



# **JOUSTAVIEN LÄPIMENOAIKOJEN KEHITTÄMINEN KONEPAJAYRITYKSESSÄ**

Antti Tanskanen

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2012  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestel-  
mät ja Tuotantotalous

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Modernit tuotantojärjestelmät ja Tuotantotalous

ANTTI TANSKANEN:

Joustavien läpimenoaikojen kehittäminen konepajayrityksessä

Opinnäytetyö 50 sivua, josta liitteitä 5 sivua  
Syyskuu 2012

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia asiakastarpeen mukaan joustavien läpimenoaikojen toteuttamista yksittäis- ja piensarjatuotantoon erikoistuneen konepajayrityksen tuotannossa. Työn tilaajana toimi kaarevahampaisia kartiohammaspyöriä valmistava Ata Gears Oy.

Työssä käydään läpi läpimenoaikojen rakennetta sekä tutkitaan kuinka hyvin suunnitellut läpimenoajat ovat toteutuneet tuotannossa. Selvitetään millä keinoilla asiakasohjautuvan tuotannon läpimenoaikoja voitaisiin lyhentää vastaamaan paremmin asiakkaiden nykyisiä tarpeita. Lisäksi pitkän ja monivaiheisen tuotantoketjun vaihtelevan kuormituksen tasaamiseksi tutkittiin mahdollisuutta valmistaa osa tuotantotöistä normaalia pidemmällä läpimenoajalla.

Työssä selvitettiin uusien joustavien läpimenoaikamallien toteuttamistapaa sekä niiden eroja verrattuna nykyisiin läpimenoaikoihin. Esitetyillä muutoksissa osa tuotantotöistä on mahdollista valmistaa jopa neljänneksen nykyistä läpimenoaika lyhyemmässä ajassa. Tämä nopeampi läpimenoaika näkyy suoraan asiakkaalle lyhentyneen toimitusajan muodossa ja täten parantaa yrityksen kykyä toimittaa tuotteita asiakkaiden tarpeiden mukaisesti myös tulevaisuudessa.

Työssä esitettäviä läpimenoaikamalleja oli tarkoitus testata uuden tuotannosuunniteluohjelmiston avulla, mutta opinnäytetyön teon aikana tapahtuneiden aikataulumuutosten johdosta näitä testejä ei ollut mahdollista suorittaa ennen tämän opinnäytetyön julkaisua.

Työn liiteaineisto on jätetty julkaisematta yrityksen liikesalaisuuksien suojelemiseksi.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering  
Option of Modern Production Systems and Industrial Engineering and Management

**ANTTI TANSKANEN:**

Development of Flexible Lead Time in a Machine Shop

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 5 pages  
September 2012

---

The purpose of this thesis was to study the flexible lead time implementation according to customers' needs in a machine shop specialized in individual and small series production. The work was commissioned by spiral bevel gears manufacturer Ata Gears Ltd.

The study covers the structure of lead times and examines how well the planned lead times are incurred in the production. It identifies the means by which customer oriented production lead times can be reduced in order to better reflect the needs of the customers. In addition to reduced lead time suggestions the work also describes the ways to moderate the fluctuation of work load in the long production process.

The suggested lead time improvements are going to be tested in the upcoming production planning software. Due to the several schedule changes originally planned testing could not be carried out before the publishing of this work. However, by the proposed changes the production lead time of certain production lines can be reduced by one quarter.

---

Key words: lead time, production planning, scheduling

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Ata Gears Oy:tä haastavasta ja mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Erityiskiitos työni ohjaajalle kehitysinsinööri Ville Reunalle, jolta sain avustusta työn alkuvaiheessa sekä tärkeää tietoa ja kannustusta työni edetessä. Kiitos myös työni tarkastajalle lehtori Arto Jokihaaralle kehittävästä kommentista. Lisäksi kiitos kaikille työtovereilleni, jotka osaltaan avustivat minua tämän opinnäytetyön teossa.

Tampereella 14.9.2012

---

Antti Tanskanen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	ATA GEARS OY .....	7
2.1	Tuotantoprosessi .....	8
2.2	Valmistuksen tuotantoketju .....	9
3	TUOTANNONOHJAUS.....	13
3.1	Tuotannon ohjattavuus.....	14
4	TUOTANNONSUUNNITTELU .....	15
4.1	Karkeasuunnittelu .....	16
4.1.1	Kuormitussuunnittelu.....	17
4.2	Hienosuunnittelu .....	19
4.3	Läpimenoajat .....	20
4.3.1	Läpimenoaikojen lyhentäminen.....	21
4.3.2	Töiden ajoitus.....	22
4.3.3	Jättämä.....	23
5	NYKYTILA-ANALYYSI.....	25
5.1	Tuotannonsuunnittelu .....	25
5.2	Ajoitus.....	26
5.2.1	Vaihe aika.....	27
5.2.2	Siirtoaika .....	27
5.2.3	Odotusaika .....	28
5.2.4	Odotusajan merkitys ajoituksessa .....	29
5.3	Läpimenoajat .....	31
6	JOUSTAVAT LÄPIMENOAJAT .....	34
6.1	Läpimenoaikojen lyhentäminen.....	35
6.2	Normaalia pidempi läpimenoaika .....	36
6.3	Tuotannonsuunnittelun uusi työkalu.....	37
7	TYÖN TULOKSET .....	40
7.1	Saavutettavat hyödyt.....	40
7.2	Huomioitavat uhat ja haitat.....	41
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	42
8.1	Jatkokehitysmahdollisuudet.....	42
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET .....	45

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on tutkia asiakastarpeen mukaan joustavien läpimenoaikojen toteuttamista kartiohammaspyöriä valmistavan yrityksen tuotannossa. Työn tilaajana toimii Tampereella sijaitseva kaarevahampaisia kartiohammaspyöriä valmistava Ata Gears Oy.

