokonaisuus on järkevä tutkimuksen laajuuden puitteissa (Eriksson & Koistinen 2005, s.6), jonka vuoksi tutkimusta myös rajattiin prosessin aikana liiallisen laajuuden välttämiseksi. Edellä mainittujen tuotantorajauksen ja tärkeimpien linjojen lisäksi kapasiteetin käytön mittausajanjaksoksi valittiin yksi viikko, jonka koettiin antavan riittävän hyvän kuvan tuotantolinjojen pullonkauloista. Asetusaikamittaukset toteutettiin noin kuukauden aikana, jotta dataa saatiin riittävästi sekä luotettavuuden parantamiseksi että jälkimmäisessä mittauksessa kehitysten arvioimiseksi. Empiirisen tutkimuksen aikana reflektoitiin toistuvasti aiempaan kirjallisuuteen ideoiden ja kehityskeinojen tunnistamiseksi (Ghauri et al. 2020, s. 53).

Tutkimus sisältää primääristä dataa, joka on kerätty vain tätä tutkimusta varten sekä sekundääristä dataa, jota on kerätty jo aiemmin muuhun tarkoitukseen (Saunders et al. 2019, s.338). Tutkimuksessa käytetyt aineistot ja niiden tarkempi luokittelu on esitettynä alla olevassa taulukossa 1. Kapasiteetti- sekä asetusaikamittausten tiivistelmät on lisäksi kuvattuna tarkemmin liitteissä A-E.

Taulukko 1 Tutkimuksessa käytetyn aineiston luokittelu

Datan tyyppi		**Aineisto**	**Aineiston lähde**
Primääri-data	**Historia-data**	Kapasiteetin käyttömittaukset	Operaattorien tuotannossa erikseen täytetyt raportit
		Asetusaikamittaukset	Operaattorien tuotannossa erikseen täytetyt raportit
		Haastattelu- ja keskustelumuistiinpanot	Tuotantopäällikkö, tietohallintojohtaja, prosessimiehet, vuorovastaavat ja operaattorit
		Havainnointimuistiinpanot	Tuotantoympäristö
Sekundääridata	**Reaaliaikadata**	Toimitusaikalupauslukema	Intranet/ERP
	Historia-data	Muistiinpanot epäformaaleista keskusteluista	Tuotantopäällikkö, tietohallintojohtaja, prosessimiehet, vuorovastaavat ja operaattorit
		Kirjallisuus	Andor ja Google Scholar
		Toimintaohjeet	Intranet/ERP
		Tuote- ja tuotantomäärät	Intranet/ERP
		Kirjatut työkortit ja vuorojen pituus	Intranet/ERP

Kvantitatiivista dataa kerättiin pääasiassa sekä tuotantoympäristöstä että yrityksen ERP:iin integroidusta Intranetistä, joka toimii tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmänä.

3.3 Aineiston käsittely

Tutkimuksessa kerätyn datan sekä sen analysoinnin tarkoituksena oli selvittää kohdeyrityksen merkittävimmät haasteet. Kehityskohteita päädyttiin yrityksen toiveesta ottamaan käyttöön ja konkreettisia muutoksia tekemään jo tutkimuksen aikana välittömästi. Tutkimuksen aikana pidettiin yllä kattavaa tutkimuspäiväkirjaa tehdyistä muutoksista sekä käydystä kirjallisuudesta ja työtehoa seurattiin koko tutkimuksen ajan kehitysten arvioimiseksi. Aineistoissa ilmenneiden poikkeuksien osalta tehtiin lisäselvitykset niiden mahdollisista virheistä ja tarvittavat korjaukset luotettavuuden parantamiseksi. Kerättyä aineistoa jalostettiin vertailukelpoisuuden ja analysoinnin mahdollistamiseksi (Saunders et al. 2019, s. 341).

Tutkimuksessa noudatettiin kuvassa 3 esitettyä tuotevaihtojen tehostamisprosessia. Nykytilakuvauksen jälkeen suoritettiin kapasiteetin käytön mittaus, joka toteutettiin mittaamalla tuotantolinjojen asetusaikoja, todellista tuotantoaikaa ja huoltoaikoja. Mittaustulokset saatiin 20:sta eri tuotteesta. Tarkemmat tulokset on esitettynä liitteissä A-C. Kapasiteettitarkastelussa analysoitiin merkittävimmät pullonkaulat, joista valittiin tutkimuksen syventymiskohteet. Asetusaikoja päätettiin analysoida myös korkeaksi todettujen suunnittelemattomien huoltojen sijaan siksi, koska huoltojen suurimmaksi syyksi todettiin kunnossapitohenkilökuntavaje. Myös todellisen tuotantoajan tehostamista pohdittiin pullonkaulojen ja tahtiajan analysoinnin avulla, mutta se päätettiin jättää jatkotutkimuskohteeksi. Näihin päädyttiin avainhenkilöiden kanssa keskustelemalla. Asetusaikojen analysoinnilla koettiin lisäksi saatavan lisäarvoa hyödyntämällä niitä tuotantolinjojen ajojärjestyssääntöjen luomisessa.

Kapasiteettimittauksen jälkeen analysoitiin luvussa 4.1.2 esitettyjä tuotantolinjojen prosessikuvauksia tuotevaihtojen kannalta, jolloin luotiin ymmärrys tuotevaihtoprosessista, josta tunnistettiinkin komponentit, laitteet sekä oleelliset toiminnot asetusaikojen kannalta. Kun nämä oli tunnistettu, suoritettiin asetusaikamittaus benchmarkiksi ja näiden merkityksen arvioimiseksi. Asetusaikamittaukset on esitettynä liitteessä D. Asetusaikamittaukset toteutettiin tuotepakkaamon operaattoreiden toimesta, jotka kirjasivat tarkasteluvälillä kaikilla kolmella linjalla jokaisen asetustoimenpiteen keston ylös. Ensimmäisessä asetusaikamittauksessa saatiin tulos 26 eri tuotevaihdolle. Näiden perusteella laskettiin eri asetustoimenpiteiden keskiarvot linjakohtaisesti. Löydökset analysoitiin yksitellen, joista valittiin merkittävimmät kehityskohteet. Merkitsevyys arvioitiin niiden ajallisen keston sekä välittömien kehitysmahdollisuuksien perusteella.

Seuraavana vaiheena olikin toimintojen purkaminen mahdollisimman pieneksi ja toimintojen jakaminen sisäiseen ja ulkoiseen aikaan sekä tuotevaihtojen tehostamismenetelmien mahdollisuuksien kartoitus, mitkä toteutettiin haastatteluna, kuten edellä todettiin. Kehityskohteisiin hyödynnettiin kirjallisuudesta koottuja tuotevaihtojen tehostamismenetelmiä siltä osin, kun ne olivat kohdeyrityksen tuotantoympäristöön sopivia. Tunnistettujen kehityskohteiden perusteella toiminnot yksinkertaistettiin ja standardoitiin sekä testattiin, jonka jälkeen suoritettiin uusinta-asetusaikamittaukset, jotka on esitettynä tarkemmin liitteessä E. Jälkimmäisessä asetusmittauksessa mitattiin 19 eri tuotevaihtoa sekä suoritettiin kaksi lisämittausta. Myös näiden perusteella laskettiin eri asetustoimenpiteiden keskiarvot linjakohtaisesti.

Uusinta-asetusaikamittauksien tuloksia verrattiin aiempaan benchmarkiksi asetettuihin mittaustuloksiin kehitysten arvioimiseksi. Hyväksi todetut menetelmät otettiin jatkuvaan käyttöön. Kehitystyö ei kuitenkaan loppunut vielä kuvassa 3 esitettyyn ohjeiden dokumentointiin vaan mitattuja asetusaikoja päädyttiin käyttämään ajojärjestyssääntöjen luomiseen asetusaikojen vähentämiseksi entisestään. Asetusaikojen perusteella luotiin priorisointisäännöt, joiden toimivuutta tarkasteltiin aineistolähtöisesti kolmen eri esimerkkilaskun avulla kehityksen arvioimiseksi ja päätelmien tekemiseksi. Priorisointisäännöissä hyödynnettiin myös kirjallisuudessa hyväksi todettuja järjestyssääntöjä. Kohdeyrityksen tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmään tehtiin myös tutkimuksen aikana muutoksia, jotka perustuivat jokapäiväiseen työskentelyyn ja hyväksi todettuihin keinoihin.

4. TULOKSET

4.1 Kohdeyrityksen tapauksen nykytila

Johdannossa todettiin kohdeyrityksen olevan merkittävästi jäljessä antamistaan toimitusaikalupauksista ja omien tuotteiden kohdalla esiintyy laajoja saatavuusongelmia. Ongelmiin haetaan ensisijaisesti ratkaisua parantamalla tuotannon tehokkuutta. Kehityskohteiksi on tunnistettu erityisesti toimituskyvyn, tuottavuuden ja oikea-aikaisuuden parantaminen. Ongelmien ratkaisemisen lisäksi yritys hakee kasvua ja selkeyttä prosesseihinsa

Kohdeyrityksen yli 1000:n eri lopputuotenimikkeen valmistaminen aiheuttaa merkittävää vaihtelua tuotannossa, joka johtaa haasteisiin tuotannon hienokuormittamisessa. Valmistettavat tuotteet ovat kosmetiikka- ja hygieniatuotteita, kuten shampoita, hoitoaineita, saippuoita, rasvoja, hiusvärejä, hiusvahoja, hapetteita ja lukuisia muita, jotka eroavat toisistaan sekä puolivalmisteen ominaisuuksien osalta että lopputuotteen komponenttien osalta. Tuotanto toteutetaan toistuvana erä- ja linjatuotantona. Lopputuotteet vaativat erilaisia tuotantolinjoja ja eri tuotantolinjoilla voidaan myös tuottaa erilaisia tuotteita. Haasteeksi onkin jo tunnistettu näiden seurauksena syntyvät tuotevaihdot, jotka johtavat asetusaikojen kasvuun ja tätä kautta tuotteiden reitityksen ja ajastuksen vaikeutumiseen.

Päällimmäisenä tavoitteena on parantaa tuotannon kapasiteetin käyttöä sekä parantaa tehokkuutta, jotta viivästykset saataisiin kirittyä ja toivottu kasvu saavuttamaan. Tehokkuutta mitataan kohdeyrityksessä työteholuvulla, joka esitetään muodossa kpl/h/hlö. Työteho toimii myös tuotannon bonuksen maksuperusteena. Ongelmaa lähdetään ratkaisemaan tarkastelemalla valittujen tuotantolinjojen kapasiteetin käyttöä ja selvittämällä näiden pullonkaulat sekä kiinnittämällä huomiota erityisesti tuotevaihtojen tehostamiseen, joiden vaikutuksesta ei ole todellista tietoa. Tulosten perusteella toivotaan saavutettavan selkeät priorisointisäännöt tuotannon ajojärjestykselle.

4.1.1 Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus

Yrityksen tuotannonsuunnitteluprosessi alkaa tuotantotilauksien syöttämisellä toiminnanohjausjärjestelmään. Tuotantotilaukset perustuvat todellisiin myyntitilauksiin, ennusteisiin sekä varastotasoihin ja historiamenekkiin. Private Label -asiakkaiden tilaukset toteutetaan tilausohjautuvasti perustuen todellisiin myyntitilauksiin. Suurimpien Private Label -asiakkaiden kohdalla tuotantotilauksissa huomioidaan myös asiakkaan toimittamat ennusteet. Omien tuotteiden kohdalla tuotantotilaukset perustuvat varasto-ohjautuvuu-

teen, jossa huomioidaan varastotasot sekä edellisen 20 viikon menekki, jonka perusteella lasketaan tuotteen riitto. Tuotteen riiton ollessa alle 20 viikkoa sille tehdään uusi tuotantotilaus, jossa määritetään eräkoko perustuen tavoiteltavaan riittoon ja varastossa oleviin komponentteihin. Tavoiteltava riitto ei ole aina täysin selvä, jolloin haasteeksi voi muodostua liian pienet erät, jolloin tuotetta valmistetaan turhan usein tai liian isot erät johtaen turhaan varastointiin. Eräkoon määrittämisessä ei ole myöskään huomioitu asetusaikojen vaikutusta.

Puolivalmistetilaukset ja komponenttitilaukset tehdään imuohjautuvasti taaksepäin, kun lopputuotteisiin varattu määrä menee negatiiviseksi. Tehdyt tuotantotilaukset varaavat siis tarvittavan määrän komponentteja ja raaka-aineita. Mikäli varastossa olevat komponentit ja raaka-aineet eivät riitä lopputuotteelle määritetyn erän valmistamiseen, tilataan niitä tarvittava määrä lisää. Ostotilauksissa pyritään myös ennakoimaan tulevaa kysyntää ja hävikkiä sekä hyödyntämään mittakaavaetua tilatessa suurempia määriä kerralla huomioiden kuitenkin säilyvyydet.

Tuotantotilaukset siirretään niiden syöttämisen jälkeen Exceliin, jossa tuotantoerille määritetään riiton tai toimitusaikalupauksen perusteella tavoiteviikot. Toimitusaikalupauksena yritys on käyttänyt 10–12 viikkoa, jonka on koettu olevan tällä hetkellä tuotteiden läpimenoaika. Mikäli komponenttien pidemmistä toimitusajoista on jo tietoa, lupaus asetetaan myöhemmäksi. Tuotantoerälle merkataan toimitusviikko, tuotepakkaamon tavoiteviikko sekä puolivalmisteen tavoiteviikko. Tuotepakkaamon tavoiteviikoksi merkataan toimitusviikon lukema vähennettynä kahdella ja puolivalmisteen tavoiteviikoksi tästä lukemasta vähennettynä vielä yhdellä. Kahden viikon vähennys perustuu lopputuotteiden mikrobiologiseen testaukseen ulkopuolisella toimijalla, joka tuotteiden on läpäistävä ennen vapautusta asiakkaalle. Puolivalmisteelle tehdään vastaava testaus yrityksen sisällä ja sen kesto on keskimäärin yhden viikon.

Yrityksellä ei ole käytössään aloitusajankohtana MPS- eikä S&OP-käytäntöjä, joka on johtanut myös osaltaan myyntiin, joka ylittää yrityksen tämänhetkisen tuotantokapasiteetin. 10–12 viikon kuvitellun läpimenoaikojen perusteella myynti onkin johtanut siihen, että jo myöhässä olevat tilaukset myöhästyvät entisestään eikä uusia lupauksia kyetä pitämään. Exceliin syötetyt tuotantotilaukset ja niiden tavoiteviikot toimivat siis vain ajojärjestyksen perusteena EDD-periaatteen mukaisesti. Varsinainen tuotannonohjaus toteutetaan yrityksen Intranetissä, jossa on tuotannonohjaukselle määritellyt toiminnot. Intranetissä tuotantoerät jaetaan eri tuotantolinjoille, jonka jälkeen niiden järjestys määritetään raahaustoiminnalla ja niitä voidaan tarkastella Gant-näkymässä. Ajojärjestyksessä huomioidaan Exceliin merkityt tavoiteviikot, jolloin ajojärjestys perustuu pitkälti EDD-periaatteeseen. EDD ei kuitenkaan aina toteudu priorisoitaessa tärkeimpien asiakkaiden

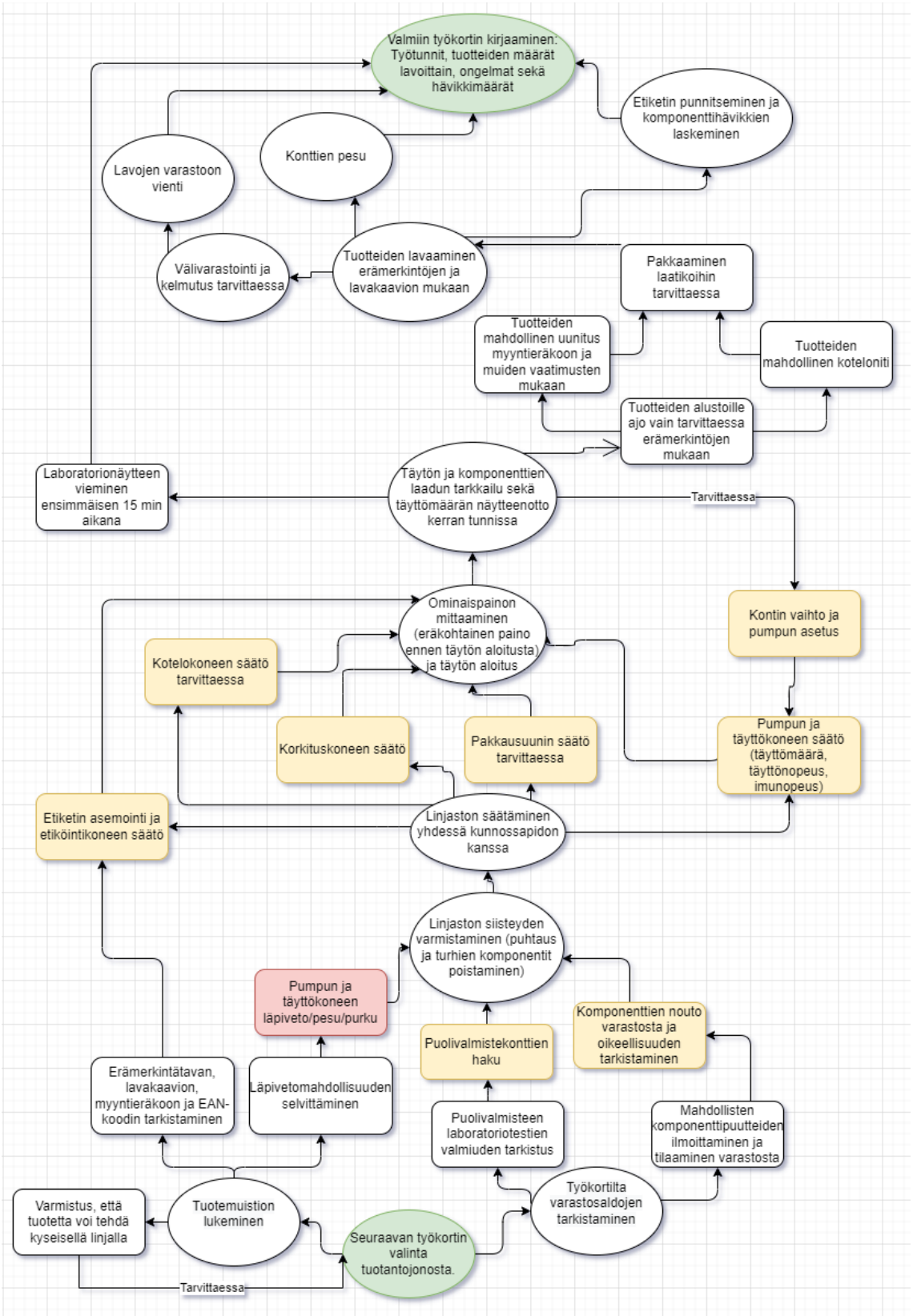
tilauksia. Mahdollisuuksien mukaan ajojärjestyksessä pyritään huomioimaan tuotteiden samankaltaisuuksia pyrkien asetusaikojen vähentämiseen LSU-periaatteen mukaisesti.

Asetusajoista ei ole kuitenkaan todellista tietoa, jolloin järjestys perustuu suurilta osin pesujen vähentämiseen ja läpivetojen hyödyntämiseen mahdollisuuksien mukaan. Läpivedolla tarkoitetaan periaatetta, jossa uusi puolivalmiste voidaan ajaa lopputuotteeseen ilman vanhan puolivalmisteen pesua pois koneista ajamalla uutta puolivalmistetta koneen läpi niin kauan, kunnes vanha puolivalmiste on varmasti poistunut. Läpiveto on mahdollista, mikäli peräkkäiset tuotteet ovat tuotetyypeiltään vastaavia ja niissä on samat tuoksut tai ne ovat hajusteettomia. Läpivetomahdollisuus varmistetaan tarvittaessa aina yrityksen laboratorion henkilökunnalta.