Osana yrityksen tuotannosuunnittelun kehittämistä syntyi halu tutkia asiakastarpeiden mukaan joustavien läpimenoaikamallien toteuttamista yrityksen tuotannossa. Tuotannosuunnittelua kehitettäessä yrityksessä valmistauduttiin ottamaan käyttöön uusi tuotannosuunnitteluohjelmisto tämän opinnäytetyön valmistuessa. Tämän uuden ohjelmiston avulla tuotantoa voidaan suunnitella ja ohjata entistä paremmin sekä sen avulla on tarkoitus toteuttaa tässä työssä esitettäviä joustavia läpimenoaikoja. Nykypäivän tarve vastata yhä lyhyempiin toimitusaikoihin korostaa tuotannonohjauksen ja ohjattavuuden tärkeyttä. Asiakasohjautuvassa tuotannossa kokonaisläpimenoajan lyhentäminen vaikuttaa suoraan tuotteen toimitusaikaan ja näin ollen se on tärkeä osa yrityksen palvelukykyä. Työssä on tarkoitus selvittää uusien joustavien läpimenoaikamallien toteuttamista sekä eroja verrattuna nykyisiin läpimenoaikoihin.

Joustavilla läpimenoajoilla tarkoitetaan, että käytetään lyhyempiä läpimenoaikoja töille, joiden toivottu toimitusaika on keskimääräistä kokonaisläpimenoaika lyhyempi. Yrityksen pitkä ja monivaiheinen tuotantoketju sekä täysin asiakaslähtöisten tuotteiden yksittäis- ja piensarjatuotanto asettavat haastavat lähtökohdat läpimenoaikojen lyhentämiselle. Tuotannon vaihtelevan kuormituksen tasaamiseksi tutkitaan mahdollisuutta valmistaa osa tuotantotöistä normaalia pidemmällä läpimenoajalla. Näin toimimalla halutaan varmistaa erityisesti kriittisten pullonkaulavaiheiden jatkuva kuormitus sekä hyödyntää käytössä oleva tuotantokapasiteetti mahdollisimman tehokkaasti.

Esitettävien muutosten tavoitteena on parantaa yrityksen palvelukykyä vastaamaan paremmin asiakkaiden nykyisiä sekä tulevia tarpeita. Joustavien läpimenoaikojen on tarkoitus vastata asiakkaiden lyheneviin toimitusaika vaatimuksiin sekä samalla ylläpitää tuotannon korkeaa käyttöastetta. Työssä on tarkoitus tutkia mm. yrityksen tilauskantaa, jotta voidaan määrittää kuinka suuri osa tuotannosta olisi mahdollista valmistaa normaalia lyhyemmällä läpimenoajalla.

## 2 ATA GEARS OY

Ata Gears Oy on Tampereella vuonna 1937 perustettu kaarevahampaisten kartiohammaspyörien valmistukseen erikoistunut konepajayritys. Yrityksen kolme toimipistettä Tampereen seudulla työllistävät yhteensä 200 henkilöä. Vuonna 2011 yrityksen liikevaihto oli 42,5 miljoonaa euroa josta viennin osuus oli 70 %. (Ata Gears 2012)

Yrityksen tuotteet ovat aina asiakaslähtöisiä ja ne suunnitellaan ja valmistetaan yksilöllisesti asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Tuotteena on lähes poikkeuksetta kartiohammaspyöräpari, joka muodostuu lautasesta ja pinionista (kuva 1). Jokainen hammaspyöräpari muodostaa yksilöllisen kokonaisuuden ja niiden virheettömän toiminnan takaamiseksi ne myydään aina pareina.