Määritelty tuotantojärjestys näkyy myös osittain tuotannolle. Tuotepakkaamon operaattorit näkevät aina jokaisen linjan neljän seuraavan tuotantoerän työkortit. Työkorteilta operaattorit näkevät muun muassa tuotteen eräkoon, rakenteen ja työohjeet. Seuraavassa luvussa tähän syvennytään tarkemmin. Intranetissä asetetaan jokaiselle viikolle myös tavoitteet, joista operaattorit näkevät myös valmistuneiden erien työtehon, joka toimii bonusperusteena, kuten aiemmin todettiin.

4.1.2 Tuotantoprosessit

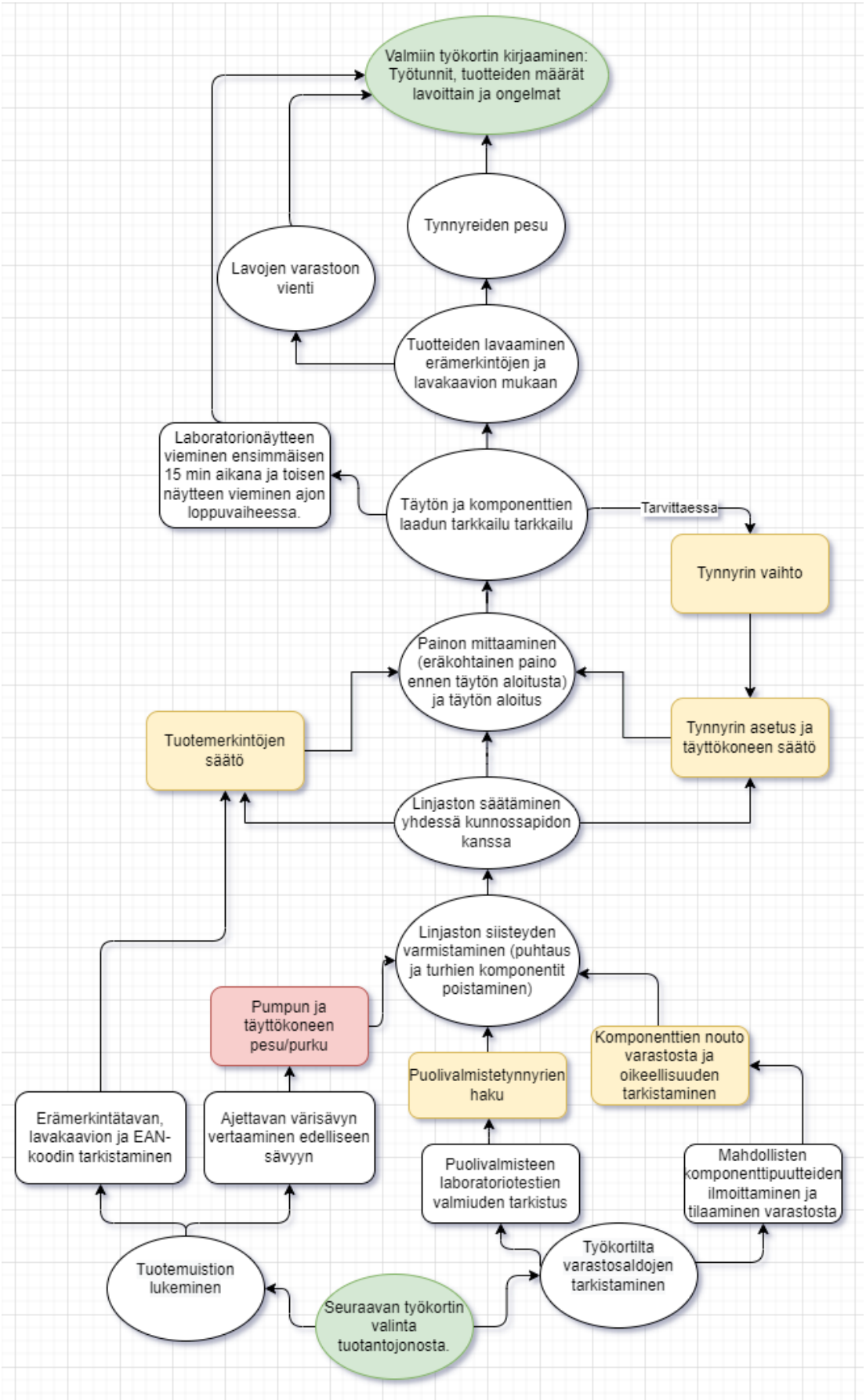
Kuten johdannossa todettiin, kohdeyrityksen tuotannon kannalta oleellisimpia toimintoja ovat puolivalmisteiden valmistusten ja tuotepakkaamon lisäksi varasto ja tuotekehityslaboratorio. Tässä tutkimuksessa keskitytään kuitenkin vain tuotepakkaamon tuotantoprosesseihin sekä tarvittavilta osin puolivalmisteiden valmistukseen, kun se koetaan oleelliseksi. Tuotepakkaamossa on noin 10 eri tuotantolinjaa, jotka ovat erikoistuneet erityyppisiin tuotteisiin. Lisäksi eri tuotantolinjat voivat tehdä myös ristikkäin erityyppisiä tuotteita. Tuotannossa on muun muassa pullotuslinjoja, tuubilinjoja, vahalinja sekä hiusvärilinja. Tutkimus rajataan näiden linjojen osalta vielä yrityksen toiveesta kolmelle kriittisimmälle tuotantolinjalle, joista kaksi ovat pullotuslinjoja ja yksi on hiusvärilinja. Näiden linjojen kapasiteetin käyttöä pyritään kehittämään sekä niiden ajojärjestykselle toivotaan selkeitä priorisointisääntöjä asetusaikojen vähentämiseksi. Pullotuslinjojen prosessi on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4 Pullotuslinjojen prosessikaavio

Kuvassa 4 esitetty pullotuslinjojen prosessin aloitus- ja lopetuskohdat on korostettu vihreällä. Prosessi on siis rajattu alkamaan puolivalmisteen tuotannon varastosaldolle kirjauksesta, jolloin työkortin voi valita tuotantojonosta, ja loppumaan lopputuotteen varastosaldoille kirjaukseen. Prosessi ei ole sidoksissa vuorokausiin, sillä aloitettua työtä voidaan jatkaa seuraavina päivinä, joka helpottaa myös tuotannonohjausta. Punaisella korostettu ”Pumpun ja täyttökoneen läpiveto/pesu/purku” on oletuksien mukaan kaikista kriittisin lopputuotteen laadun varmistamiseksi sekä merkittävä osa asetusaikoja, sillä jokainen tuote vaatii joko koneen ja pumpun läpivedon, pesun tai purkamisen.

Kuvassa 4 keltaisella korostetut vaiheet ovat vaiheita, jotka on tunnistettu oleellisiksi tuotevaihtojen asetusaikojen vähentämiseksi ja joihin voidaan vaikuttaa tuotannon ajojärjestyksellä. Näistä vaiheista operaattorit pystyvät tällä hetkellä hoitamaan kaikki lukuun ottamatta kotelokoneen säätöä ja toisella pullotuslinjalla korkituskoneen säätöä. Lisäksi prosessissa esitetty konttien pesu on pääasiassa puolivalmistuksen henkilökunnan tehtävänä tällä hetkellä. Prosessin aikana jokaista lopputuotetta ei erikseen tarkisteta, vaan laatu varmistetaan satunnaisilla tarkistuksilla. Vastaava prosessikaavio värilinjalle on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5 Värilinjan prosessikaavio

Kuvassa 5 esitetty värinlinjan prosessin aloitus- ja lopetuskohdat on korostettu vastaavasti kuin pullotuslinjoilla vihreällä. Tämäkin prosessi on rajattu alkamaan puolivalmisteen tuotannon varastosaldolle kirjauksesta, jolloin työkortin voi valita tuotantojonosta, ja loppumaan lopputuotteen varastosaldoille kirjaukseen. Värilinjalla vuorokausiriippuvaisuus on oletettu päinvastaiseksi kuin pullotuslinjoilla eli aloitettu erä tulisi saada saman vuorokauden aikana valmiiksi, joka vaikeuttaa myös tuotannonohjausta sekä johtaa kapasiteetin vajaakäyttöön. Prosessikaaviossa punaisella korostettu ”Pumpun ja täyttökoneen pesu/purku” on vastaavasti oletuksien mukaan kaikista kriittisin lopputuotteen laadun varmistamiseksi sekä merkittävä osa asetusaikoja, sillä täyttökone ja pumppu tulee aina pestä tuotteen vaihtuessa. Mikäli koneella siirrytään selvästi tummemmasta tai punaisemmasta sävystä vaaleampaan sävyyn, tulee koneelle tehdä purkupesu. Sama purkupesu tehdään myös vähintään kerran viikossa. Lisäksi mikäli on ajettu tiettyä tuotetyyppiä, M-värejä, toteutetaan koneelle purkupesun lisäksi lisäpesu.

Kuvassa 5 keltaisella korostetut vaiheet ovat vastaavasti vaiheita, jotka on tunnistettu oleellisiksi tuotevaihtojen asetusaikojen vähentämiseksi ja joihin voidaan vaikuttaa tuotannon ajojärjestyksellä. Näistä vaiheista operaattorit pystyvät tällä hetkellä hoitamaan kaikki lukuun ottamatta M-värien pesua. Prosessikuvassa esitetyllä täyttökoneen säädöllä tarkoitetaan värin ajoa koneeseen ja täyttöpillin asennusta paikoilleen. Tynnyreiden vaihto sisältää hapettuneen kerroksen kuorimisen pois, etanolin tyhjennyksen hopperista sekä värin pumppauksen hopperiin. Hopperilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa täyttökoneen täyttöyksikköä. Tuotemerkintöjen säätö taas sisältää laserin, ainesosalistan, kasettien ja mustekirjoittaminen säädön sekä laatikoiden tarroituksen ja valmistelun. Prosessikuvassa esitetty tynnyreiden pesu on myös tällä hetkellä puolivalmistuksen henkilökunnan tehtävänä. Prosessin aikana jokaisen lopputuotteiden paino tarkistetaan automaattisesti vaa’an avulla ja laatu varmistetaan satunnaisesti silmämääräisesti.

4.2 Kapasiteetin käyttö ja pullonkaulat

4.2.1 Kapasiteetin käytön tarkastelu

Tuotepakkaamon kolmen tärkeimmän linjan eli kahden automaattisen pullotuslinjan, A ja D, ja värilinjan G kapasiteetin käyttöä päätettiin tarkastella yhden viikon ajan luvussa 2.2.2 esitetyllä tavalla pullonkaulojen havaitsemiseksi. Viikolla 39 määriteltiin saatavissa olevan tiedon perusteella viikolle 40 näille kolmelle linjalle niiden teoreettinen ja suunniteltu kapasiteetti. Laskennan perusteena käytettiin tietoja, joiden mukaan operaattorit merkkaavat työkorteille 7,5 tuntia aamuvuorossa kello 06.00–14.00 maanantaista perjantaihin. Iltavuorolaiset taas merkkaavat maanantaista perjantaihin 8 tuntia kello 14.00–22.30 ja perjantaisin 5,5 tuntia kello 14.00–20.00. Tauot kohdistuvat tyypillisesti 08.30,

12.30, 16.15, ja 20.30 ajankohtaan. Lounasaikana kello 10.30 ja päivällisaikana 18.00 ei merkata työtunteja. A-pullotuslinjan, D-pullotuslinjan sekä värilinjan G teoreettinen ja suunniteltu kapasiteetti on esitettynä taulukossa 2.

Taulukko 2 Pakkauslinjojen teoreettinen ja suunniteltu kapasiteetti

Viikon 40 kapasiteettitarkastelu	A-pullo-tuslinja	D-pullo-tuslinja	G-Väri-linja
Teoreettinen kapasiteetti (h)	**120**	**120**	**120**
Työtä tehdään vain kahdessa vuorossa (h)	-40	-40	-40
Tauot (h)	-8,33	-8,33	-8,33
Permanentin valmistus (Värilinja on varattuna muulle tuotannolle. Arvioitu kesto 3,7) (h)	0	0	-3,7
Värihuoneasennus (Värien valmistus ei onnistu kahteen vuorokauteen. Tauot ja vuorotyö huomioitu) (h)	0	0	-28,67
Perjantaisiivous (h)	-0,5	-0,5	-0,5
Suunniteltu kapasiteetti (h)	**71,17**	**71,17**	**38,80**

Taulukossa 2 esitetyssä teoreettisessa kapasiteetissa on huomioitu vain 5 vuorokautta, sillä kohdeyrityksessä tehdas on suljettuna viikonloppuisin tarkasteluhetkellä. Pakkauslinjojen suunniteltu kapasiteetti on laskettu vähentämällä teoreettisesta kapasiteetista vuorotyön, taukojen, muun tuotannon kapasiteettivarauksen sekä suunniteltujen huoltojen ja siivousten vaikutus.

Teoreettisen ja suunnitellun kapasiteetin selvittämisen jälkeen, viikolla 40 kerättiin dataa kyseisten linjojen suunnittelemattomista huolloista, asetusajoista sekä todellisista tuotantoajoista. Viikon 40 aikana kerätyn datan linjojen kapasiteetin käytöstä on esitettynä A-pullotuslinjan osalta liitteessä A, D-pullotuslinjan osalta liitteessä B ja värilinjan osalta liitteessä C. Kyseisten liitteiden pohjalta muodostettiin alla oleva taulukko 3, jossa on koottuna suunnittelemattomat huollot, asetusajat sekä todelliset tuotantoajat, joiden pohjalta määriteltiin pakkauslinjojen käytettävissä oleva kapasiteetti sekä käyttämätön kapasiteetti hyödyntäen taulukossa 2 esitettyä suunniteltua kapasiteettia.

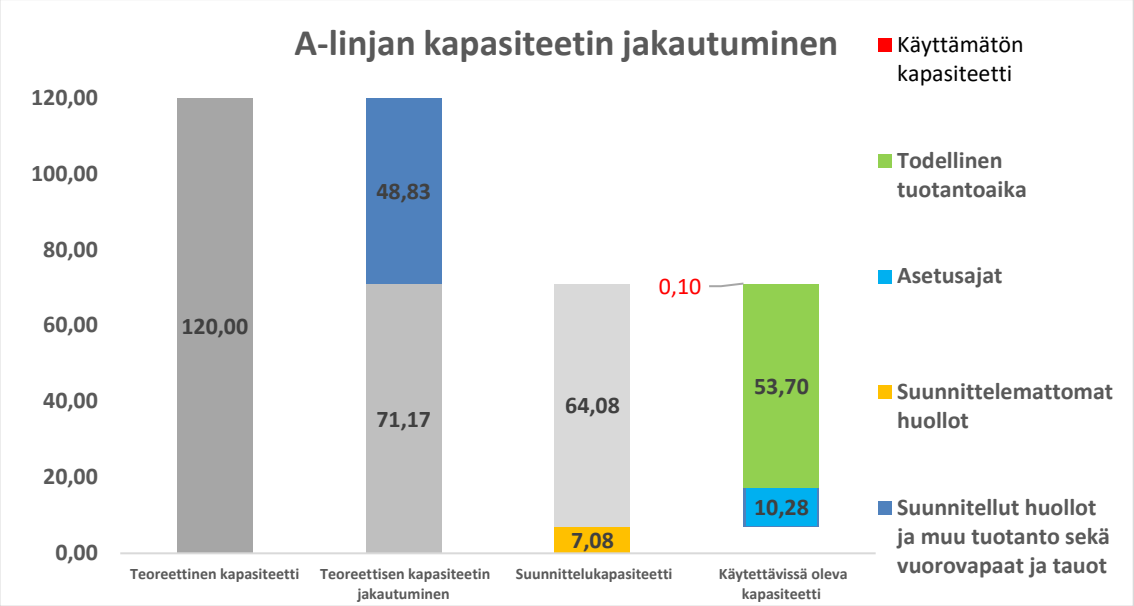
Taulukko 3 Pakkauslinjojen käytettävissä oleva ja käyttämätön kapasiteetti

Viikon 40 kapasiteettitarkastelu	A-pullo-tuslinja	D-pullo-tuslinja	Väri-linja
Suunniteltu kapasiteetti (h)	**71,17**	**71,17**	**38,80**
Suunnittelemattomat huollot (Työkorteille kirjatut huolto-ajat) (h)	**-7,08**	**-8,58**	**-7,08**
Permanentin valmistus vei aikaa vain 1,8 h tällä viikolla suunnitellun 3,7 h sijaan (Lisätään värilinjan käytettävissä olevaan kapasiteettiin 3,7 h - 1,8 h = 1,9 h (h)	**0,00**	**0,00**	**1,90**
Käytettävissä oleva kapasiteetti (h)	**64,08**	**62,58**	**33,62**
Asetusajat (Pesut ja asennukset, jotka kirjattu työkor-teille) (h)	**-10,28**	**-6,00**	**-3,50**
Todellinen tuotantoaika (Laskettu vähentämällä kirja-tuista tunneista huollot, asetusajat ja aikaikkunaan osu-vat tauot) (h)	**-53,70**	**-54,25**	**-9,58**
Käyttämätön kapasiteetti (h)	**0,10**	**2,33**	**20,53**

Taulukossa 2 esitetystä pakkauslinjojen suunnitellusta kapasiteetista vähentämällä liitteissä A-C oranssilla värikoodilla esitetyt suunnittelemattomat huollot sekä lisäämällä mahdolliset vapautuneet kapasiteetit on päästy pakkauslinjojen viikon 40 käytettävissä olevaan kapasiteettiin. Käytettävissä olevasta kapasiteetista vähentämällä liitteissä A-C sinisellä värikoodilla esitetyt pakkauslinjojen asetusajat sekä vihreällä värikoodilla esitetyt todelliset tuotantoajat on päästy pakkauslinjojen viikon 40 käyttämättömään kapasiteettiin. Edellä esitettyjä tuloksia analysoidaan tarkemmin tulevissa luvuissa.

4.2.2 Kapasiteetin käytön analysointi

Luvussa 4.2.1 esitettyjen taulukkojen 2 ja 3 pohjalta voidaan havainnollistaa A-pullotuslinjan kapasiteetin jakautumista alla olevien kuvan 6 mukaisesti.

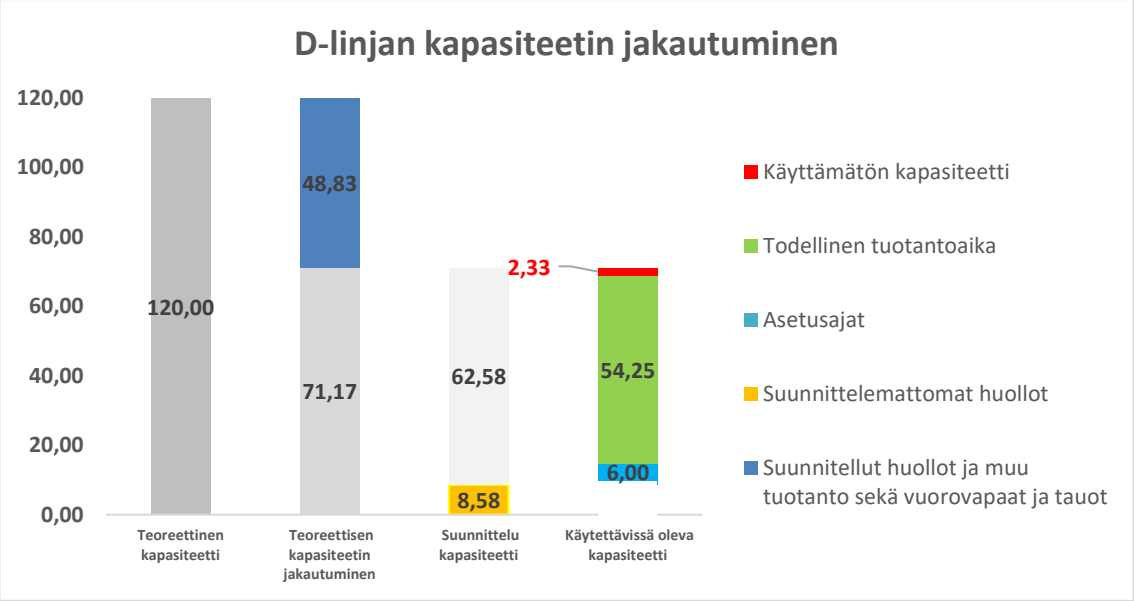


Kuva 6 A-linjan kapasiteetin jakautuminen

Kuvan 6 ensimmäisessä sarakkeessa on esitettynä A-linjan 120 tunnin teoreettinen kapasiteetti. Toisessa sarakkeessa on esitettynä teoreettisen kapasiteetin jakautuminen ja siitä huomataan, että suunnitellut huollot ja muu tuotanto sekä vuorovapaat ja tauot vievät 120 tunnin teoreettisesta kapasiteetista 48,83 tuntia eli noin 41 % osuuden. Huomionarvoista on, että A-pullotuslinjalla tämä luku koostuu ainoastaan vuorovapaista sekä tauoista, jotka olisivat mahdollisesti hyödynnettävissä lisäämällä yövuoron sekä porrastamalla taukoja.