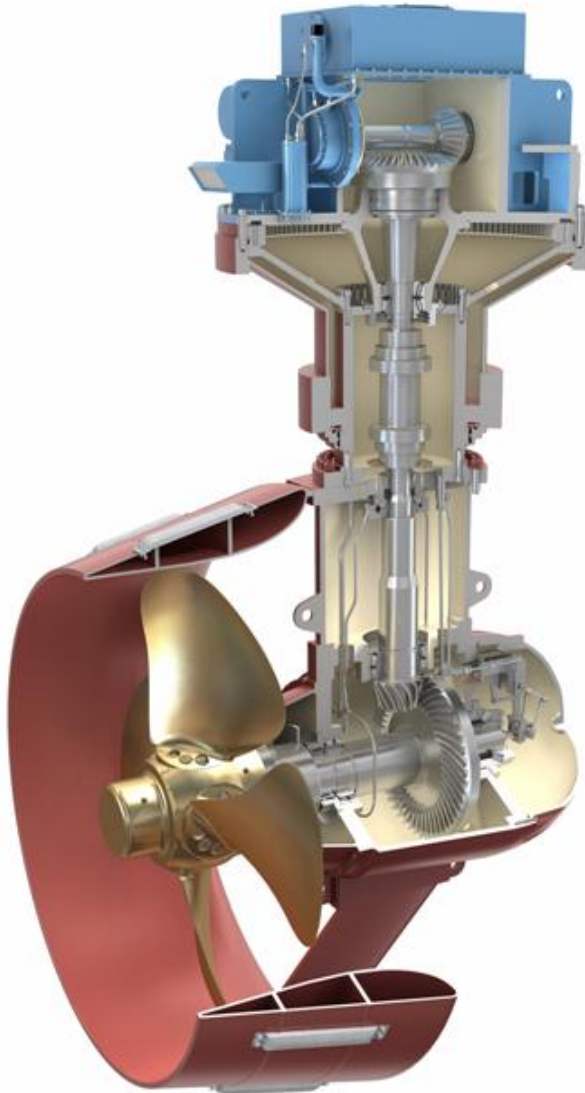


Kuva 1. Kartiohammaspyöräpari (Ata Gears 2012)

Merkittäviä käyttökohteita yrityksen kartiohammaspyörille ovat meriteollisuuden potkurijärjestelmät sekä erilaiset teollisuuskoneet. Esimerkkinä yleisestä kartiohammaspyörien käyttökohteesta on kuvassa 2 esitetty potkurijärjestelmä, jossa kahta kartiohammaspyöräparia käytetään potkurin voimansiirrossa. Yrityksen vuosittainen tuotanto on noin 13 000 kartiohammaspyöräparia (Ata Gears 2012).

Yrityksen tuotanto on piensarja- ja yksittäiskappaletuotantoa joka on täysin asiakasohjautuvaa eikä käytössä ole minkäänlaista valmistuotevarastoa. Hammaspyöriä valmiste-

taan laajassa kokoluokassa ja niiden koosta puhuttaessa käytetään määrävänä tekijänä lautasen halkaisijaa. Pienimmät yrityksessä valmistettavat lautaset ovat halkaisijaltaan noin 200 mm suurimpien lautasten yltäessä yli kahden metrin halkaisijaan.



Kuva 2. Kartiohammaspyöräparit osana potkurijärjestelmää (Ata Gears 2012)

## 2.1 Tuotantoprosessi

Ata Gearsin tuotanto on jaettu viidelle eri tuotantolinjalle hammaspyöräparin lautasen halkaisijan mukaan, poikkeuksen tähän jaotteluun tekee ns. läppäyslinja joka jaotellaan omaksi tuotantolinjaksi johtuen erilaisesta hampaan viimeistelytekniikasta. Tuotantolinjoista käytetään myös nimitystä nimikeryhmä. Tuotantolinjat muodostuvat seuraavasti:

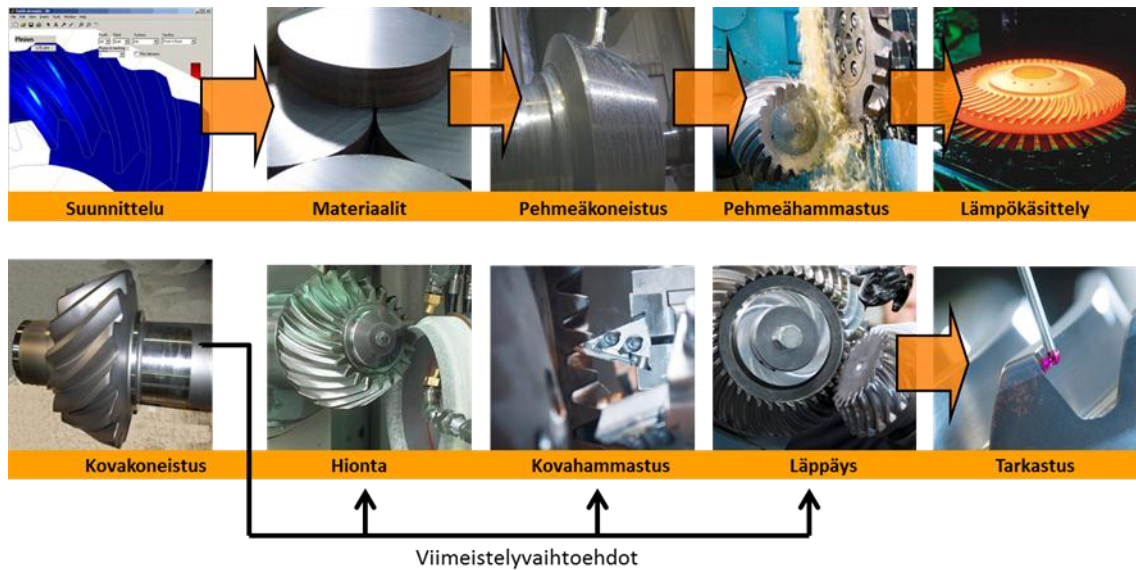


- Ø 0–600-linja
- Ø 500–800-linja
- Ø 700–1200-linja
- Ø 1100–2000-linja
- Lämpäyslinja

Lämpäyslinjan hampaan viimeistely toteutetaan muista linjoista poikkeavalla tavalla ja tästä johtuen läppäyslinjalla valmistettaville töille on käytössä oma nimikeryhmänsä. Lämpäyslinjan valmistetaan siis lautaskooltaan erikokoisia hammaspyöriä, joille yhteistä on niiden hampaan viimeistelyyn käytettävä tekniikka. Ainoastaan 0–600-linjaa voidaan pitää muista riippumattomana, sillä kaikilla muilla tuotantolinjoilla on keskenään jaettu- ja resursseja. Myös 0–600-linjan tuotannonohjaus sekä suunnittelu ovat erillään muista linjoista ja näistä syistä johtuen työssä ei käsitellä 0–600 linjan tuotantoa eikä siihen liittyvää tuotannosuunnittelua. Työssä keskitytään neljän jäljelle jäävän tuotantolinjan tarkasteluun.

## **2.2 Valmistuksen tuotantoketju**

Asiakasohjautuvassa tuotannossa yhtäkään tuotetta ei aloiteta valmistamaan ilman asiakkaan kanssa sovittua tilausta. Kun tilaus on vastaanotettu ja hyväksytty ensimmäiset tuotantoon liittyvät toimenpiteet ovat tuotteen suunnittelu sekä raaka-aineen hankinta. Itse tuotanto voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, jotka jokainen hammaspyöräpari käy läpi, nämä päävaiheet ovat: pehmeävaiheet, lämpökäsittely, kovavaiheet ja lopputarkastus. Näiden päävaiheiden lisäksi hammaspyöräpari käy läpi muitakin tilauksesta riippuvia työvaiheita. Tyypillinen tuotannon vaiheketjun pituus vaihtelee kahdeksasta työvaiheesta noin viiteentoista työvaiheeseen. Kuviossa 1 on esitetty tuotantoprosessin kulku.



Kuvio 1. Ata Gearsin tuotannon prosessikuvaus

Tuotantoprosessi alkaa Ata Gearsin Pälkäneen raaka-ainevarastolta jossa käytettävälle raaka-aine materiaalille suoritetaan joko aihiolaskenta, jos raaka-aineena on taottu aihio tai vaihtoehtoisesti tehdään sahaus, jos käytetään tankomaista raaka-ainetta. Ensimmäinen varsinainen koneistusvaihe on pehmeäsorvaus joka suoritetaan lähes poikkeuksetta alihankintana. Pehmeäsorvatut ahiot pehmeähammastetaan, jolloin lautaseen ja pinio-niin muodostuu niiden tarvitsema hampaanmuoto. Vaikka hammaspyörät toimitetaan aina pareina, niiden ei välttämättä tarvitse kulkea pareina itse tuotannossa. On kuitenkin tiettyjä tuotantovaiheita, joissa lautaseen ja pinionin pitää kohdata toisensa. Pehmeävai-heissa tällainen tapaus on läppäyslinjan töillä, joiden tarvitsee kohdata pehmeähammastuksen yhteydessä tehtävässä koitoksessa.

Pehmeävaiheiden jälkeen kappaleet siirtyvät lämpökäsittelyyn. Hiiletyskarkaisuna ta-pahtuvassa lämpökäsittelyssä kappaleita pidetään hiiletysuuneissa noin 950 °C lämpöti-lassa, jonka jälkeen ne karkaistetaan öljyyn ja päästetään. Tuloksena hammaspyörän pin-ta saadaan kovaksi ja hyvin kulutusta kestäväksi ytimen jäädessä sitkeäksi. Hiiletyskar-kaisuun kuluva aika vaihtelee noin kymmenestä tunnista jopa viiteen vuorokauteen joh-tuen halutusta hammaspyörän hiiletysyvyvyydestä. Suurin osa kappaleista lämpökäsitel-lään omassa karkaisimossa, mutta myös lämpökäsittelyyn käytetään alihankintaa.

Lämpökäsittelyn jälkeisiä työvaiheita kutsutaan kovavaiheiksi. Lämpökäsittelyssä kap-paleisiin syntyy aina muodonmuutoksia ja näistä johtuen kappaleita joudutaan koneis-