Kolmannessa sarakkeessa on esitettynä suunnittelukapasiteetin jakautuminen tarkemmin ja siitä huomataan, että A-pullotuslinjalla suunnittelemattomat huollot kuluttavat 71,17 tunnin suunnitellusta kapasiteettia 7,08 tuntia eli noin 10 % osuuden. Neljännessä sarakkeessa on esitettynä käytettävissä olevan kapasiteetin jakautuminen tarkemmin. A-pullotuslinjalla ei käytännössä ole käyttämätöntä kapasiteettia, vain 0,10 tuntia. Asetusajat kuitenkin kuluttavat 64,08 tunnin käytettävissä olevasta kapasiteetista 10,28 tuntia eli noin 16 % osuuden. Jäljelle jäävä 53,70 tuntia on todellista tuotantoaikaa eli arvoa tuottavaa aikaa, jonka osuus käytettävissä olevasta kapasiteetista on noin 84 %. Asetusaikojen suhde todellisen tuotantoajan ja asetusaikojen summaan eli siihen aikaan, jolloin linja on ollut käytettynä, on noin 16 %.

Luvussa 4.2.1 esitettyjen taulukkojen 2 ja 3 pohjalta voidaan havainnollistaa vastaavasti D-pullotuslinjan kapasiteetin jakautumista alla olevan kuvia 7 mukaisesti.

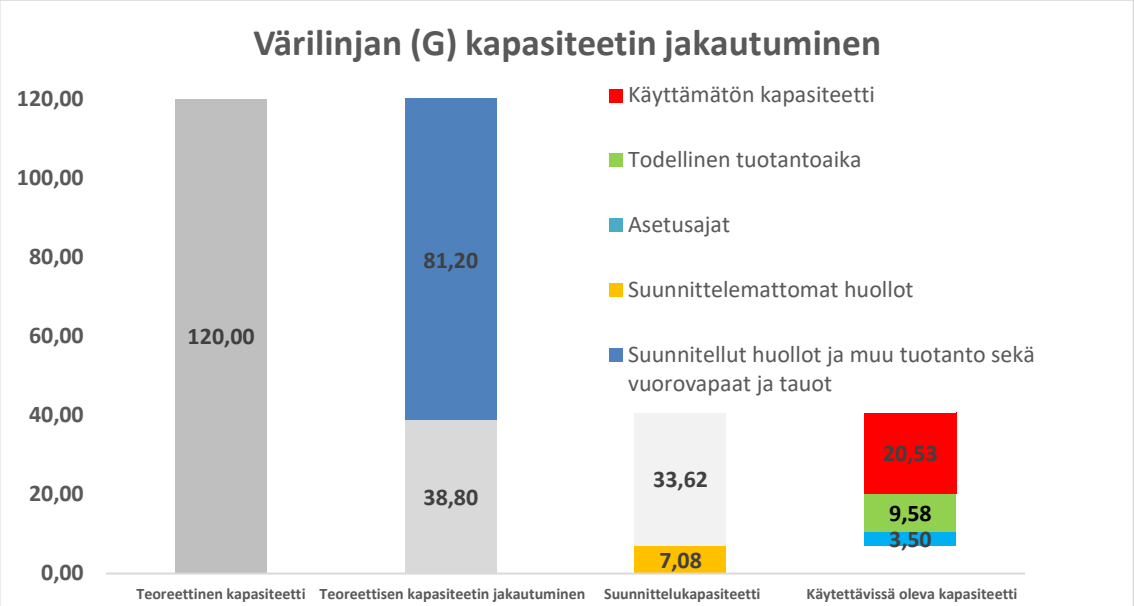


Kuva 7 D-linjan kapasiteetin jakautuminen

Kuvan 7 ensimmäisessä sarakkeessa on esitettynä D-linjan 120 tunnin teoreettinen kapasiteetti. Toisessa sarakkeessa on esitettynä teoreettisen kapasiteetin jakautuminen ja siitä huomataan, että suunnitellut huollot ja muu tuotanto sekä vuorovapaat ja tauot vievät 120 tunnin teoreettisesta kapasiteetista 48,83 tuntia eli noin 41 % osuuden. Huomionarvoista on, että myös D-pullotuslinjalla tämä luku koostuu ainoastaan vuorovapaista sekä tauoista, jotka olisivat mahdollisesti hyödynnettävissä lisäämällä yövuoron sekä porrastamalla taukoja.

Kolmannessa sarakkeessa on esitettynä suunnittelukapasiteetin jakautuminen tarkemmin ja siitä huomataan, että D-pullotuslinjalla suunnittelemattomat huollot kuluttavat 71,17 tunnin suunnitellusta kapasiteettia 8,58 tuntia eli noin 12 % osuuden. Neljännessä sarakkeessa on esitettynä käytettävissä olevan kapasiteetin jakautuminen tarkemmin. D-pullotuslinjallakin käyttämätön kapasiteetti on vain 2,33 tuntia, joka on noin 4 % käytettävissä olevasta kapasiteetista. Asetusajat kuitenkin kuluttavat 62,58 tunnin käytettävissä olevasta kapasiteetista 6,00 tuntia eli noin 10 % osuuden. Jäljelle jäävä 54,25 tunnin aika on todellista tuotantoaikaa eli niin sanotusti arvoa tuottavaa aikaa, jonka osuus käytettävissä olevasta kapasiteetista on noin 87 %. Asetusaikojen suhde todellisen tuotantoajan ja asetusaikojen summaan eli siihen aikaan, jolloin linja on ollut käytettynä, on noin 10 %.

Luvussa 4.2.1 esitettyjen taulukkojen 2 ja 3 pohjalta voidaan havainnollistaa myös värilinjan kapasiteetin jakautumista alla olevien kuvien 12, 13 ja 14 mukaisesti.



Kuva 8 Värilinjan (G) kapasiteetin jakautuminen

Kuvan 8 ensimmäisessä sarakkeessa on esitettynä värilinjan 120 tunnin teoreettinen kapasiteetti. Toisessa sarakkeessa on esitettynä teoreettisen kapasiteetin jakautuminen ja siitä huomataan, että suunnitellut huollot ja muu tuotanto sekä vuorovapaat ja tauot vievät 120 tunnin teoreettisesta kapasiteetista 81,20 tuntia, eli noin 68 % osuuden. Huomionarvoista on, että värilinjalla noin 41 %-yksikköä tästä luvusta, kuten A- ja D-pullotuslinjalla, selittyy ainoastaan vuorovapaista sekä tauoista, jotka olisivat mahdollisesti hyödynnettävissä yövuorolla sekä porrastamalla taukoja. Värilinjalla oli myös kyseisenä viikkona poikkeuksellinen asennusoperaatio sekä muuta tuotantoa, joka selittää loput kyseisestä luvusta.

Kolmannessa sarakkeessa on esitettynä suunnittelukapasiteetin jakautuminen tarkemmin ja siitä huomataan, että värilinjalla suunnittelemattomat huollot kuluttavat 38,80 tunnin suunnitellusta kapasiteettia ja 1,90 tunnin vapautunutta kapasiteettia 7,08 tuntia eli noin 17 % osuuden. Neljännessä sarakkeessa on esitettynä käytettävissä olevan kapasiteetin jakautuminen tarkemmin. Värilinjan käyttämätön kapasiteetti on jopa 20,53 tuntia, joka on noin 61 % käytettävissä olevasta kapasiteetista. Asetusajat kuluttavat 33,62 tunnin käytettävissä olevasta kapasiteetista 3,5 tuntia eli noin 10 % osuuden. Jäljelle jäävä 9,58 tunnin aika on todellista tuotantoaikaa eli arvoa tuottavaa aikaa, jonka osuus käytettävissä olevasta kapasiteetista on noin 28 %. Asetusaikojen suhde todellisen tuotantoajan ja asetusaikojen summaan eli siihen aikaan, jolloin linja on ollut käytettynä, on noin 27 %.

4.2.3 Yhteenveto kapasiteetin käytöstä ja pullonkaulat

Alla olevaan taulukkoon 4 on koottuna viikon 40 kapasiteettitarkastelun tunnusluvut kolmelta tarkastellulta pakkauslinjalta.

Taulukko 4 Pakkauslinjojen viikon 40 kapasiteettitunnusluvut

Tunnusluku	**A-pullotus-linja**	**D-pullotuslinja**	**Värilinja**
1. (Suunnitellut huollot + muu tuotanto + vuorovapaat + tauot) / teoreettinen kapasiteetti	41 %	41 %	68 %
2. Suunnittelemattomat huollot / suunnittelukapasiteetti	10 %	12 %	17 %
3. Asetusajat / käytettävissä oleva kapasiteetti	16 %	10 %	10 %
4.Todellinen tuotantoaika / käytettävissä oleva kapasiteetti	84 %	87 %	28 %
5. Asetusajat / (Asetusajat + todellinen tuotantoaika)	16 %	10 %	27 %
6. Käyttämätön kapasiteetti / käytettävissä oleva kapasiteetti	0 %	4 %	61 %

Huomiona yllä olevissa luvuissa on se, että värilinjalla suunnittelukapasiteettiin huomioitu tässä myös vapautunut kapasiteetti. Yllä olevien tunnuslukujen lisäksi huomionarvoista on, että teoreettisessa kapasiteetissa ei ole huomioitu lauantai- ja sunnuntaivuorokausia ollenkaan, joka mahdollistaisi 40 % tuntimääräisen lisäyksen kapasiteettiin.

Huomionarvoista on, että A- ja D-pullotuslinjoilla ensimmäinen luku koostuu ainoastaan vuorovapaista sekä tauoista, jotka olisivat mahdollisesti hyödynnettävissä. Toisin sanoen hyödyntämällä yövuoroa sekä porrastamalla taukoja, pystyttäisiin 41 % teoreettisesta kapasiteetista hyödyntämään suunnitellusta kapasiteetissa. Myös värilinjalla vastaavasti noin 41 %-yksikköä 68 %:sta selittyy ainoastaan vuorovapaista sekä tauoista, jotka olisivat mahdollisesti hyödynnettävissä. Loput eli noin 27 %-yksikköä kyseisestä luvusta selittyy muulla tuotannolla sekä suunnitelluilla huolloilla, jotka ovat poikkeuksellisia eli eivät yleensä kuluta teoreettista kapasiteettia.

Taulukosta 4 huomataan, että suunnittelemattomat huollot vievät runsaasti aikaa suunnitellusta kapasiteetista jokaisella linjalla (10–17 %). Tätä tulisi analysoida tarkemmin, esiintyykö tuotannossa toistuvia laiteongelmia, joihin olisi syytä investoida. Suurimmaksi syyksi suuriin huoltoaikoihin on kuitenkin jo tunnistettu kunnossapitohenkilökuntavaje,

joihin yritys on avannut jo rekrytoinnit. Asetusaikojen suhde käytettävissä olevaan kapasiteettiin on myös suuri (10–17 %). Lisäksi asetusaikojen suhde aikaan, jossa työntekijät pystyvät tekemään linjalla jotakin, eli asentamaan ja täyttämään, on myös todella suuri (16–27 %). Tässä tulisi analysoida tarkemmin, mitkä tekijät nostavat asetusaikoja.

Käyttämätöntä kapasiteettia esiintyy käytännössä vain värilinjalla. Syyksi on tunnistettu puolivalmisteiden puute. Pullonkaula onkin niin sanotusti nälkäinen eli siis ennen OPP:ta oleva puolivalmistus, jossa värilinjalla tehtäviä kestovärejä valmistetaan tällä hetkellä vain yhdessä vuorossa maksimissaan kaksi 200 kg erää. Tässä tulisi selvittää keinot, joilla puolivalmistuksen kapasiteettia kyettäisiin nostamaan, jotta värilinjan käyttämätön kapasiteetti saadaan ratkaistua.

Tiivistettynä merkittävimmiksi pullonkauloiksi eli tekijöiksi, jotka rajoittavat kyseisiä linjoja saavuttamasta tavoiteltua kapasiteettia, tunnistettiin kapasiteettitarkastelun avulla jokaisen linjan merkittävät asetusajat, joita tulee analysoida tarkemmin. Lisäksi jokaisella linjalla suunnittelemattomat huollot heikentävät kapasiteettia merkittävästi, mutta tätä ei tässä tutkimuksessa tarkastella tarkemmin, sillä suurimmaksi syyksi on tunnistettu puute kunnossapitohenkilökunnasta. Jatkotutkimus kohteena voisi kuitenkin selvittää ennakoivan kunnossapitotoimenpiteiden vaikutusmahdollisuuden. Viimeiseksi pullonkaulaksi havaittiin värilinjan käyttämätön kapasiteetti, johon etsitään ratkaisua tarkemmin tulevissa luvuissa. Seuraavassa luvussa tarkastellaan kuitenkin ensin jokaisen linjan merkittäväksi todettuja asetusaikoja.

4.3 Asetusaikamittaukset

Tuotevaihtojen analysointiin päätettiin hyödyntää kuvassa 3 esitettyä tuotevaihtojen tehostamisprosessia. Haastattelujen, havainnointien ja mallintamisen perusteella tuotevaihtoprosessista luotiin kokonaiskuva, jonka jälkeen tunnistettiin kaikki komponentit ja laitteet, jotka vaativat erilaisia asennuksia tuotevaihtoprosessissa kyseisillä linjoilla. Asetusaikojen kannalta oleellisten toimintojen tunnistamisen jälkeen kolmella linjalla mitattiin eri asetustoimintoihin kuluvat ajat. Mittaustulokset on esitettynä liitteessä D. Toimintojen arvioidut kestot ja mittauksien keskiarvot on koottuna linjoittain alla olevissa taulukoissa 5, 6 ja 7. Arvioiduilla kestoilla tarkoitetaan tuotannon vuorovastaavien haastattelussa esittämiä arvioita asetusten kestoista ennen suoritettuja mittauksia. Keskiarvot perustuvat A-linjalla 12, D-linjalla neljään ja värilinjalla 10 mittaustulokseen.

Taulukko 5 A-pullotuslinjan asetusajat

A-pullotuslinja (A) asetukset	Arvioitu kesto (min)	Mitattu keskiarvo (min)
Läpiveto	10–15	17
Hopperin vaihto	30	30
Pesu/purku	60–90	210
Kontin vaihto	5–10	7
Komponenttien nouto	10	8
Koon säätö	30	28
Etiketin säätö	5–30	17
Korkin säätö	5–15	13
Kotelon säätö	240–300	?
Uunin säätö	5–15	8

Luvussa 4.1.2 esitetyn prosessikuvauksen lisäksi joitakin taulukossa 5 esitettyjä toimintoja tarkennettiin: Kontin vaihto sisältää noudon, kiinnityksen ja poisviennin; Koon säätö sisältää täyttökoneen, pullon ja kuljetuskelkkojen säädön; Hopperin vaihto sisältää hopperin kiinnityksen, pumpun asennuksen ja etanolin poiston.

Arvioidut kestot vastasivat melko hyvin mitattuja keskiarvoja. Merkittävä ero ”pesu/purku” -toiminnon arvioidun keston ja mitatun keskiarvon välillä selittyy sillä, että kyseiselle toiminnolle saatiin vain yksi mittaustulos tarkasteluaikana ja tämän mittauksen yhteydessä perehdytettiin uusia työntekijöitä. Tämän osalta suoritettiin myöhemmin uusintamittaus, jonka kestoksi mitattiin 90 minuuttia. Kotelokoneen säädöstä ei saatu mittaustulosta tarkasteluajankohtana, mutta selvittämällä kunnossapitoasentajalta asetuksen yleinen kesto, saatiin tulokseksi vastaava 240–300 minuutin lukema, mitä vuorovastaava oli arvioinut. Tarkastellessa liitteessä D esitettyjä kontin vaihdon tuloksia huomattiin lukemien vaihtelevan 3–5 minuutin sekä 8–10 minuutin välillä. Selitykseksi saatiin eroavat merkintätavat, joissa osa kontin vaihdosta oli sisällytetty muihin toimintoihin. Lopulliseksi tulokseksi saatiin noin 10 minuuttia, joka on yhtenäinen myös D-pullotuslinjalla mitattuihin tuloksiin.

Taulukko 6 D-pullotuslinjan asetusajat

D-pullotuslinja (D) asetukset	Arvioitu kesto	Mitattu keskiarvo
Läpiveto	10–20	23
Pesu	60–90	90
Kontin vaihto	5–10	10
Komponenttien nouto	10	8
Koon säätö	30	25
Etiketin säätö	5–30	15
Korkin säätö	5–15	?
Kotelon säätö	240–300	?
Uunin säätö	5–15	6

D-pullotuslinjalla pätee vastaavat tarkennukset taulukossa 6 esitettyihin asetustoimintoihin kuin edellä mainittuihin A-pullotuslinjalla oleviin. Tarkasteluajankohtana korkin säätöön ei saatu mittaustulosta, mutta jälkikäteen tehdyssä mittauksessa tulokseksi saatiin 15 minuuttia. Kotelokoneen säädössä pätee sama lisäselvitys kuin A-pullotuslinjalla. Muuten mitatut tulokset vastasivat melko tarkasti arvioituja kestoja.

Taulukko 7 Värilinjan asetusajat

Värilinja (G) asetukset	Arvioitu kesto	Mitattu keskiarvo
Pesu	15	14
Purkupesu	30 (90)	90
Tynnyrin vaihto	15	18
Komponenttien nouto ja vaihto	15	18
Täyttökoneen säätö	10	12
Tuotemerkintöjen säätö	30	19

Värilinjan asetustoimintojen arvioidut kestot osuivat hyvin lähelle mitattuja keskiarvoja. Ainoastaan tuotemerkintöjen säätö oli todellisuudessa arvioitua nopeampaa. Purkupesussa esitetty 30 minuutin arvio kuvaa kevyempää purkupesua, josta saatiin myöhemmin 30 minuutin mittaustulos. Tarkasteluajankohdalle osui myös vaativampi purkupesu M-värin (katso luku 4.1.2) kohdalla, jonka mitattu kesto vastaa täysin arvioitua kestoa. Tässä luvussa esitettyjä asetusaikoja analysoidaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

5. TULOSTEN TULKINTA JA TOIMENPITEET

5.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tuloksien ja analyysien tarkoituksena on vastata tutkimuksessa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi edellisessä luvussa merkittävimmiksi pullonkauloiksi todettiin tarkastelluilla linjoilla suuret asetusajat sekä värilinjan käyttämätön kapasiteetti. Tämä ei ollut yllättävää, sillä suuret asetusajat osoittautuvatkin tyypillisesti pullonkauloiksi korkean vaihtelun tuotantoympäristöissä (Parwani & Hu 2021; Singh et al. 2018). Yllättäviä olivat kuitenkin tiettyjen asetustoimenpiteiden pitkät kestot. Merkittävimpiä asetusaikoja aiheuttavat muun muassa pullotuslinjojen pesut ja tuotteiden koon säätö sekä värilinjalla purkupesut, tynnyrin vaihdot, komponenttien noudot ja vaihdot sekä tuotemerkintöjen säädöt.

Vastatakseen myös toiseen tutkimuskysymykseen, seuraavassa luvussa esitetään uusintamittaukset asetusajoille, joiden tulosten perusteella luodaan selkeät priorisointisäännöt tuotannon ajojärjestykselle, joita ei yllättäen aiemmissa käsitellyissä tutkimuksissa ole huomioitu. Tähän hyödynnetään kuitenkin laajasti muualla kirjallisuudesta löytyneitä sekä hyväksi todettuja periaatteita. Seuraavissa luvuissa esitetäänkin konkreettisia kirjallisuuteen perustuvia sekä hyväksi todettuja toimenpiteitä havaittujen haasteiden ratkaisemiseksi.