tamaan karkaisun jälkeen. Kappaleiden kovan pinnan työstettävyys on huomattavasti hankalampaa verrattuna pehmeävaiheisiin. Merkittävimmät kovavaiheet ovat kovatoraus, hionta ja hampaan viimeistely. Koko tuotannon tärkeimpänä vaiheena pidetään hampaan viimeistelyä ja se edustaakin yrityksen huippuosaamista ja se toteutetaan täysin omana tuotantona. Hampaan viimeistelyyn on kolme eri vaihtoehtoa, jotka ovat esitetty kuviossa 1. Hampaan viimeistelyhiontaa käytetään ainoastaan osassa yrityksen 0–600-linjalla valmistettavissa hammaspyörissä. Hampaan viimeistely läppäämällä on käytössä läppäyslinjalla, jossa pinnanlaadun vaatimuksesta eivät niiden yleisestä käyttöympäristöstä johtuen ole yhtä korkeat kuin muissa käyttökohteissa. Läppäyksessä materiaalia ei suoranaisesti poisteta työkalulla tai hiomakivellä vaan tekniikka perustuu hammaspyöräparin rasittamiseen läppäyskoneessa, jossa käytetään öljyä, jonka sekaan on sekoitettu hioma-ainetta. Läppäyksessä hammaspyörästä saadaan hiottua pois hampaan pinnan pienet epätasaisuudet.

Kovahammastus (hard precision gearing, HPG) jakautuu perinteisellä hammastuskoneella tehtävään hampaan viimeistelyyn sekä viime vuosina yleistyneeseen koneistuskonksilla tehtävään viisiakseliseen hampaan viimeistelyyn. Kuvassa 3 nähdään esimerkki perinteisessä hammastuskoneessa tapahtuvasta pinionin hampaan viimeistelystä. HPG-viimeistelyllä päästään parhaimpaan pinnanlaatuun sekä pinnan kaarevasta muodosta saadaan mahdollisimman yhtenäinen. Huolimatta siitä mitä viimeistelytekniikkaa käytetään, on lautasen ja pinionin aina kohdattava hampaan viimeistelyvaiheessa tehtävää koitosta varten. Ainoastaan näin pystytään varmistamaan parin yhteensopivuus ja takaamaan tuotteen virheetön toiminta.



Kuva 3. Pinionin HPG-viimeistely (Ata Gears 2012)

Viimeisinä tuotantovaiheina hammaspyöräparit tarkastetaan ja osa tuotteista luokitetaan. Luokituksen sisältö vaihtelee asiakkaan ja luokituslaitoksen vaatimusten mukaan. Kaikki meriteollisuuteen menevät hammaspyöräparit käyvät läpi jonkin useista mahdollisista luokitushyväksynnöistä. Ata Gears Oy on saanut sertifikaatin luokitaa itse eräiden luokituslaitosten mukaisesti osan tuotteistaan. Lopputarkastuksen ja mahdollisen luokituksen jälkeen tuote pakataan ja lähetetään asiakkaalle.

### 3 TUOTANNONOHJAUS

Yrityksen toiminta koostuu useista erillisistä toiminnoista ja tehtävistä joiden yhteisenä tarkoituksena on tuottaa yritykselle lisäarvoa. Tuotannonohjauksella tarkoitetaan tuotantoon liittyvien toimintojen yhtenäistä koordinoitua. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 397). Tuotannonohjaus on markkinoinnin, tuotannon ja materiaalitoimintojen yhteensovittamista, sekä kaikkien käytettävissä olevien resurssien kohdentamista parhaalla mahdollisella tavalla tuotannon tavoitteiden saavuttamiseksi (Kouri & Huttunen 2012)

Tuotannonohjauksen keskeiset tavoitteet ovat hyvä toimituskyky, pieni sitoutunut pääoma sekä korkea tuotantokapasiteetin käyttöaste. Yrityksen tuotannonohjausta hankaloiittaa se, että yrityksen eri toimijoilla on usein omat näkemyksensä eri tavoitteiden tärkeydestä. Valmistuksesta vastaavat henkilöt pyrkivät pitämään koneiden käyttöasteen mahdollisimman korkeana, kun taas myynnin kannalta nopea toimituskyky ja joustavuus asiakkaiden toivomusten mukaisesti ovat tärkeitä asioita. Taloudesta vastaavat henkilöt puolestaan pyrkivät vähentämään toimintaan sitoutuneen pääoman suuruutta esimerkiksi pienentämällä varastomääriä. Näiden tuotannonohjauksen keskeisten tavoitteiden voidaan katsoa olevan keskenään ristiriitaisia. Toimitusvarmuutta voidaan nostaa raaka-aine-, valmistuote- ja puolivalmisteverastojen kokoa lisäämällä, jolloin parhaassa tapauksessa tuote voidaan lähettää heti tilauksen tultua suoraan varastosta. Kuitenkin näin toimimalla yrityksen vaihto-omaisuuden määrä kasvaa ja on myös huomattava, että tämä toimintatapa soveltuu suurelta osin vain varasto-ohjautuvaan tuotantoon. Kapasiteetin käyttöastetta saadaan nostettua valmistamalla suurempia sarjoja ja näin ollen vähentämällä asetusajoista syntyvää hukkaa. Tämä kuitenkin nostaa jälleen toimintaan sitoutuneen pääoman määrää lisäämällä keskeneräistä tuotantoa. (Haverila ym. 2009, 403–404)