5.2 Tehtävät toimenpiteet

Edellä mainittuihin asetustoimintoihin haetaan parannuksia hyödyntämällä erityisesti SMED-periaatteita, joiden on todettu olevan edelleen merkittäviä tuotevaihtojen tehostamiseksi (Braglia et al. 2017; Fonda & Meneghetti 2022; Lozano et al. 2019; Parwani & Hu 2021; Singh et al. 2018). Asetusajat ovat riippuvaisia myös tuotannon ajojärjestyksestä, jonka vuoksi tässä luvussa luodaan selvät ajojärjestyssäännöt perustuen mittaustuloksiin. Luvun lopussa käsitellään muita tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmään tehtyjä muutoksia ongelmien ratkaisemiseksi. Luvun alussa kuitenkin ratkaistaan merkittäväksi todettu värilinjan käyttämätön kapasiteetti.

5.2.1 Värilinjan käyttämättömän kapasiteetin ratkaiseminen

Värilinjan käyttämättömän kapasiteetin suurimmaksi syyksi tunnistettiin puolivalmisteiden puute, kuten luvussa 4.2.3 todettiin. Puolivalmistepuutteiden syyksi tunnistettiin puo-

livalmistuksen värien valmistuksen vajaa kapasiteetin käyttö, sillä värimassaa valmistettiin vain aamuvuorossa maksimissaan kaksi 200 kg erää. Iltavuoroa ei kyetty hyödyntämään, sillä valmistuksessa ei ollut riittävästi henkilökuntaa.

Yrityksessä päädyttiin keskustelemalla avainhenkilöiden kanssa palkkaamaan yksi työntekijä puolivalmistukseen lisää, jotta värejä kyetään valmistamaan molemmissa vuoroissa. Lisäksi oletetun 200 kg maksimieräkokoon syyksi ilmeni yrityksen käyttämät värien säilytystynnyrit, joiden tilavuus on tarkoitettu 200 kg eräkoolle. Värien valmistuksen padan maksimieräkoko ei kuitenkaan ollut 200 kg selvittämällä tarkemmin kyseisen padan kapasiteettia, vaan laskennalliseksi kapasiteetiksi saatiin 270 kg. Eräkokoa testattiin aluksi 250 kg:lla, jonka todettiin olevan mahdollinen. Tämän jälkeen testattiin vielä 260 kg:lla, jonka todettiin olevan mahdollinen. 260 kg suuremmat erät todettiin kuitenkin mahdottomiksi, sillä tätä suuremmissa erissä massan sekoittuminen olisi estynyt.

Värilinjan ohjeistusta myös muutettiin siten, että värimassan voi jättää yön yli hopperiin tarvittaessa oikein sulkemalla, jotta tuotantoa ei tarvitse lopettaa turhan aikaisin johtaen käyttämättömään kapasiteettiin. Aiemmin tuotanto lopetettiin sävyn vaihtuessa, mikäli koettiin ettei ollut tarpeeksi aikaa tehdä kokonaan uutta sävyerää. Lisäksi värimassan ajamisen ohjeistusta muutettiin siten, että se voidaan tarvittaessa ajaa tuotepakkaamon värilinjalla samana päivänä kuin se on valmistettu puolivalmistuksessa, mikäli massa on jäähtynyt tarpeeksi ja laboratorio on kuitannut aineen ajokelpoisuuden. Aiemmin värimassa ajettiin aikaisintaan seuraavana päivänä puolivalmistuksesta.

Huomioiden edellä mainitut päivitetyt ohjeistukset ja nostamalla puolivalmistuksen värien valmistuksen eräkokoa 200 kg:sta 260 kg:aan sekä valmistamalla värejä sekä aamuettä iltavuorossa, pystytään tuotepakkaamon värilinjalla tuottamaan entisen 400 kg maksimin sijaan maksimissaan 1040 kg edestä lopputuotteita. Tämä tarkoittaa siis 2.6-kertaista todellista tuotantoaikaa, joka laskee käyttämättömän kapasiteetin nollille tarkastellessa viikon 40 mittaustuloksia. 2.6-kertainen todellinen tuotantoaika (24,9 h) kuvassa 8 esitettyjen mittauksien (9,58 h) mukaan jopa ylittää tarkasteluviikon käyttämättömän kapasiteetin (20,53 h) 4,37 tunnilla, jolloin pullonkaula siirtyy muualle.

Värien eräkoon nostamisella on suoraan vaikutusta myös asetusaikojen suhteelliseen osuuteen laskien niitä. Todellisuudessa jokaista lopputuoteväriä ei ole kuitenkaan kysynnän puitteissa tarkoituksena tehdä 260 kg erää. Mikäli 2.6-kertainen todellinen tuotantoaika halutaan kuitenkin tulevaisuudessa saavuttaa, vaatii se 3,5 h mitattujen asetusaikojen vähentämistä, kehityksiä itse todelliseen tuotantoaikaan sekä käytettävissä olevan kapasiteetin nostamista suunnittelemattomia huoltoja vähentämällä. Tässä tutkimuksessa keskitytään näistä tarkemmin asetusaikojen vähentämiseen.

5.2.2 Asetusaikojen lyhentäminen

Luvussa 4.3 esitetyt asetusajat päätettiin analysoida tarkemmin kuvassa 3 esitetyn tuotevaihtojen tehostamisprosessin mukaisesti. Mittausten jälkeen eri toiminnot jaettiinkin sisäisessä ja ulkoisessa ajassa tehtäväksi. Lisäksi tunnistettiin ne toiminnot, jotka voitaisiin välittömästi suorittaa ulkoisessa ajassa. Sisäisten toimintojen kohdalla syvennyttiin lisäksi, millä keinoin ne voitaisiin tulevaisuudessa viedä ulkoiseen aikaan, mikäli ne eivät olleet välittömästi ulkoiseen aikaan vietävissä. A-pullotuslinjan tulokset on esitettynä alla olevassa taulukossa 8.

Taulukko 8 A-pullotuslinjan sisäisessä ja ulkoisessa ajassa tehtävät asetukset

A-pullotuslinja (A) asetukset	**Sisäinen/ulkoinen**	**Ulkoiseen aikaan heti**	**Ulkoiseen aikaan myöhemmin**
Läpiveto	Sisäinen	Ei	Ei
Hopperin vaihto	Sisäinen	Ei	Ei
Pesu/purku	Sisäinen	Osittain	Osittain hankkimalla lisähopperin
Kontin vaihto	Sisäinen (haku ulkoinen)	Ei	Osittain layout muutoksilla
Komponenttien nouto	Ulkoinen	-	-
Koon säätö	Sisäinen	Ei	Ei
Etiketin säätö	Sisäinen	Ei	Ei
Korkin säätö	Sisäinen	Ei	Ei
Kotelon säätö	Sisäinen	Kyllä	-
Uunin säätö	Sisäinen	Kyllä	-

D-pullotuslinjan vastaavat tulokset on esitettynä alla olevassa taulukossa 9.

Taulukko 9 D-pullotuslinjan sisäisessä ja ulkoisessa ajassa tehtävät asetukset

D-pullotuslinja (D) asetukset	Sisäinen/ulkoinen	Ulkoiseen aikaan heti	Ulkoiseen aikaan myöhemmin
Läpiveto	Sisäinen	Ei	Ei
Pesu	Sisäinen	Ei	Ei
Kontin vaihto	Sisäinen (haku ulkoinen)	Ei	Osittain layout muutoksilla
Komponenttien nouto	Ulkoinen	-	-
Koon säätö	Sisäinen	Ei	Ei
Etiketin säätö	Sisäinen	Ei	Ei
Korkin säätö	Sisäinen	Ei	Ei
Kotelon säätö	Sisäinen	Kyllä	-
Uunin säätö	Sisäinen	Kyllä	-

Hyödyntämällä luvussa 2.4 esitettyjä SMED-periaatteita sekä yksinkertaistamalla ja standardoimalla tuotevaihtoprosessia tunnistettiin asetustoiminnossa seuraavia kehityskohteita A- ja D-pullotuslinjoilla, lukuun ottamatta hopperin vaihtoa, joka koskee vain A-pullotuslinjaa:

- **Hopperin vaihto:** Vaihdon kouluttaminen myös operaattoreille kunnossapitoasentajien lisäksi, jolloin ylimääräisiltä odotuksilta vältytään.
- **Pesu/Purku:** Tämä tulisi mahdollisuuksien mukaan tehdä tuotantolinjan ulkopuolella, jolloin linjalla voidaan tehdä vain hopperin vaihto. Tähän päädyttiin hankkimaan kolmas hopperi, jotta pesut voidaan suorittaa mahdollisimman usein ulkoisessa ajassa. Lisäksi puhdistusten intensiivisyyden ja laadun koetaan paranevan lisähopperin hankinnalla, sillä eri hopperit voidaan määrittää eri tuotetyypeille, kuten shampoille, suihkeille ja seerumeille. Linjojen pesuihin on myös harkittu tulevaisuudessa laitetoimittajan järjestämää koulutusta.
- **Kontin vaihto:** Sisäistä aikaa voidaan vähentää tuomalla seuraava kontti tuotantolinjan lähettyville ennakoiden. Tämä vaatii kuitenkin lisää tilaa, joita voitaisiin saada layout muutoksilla tulevaisuudessa.

- **Komponenttien nouto:** Komponenttien noutajalle eli usein vuorovastaavalle tulee jatkossa viestiä ajoissa ennen linjan pysähtymistä tulevista komponenttitarpeista. Toteutus voisi toimia esimerkiksi kaksilaatikko-ohjauksen tyyppisellä ratkaisulla.
- **Kotelon säätö:** Kotelokoneen voi säätää ennakoiden jo ulkoisessa ajassa. Lisäksi asennukseen tarvitaan selkeät ohjeet, jotta asennus suoritetaan standardoidusti. Lisäksi päätettiin ottaa käyttöön nykyisen kotelokoneen lisäksi yrityksen tiloissa oleva vanha kotelokone, joka sopii tietyntyyppisille tuotteille. Tämän tarkoituksena on vähentää pitkäksi todettuja asennusaikoja hyödyntämällä koneita aina tietyille tuotetyypeille.
- **Uunin säätö:** Nykyisten työkalujen todettiin olevan huonoja käyttötarkoitukseen. Eri pullotyypeille päätettiin tulevaisuudessa valmistaa nimetyt käyttötarkoitukseen sopivat työkalut. Myös uunin voi säätää ennakoiden jo ulkoisessa ajassa.

Värilinjan asetusaikamittausten tulokset on esitettynä alla olevassa taulukossa 10.

Taulukko 10 Värilinjan sisäisessä ja ulkoisessa ajassa tehtävät asetukset

Värilinja (G) asetukset	**Sisäinen/ulkoinen**	**Ulkoiseen aikaan heti**	**Ulkoiseen aikaan myöhemmin**
Pesu	Sisäinen	Osittain	-
Purkupesu	Sisäinen	Osittain	-
Tynnyrin vaihto	Sisäinen	Kyllä	-
Komponenttien nouto ja vaihto	Ulkoinen (vaihto sisäinen)	-	-
Täyttökoneen säätö	Sisäinen	Ei	Ei
Tuotemerkintöjen säätö	Sisäinen (osa ulkoinen)	Osittain	-

Hyödyntämällä luvussa 2.4 esitettyjä SMED-periaatteita sekä yksinkertaistamalla ja standardoimalla tuotevaihtoprosessia tunnistettiin asetustoiminnossa seuraavia kehityskohteita värilinjalla:

- **Pesu ja purkupesu:** Jatkossa pumpun voi pestä jo ajon aikana.

- **Tynnyrin vaihto:** Jatkossa tynnyrin voi vaihtaa myös koneen ollessa käynnissä.
- **Komponenttien nouto ja vaihto:** Komponenttien noutajalle eli usein vuorovastaavalle tulee jatkossa viestiä ajoissa ennen linjan pysähtymistä tulevista komponenttitarpeista. Toteutus voisi toimia esimerkiksi kaksilaatikko-ohjauksen tyyppisellä ratkaisulla.
- **Tuotemerkintöjen säätö:** Tarrat voi tulostaa ja laatikot sekä taitella että tarroittaa etukäteen ennen linjan pysähtymistä.

Edellä mainittujen linjakohtaisten kehityskohteiden lisäksi yleisiksi kehityskohteiksi, jotka kohdistuvat useisiin asetustoimintoihin jokaisella kolmella linjalla, tunnistettiin seuraavia toimenpiteitä: Työohjeet tulee tehdä, jotta työntekijöillä on standardoidut työtavat. Tämän tarkoituksena on myös vähentää tarpeetonta ylimääräistä työtä sekä ohjeistaa oikeanmukaisesta laadusta; Asennustoimenpiteet tehdään jatkossa rinnakkain peräkkäisyyden sijaan. Tämän toteutus vaatii alkuun selkeän ohjeistuksen sekä vastuualueiden määrittämisen; Tuotannossa todettiin olevan usein liikaa komponentteja lattialla edellisistä tuotantoeristä. Näiden poisvientiin luotiin rutiinit tilan vapauttamiseksi ja häiriöiden estämiseksi; Virheitä ja tarpeettomia korjauksia todettiin esiintyvän erityisesti eränumeroiden ja etikettien osalla, jolloin näiden tarkistamiseen määritettiin aina kaksi henkilöä entisen yhden henkilön sijaan.

Jokaiseen linjaan kohdistuvia muita kehityskohteita oli lisäksi muun muassa seuraavat toimenpiteet: Tuotevaihtojen kannalta työkalujen todettiin sijaitsevan liian kaukana ja aina niiden sijainti ei vastannut oletettua, jolloin niiden etsimiseen kuluu ylimääräistä aikaa. Tämän ratkaisemiseksi koulutettiin 5S-toimenpiteet; Tuotantolinjoille päädyttiin hankkimaan työkalusetit, joissa on kaikki yleisesti tarpeelliset työkalut tuotevaihtojen suorittamiseksi, jolloin aikaa ei mene ylimääräisen etsimiseen ja työkalut sijaitsevat lähettyvillä; Linjojen lähiympäristöt päätettiin puhdistaa kaikesta turhasta ja esimerkiksi värilinjan läheinen turhaa tilaa vievä hylly päätettiin vaihtaa tuotevaihtojen ja tuotannon helpottamiseksi; Helpompia kiinnityksiä eri laitteisiin on pyydetty, esimerkiksi hopperiin, aktiivisesti ja niitä on myös aktiivisesti toteutettu.

Lisäksi kolmen linjan asetustoimintoihin havaittiin seuraavia muutoksia: Tuotantolinjojen ennakoivaan puhdistamiseen tarvitaan rutiinit, jotka toteutetaan määritellyn aikavälin aikana; Tuotepakkaamon, valmistuksen ja varaston välisiin rullaoviin päätettiin hankkia kaukokäynnistimet, jotka helpottavat ja nopeuttavat kulkua eri osastojen välillä; Tuotannon kannalta toivotuiksi tuotemuutoksisiksi toivottiin muutoksia erityisesti ovaaleihin pulloihin ja useisiin etiketteihin. Useiden tuotteiden kohdalla edetty jo merkittävästi päivittämällä tuotteiden rakenteita paremmin yrityksen tuotantoon sopivaksi, erityisesti etikettien

kohdalla. Tämän osalta operaattoreita kannustettiin aktiivisesti tuomaan haasteita ja kehitysehdotuksia esille aina niiden ilmetessä.; Tuotejämien parempaan puhdistamiseen toivottiin uutta höyrypesuria, jonka hankintaa mietitään tulevaisuudessa tarkemmin; Pumppujen pesuun päätettiin hankkia mobiilipesukeskus, jonka koetaan nopeuttavan pumppujen pesua merkittävästi.

Kehityskohteiden tunnistamisen jälkeen tarvittavat muutokset mahdollistettiin, jonka jälkeen uudet periaatteet koulutettiin tuotannon operaattoreille. Muutoksien ja koulutuksen jälkeen suoritettiin uudet mittaukset eri toimintojen kestoista vastaavasti kuin aiemmin. Mittauksista saadut tulokset sekä vertailu kehityksiä edeltäviin tuloksiin on esitettynä alla olevissa taulukoissa 11, 12 ja 13. Mittaukset perustuvat A-linjalla viiteen, D-linjalla kuuteen ja värilinjalla 10 mittaustulokseen.

Taulukko 11 A-pullotuslinjan asetusaikojen vertailu

A-pullotuslinjan asetusaikojen keskiarvot	Ulkoinen	Sisäinen	Yhteensä	Vertailuluku
Läpiveto		15	**15**	**17**
Hopperin vaihto		25	**25**	**30**
Pesu		90	**90**	**90**
Kontin vaihto	2	5	**7**	**7**
Komponenttien nouto	8		**8**	**8**
Koon säätö		24	**24**	**28**
Etiketin säätö	5	10	**15**	**17**
Korkin säätö		13	**13**	**13**
Uunin säätö		6	**6**	**8**

Taulukosta 11 on jätetty kotelon säätö pois, sillä sille ei saatu mittaustulosta tarkasteluaikana, jolloin sille pätee yhä 270 minuutin arvio. Tähän kuitenkin odotetaan parannusta otettaessa myös vanhempi kotelointikone rinnakkain käyttöön myöhemmin. Tarkastellessa taulukon 11 tuloksia huomataan, että kehityksiä saatiin aikaan läpivedossa, hopperin vaihdossa, koon säädössä, etiketin säädössä sekä uunin säädössä. Uunin säädössä tulos perustuu vain yhteen mittaustulokseen, mutta se on yhtenevä D-pullotuslinjan, joka hyödyntää samaa uunia, mittaustuloksiin, jotka esitetään myöhemmin taulukossa 12. Läpivedon 2 minuutin kehitys on noin 12 % alkuperäisestä ajasta ja hopperin

vaihdon 5 minuutin kehitys noin 17 % alkuperäisestä ajasta. Näiden osalta kehitys perustuu standardoituihin ohjeisiin sekä koulutukseen. Koon säädön kehitys on 4 minuuttia eli noin 14 % alkuperäisestä ajasta ja etiketin säätö 2 minuuttia eli noin 12 % alkuperäisestä ajasta. Näiden kehitysten taustalla suurimpana tekijänä on työpisteen läheisyyteen asennetut työkalupakit.

Pesujen ja korkin säädön osalta ei saavutettu kehityksiä, sillä näiden osalta toimintatavat olivat jo hyvin standardoituja entuudestaan. Kontin vaihdon sekä komponenttien noudon osalta kehitystä saavutettiin ainoastaan viemällä ulkoiseen aikaan näistä osa, jonka voidaan nähdä nostavan linjan todellisen tuotantoajan kapasiteettia. Lisäksi vastaavasti osa edellä mainitusta etiketin säädöstä saatiin vietyä ulkoiseen aikaan, joka on vastoin taulukossa 8 esitettyä oletusta. Uunin säädön osalta päinvastoin mittaustuloksien perusteella sitä ei suoritettu ulkoisessa ajassa, kuten taulukossa 8 esitettiin.

Taulukko 12 D-pullotuslinjan asetusaikojen vertailu

D-pullotuslinjan asetusaikojen keskiarvot	Ulkoinen	Sisäinen	Yhteensä	Vertailuluku
Läpiveto		20	**20**	**23**
Pesu		90	**90**	**90**
Kontin vaihto	3	7	**10**	**10**
Komponenttien nouto	8		**8**	**8**
Koon säätö	10	14	**22**	**25**
Etiketin säätö	5	9	**14**	**15**
Korkin säätö		15	**15**	**15**
Uunin säätö		6	**6**	**6**

Taulukosta 12 on jätetty kotelon säätö pois vastaavasti kuin taulukon 11 osalta esitettiin. Tarkastellessa taulukon 12 tuloksia huomataan, että kehityksiä saatiin aikaan läpivedossa, etiketin säädössä sekä koon säädössä. Läpivedon 3 minuutin kehitys on noin 13 % alkuperäisestä ajasta, koon säädön 3 minuutin kehitys on 12 % alkuperäisestä ajasta sekä etiketin säädön 1 minuutin kehitys on noin 7 % alkuperäisestä ajasta. Kehitykset perustuvat vastaaviin toimenpiteisiin kuin A-pullotuslinjalla eli pääosin standardoituihin ohjeisiin ja toimintatapoihin, koulutukseen sekä työkalujen läheisyyteen.