Läpimenoajan lyhentämisen on osoitettu olevan tehokas tapa tuotannonohjauksen keskeisten tavoitteiden parantamiseen. Läpimenoaikoja lyhentämällä voidaan vähentää tuotantoon sitoutuneen pääoman määrää, parantaa toimitusvarmuutta ja laatua sekä helpottaa tuotantokapasiteetin suunnittelua. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 55). Vakiintuneen prosessin läpimenoaikaa voidaan mitata Littlen lain (1) mukaisesti. Olettaen, että tarkasteltavalla ajanjaksolla keskeneräisen tuotannon määrää ei merkittä-

västi muutu eikä tuotteita jää keskeneräisinä prosessiin vanhentumaan. Littlen laki määrittelee,

$$\text{Läpimenoaika} = \frac{KET}{\text{Tuotantovauhti}} \quad (1)$$

jossa tuotantovauhti tarkoittaa valmistuvien tuotteiden määrää aikayksikköä kohden. (Chhaged & Lowe 2008, 92–94). Esimerkki, jossa tuotantolinjan tuotantovauhti on viisi kappaletta päivässä, linjan keskeneräisen tuotannon ollessa 20 kappaletta. Saadaan Littlen lain mukaan kyseisen tuotantolinjan läpimenoajaksi neljä päivää. Huomion arvoista on se, että keskeneräisen tuotannon määrän muutoksilla voidaan vaikuttaa suoraan läpimenoajan pituuteen.

### 3.1 Tuotannon ohjattavuus

Tuotannon ohjattavuus kertoo kuinka nopeasti tuotanto voi reagoida ennalta määritelyihin muutoksiin toimintaympäristössään. Hyvin ohjautuvalla tuotantoprosessilla on myös paremmat edellytykset reagoida odottamattomiin tuotannon muutoksiin. Tuotannon ohjattavuuteen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, jotka ovat markkinoinnin, kapasiteetin ja materiaalien ohjattavuus. Markkinoinnin ohjattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat nykyisen tilauskannan vakaus, kysynnän luonne sekä tulevaisuuden ennustettavuus. Tuotteiden läpimenoajat, tuotannon joustavuus ja ennakoitavuus sekä laadulliset asiat vaikuttavat suuresti kapasiteetin ohjattavuuteen. Materiaalien ohjattavuutta tarkasteltaessa huomionarvoisia seikkoja ovat materiaalien saatavuus markkinoilta, niiden toimitusnopeus sekä materiaalitoimittajan toimitusvarmuus. (Kouri & Huttunen, 2012)

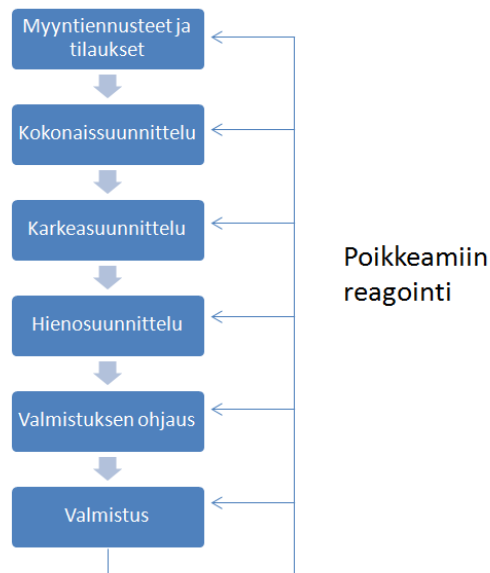
Hyvän ohjattavuuden myötä käytettävissä olevat resurssit voidaan hyödyntää tehokkaammin. Yrityksen toiminnasta saadaan laadukkaampaa sekä saadaan vähennettyä virheistä syntyviä kustannuksia. Keskeiset keinot tuotannon ohjattavuuden parantamiseen ovat, läpimenoaikojen lyhentäminen, häiriöiden poistaminen, tuotannon itseohjautuvuuden parantaminen, layoutin selkeyttäminen sekä tietokoneohjatun tuotantotekniikan käyttö. (Haverila ym. 2009, 405)

## 4 TUOTANNONSUUNNITTELU

Tuotannonsuunnittelun tarkoituksena on yhteensovittaa myynti ja tuotantokapasiteetti siten, että sovitut toimitusajat ovat mahdollisia ja samalla pitää tuotannon kuormitus mahdollisimman tasaisena (Miettinen 1993, 56). Tuotannonsuunnittelulla pyritään luomaan selkeät valmiudet operatiivisen toiminnan suorittamiseen, jotta itse tuotannossa voidaan keskittyä tuotantosuunnitelman toteutukseen (Lapinleimu ym. 1997, 299).

Tuotannonsuunnittelu voidaan jakaa kolmeen eri tasoon, kokonaissuunnitteluun, karkeasuunnitteluun ja hienosuunnitteluun. Kokonaissuunnittelu on yrityksen johdon vastuulla ja sillä luodaan edellytykset karkea- ja hienosuunnittelulle. Kokonaissuunnitteluun kuuluvia asioita ovat esimerkiksi menekkiennusteiden laatiminen, kapasiteetin kokonaistarpeen määrittely sekä suunnitelmat uusista kone- ja laiteinvestoinneista. (Haverila ym. 2009, 411–413). Menekkiennusteilla pyritään arvioimaan tulevaa kysyntää, jotta voidaan varautua ja suunnitella ennakkoon tulevia tuotantomääriä. Ennustamalla odotettavia tulevaisuuden tilauksia ei useinkaan päästä absoluuttiseen tarkkuuteen, mutta suuntaa-antava ennuste on parempi kuin ennusteen tekemättä jättäminen. Pitkän aikavälin ennusteita laadittaessa on huomioitava niiden virhemarginaalin kasvaminen. Ennuste on hyvä pitää riittävän karkealla tasolla arvioimalla enemmän kokonaistuotantoa eikä niinkään keskittyä tarkkoihin tuotekohtaisten menekkien ennustamisiin. (Sule 2008, 45–46) Kokonaissuunnittelu kuuluu yrityksen ylemmän johdon vastuulle ja näin ollen se rajataan tämän opinnäytetyön tarkastelun ulkopuolelle.

Toiminnanohjausprosessit ovat aina yrityskohtaisia ja niissä saattaa esiintyä merkittäviäkin eroja saman toimialan yritysten välillä. Peruseriaatteeltaan ohjausjärjestelmien yleinen rakenna on kuvan 4 mukainen. Ylimmillä tasoilla ei keskitytä yksityiskohtaisiin suunnitelmiin, vaan varmistetaan resurssien yleinen riittävyys sekä koordinoidaan toimintaa. Pidemmälle prosessissa edetessä yksityiskohtainen suunnittelu ja ohjaus lisääntyvät. Ohjausprosessi on kuvattu hyvin suoraviivaiseksi, mutta todellisuudessa tasojen välillä tapahtuu myös jatkuvaa uudelleensuunnittelua. Monimutkaisen prosessin yksityiskohtainen suunnittelu lisää uudelleensuunnittelun ja valmistuksen ohjauksen määrää. Erityisesti toimintahäiriöt ja materiaalipuutteet ovat omiaan lisäämään uudelleensuunnittelun tarvetta. (Haverila ym. 2009, 409–410)



Kuva 4. Tuotannonohjausprosessin vaiheet (Haverila ym. 2009, 409)

Tuotannonsuunnittelusta vastaavilla henkilöillä tarvitsee olla oikea ja realistinen käsitys tuotantokapasiteetista. Tuotannonsuunnittelu asettaa kapasiteettirajoituksia myynnille ja näin toimimalla myynti osaa huomioida tehtaan rajallisen kapasiteetin kun sovitaan uusista tilauksista. Tuotannon karkeasuunnittelun yhteydessä tapahtuvan kuormitussuunnittelun yhtenä tarkoituksena on kuvata karkeasti kapasiteetin kuormitusta, jotta saadaan tieto muun muassa myynnille vapaasta tehdaskapasiteetista.

#### 4.1 Karkeasuunnittelu

Karkeasuunnittelu on kokonaissuunnittelua tarkempaa suunnittelua ja aikaväli jolla sitä toteutetaan ulottuu muutamasta viikosta joihinkin kuukausiin. Karkeasuunnittelun lähtökohtana käytetään yrityksen johdon tekemää kokonaissuunnitelmaa sekä tietoa yrityksen tilauskannasta ja tuotteiden varastotilanteesta. Karkeasuunnittelun tarkoituksena ei ole tehdä tarkkoja työjärjestyksiä, vaan keskittyä suunnittelemaan tuotantoa keskeisten käytettävissä olevien resurssien pohjalta. Asiakasohjautuvassa tuotannossa asiakkaalle luvattavat toimitusajat perustuvat usein tuotannon karkeasuunnitteluun. (Haverila ym. 415–416).

Paikkansa pitävän karkeasuunnittelun edellytyksenä on tuntea suunniteltavien tuotteiden keskeiset kapasiteetti- ja materiaalitytarpeet. Vakiotuotteille näiden tarpeiden määrittely



on helposti toteutettavissa yrityksen aikaisempien kokemusten ja kirjattujen tietojen perusteella. Tilaustuotteille tarvittavien resurssien määrittäminen on huomattavasti monimutkaisempaa, johtuen asiakaskohtaisista vaatimuksista. Tilaustuotteiden kohdalla joudutaankin usein arvioimaan kapasiteetti- tai materiaalitytarpeita uusien tuotteiden kohdalla joista ei vielä ole aikaisempaa kokemusta. (Haverila ym. 2009, 415–416)

Taulukossa 1 on esitetty esimerkki tuotteiden viikoittaisesta valmistustarpeesta kappaalemäärinä. Tämän tiedon pohjalta voidaan suunnitella tulevaa tuotantoa ja varautua mahdollisiin kapasiteetin lisäyksiin tai vähennyksiin. Tämä tietenkin edellyttää tuotteiden keskeisten kapasiteetti- ja materiaalitytarpeiden määrittelyä. Suunnitelman avulla voidaan ennakoida materiaalitytarpeita sekä informoida myyntiä mahdollisesta vapaasta kapasiteetistä. Hyvän suunnittelun myötä yllättäviinkin tilanteisiin tuotannossa on helpompaa reagoida ja ongelmatilanteissa tuotanto saadaan palautettua normaaliin tilaan nopeammin.