Pesujen, kontin vaihtojen, komponenttien noutojen sekä korkin säädön osalta ei saavutettu kehitystä vastaavasti kuin A-pullotuslinjalla, jonka taustalla on jo hyvin standardoidut toimintatavat. Kontin vaihdon ja komponenttien noudon osalta kuitenkin saatiin vietyä ulkoiseen aikaan tehtäväksi osa toimenpiteistä, jonka voidaan nähdä nostavan linjan todellisen tuotantoajan kapasiteettia. Lisäksi osa koon ja etiketin säädöstä saatiin vietyä ulkoiseen aikaan tehtäväksi, joka on vastoin taulukossa 8 esitettyä oletusta. Myös vastaavasti kuin A-pullotuslinjalla uunin säätö päinvastoin tehtiin sisäisessä ajassa oletetun ulkoisen ajan sijaan.

Taulukko 13 Värilinjan asetusaikojen vertailu

Värilinjan (G) asetusaikojen keskiarvot	**Ulkoinen**	**Sisäinen**	**Yhteensä**	**Vertailu-luku**
Pesu		14	**14**	**14**
Purkupesu		25	**25 (90)**	**30 (90)**
Tynnyrin vaihto	3	9	**12**	**18**
Komponenttien nouto ja vaihto	10	5	**15**	**18**
Täyttökoneen säätö		11	**11**	**12**
Tuotemerkintöjen säätö	10	9	**19**	**19**

Tarkastellessa taulukon 13 tuloksia huomataan, ettei pesun osalta saavutettu kehitystä, mutta tämä oli odotettavissa, sillä siihen oli luotu hyvin standardoidut tavat entuudestaan. Purkupesun osalta kehityksen nähdään olevan 5 minuuttia eli noin 17 % alkuperäisestä ajasta. Suluissa esitetyn intensiivisemmän harvoin toistuvan purkupesun osalta ei saavutettu kehitystä. Tynnyrin vaihdon kehitys on 6 minuuttia eli noin 33 % alkuperäisestä ajasta, mistä osa on lisäksi ulkoisessa ajassa toteutettavissa nostaen värilinjan todellisen tuotantoajan kapasiteettia. Vastaavasti komponenttien noudon ja vaihdon osalta kehitys on 3 minuuttia eli noin 17 % alkuperäisestä ajasta, jonka lisäksi ulkoiseen aikaan saatiin osa toimenpiteistä. Täyttökoneen säädön osalta kehitys on 1 minuutti eli noin 8 % alkuperäisestä ajasta. Tuotemerkintöjen säädön osalta ei saavutettu kehitystä, mutta siihen kuluvasta ajasta saatiin vietyä ulkoiseen aikaan 10 minuuttia nostaen todellisen tuotantoajan kapasiteettia.

Edellä esitettyjen jokaisen linjan asetusaikatuloksien lisäksi prosesseihin luotiin selkeät ohjeet ja toiminnasta saatiin standardoidumpaa. Lisäksi huolella tehtyjen asetustoimenpiteiden koettiin vähentävän ajon aikaisia suunnittelemattomia huoltoja ja muilla edellä mainituilla kehityksillä koettiin parannettavan myös todellista tuotantoaikaa. Seuraavassa luvussa tarkastellaan, kuinka edellä esitettyjä asetusaikoja tulisi hyödyntää lisäksi ajojärjestyksen perustana yhä suuremman hyödyn saavuttamiseksi.

5.2.3 Ajojärjestyssääntöjen luominen

Jotta yritys saisi ratkaistua suurimman ongelmansa eli vähennettyä uusien tilausten myöhästymisiä sekä toimittamaan jo myöhässä olevat tilaukset mahdollisimman nopeasti, täytyy tuotannon ajojärjestyksen suurimpana priorisointisääntönä käyttää EDD-periaatetta eli järjestää tuotantotilaukset luvatun toimituspäivän mukaiseen järjestykseen. Tämä priorisointisääntö yksinään johtaa kuitenkin asetusaikojen jyrkkään kasvuun ja kokonaisläpimenoajan paisumiseen johtaen pitkällä välillä yhä suurempiin viivästyksiin. Tämän vuoksi ajojärjestyksessä täytyy hyödyntää myös LSU-periaatetta eli vähentää asetuksiin kuluvat ajat. Ajojärjestyksen tarkoituksena on vähentää siis sekä myöhästymiset että kaikkien tuotantotilausten kokonaisläpimenoaika, jonka vuoksi ajojärjestykseen täytyy luoda selkeät säännöt.

Pullotuslinjat

Suositeltu toimintatapa sekä myöhästymisten että asetusaikojen vähentämiseen tarkastelluilla pullotuslinjoilla voidaan esittää seuraavan ajojärjestysprosessin mukaisesti:

Pullotuslinjan ajojärjestysprosessi

1. Jaa tuotantolinjan tuotantotilaukset tuoteperheittäin.
    a. Tuoteperhejako mahdollistaa yhteneviä komponentteja sekä läpivetomahdollisuuksia nopeuttaen asetusaikoja. Doganis & Sarimveis (2007) hyödynsivät vastaavaa tapaa tuotantojärjestyksen määrittämisessä.
2. Laske tuoteperheen tuotantotilausten toimituspäivien keskiarvo.
3. Järjestä tuoteperheet toimituspäivän avulla hyödyntäen EDD-periaatetta.
    a. Tämän tarkoituksena on vähentää myöhästymisiä.
4. Järjestä tuoteperheen sisällä tuotantotilaukset LSU-periaatteen mukaisesti. Hyödynnä myös mahdollisuuksien mukaan peräkkäisten tuoteperheiden yhtäläisyyksiä.

   a. Tämän tarkoituksena on vähentää asetusaikoja sekä tuoteperheen sisällä että niiden välillä tehokkuuden parantamiseksi ja läpimenoajan lyhentämiseksi. Asetusaikaperustainen ajojärjestys on Stevenson (2018, s. 711) mukaan yksinkertaista, kun ajastettavia töitä on kaksi tai kolme, mutta töiden lisääntyessä paremman ajojärjestyksen määrittämisestä tulee haastavaa vaihtoehtojen kasvaessa nopeasti. Tämän vuoksi edellä mainittu tuoteperhejako tekee tuotannon ajojärjestyksen suunnittelusta yksinkertaisempaa.

5. Mikäli tuoteperheen tuotantotilaukset voidaan järjestää vielä siten, ettei niillä ole vaikutusta asetusaikoihin, hyödynnetään seuraavaksi EDD-periaatetta myös tuoteperheen sisällä.

   a. Tämän tarkoituksena on vähentää suurimmat myöhästymiset tuoteperheen sisällä.

6. Mikäli ajojärjestys voidaan muokata vielä siten, ettei sillä ole vaikutusta asetusaikoihin tai annettuun toimituspäivälupaukseen, hyödynnetään FIFO-periaatetta.

   a. Tämän tarkoituksena on yksittäisten tuotantotilausten läpimenoajan lyhentäminen.

7. Mikäli tuoteperheen tuotantotilaukset voidaan järjestää vielä siten, ettei niillä ole vaikutusta edellä mainittuihin tekijöihin, hyödynnetään SPT-periaatetta.

   a. Tämän tarkoituksena on yksittäisten tuotantotilausten läpimenoajan lyhentäminen vähentämällä tuotannossa vietettyä aikaa.

EDD:n jälkeen tärkeimpänä periaatteena on siis LSU, joka edellä esitetyn ajojärjestysprosessin vaiheessa 4 tarkennetaan vielä mitattujen asetusaikojen perusteella. Alla olevassa taulukossa 14 on esitetty ajojärjestysriippuvaiset asetusajat jaoteltuna lopputuotteen komponenttien ja puolivalmisteen perusteella.

Taulukko 14 D-pullotuslinjan asetusajat komponenteittain ja puolivalmisteittain

Puolivalmiste	
Sama puolivalmiste	0
Läpiveto	15
Hopperin vaihto	25
Pesu/purku	90
Pullo	
Sama pullo	0
Komponenttien nouto	8
Koon säätö	24
Etiketin säätö	15
Korkki	
Sama korkki	0
Komponenttien nouto	8
Korkin säätö	13
Kotelo	
Sama kotelo tai ei koteloa	0
Kotelon säätö	270

Kohdeyrityksen pullotuslinjojen LSU-periaate voidaan esittää seuraavasti perustuen taulukossa 14 esitettyihin mittaustuloksiin:

Pullotuslinjan ajojärjestyksen LSU-periaate:

1. Järjestä tuotteet tuoteperheen sisällä niiden tilavuuden mukaisesti.
    a. Sama tilavuus mahdollistaa pääsääntöisesti saman pullon, korkin sekä kotelon. Kotelon säätö voidaan suorittaa ulkoisessa ajassa. Pelkkä yhtenevä korkki ja pullo on silti ajallisesti tehokkaampi kuin mahdollinen läpiveto tai hopperin vaihto, jonka vuoksi tilavuutta tulisi priorisoida.
2. Järjestä tilavuuden perusteella jaotellut tuotteet hyödyntäen läpivetoja. Hyödynnä mahdollisuuksien mukaan hopperien vaihtoja ja vältä purkupesuja. Hyödynnä

vastaavia periaatteita myös mahdollisuuksien mukaan siirryttäessä tilavuudesta toiseen.

Alla olevassa taulukossa 15 on esitettynä esimerkkilasku, jossa on sekä aiemmin toteutunut alkuperäinen järjestys että vaihtoehtoinen järjestys perustuen edellä esitettyihin sääntöihin.

Taulukko 15 A-pullotuslinjan ajojärjestysvertailu esimerkki 1

Alkuperäinen järjestys		**Vaihtoehtoinen järjestys**	
Tuote ja asetukset	**Kesto**	**Tuote ja asetukset**	**Kesto**
BH4035 C Conditioner 1000 ml		**BH4035** C Conditioner 1000 ml	
Pullo ja korkki vaihtuu	**68**	Puolivalmiste läpivedolla	**15**
BH4033 C Conditioner 300 ml		**BH7333** M Conditioner 1000 ml	
Puolivalmiste läpivedolla	**15**	Pullo ja korkki vaihtuu	**68**
BH7330 M Conditioner 300 ml		**BH7330** M Conditioner 300 ml	
Pullo ja korkki vaihtuu	**68**	Puolivalmiste läpivedolla	**15**
BH7333 M Conditioner 1000 ml		**BH4033** C Conditioner 300 ml	
Asetusajat yhteensä	**151**	**Asetusajat yhteensä**	**98**

Taulukosta 15 huomataan, että alkuperäisessä järjestyksessä on priorisoitu yhteneviä puolivalmisteita mahdollisimman paljon, kun taas vaihtoehtoisessa järjestyksessä on priorisoitu samaa tilavuutta eli yhteneviä komponentteja sekä hyödynnetty puolivalmisteiden läpivetomahdollisuutta. Kyseisten ajojärjestyksien asetusaikojen ero on huomattava 53 minuuttia, jolloin vaihtoehtoisen ajojärjestyksen asetusajat ovat vain noin 65 % alkuperäisestä. Alla olevassa taulukossa 16 on esitettynä laajempi esimerkki vastaavasti kuin taulukossa 15.

Taulukko 16 A-pullotuslinjan ajojärjestysvertailu esimerkki 2

Alkuperäinen järjestys		**Vaihtoehtoinen järjestys**	
Tuote ja asetukset	**Kesto**	**Tuote ja asetukset**	**Kesto**
11018 Vo Conditioner 200 ml		**11018** Vo Conditioner 200 ml	
Pullo ja korkki vaihtuu	**68**	Hopperin vaihto	**25**
11019 Vo Conditioner 1000 ml		**11049** Co Shampoo 250 ml	
Puolivalmiste läpivedolla	**15**	Puolivalmiste läpivedolla	**15**
11023 Bl Conditioner 1000 ml		**11020** Bl Shampoo 250 ml	
Hopperin vaihto	**25**	Pullo ja korkki vaihtuu	**68**
11021 Bl Shampoo 1000 ml		**11021** Bl Shampoo 1000 ml	
Pullo ja korkki vaihtuu	**68**	Puolivalmisteen pesu	**90**
11020 Bl Shampoo 250 ml		**11013** Co Shampoo 1000 ml	
Puolivalmisteen pesu	**90**	Puolivalmiste läpivedolla	**15**
11049 Co Shampoo 250 ml		**11017** Vo Shampoo 1000 ml	
Pullo ja korkki vaihtuu	**68**	Hopperin vaihto	**25**
11013 Co Shampoo 1000 ml		**11019** Vo Conditioner 1000 ml	
Puolivalmiste läpivedolla	**15**	Puolivalmiste läpivedolla	**15**
11017 Vo Shampoo 1000 ml		**11015** Co Conditioner 1000 ml	
Hopperin vaihto	**25**	Puolivalmiste läpivedolla	**15**
11015 Co Conditioner 1000 ml		**11023** Bl Conditioner 1000 ml	
Asetusajat yhteensä	**374**	**Asetusajat yhteensä**	**268**

Taulukosta 16 huomataan, että alkuperäisessä järjestyksessä on priorisoitu jälleen mahdollisimman paljon yhteneviä puolivalmisteita sekä tämän jälkeen läpivetomahdollisuuksia ja vasta viimeisenä yhteneviä komponentteja. Vaihtoehtoisessa uusiin ajojärjestyssääntöihin perustuvassa ajojärjestyksessä taas on priorisoitu peräkkäisten tuotteiden tilavuuden mahdollistamia yhteneviä komponentteja, jonka jälkeen on hyödynnetty mahdollisuuksien mukaan yhteneviä puolivalmisteita sekä läpivetomahdollisuuksia. Taulu-

kossa tulee huomioida poikkeava 200 ml tuote, joka kuitenkin menee vastaavilla asetuksilla kuin 250 ml tuotteet. Esitettyjen ajojärjestyksien asetusaikojen ero on 106 minuuttia, jolloin vaihtoehtoisen ajojärjestyksen asetusajat ovat vain noin 72 % alkuperäisestä.

Vaikka esimerkkilaskut tehtiin vain A-pullotuslinjan tuloksilla, vastaavat periaatteet pätevät D-pullotuslinjallakin niiden mittauksien ollessa hyvin samankaltaiset. Edellä esitetyt taulukoiden 15 ja 16 alkuperäiset ajojärjestykset perustuvat todellisiin toteutuneisiin ja suunniteltuihin ajojärjestyksiin, joissa on pyritty vähentämään asetusaikojen vaikutus. Ilman asetusaikojen huomioimista, esimerkiksi täysin EDD-periaatteella, asetusajat olisivat vielä merkittävästi suuremmat. Tehdyt oletukset alkuperäisessä järjestyksessä ovat kuitenkin selvästi olleet virheellisiä, sillä vaihtoehtoisilla mittaustuloksiin perustuvilla ajojärjestyksillä voidaan säästää esimerkkilaskujen perusteella jopa 28–35 % asetuksiin kuluvasta ajasta.

Edellä esitetyn ajojärjestysprosessin lisäksi ajojärjestys tulisi jäädyttää lähiviikkojen tasolla, jotta järjestys ei muutu jatkuvasti johtaen suurempiin asetusaikoihin ja viivästyksiin. Mikäli kuitenkin tärkeimmiltä asiakkailta tulee kiiretilauksia, joita täytyy priorisoida, tulisi huomioida LSU-periaatteen toteutuminen mahdollisimman hyvin. Lisäksi uudet tuotantotilaukset tulee luvata vasta määritetyn ajojärjestyksen jälkeiselle ajalla mahdollisuuksien mukaan ja näille tehdä myöhemmin vastaava prosessi ajojärjestyksen määrittämiseksi.

Värilinja

Kuten edellisissä luvuissa todettiin, puolivalmistuksen henkilökapasiteetin nosto mahdollisti 2-vuorotyöhön siirtymisen, joka mahdollistaa järkevämmän ajojärjestyksen myös pakkaamon värilinjalla. Tämä perustuu siihen, että sävyjärjestys kyetään säilyttämään pidempään ja järjestyksessä pystytään hyödyntämään paremmin tuoteperheittäin tekoa. Tämä itsessään tarkoittaa jo asetusaikojen vähentymistä pesujen ja asennusten vähentyessä. Suositeltu toimintatapa sekä myöhästymisten että asetusaikojen vähentämiseen tarkastellulla värilinjalla voidaan esittää seuraavasti:

Värilinjan ajojärjestysprosessi

1. Määritä puolivalmistuksen henkilökapasiteetin perusteella viikon aikana tehtävien värisävyjen maksimimäärä. Mikäli kysyntää on vähemmän, aseta maksimimääräksi tarvittavien sävyjen lukumäärä.
    a. Värisävyjä on yleisesti mahdollista tehdä kaksi vuoron aikana eli esimerkiksi 2-vuorotyötä tehtäessä 5-päiväisen viikon maksimi on 20 sävyä.

2. Valitse värisävyistä lasketun maksimimäärän mukaan ne sävyt, joiden riitot eli varastosaldoihin ja kysyntään perustuva lukema on pienin.
    a. Tämän tarkoituksena on hyödyntää EDD-periaatetta myöhästymisten vähentämiseksi.
3. Määritä valittujen värisävyjen ajojärjestys LSU-periaatteen mukaisesti
    a. Tämän tarkoituksena on asetusaikojen vähentämisen kautta parantaa tehokkuutta ja lyhentää läpimenoaikoja.

Myös värilinjalla EDD:n jälkeen tärkeimpänä periaatteena on siis LSU, joka edellä esitetyn ajojärjestysprosessin vaiheessa 3 tarkennetaan vielä mitattujen asetusaikojen perusteella. Alla olevassa taulukossa on ajojärjestyksestä riippuvaiset asetusajat määritettynä perustuen asetusaikamittauksiin.

Taulukko 17 Värilinjan ajojärjestyksestä riippuvaiset asetusajat

Ajojärjestyksestä riippuvaiset asetusajat	
Pesu	14
Purkupesu	25 (90)
Komponenttien nouto ja vaihto	15
Ajojärjestyksestä riippumattomat asetusajat	
Tynnyrin vaihto	12
Täyttökoneen säätö	11
Tuotemerkintöjen säätö	19

Kuten taulukosta 17 nähdään, ajojärjestyksessä tulisi vähentää ensisijaisesti ylimääräisiä komponenttien noutoja ja vaihtoja niiden ollessa merkittävämpiä kuin pesut. Tämän perusteella värilinjan LSU-periaate voidaan tiivistää seuraavasti:

Värilinjan LSU-periaate

1. Jaa valitut sävyt tuoteperheittäin
    a. Tämän tarkoituksena on välttää ylimääräisiä komponenttien noutoja ja vaihtoja.
2. Järjestä sävyt vaaleimmista tummimpiin
    a. Tämän tarkoituksena on vähentää tarpeettomat pesut.

Alla esitetyssä taulukossa 18 on todelliseen toteutuneet ajojärjestykseen perustuva alkuperäinen järjestys sekä vaihtoehtoinen järjestys perustuen uusiin määriteltyihin sääntöihin. VC-alkuiset tuotteet ovat samaa tuoteperhettä ja loput ovat oma tuoteperheensä. Numerokoodi kertoo tuotteiden sävyn, joissa pääsääntönä korkea numero viittaa vaaleaan sävyyn.

Taulukko 18 Värilinjan ajojärjestysvertailu

Alkuperäinen järjestys		**Vaihtoehtoinen järjestys**	
Tuote ja asetukset	**Kesto**	**Tuote ja asetukset**	**Kesto**
VC9/16		**VC9/16**	
Komponenttien vaihto	**15**	Pesu	**14**
9/16		**VC9/00**	
Pesu	**14**	Pesu	**14**
9/00		**VC5/0**	
Komponenttien vaihto	**15**	Pesu	**14**
VC9/00		**VC4/00**	
Pesu	**14**	Komponenttien vaihto sekä purkupesu	**40**
VC5/0		**11/0**	
Komponenttien vaihto	**15**	Pesu	**14**
5/0		**10/16**	
Pesu	**14**	Pesu	**14**
5/00		**9/16**	
Komponenttien vaihto sekä pesu	**29**	Pesu	**14**
VC4/00		**9/00**	
Komponenttien vaihto sekä pesu	**29**	Pesu	**14**
6/75		**5/0**	
Purkupesu	**25**	Pesu	**14**
11/0		**5/00**	
Pesu	**14**	Pesu	**14**
10/16		**6/75**	
Viikoittainen purkupesu	**25**	Viikoittainen purkupesu	**25**
Asetusajat yhteensä	**209**	**Asetusajat yhteensä**	**191**

Taulukosta 18 huomataan, että alkuperäisessä järjestyksessä on priorisoitu mahdollisimman paljon yhteneviä puolivalmisteita sekä hyödynnetty sävyjärjestystä vaaleammasta tummempaan mahdollisimman hyvin. Vaihtoehtoisessa järjestyksessä taas on priorisoitu yhteneviä komponentteja järjestelemällä tuotteet tuoteperheittäin, jonka jälkeen on hyödynnetty sävyjärjestystä vaaleammasta tummempaan mahdollisimman hyvin. Esitettyjen asetusaikojen ero on 18 minuuttia, jolloin vaihtoehtoisen ajojärjestyksen asetusajat ovat noin 91 % alkuperäisestä.

9 %:n aikasäästö on verrattain pieni 28–35 %:n aikasäästöihin pullotuslinjoilla, mutta sillä on silti merkittävä kehitys värilinjan todellisen tuotantokapasiteetin nostamiseksi. Lisäksi uudet ajojärjestyssäännöt, joissa priorisoidaan yhteneviä komponentteja yli pesujen, mahdollistavat vähemmän riskejä suunnittelemattomiin huoltoihin, sillä asetuksia tehdään vähemmälle määrälle koneita. Kuten aiemmin mainittiin, tämä on kohdeyrityksessä erityisen tärkeää, sillä pula kunnossapitohenkilökunnasta johtaa suurempiin viivästyksiin, kun taas pesut ovat jo hyvin standardoituja, jotka eivät aiheuta suunnittelemattomia huoltoja. Seuraavassa luvussa tarkastellaan vielä, kuinka tuotannon tehokkuutta sekä prosessien selkeyttä on parannettu laajemmin myös suunnittelutasolla.

5.2.4 Tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmän muutokset

Värilinjan käyttämättömän kapasiteetin ratkaisemisen, asetusaikojen vähentämiseen ja ajojärjestyssääntöjen lisäksi yrityksen tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmään päädyttiin tekemään muutoksia ongelmien, kuten tuottavuuden, toimitusvarmuuden ja oikeaaikaisuuden, ratkaisemiseksi. Seuraavien muutoksien tarkoituksena on muun muassa parantaa myynnin ja tuotannon yhteystyötä, kapasiteetin käyttöä, tehokkuutta sekä selkeyttää prosesseja.

Myynnin ja tuotannon yhteistyön kehittäminen

Kuten luvussa 4.1.1 todettiin, ei yrityksellä ollut käytössään MPS ja S&OP-periaatteita vaan myynti perustui kuviteltuun 10–12 läpimenoaikaan. Tämä osaltaan johti myyntiin yli tuotantokapasiteetin ja lisääntyneisiin viivästymisiin. Yrityksen Intranetiin päädyttiinkin luomaan näkymä, joka huomioi olemassa olevat tilaukset, ennusteet sekä henkilötyövoimaan perustuvan tuotantokapasiteetin. Näkymässä jokaiselle tuotantotilaukselle asetetaan tavoiteviikko, jolloin lopputuotteen tulisi olla valmis, jotta se ei myöhästyisi asiakkaalta. Lisäksi viikoille määritetään saatavilla oleva kapasiteetti henkilötyötunteina. Jokainen tuotantotilaus kuluttaa määritettyä kapasiteettia perustuen historiadataan aiempien tuotantoerien kestoista.

Intranetiin luodun näkymän perusteella pystyttiin määrittämään tuotannon myöhässä olevien tilausten määrä henkilötyötunteina sekä lukema, jolloin myöhästymä tullaan saamaan kiinni tulevien viikkojen vapaan kapasiteetin perusteella. Tätä lukemaa ohjeistettiin käyttämään toimitusaikalupauksena tuleville tilauksille, jotta myöhästymä ei kasvaisi entisestään ja toimitusaikalupauksista kyettäisiin pitämään paremmin kiinni. 21.3. tarkastellessa kyseinen lukema näytti 18 viikkoa, joka eroaa merkittävästi aiemmin ajatellusta 10–12 viikon läpimenoajasta.

Eräkokojen määrittäminen

Tuotantotilauksien eräkokoihin päädyttiin kiinnittämään enemmän huomiota, jotta läpimenoaikoihin, asetusaikoihin ja liialliseen varastointiin kyetään vaikuttamaan. Eräkoon määrittämisessä pyritään JIT-periaatteiden toteutukseen parhaan kyvyn mukaan. Lisäksi eräkoossa huomioidaan paremmin historiadatan lisäksi ennusteita sekä merkittäviä tulevia vientitilauksia, joita ei näkynyt aiemmin järjestelmissä tarpeeksi ajoissa. Intranetiin luodussa näkymässä myös korostettiin ne lopputuotteet, joille oli määritettynä useampia eri tuotantotilauksia, jolloin ne ovat jatkossa paremmin nähtävissä ja mahdollisuuksien mukaan yhdistettävissä asetusaikojen ja tätä kautta läpimenoaikojen vähentämiseksi. Eräkokoihin vaikutettiin myös nostamalla Private Label-asiakkaiden minimitilausmääriä, sillä todella pienet eräkoot nostivat asetusaikoja merkittävästi, jolloin arvoa tuottava tehokas työaika jäi suhteessa pieneksi.

Päällimmäisenä tarkoituksena pullotuslinjojen eräkoolla tavoitellaan kysyntään perustuvaa määrä, jolloin ei tuoteta liian paljon kerralla, mutta ei liian vähääkään, sekä ei liian usein tai liian myöhään. Tarkoituksena on myös vähentää liikavarastoinnin ongelmia, kuten pääoman sitoutumista ja epäkuranttiusriskiä. Eräkoon määrittämisessä päädyttiin myös tavoittelemaan mahdollisuuksien mukaan aina täysiä puolivalmistekontteja, sillä ylimääräiset vajaat kontit lisäävät huomattavasti asetusaikoja konttien vaihdon myötä sekä niiden hakemisessa ja pesemisessä. Lisäksi mitä vähemmän kontteja käytetään, sitä vähemmän syntyy myös hävikkiä, sillä konttien pohjalle jää usein puolivalmistetta pumppaamatta ja ylimääräisten kontin vaihtojen aikana ainetta valuu pieniä määriä yli.

Värien eräkoon määrittämisessä hyödynnetään vastaavasti edellä mainittuja periaatteita. Värien eräkoossa täysiä tynnyreitä tärkeämmäksi todettiin kuitenkin puolivalmistuksessa maksimaalisen kapasiteetin hyödyntäminen, jotta tuotepakkaamon värilinjalle ei syntyisi tarpeetonta käyttämätöntä kapasiteettia, sillä värien kysyntä on noussut merkittävästi viime vuosina. Vajaiden tynnyreiden ei todettu myöskään nostavan asetusaikoja merkittävästi värilinjalla. Eräkoossa kuitenkin huomioidaan se, että jokainen tynnyri on vähintään 60 % täyttöasteella ja se ettei eräkoko ylitä yli vuoden riittoa, jotta tuotteiden epäkuranttiusriski pienenee.

Tuotannonsuunnittelu sekä tuotannonohjaus lattiatasolla

Tutkimuksen aikana tuotannonsuunnittelua kehitettiin ja automatisoitiin mahdollisuuksien mukaan. Tärkeimpänä muutoksena oli tuotannonsuunnittelussa käytetystä Excelistä luopuminen, jotta turhilta työvaiheilta vältyttiin ja tieto saatiin nähtäville muille osapuolille tuotannonsuunnittelijan lisäksi. Lisäksi imuohjausta parannettiin erityisesti komponenttien ja raaka-aineiden tilauksien osalta saataessa tuotantotilauksien tavoiteviikot myös hankinnan tietoon. Tuotannonsuunnittelun Gant-kaaviossa korostettiin myöhästyvät tilaukset ja lisäksi komponenttipuutteet saatiin paremmin näkyville tuotantotilauksien priorisoinnin parantamiseksi.

Lopputuotteiden vapauttamista Private Label-asiakkaille ennen ulkoisten mikrobiologisten testien valmistumista lähdettiin testaamaan nopeampien toimituksien tavoittelemiseksi. Tarkasteluhetkellä ratkaisu on toiminut ohjeistamalla Private Label-asiakkaita tuotteiden vapauttamisesta vasta mikrobiologisten testien valmistumisesta. Vastaavasti yrityksen sisäisiä testauksia ohjeistettiin tarvittaessa tehtäväksi myös tuotannon operaattoreille mahdollisina viikonlopputöinä, jolloin testien valmistumista voidaan nopeuttaa muutamilla päivillä. Viikonlopputöitä tehtiin tutkimuksen loppuvaiheessa vain satunnaisesti ja myös yövuoro aloitettiin.

Tuotannonsuunnittelun ja tuotannon yhteistyötä kehitettiin prosessin aikana merkittävästi. Yhtenä muutoksena päätettiin alkaa pitämään viikoittaisia lyhyitä palavereja, joissa käytiin tuotannonsuunnittelijan ja vuorovastaavien kesken viikon aikana esiintyneitä haasteita, kehitysehdotuksia sekä käytiin läpi lähiviikkojen näkymiä. Lisäksi tuotannonsuunnittelijan työpiste päätettiin siirtää lähemmäs tuotantoa kommunikoinnin parantamiseksi ja ongelmien nopeampaan reagoimiseksi. Lattiatason tuotannonohjauksen kehittämiseksi operaattoreille pidettiin Lean-koulutus tehokkuuden parantamiseksi sekä kehitysehdotusten paremmaksi mahdollistamiseksi.

Merkittävinä muutoksina tuotantolinjoilla päädyttiin keskittymään virtaustehokkuuteen resurssitehokkuuden sijaan läpimenoaikojen lyhentämiseksi sekä tuotevaihtojen tehostamiseksi asennusten tapahtuessa vain osan tuotantolinjojen ollessa käytössä kerrallaan. Lisäksi muun muassa odotusaikoja vähennettiin tarjoamalla operaattoreille prosessin eri vaiheisiin, esimerkiksi värilinjan nopeampaan työvaiheeseen, jossa esiintyi ajoittain toisen hitaamman vaiheen vuoksi odottelua, kevyitä lisätöitä, jotka kevensivät muiden linjojen työkuormaa. Tuotannon kunnossapito-ongelmille kehitettiin tutkimuksen aikana reaaliaikaista seurantaa sekä datankeräysmahdollisuutta toistuvista ongelmista tulevaisuudessa hankintojen ja ennakoivan kunnossapidon mahdollistamiseksi.

Tuotantoon päädyttiin myös hankkimaan infotaulu, jonka tarkoituksena on parantaa tuotannonohjausta visuaalisuuden avulla. Infotauluun laitettiin esille muun muassa tuotannon tunnuslukuja, kuten kuluvan kuukauden työteho sekä viikkotavoitteiden eteneminen. Lisäksi infotaululle laitettiin esille tuotantolinjojen prioriteettijärjestys sekä operaattoreille mahdollisuus kirjata tuotantolinjan reaaliaikainen tilanne. Tämä toteutettiin värikoodauksella viestimään linjan ajokelpoisuudesta, keskeneräisistä asennuksista, odottavista komponenteista ja puolivalmisteista sekä tarvittavasta kunnossapidosta. Tämän tarkoituksena on saada linjojen reaaliaikainen tilanne kaikkien nähtäville sekä tehostaa vuoron vaihtumista. Lisäksi infotauluun asetettiin tekstikenttä ehdotuksille ja muille kommenteille sekä tuotannonsuunnittelun esittämät ohjeet.

6. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

6.1 Tulosten yhteenveto

Diplomityön tarkoituksena oli erityisesti parantaa kohdeyrityksen kosmetiikka- ja hygieniatuotteiden tuotannon hienokuormitusta, tehokkuutta sekä toimitusvarmuutta. Suurimpina ongelmina kohdeyrityksessä olivat käyttämätön kapasiteetti ja suuret asetusajat sekä näiden lisäksi myynnin ja tuotannon tasapainottaminen ja henkilöstötarve. Työ rajattiin tuotannon osalta tuotepakkaamoon, mutta puolivalmisteiden valmistusta käsiteltiin tarpeellisissa määrin. Työssä tarkasteltiin kolmen tärkeimmäksi koetun tuotantolinjan kapasiteetin käyttöä ja asetusaikojen vaikutusta. Diplomityön tutkimuskysymykset olivat:

1. Miten kohdeyrityksen erätuotantoa voidaan kehittää tuotannon tehokkuuden, toimitusvarmuuden ja oikea-aikaisuuden parantamiseksi?
2. Miten pakkauslinjojen asetusajat tulisi huomioida tuotantojärjestyksen priorisointisääntöjen luomisessa?

Jokaiseen tutkimuskysymykseen löydettiin vastaus sekä analysoimalla tuotantoa että teoriaa hyödyntämällä. Tutkimuksessa keskityttiin sekä tuotannon että tuotannonohjauksen ja -suunnittelun kehittämiseen tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Tuotannon analysoinnin tarkoituksena oli havaita merkittävimpiä kehityskohteita sekä teoriaa hyödyntäen löytää ratkaisuja näihin. Teorian pohjalta hyödynnettiin erityisesti SMED-periaatteita asetusaikojen vähentämiseksi konkreettisin toimenpitein sekä ajojärjestyksen priorisointisääntöjen laatimiseksi. Näiden perusteella saatiin vastaus ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen.

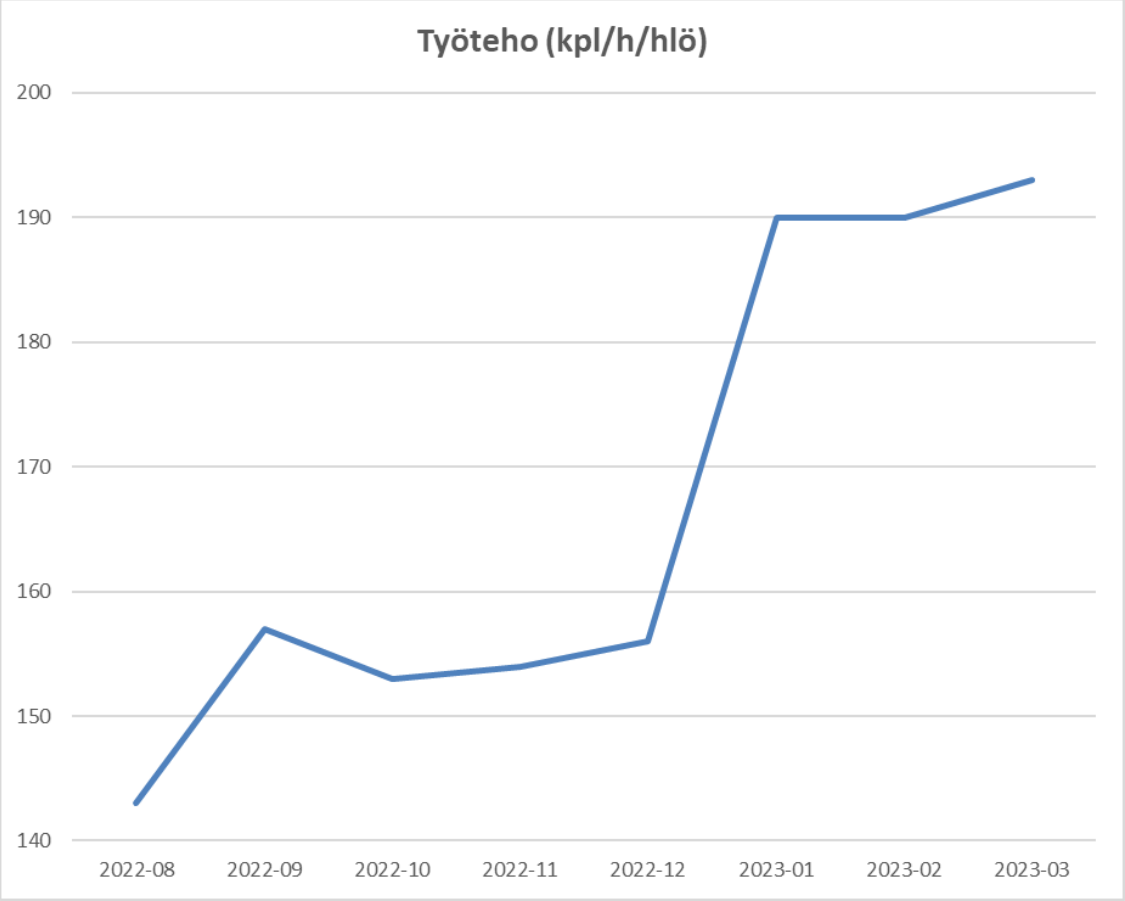
Diplomityön suurinta antia olivat kuvassa 3 esitetty tuotevaihtojen tehostamisprosessi sekä luvussa 2.4 esitetyt laajat kirjallisuudesta kootut kosmetiikka- ja kappaletavarateollisuuteen sopivat SMED-menetelmät. Näiden lisäksi kohdeyritykselle luodut ajojärjestysprosessit sekä LSU-periaatteet tuottivat merkittäviä hyötyjä, joiden toimivuutta voisi testata muissakin tuotantoympäristöissä. Tutkimuksessa saavutettiin merkittäviä numeerisia tuloksia, jotka ovat listattuna alla:

- Värilinjan tarpeeton 61 %:n käyttämätön kapasiteetti vähennettiin nostamalla puolivalmistuksen päivittäistä maksimikapasiteettia 400 kg:sta 1040 kg:aan.
- Kaikkien kolmen linjojen asetusaikoja saatiin lyhennettyä:
    - A-pullotuslinja: Läpiveto 12 %, hopperin vaihto 17 %, koon säätö 14 % ja etiketin säätö 12 %.

- D-pullotuslinja: Läpiveto 13 %, koon säätö 12 % ja etiketin säätö 7 %.
- Värilinja: Purkupesu 17 %, tynnyrin vaihto 33 %, komponenttien nouto ja vaihto 17 % ja täyttökoneen säätö 8 %.

- Asetusaikoihin perustuvilla ajojärjestyssäännöillä pullotuslinjojen asetusaikoja voidaan vähentää 28–35 % pullotuslinjoilla sekä 9 % värilinjalla verrattuna aiempiin oletuksiin perustuviin ajojärjestyksiin.
- Toimitusajoista saatiin realismisempi kuva, esimerkiksi aiemmin oletetun 10–12 viikon läpimenoaikaan perustuvan lupauksen sijaan tarkasteluhetkellä kapasiteettiin perustuva lukema oli 18 viikkoa.

Edellä mainittujen tuloksien lisäksi alla olevassa kuvassa 9 on esitettynä koko tuotannon tehokkuuden kehittyminen tutkimuksen aikana.



Kuva 9 Työtehon kehitys tutkimuksen aikana (Kohdeyritys 2023).

Kuvasta 9 huomataan, että tutkimuksen aikana henkilöiden tehokkuus nousi noin 143:sta 193:een eli noin 35 %. Edellä esitettyjen numeeristen tuloksien lisäksi saavutetuilla kehityksillä voidaan nähdä olevan merkitystä lisäksi operaattoreiden motivaatioon

sekä rahallisesti bonuksen muodossa sen perustuessa työtehoon että kehitysten tuomien työtapojen paranemisella. Lisäksi prosessien selkeytyminen sekä hyvin tehdyt asetustoimenpiteet vaikuttavat positiivisesti suunnittelemattomiin huoltoihin sekä laatuun. Tarjoamalla operaattoreille myös lisätöitä toisten tuotantolinjojen tukemiseksi ja henkilökapasiteetin nostamiseksi tarpeettomia odotusaikoja saatiin vähennettyä.

Muita merkittäviä kehityksiä diplomityön aikana saatiin tuotannon visuaalisuuden sekä tuotannonohjauksen parantamisessa. Reaaliaikaisella kunnossapito-ongelmien seurannalla sekä tästä datan keräyksen avulla saadaan tulevaisuudessa tärkeää tietoa merkittävistä ongelmakohdista, jotka tulisi huomioida ennakoivassa kunnossapidossa. Uusilla tuotannonsuunnitteluperiaatteilla siihen kuluvaa aikaa saatiin vähennettyä osittaisen automatisoinnin kautta sekä taattiin tiedon läpinäkyvyys myös muille tarpeellisille osapuolille tuotannonsuunnittelijan lisäksi. Lisäksi uusilla tuotannonsuunnitteluperiaatteilla parannettiin oikea-aikaista hankintaa sekä pyrittiin vähentämään tarpeetonta varastointia.

6.2 Tutkimuksen tieteellinen merkitys

Tutkimuksella voidaan nähdä olevan kohdeyrityksen käytännöllisen hyödyn lisäksi tieteellistä merkitystä tuotannonsuunnittelu- ja ohjaustutkimuskentässä. Tutkimuksessa käsiteltiin poikkeuksellisen korkean laadun- ja hygieniavaatimusten tuotantoympäristöä, joka tuo aiempaan kirjallisuuteen hyvinkin spesifejä tuotannonsuunnittelu- ja ohjausperiaatteita. Tiettyjä ja hyvinkin tarkkoja toimialakohtaisia tuotevaihtojen tehostamismenetelmiä tarvitaankin aina lisää (Lintilä & Takala 2013). Tutkimuksessa käsitelty merkittävän vaihtelun, laajan tuotevalikoiman ja pienien eräkoiden tuotanto on erittäin oleellista ja yleistä nykypäivän kilpailukentässä.

Kuten todettu, pienerätuotanto on kannattavaa usein vain silloin, kuin tuotevaihdot ja niihin liittyvät asetusajat saadaan lyhennettyä (Parwani & Hu 2021). Tutkimus tarjoaakin laajemminkin kuin vain kohdeyrityksessä hyödynnettäviä konkreettisia keinoja asetusaikojen lyhentämiseen sekä niiden huomioimiseen yhä tuotannon ajojärjestyksen suunnittelussa. Jälkimmäinen on merkittävää, sillä Parwani & Hu (2021) tutkimuksessa korostettiin, kuinka tärkeää SMED ja tuotannon ajoittaminen yhdistäminen on.

Käsitellyssä kirjallisuudessa, esimerkiksi Fonda & Meneghetti (2022) mukaan, korostettiin erityisesti asetusaikojen merkitystä tehokkuuden ja kilpailukyvyn kannalta. Fonda & Meneghetti (2022) tutkimuksessa esitettiin jatkotutkimuskohteeksi H-SMED periaatteiden testaamista erilaisissa tuotantoympäristöissä henkilötyövoiman tehokkaammaksi käyttämiseksi, johon tämä tutkimus tuo uutta näkökulmaa kosmetiikka- ja hygieniatuo-

tannosta. Tässä tutkimuksessa esitettiin laajasti kirjallisuudesta koottuja sekä kohdeyrityksessä hyväksi todettuja asetusaikojen lyhentämismenetelmiä, jotka sopivat vastaaviin tuotantoympäristöihin, laajemmin erityisesti kappaletavarateollisuuteen. SMED-periaatteita tuleekin yhä huomioida tuotannonsuunnittelussa tehokkuuden nostamiseksi (Jit Singh & Khanduja 2009). SMED on tutkimusten mukaan yhä suuressa merkityksessä tehokkuuden parantamisessa. Yritysten täytyy kyetä tarjoamaan laajaa valikoimaa pieniä eriä joustavasti, jolloin tuotevaihdot tulee olla nopeita (Singh et al. 2018).

Tutkimuksen tieteellinen merkitys korostuu erityisesti kirjallisuuskatsauksen perusteella luodun kuvassa 3 esitetyn systemaattisen tuotevaihtojen tehostamisprosessin kautta, joka on toimiva työkalu kohdeyrityksen kaltaisiin tuotantoympäristöihin, joihin liittyy usein toistuvia tuotevaihtojen tuomia asetustoimenpiteitä. Monissa kirjallisuuskatsauksessa läpikäydyissä tutkimuksissa keskityttiin asetusaikojen lyhentämiseen, mutta niitä ei huomioitu tuotannon ajojärjestyksessä, joissa niillä on tässä tutkimuksessa tehtyjen ajojärjestysesimerkkien perusteella edelleen suuri merkitys. Kirjallisuuden ja empiiristen mittauksien perusteella tutkimuksessa luotiinkin lisäksi luvussa 5.2.3 lisäksi systemaattinen ajojärjestysprosessi myöhästymisten ja asetusaikojen lyhentämiseksi, jonka periaatteita voidaan hyödyntää laajasti. Esitettyjen ajojärjestysprosessien LSU-periaatteet ovat vain rajallisesti hyödynnettävissä sillä ne perustuvat vain kohdeyrityksessä tehtyihin mittaustuloksiin, mutta niiden toimivuutta voisi testata vastaavanlaisissa tuotantoympäristöissä asetusaikojen lyhentämiseksi.

6.3 Tutkimuksen ja sen tulosten arviointi

Tutkimuksen laadun arvioimiseksi tarkastellaan sen reliabiliteetin, validiteetin, relevanssin ja uutuusarvon toteutumista. Reliabiliteetilla tarkoitetaan aineistomenetelmien yhdenmukaisten tulosten tuottokykyä läpinäkyvästi, jolloin useat tutkimuksen tekijät päätyisivät samoihin päätelmiin. Validiteetti taas kuvaa tutkimuksen mittauksien laatua mitatuksi tarkoitettuun asiaan ja sitä, että tulokset kuvaavat sitä mitä väitetäänkin. Validiteettia voidaan tarkastella myös ulkoisesti yleistettävyyden ja ennustettavuuden osalta. Relevanssilla tarkoitetaan tässä yhteydessä erityisesti tutkimuksen käytännöllistä hyötyä. (Hirsjärvi & Hurme 2022, luku 8.2.1; Saunders et al. 2019, s. 6, 213–218)

Tutkimusongelma ja -kysymykset rajattiin sekä perusteltiin onnistuneesti ja selkeästi kohdeyrityksen tunnistettujen haasteiden pohjalta. Lisäksi valittu tutkimusstrategia ja -filosofia sekä päättelyn logiikka perusteltiin lähteitä hyödyntämällä. Myös aikahorisontti ja tutkimuksen monimenetelmällisyys perusteltiin lähteiden avulla tapaustutkimukseen sopivaksi. Aineiston kerääminen kuvattiin kattavasti ja tehdyistä mittauksista esitettiin liitteissä laajat tulokset, jonka lisäksi analyysissa käytetyt menetelmät kuvattiin tarkasti.

Käytetyt menetelmät valittiin yhtenäisiksi tutkimuskysymyksien kanssa. Näiden tekijöiden voidaan nähdä parantavan tutkimuksen luotettavuutta.

Tutkimuksessa käytetyt käsitteet ovat teorian mukaisia ja ne on kuvattu selkeästi parantaen tutkimuksen sisällöllistä ja käsitteellistä validiteettia (Hirsjärvi & Hurme 2022, luku 8.2.1). Tutkimuksen teorian sekä aineiston tarkastelu oli laajaa ja siinä hyödynnettiin monipuolisesti eri menetelmiä. Tutkimuksen luotettavuutta parannettiinkin erityisesti aineisto- ja menetelmätriangulaation avulla hyödyntäen eri menetelmiä, lähteitä ja teoriaa (Saunders et al. 2019, s. 185; Aaltio & Puusa 2020, luku 11), kuten luvussa 3.2 todettiin.

Datan keräysjakso perusteltiin tutkimuksen aikaikkunaan sopivaksi. Aineiston keräys ja analysointi toteutettiin tutkimuksessa huolellisesti ja mahdolliset poikkeukset selvitettiin. Analyysit tehtiin kattavasti hyödyntäen eri menetelmiä ja analyysien arvioitavuus onkin hyvä, sillä mittaustulokset ja vaiheet on kuvattu läpinäkyvästi ja olisivat toistettavissa. Tehtyjen mittauksien perusteella eri tutkijat päätyisivätkin todennäköisesti samoihin tuloksiin, mutta eri menetelmillä voitaisiin saada vielä täydentävää tietoa. Vaihtoehtoisia lähestymistapoja tuotannon tehokkuuden parantamiseksi olisi voinut olla muun muassa linjojen todellisen tuotantoajan analysointi muun muassa tahtiaikojen ja pullonkaulojen osalta. Tämän sijaan tässä tutkimuksessa valittiin kuitenkin asetusaikojen tarkempi tarkastelu niiden merkitsevyyden ja ajojärjestysvaikutuksen vuoksi.

Tutkimuksessa käytetty aineisto on selkeästi jaoteltu primääriseen ja sekundääriseen dataan sekä historia- ja reaaliaikadataan. Näiden aineistojen lähteet on kuvattu läpinäkyvästi taulukossa 1 parantaen tutkimuksen luotettavuutta. Haastattelujen muistiinpanoja ei päädytty esittämään, sillä sitä ei koettu tarpeelliseksi ja tämän koettiin parantavan yksityisyydensuojaa. Aineistoa kerättiin riittävästi ja sen voidaan nähdä olevan merkittävää. Aikajänteen vuoksi aineiston keräysaikaa jouduttiin rajoittamaan, mutta jatkossa tarkempaa tietoa asetusajoista voisi kohdeyrityksen kohdalla kerätä jatkuvasti kirjaamalla työkortteihin jokaiseen työhön sisältyvä asetusaika.

Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa muun muassa kerätty data sekä tutkimuksen tekijän työsuhde kohdeyritykseen. Haasteina tutkimuksen aikana oli muun muassa operaattoreiden kirjattujen mittauksien tulkitseminen, yhtenäistäminen ja tarvittaessa lisäselvityksien tekeminen. Asetusaikojen merkkaamisen ohjeistus olisi voinut ensimmäisellä kerralla ollut selkeämpi, koska tämän osalta jouduttiin tekemään lisäselvityksiä ja tulkintoja jälkikäteen. Tämä kuitenkin toteutettiin johdonmukaisesti. Lisäksi tulee huomioida, että työssä hyödynnetty data oli ihmisten kirjaamaa, joka vaikuttaa tiedon luotettavuuteen virheiden, jotka voivat olla tahallisia tai tahattomia, kautta. Selkeät poikkeukset kuitenkin selvitettiin ja korjattiin luotettavuuden parantamiseksi.

Tämän tutkimuksen tekijä työskenteli samanaikaisesti kohdeyrityksessä tuotannonsuunnittelijana, jonka voidaan nähdä sekä hyvänä että haastavana asiana. Erityisesti prosessien hyvä ymmärtäminen ja tätä kautta mittausten kyseenalaistaminen ja lisäselvitysten tekeminen tuki tulosten analysointia sekä syy-seuraus-suhteiden tunnistamista. Objektiivisuuden ei nähdä kärsivän työsuhteesta huolimatta, sillä mittaustulokset on esitetty selkeästi ja tulosten analysointi toteutettu hyvin läpinäkyvästi.

Tutkimuksessa olisi voinut toistaa vastaavanlaisen kapasiteettitarkastelun kuin viikolla 40 ja sitä kautta arvioida saavutettuja kehityksiä vielä tarkemmin ja uusien pullonkaulojen tarkastelemiseksi. Kapasiteetin käytön uusintamittaukset eivät kuitenkaan mahtuneet aikaikkunaan, jonka vuoksi uusintamittaukset suoritettiin vain asetusaikojen osalta ajojärjestyssääntöjen luomiseksi. Lisäksi työtehon kehittymistä olisi voinut seurata vielä tarkemmin kolmen tuotantolinjan osalta koko tehtaan lisäksi. Asetusaikamittausten osalta vielä tarkemmat tulokset olisi saatu täysin samoilla tuotteilla ja henkilöillä, tämä ei kuitenkaan ollut realistisesti mahdollista.

Työssä analysointiin myös tarkemmin suunnittelemattomia huoltoja tarkastelemalla toistuvia laiteongelmia, mutta tämä jätettiin pois liian laajan kokonaisuuden vuoksi, jolloin tutkimus tuli rajata. Selkeimpänä syynä rajaukseen oli lisäksi kunnossapitohenkilöstövaje, jolloin asetusajat koettiin merkittävämmäksi tarkastelukohteeksi. Tutkimuksen loppuvaiheilla aloitettiin myös lauantai ylityöt sekä yövuoro, jonka vaikutuksia ei osunut tutkimuksen aikaikkunaan. Tutkimuksen aikana tarkasteltiin myös lineaarisen optimointimallin mahdollisuutta ajojärjestyksien automatisoinniksi, mutta tästä luovuttiin yrityksen nykyisen ERP-järjestelmän kykenemättömyyden ja uuden ERP-järjestelmän, joka tulee lähitulevaisuudessa, vuoksi.

Tutkimuksen käytännöllinen arvo on hyvin arvioitavissa esimerkiksi tehtyjen ajojärjestysesimerkkilaskujen avulla sekä tarkastellessa saavutettuja tuloksia. Ulkoinen validiteetti toteutuu tutkimuksessa vain osittain, joka on kuitenkin tyypillistä tapaustutkimuksen luonteen vuoksi. Tieteellinen uutuusarvo on tapaustutkimukselle tyypillisesti usein haastavaa, sillä tehdyt analyysit sekä saavutetut tulokset voidaan yleistää vain rajallisesti. Luvussa 6.2 kuvattiin kuitenkin kattavasti tutkimuksen merkitys tuotannonsuunnittelu- ja ohjaustutkimuskentässä.

Tiivistettynä tutkimuksen voidaan nähdä olevan luotettava ja onnistunut. Työssä kuvattiin selkeästi, mitä tutkimuksesta on jätetty pois ja miksi. Tuloksia voidaan pitää luotettavina, koska prosessi on kuvattu hyvin läpinäkyvästi ja toteutettu johdonmukaisesti. Suurin arvo tutkimuksella on kohdeyritykselle, sillä tutkimuskysymyksiin saatiin kattavat vastaukset

ja kohdeyritykselle annettiin lukuisia kehitysehdotuksia. Tulokset poikkesivat kohdeyrityksessä vanhoista oletetuista parhaaksi koetuista periaatteista, jolloin uusilla periaatteilla saavutetaan merkittäviä hyötyjä. Lisää tulevaisuuden kehitysehdotuksia sekä jatkotutkimuskohteita kuvataan tarkemmin seuraavassa luvussa.

6.4 Jatkotutkimuskohteet ja kehitysehdotukset kohdeyritykselle

Kuten aiemmin todettiin, tapaustutkimuksen tuloksia voi usein olla haastavaa yleistää. Kuvassa 3 esitetyn systemaattisen tuotevaihtojen tehostamisprosessin sekä koottujen asetusaikojen lyhentämismenetelmien todettiin kuitenkin olevan sopiva työkalu kohdeyrityksen kaltaisiin tuotantoympäristöihin, joihin kohdistuu usein toistuvia tuotevaihtoja. Empiirisessä osuudessa mittauksien perusteella luotujen systemaattisten ajojärjestysprosessien sekä LSU-periaatteiden toimivuutta voisi kuitenkin testata myös muissa tuotantoympäristöissä, kuten elintarviketeollisuudessa, asetusaikojen lyhentämiseksi. Tämä parantaisi tutkimuksen yleistettävyyttä ja vertailtavuutta. Lisäksi asetusaikojen lyhentämisessä on yhä tutkittavaa, mutta voidaan todeta, että myös vanhemmissa tutkimuksissa esitetyt SMED-menetelmät ovat toimivia nykypäivänäkin.

Kohdeyrityksessä saavutettiin merkittäviä hyötyjä analysoimalla kapasiteetin käyttöä sekä tekemällä parannuksia erityisesti tuotevaihtoihin ja huomioimalla asetusajat paremmin tuotannon ajojärjestyksessä. Näiden periaatteiden hyödyntämisestä tulee huolehtia jatkossakin. Tulevaisuudessa kohdeyrityksen tuotantoa voitaisiin kehittää vielä parantamalla todellista tuotantoaikaa huomioimalla esimerkiksi tuotantolinjoilla tahti- ja vaiheaikojen, pullonkaulojen ja henkilömäärän sekä porrastetun tauon vaikutus. Lisäksi analysoimalla tarkemmin suunnittelemattomia huoltoja sekä hyödyntämällä ennakoivan kunnossapidon periaatteita voitaisiin tuotannon kapasiteettia nostaa merkittävästi tehtyjen kapasiteettimittauksien perusteella. Kohdeyrityksessä tulisi tehdä myös tulevaisuudessa vastaavanlainen kapasiteettitarkastelu, myös muille kuin tässä tutkimuksessa tarkastelluille, tuotantolinjoille kuin viikolla 40 uusien pullonkaulojen havaitsemiseksi.

Kohdeyrityksessä tulisi lisäksi kerätä jatkossa asetusaikoja systemaattisesti aina työkortteihin, jotta saataisiin yhä tarkempaa tietoa niiden vaikutuksesta pitkällä aikavälillä. Tämä mahdollistaisi tulevaisuudessa uuden ERP-järjestelmän myötä myös luultavasti lineaarisen optimointimallin luomisen yrityksen tuotannonohjausjärjestelmään, jolloin ajojärjestykset voitaisiin määrittää automaattisesti. Tyypillisessä lineaarisen optimoinnin kauppamatkustaja -esimerkissä tarkastellaan kaikkia mahdollisia reittejä eri kaupunkien välillä kuluvan ajan minimoimiseksi Bektas (2006). Samaa mallia voidaan tuotantoympäristössä hyödyntää ajojärjestyksen optimointiin: tuotevaihtoihin liittyy asetusaikoja, jotka

vaihtelevat eri tuotteiden välillä eli vastaavat kauppamatkustajan ongelman kaupunkien etäisyyksiä. Lisäksi APS- ja MES-toiminnallisuuksilla voidaan parantaa tuotannonsuunnittelua ja -ohjausta yrityksen nykyisissä järjestelmissä.

Yleisinä kehityskohteina kohdeyrityksen tunnistettuihin haasteisiin olisi hyödyllistä luoda yhä paremmat myynnin ja tuotannonsuunnittelun yhteistyöperiaatteet, esimerkiksi tulevista kampanjoista ja merkittävistä vientitilauksista. Lisäksi tuotannossa tulisi hyödyntää Lean-periaatteita sekä tarkastella erilaisen layoutin tuomia mahdollisuuksia. Hyödyntämällä JIT-periaatteita materiaalisuunnitteluun ja joustavuuteen sekä läpimenoaikojen ja hukan vähentämiseksi voitaisiin tehokkuutta parantaa yhä. Historiamenekin lisäksi tuotannonsuunnittelussa tulisi huomioida paremmin trendit sekä sesongit, joiden lisäksi tulisi huomioida tarkemmin varastoon sitoutuva pääoma verrattuna palvelutasokustannuksiin. Pidemmällä aikavälillä tulisi tarkastella, mihin OPP sijoitetaan eri tuotteilla erityisesti MTS- ja MTO-ympäristöjen välillä sekä syventyä raaka-aineiden ja komponenttien yhä parempaan ajoittamiseen. Ihmisten osallistaminen sekä investointitarpeiden kartoitus on erityisen tärkeää näkyvillä olevaan kasvuun vastaamiseksi.

LÄHTEET

Aaltio, I. & Puusa, A. (2020). Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Helsinki, Gaudeamus. Luku 11. Saatavissa (viitattu 4.4.2023): https://www.ellibslibrary.com/book/9789523456167

Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. Omega (Oxford). Vol. 34(3), pp. 209–219.

Braglia, M., Frosolini, M., & Gallo, M. (2017). SMED enhanced with 5-Whys Analysis to improve set-upreduction programs: the SWAN approach. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 90(5-8), pp. 1845–1855.

Dechow, N. & Mouritsen, J. (2005). Enterprise Resource Planning Systems, Management Control and the Quest for Integration. Accounting Forum. Vol. 30(7), pp. 691–733.

Doganis, P., & Sarimveis, H. (2008). Optimal production scheduling for the dairy industry. Annals of Operations Research. Vol. 159(1), pp. 315–331.

Eriksson, P. & Koistinen, K. (2005). Monenlainen tapaustutkimus. Helsinki: Kuluttajatutkimuskeskus 4/2005.

Fonda, E., & Meneghetti, A. (2022). The Human-Centric SMED. Sustainability. Vol. 14(1), pp. 514–527.

Ghauri, P., Grønhaug, K., & Strange, R. (2020). Research methods in business studies. 5th edition, Cambridge University 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.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2022). Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. 2. painos. Gaudeamus. Saatavissa (viitattu 22.5.2023): https://www.ellibslibrary.com/book/9789523458123

Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C. & Vollmann, T. E. (2018). Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management: The CPIM Reference. 2nd edition. New York: McGraw-Hill Education.

Jacobs, F. & Weston Jr., F. (2007). Enterprise Resource Planning (ERP) - A Brief History. Journal of Operations Management. Vol. 25(2), pp. 357–363.

Jit Singh, B., & Khanduja, D. (2009). SMED: for quick changeovers in foundry SMEs. International Journal of Productivity and Performance Management. Vol. 59(1), pp. 98–116.

Kikolski, M. (2016). Identification of production bottlenecks with the use of Plant Simulation software. Economics and Management. Vol. 8(4), pp. 103–112.

Kohdeyritys (2023). Tuotantopalaverimuistio 14.3.2023.

Lintilä, J., & Takala, J. (2013). Reducing time losses in operational actions of a food production lines. Management and Production Engineering Review. Vol. 4(2), pp. 78–88.

Lozano, J., Saenz-Díez, J. C., Martínez, E., Jiménez, E., & Blanco, J. (2017). Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 90(9-12), pp. 3607–3618.

Lozano, J., Saenz-Díez, J. C., Martínez, E., Jiménez, E., & Blanco, J. (2019). Centerline-SMED integration for machine changeovers improvement in food industry. Production Planning & Control. Vol. 30(9), pp. 764–778.

McIntosh, R., Culley, S., Gest, G., Mileham, T., & Owen, G. (1996). An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 16(9), pp. 5–22.

Mileham, A. R., Culley, S. J., Owen, G. W., & McIntosh, R. I. (1999). Rapid changeover - a pre-requisite for responsive manufacture. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 19(8), pp. 785–796.

Miltenburg, J., & Sparling, D. (1996). Managing and reducing total cycle time: models and analysis. International Journal of Production Economics. Vol. 46(1), pp. 89–108.

Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. International Journal of Production Economics. Vol. 85(3), pp. 319–329.

Olhager, J., & Wikner, J. (2000). Production planning and control tools. Production Planning & Control. Vol. 11(3), pp. 210–222.

Olson, D., Chae, B. & Sheu, C. (2013) Relative Impact of Different ERP Forms on Manufacturing Organisations: An Exploratory Analysis of a Global Manufacturing Survey. International Journal of Production Research. Vol. 51(5), pp. 1520–1534.

Parwani, V., & Hu, G. (2021). Improving Manufacturing Supply Chain by Integrating SMED and Production Scheduling. Logistics. Vol. 5(1), pp. 4–18.

Roser, C., Lorentzen, K., & Deuse, J. (2015). Reliable shop floor bottleneck detection for flow lines through process and inventory observations: the bottleneck walk. Logistics Research. Vol. 8(1), pp. 1–9.

Saunders, M. Lewis, P. & Thornhill, A. (2019). Research methods for business students. 8th editon. Harlow, England. Pearson Education.

Schimidt, T. M. P., Scarpin, C. T., Loch, G. V., & Schenekemberg, C. M. (2022). A two-level lot sizing and scheduling problem applied to a cosmetic industry. Computers & Chemical Engineering. Vol. 163, 107837.

Singh, J., Singh, H., Singh, I. (2018). SMED for quick changeover in manufacturing industry – a case study. Benchmarking: an international journal. Vol. 25(7), pp. 2065–2088.

Slack, N. & Lewis, M. (2020). Operations Strategy. 6th edition, Harlow: Pearson Education, Limited.

Soman, C. A., van Donk, D. P., & Gaalman, G. (2004). Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system. International Journal of Production Economics. Vol. 90(2), pp. 223–235.

Stefansdottir, B., Grunow, M., & Akkerman, R. (2017). Classifying and modeling setups and cleanings in lot sizing and scheduling. European Journal of Operational Research. Vol. 261(3), pp. 849–865.

Stevenson, W.J. 2018. Operations management. 13th edition, New York, NY: McGraw Hill. Saatavissa (viitattu 16.11.2022): https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260108385

Urban, W., & Rogowska, P. (2020). Methodology for bottleneck identification in a production system when implementing TOC. Engineering Management in Production and Services. Vol 12(2), pp. 74–82.

LIITE A: A-PULLOTUSLINJAN VIIKON 40 KAPASITEETIN KÄYTTÖ

Tuote	Maanantai 3.10.	Kesto (min)	Teho (kpl/min/hlö
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
Pakm-1124	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.34-13.47: **450 min, 3 henkilöä, 4815 kpl**	450	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 14.03-21.52: **480 min, 2 henkilöä, 4904 kpl**	480	
	Huollot 1. Erä: **30 min + 75 min**	105	
	Huollot 2. Erä: **90 min**	90	
	Asetusaika: 0 min, erä aloitettu jo viikolla 39	0	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, 12.30 **10 min**, 16.15 **10 min** ja 20.30 **10 min,** jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	40	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	695	5,84
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Tiistai 4.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
Pakm-1638	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.33-13.45: **450 min, 3 henkilöä, 5482 kpl + 2 henkilöä ollut 360 min**	450	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 14.05-20.08: 360 **min, 2 henkilöä, 3827 kpl**	360	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika 1. erä: **105 min**	105	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 10 min, 12.30 10 min ja 16.15 10 min sisältyy merkattuihin tunteihin	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	675	3,69
BH4630	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 20.11-21.42: **120 min, 2 henkilöä, 0 kpl**	120	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika 1. Erä: **120 min**, joista **10 min oltu kuitenkin tauolla**	110	
	Tauot 20.30 **10 min,** joka sisältyy merkattuihin tunteihin	10	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	0	0
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Keskiviikko 5.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
BH4630	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.29-11.42: **312 min, 4 henkilöä, 677 kpl**	312	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 11.45-13.47: **132 min, 4 henkilöä, 615 kpl**	132	
	Työkortille merkatut tunnit 3. Erä klo 14.01-19.59: **360 min, 2 henkilöä, 999 kpl**	360	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika: 1. Erä: **165 min**, josta **10 min** oltu kuitenkin tauolla	155	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, **12.30 10 min** ja 16.15 **10 min** sisältyy merkattuihin tunteihin	30	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	619	1,33
11020	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 21.54-21.55 (kirjattu myöhässä): **120 min, 2 henkilöä, 0 kpl**	120	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika: 1. Erä: **120 min**, josta **10 min** oltu kuitenkin tauolla	110	
	Tauko 20.30 **10 min** sisältyy merkattuihin tunteihin	10	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	0	0
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Torstai 6.10.**		**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
11020	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.23-13.44: **450 min, 3 henkilöä, 2138 kpl**	450	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 14.41-16.21: **150 min, 2 henkilöä, 1437 kpl + 1 henkilö ollut 120 min**	150	
	Työkortille merkatut tunnit 3. Erä klo 16.25-21.56: **330 min, 2 henkilöä, 2862 kpl + 1 henkilö ollut 210 min**	330	
	Huollot: 1. Erä: **90 min**	90	
	Huollot: 3. Erä: **60 min**	60	
	Asetusaika: 1. Erä: **60 min**	60	
	Asetusaika 2. erä: **15 min**	15	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, 12.30 **10 min**, 16.15 **10 min** ja 20.30 **10 min,** jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	40	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	665	3,05
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Perjantai 7.10.**		**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
11020	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.26-10.08: **210 min, 3 henkilöä, 984 kpl**	210	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 10.10-13.42: **240 min, 3 henkilöä, 1206 kpl**	240	
	Työkortille merkatut tunnit 3. Erä klo 14.04-17.41: **228 min, 2 henkilöä, 1344 kpl**	228	
	Huollot 1. Erä: **40 min**	40	
	Huollot: 2. Erä: **40 min**	40	
	Asetusaika: Ei asetusaikaa tälle päivälle	0	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, 12.30 **10 min** ja 16.15 **10 min, jotka sisältyvät työkortille merkattuihin tunteihin**	30	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	568	2,23
11021	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 17.44-19.16: **72 min, 2 henkilöä, 0 kpl**	72	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 19.00 **10 min**, joka sisältyy työkortille merkattuihin tunteihin	10	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika 1. erä: **72 min, josta 10 min oltu kuitenkin tauolla**	62	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	0	0
	Perjantaisiivous 19.30-20.00	30	
	20.00-00.00 Ei vuoroa	240	

LIITE B: D-PULLOTUSLINJAN VIIKON 40 KAPASITEETIN KÄYTTÖ

Tuote	Maanantai 3.10.	Kesto (min)	Teho (kpl/min/hlö
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
11342	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.35-13.40: **450 min, 2 henkilöä, 800 kpl**	450	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 14.04-15.24: **90 min, 2 henkilöä, 258 kpl**	90	
	Työkortille merkatut tunnit 3. Erä klo 15.26-18.43: **180 min, 2 henkilöä, 756 kpl**	180	
	Työkortille merkatut tunnit 4. Erä klo 18.45-21.49: **210 min, 2 henkilöä, 853 kpl**	210	
	Huollot 1. Erä: **240 min**	240	
	Asetusaika: **0 min**, erä aloitettu jo viikolla 39	0	
	Asetusaika 1. Erä: **30 min + 15 min**	45	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, 12.30 **10 min**, 16.15 **10 min** ja 20.30 **10 min,** jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	40	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	605	2,20
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Tiistai 4.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
11342	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 7.32-7.29 (Aloitusaikakirjaus viivästynyt): **60 min, 3 henkilöä, 312 kpl**	60	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 7.32-13.48: 3**90 min, 3 henkilöä, 1768 kpl**	390	
	Työkortille merkatut tunnit 3. Erä klo 14.03-15.03: **60 min, 2 henkilöä, 286 kpl**	60	
	Työkortille merkatut tunnit 4. Erä klo 15.05-21.49: **420 min, 2 henkilöä, 1797 kpl**	420	
	Huollot 2. Erä: **30 min + 45 min + 15 min**	90	
	Asetusaika 1. Erä: **30 min**	30	
	Asetusaika 2. Erä: **30 min** + **15 min**	45	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, 12.30 **10 min**, 16.15 **10 min** ja 20.30 **10 min,** jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	40	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	725	2,39
	22.30-00.00 Ei vuoroa		
Tuote	**Keskiviikko 5.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
11342	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.33-7.35: **60 min, 3 henkilöä, 292 kpl**	60	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika: **15 min**	15	
	Tauot: **0 min**, taukoja ei osu taukoaikaa kyseiseen erään	0	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	45	2,16
11339	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 7.40-12.21: **300 min, 3 henkilöä, 1075 kpl**	300	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 12.25-13.47: **90 min, 3 henkilöä, 521 kpl**	90	
	Työkortille merkatut tunnit 3. Erä klo 14.02-17.09: **150 min, 3 henkilöä, 1434 kpl**	150	
	Työkortille merkatut tunnit 4. Erä klo 17.12-21.52: **330 min, 2 henkilöä, 1446 kpl**	330	
	Huollot 1. Erä: **60 min**	60	
	Asetusaika 1. Erä: **30 min + 15 min**	45	
	Asetusaika 2. Erä: **30 min**	30	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, 12.30 **10 min**, 16.15 **10 min** ja 20.30 **10 min,** jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	40	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	695	
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	2,49
Tuote	**Torstai 6.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
11339	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.32-9.21: 180 **min, 3 henkilöä, 1063 kpl**	180	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 9.23-13.50: **270 min, 3 henkilöä, 1799 kpl**	270	
	Työkortille merkatut tunnit 3. Erä klo 14.00-15.50: **120 min, 2 henkilöä, 215 kpl**	120	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika 1. Erä: **30 min**	30	
	Asetusaika 2. Erä: **15 min**	15	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min** ja 12.30 **10 min** ,jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	20	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	505	2,10
11333	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 15.58-17.52: **120 min, 2 henkilöä, 131 kpl**	120	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 17.54-21.50: **240 min, 2 henkilöä, 1148 kpl**	240	
	Asetusaika 1. Erä **45 min**	45	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 16.15 **10 min** ja 20.30 **10 min**, jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	20	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	295	2,17
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Perjantai 7.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
11333	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.34-8.56: **150 min, 3 henkilöä, 805 kpl**	150	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika 1. Erä: **30 min**	30	
	Tauot: 8.30 **10 min**, joka sisältyy merkattuihin tunteihin	10	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	110	2,44
11334	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 8.59-11.35: **120 min, 3 henkilöä, 48 kpl**	120	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 14.04-19.20: **330 min, 2 henkilöä, 1449 kpl**	330	
	Asetusaika 1. Erä **30 min**	30	
	Huollot 1.Erä: **30 min + 50 min**	80	
	Huollot 2.Erä: **45 min**	45	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 16.15 **10 min** ja 19.00 **10 min**, jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	20	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	275	2,33
	Perjantaisiivous 19.30-20.00	30	
	20.00-00.00 Ei vuoroa	240	

LIITE C: VÄRILINJAN VIIKON 40 KAPASITEETIN KÄYTTÖ

Tuote	Maanantai 3.10.	Kesto (min)	Teho (kpl/min/hlö
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
s/44	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.43-8.55 (kirjattu ennen aikaisesti): **150 min, 2 henkilöä, 1389 kpl**	150	
	Huollot: Ei huoltoja	0	
	Asetusaika 1. Erä: 50 min säädöt + 15 min pesu = **65 min**	65	
	Tauot 1. Erä: 8.30 tauko 10 min, sisältyy merkattuihin tunteihin = **10 min**	10	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot - asetusajat-tauot	75	9,26
99/86	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 9.00-13.52: **300 min, 2 henkilöä, 648 kpl**	300	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 14.06-17.12: **120 min, 2 henkilöä, 715 kpl**	120	
	Huollot 1. Erä: **200 min**	200	
	Huollot 2. Erä: **120 min**, josta 60 min oltu toisella linjalla, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin.	120	
	Asetusaika 1. Erä: **30 min** asennukset	30	
	Asetusaika 2. Erä: **30 min** pesu	30	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Tauot: 12.30 **10 min** ja 16.15 **10 min**, jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	20	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit -huollot + huollot merkattujen tuntien ulkopuolella - asetusajat - tauot	80	8,52
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Tiistai 4.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
	Suunniteltu värihuonehuolto klo 6.00-22.30	990	
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Keskiviikko 5.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
	Suunniteltu värihuonehuolto klo 6.00-22.30	990	
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Torstai 6.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
12/13	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 11.17-13.58: **168 min, 2 henkilöä, 1447 kpl, + 1 henkilö ollut 12 min ja toinen 30 min**	168	
	Huollot 1. Erä: **45 min**	45	
	Asetusaika 1. Erä: **45 min** asennukset	45	
	Tauot: 12.30 tauko **10 min**, joka sisältyy merkattuihin tunteihin	10	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot - asetusajat-tauot	68	8,13
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	22.30-00.00 Ei vuoroa	90	
Tuote	**Perjantai 7.10.**	**Kesto (min)**	**Teho (kpl/min/hlö**
	00.00-6.00 Ei vuoroa	360	
6/00	Työkortille merkatut tunnit 1. Erä klo 6.40.-13.04: 192 **min, 2 henkilöä, 2808 kpl**	192	
	Työkortille merkatut tunnit 2. Erä klo 14.20.-19.26 : 300 **min, 2 henkilöä, 3149 kpl**	300	
	Huollot 1. Erä: **60 min.**	60	
	Asetusaika 1. Erä: **40 min** asennukset	40	
	Tauot: 8.30 tauko **10 min,** 12.30 tauko 10 min, 16.15. tauko **10 min ja** tauko 19.00 **10 min**, jotka sisältyvät merkattuihin tunteihin	40	
	Lounastauko: 10.30 tauko **30 min**, joka ei sisälly työkortille merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Päivällistauko: 18.00 tauko **30 min**, joka ei sisälly merkattuihin tunteihin, jolloin sitä **ei miinusteta**	30	
	Todellinen tuotantoaika = merkatut tunnit - huollot- asetusajat-tauot	352	8,46
	12.29-14.08 linja ollut varattuna permiksen tuotantoon **108 min**	108	
	Perjantaisiivous 19.30-20.00	30	
	20.00-00.00 Ei vuoroa	240	

LIITE D: LINJOJEN ASETUSAIKAMITTAUKSET

A-pullotuslinja	Arvioitu kesto	Mitattu keskiarvo	B8162	B8167	9914556	F11082	F11097	F11099	F11084	F11085	F11100	F11083	MC10790	T27387
Läpiveto	10-15	17		30				15		15			10	15
Hopperin vaihto	30	30				30								
Pesu/purku	60-90	210	210											
Kontin vaihto	5-10	7	3	3	8	10	10	10				5	10	
Komponenttien nouto	10	8	15	10	5	5	10			5		10	10	5
Koon säätö	30	28	20		65	20	85	20	15		5	10	15	25
Etiketin säätö	5-30	17	15		10	60	30	15	15	10	20	10	5	0
Korkin säätö	5-15	13				5	30		10			5		
Kotelon säätö	240-300	?												
Uunin säätö	5-15	8				5							10	

D-pullotuslinja	Arvioitu kesto	Mitattu keskiarvo	11320	11316	11327	10849
Läpiveto	10-20	23	20	25		
Pesu	60-90	90				90
Kontin vaihto	5-10	10	10	10		10
Komponenttien nouto	10	8		10		5
Koon säätö	30	25		15	30	30
Etiketin säätö	5-30	15		10	25	10
Korkin säätö	5-15	?				
Kotelon säätö	240-300	?				
Uunin säätö	5-15	6				6

Värilinja (G)	Arvioitu kesto	Mitattu keskiarvo	8/13	7/0	8/34	6/7	6/77	8/19	t/114	A7/19	A7/7	A6/0
Pesu	15	14	15	10	15		10	15	15	15	15	15
Purkupesu	30 (90)	90				90						
Tynnyrin vaihto	15	18	20	25	15	15	20	15	20	15	15	15
Komponenttien nouto ja vaihto	15	18							20	15		
Täyttökoneen säätö	10	12	10	10	10	10	10	10	15	15	10	15
Tuotemerkintöjen säätö	30	19	20	25	20	15	30	15	15	15	15	15

LIITE E: LINJOJEN UUSINTA-ASETUSAIKAMITTAUKSET

A-pullotuslinja	11023		F11082		Bh7330		30-ARKT-001		Lisämittaus	
Asetus	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen
Läpiveto		15								
Hopperin vaihto				25						
Pesu/purku										90
Kontin vaihto		5		5	2	5	2	5		
Komponenttien nouto			5		10					
Koon säätö		20		30		15		30		
Etiketin säätö		15	5	10		5		10		
Korkin säätö				20		5				
Kotelon säätö										
Uunin säätö				6						

D-pullotuslinja	F11086		F11087		F11088		346044		11334		11333	
Asetus	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen
Läpiveto		30		15		20		20				15
Pesu								90				
Kontin vaihto				8		8		8	3	5	3	5
Komponenttien nouto									10		5	
Koon säätö		15		15			10	15	10	15	5	10
Etiketin säätö		10		10		5	5	15	5	10		5
Korkin säätö								15		15		
Kotelon säätö												
Uunin säätö						5		7				

Värilinja (G)	7/19		7/5		6/731		8/43		5/1		4/3		4/10		7/444		5/444		Lisämittaus	
Asetus	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen	Ulkoinen	Sisäinen
Pesu		15		15		15		15		15		15		15		15		10		
Purkupesu																				25
Tynnyrin vaihto	3	10		7		7		10		10		10		10		10				
Komponenttien nouto ja vaihto																			10	5
Täyttökoneen säätö		15		10		10		10		10		15		7		10		15		
Tuotemerkintöjen säätö	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15	10	5	10	5		