Taulukko 1. Karkeasuunnittelu, viikoittainen tuotanto

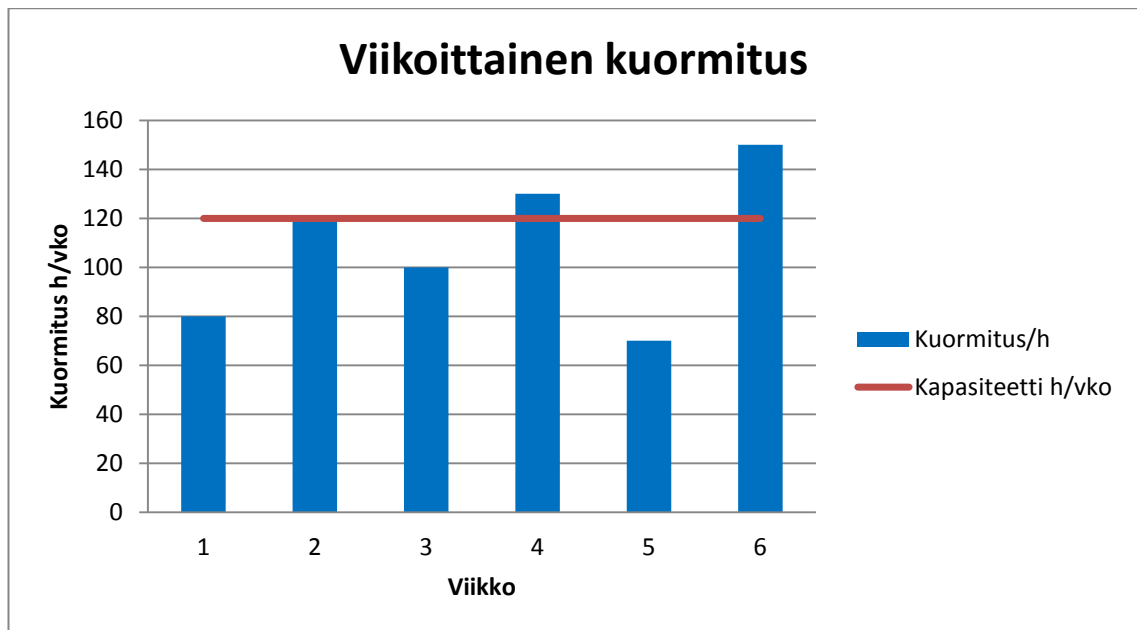
Viikko	1	2	3	4	5	6
Tuote A	5	5	5	5	7	6
Tuote B	10	10	11	10	9	12
Tuote C	3	4	3	5	2	4
Yht./Vko.	18	19	19	20	18	22

#### 4.1.1 Kuormitussuunnittelu

Kuormitussuunnittelua toteutetaan karkeasuunnittelun yhteydessä ja se on keskeisessä osassa yrityksen tuotantoa suunniteltaessa. Kapasiteetin kuormitusta tarkastellaan usein viikon jaksoissa jolla saadaan riittävä tarkkuus karkeasuunnittelun tarpeisiin. Kapasiteetillä tarkoitetaan enimmäistuotantokykyä aikayksikköä kohden. Kapasiteettiyksikkönä voidaan käyttää esimerkiksi kappaletta/päivä, mutta mikäli eri tuotteet vaativat erilaisen määrän kapasiteettia tämä yksikkö saattaa aiheuttaa ongelmia. Erilaisia tuotteita valmistettaessa kapasiteettina voidaan käyttää yksikköä tuntia/viikko. Tällöin eri tuotteet kuormittavat kapasiteettia niiden tarvitseman tuntimäärän verran. (Haverila ym. 2009, 399)

Kuormituslaskentaa pyritään tekemään riittävän karkealla tasolla tarkastelemalla kuormitusryhmiä, eikä niinkään yksittäisiä koneita seuraamalla. Kuormitusryhmällä tarkoitetaan jotakin tuotannon osaa, jonka kapasiteettia ja kuormitusta tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena. Kuormitusryhmä voidaan muodostaa työntekijöistä ja/tai koneista silloin kuin kyseessä on määrätynlainen työ. Yhteen kuormitusryhmään voidaan kerätä koneita jotka suorittavat samaa työvaihetta ja ovat keskenään vaihtokelpoisia. Kuormitusryhmät määritellään yleensä ohjaustarpeiden perusteella. (Haverila ym. 2009, 399). Kuormitusryhmien kapasiteetin ja kuormituksen seuraaminen antaa laajemman kuvan tuotannon kuormitusasteesta varsinkin pidemmänajan karkeasuunnittelua tehtäessä.

Kuormituspiirros on käytännöllinen tapa seurata tulevien viikkojen kuormitusilannetta. Töiden ajoitukseen saatetaan tehdä joitakin muutoksia jotta kuormitusta saataisiin tasoitettua, mutta tämä on toki pystyttävä tekemään sovittujen toimitusaikojen puitteissa. Kuormituspiirroksen avulla suunnitellaan tuotanto, määritellään toimitusajat sekä tutkitaan mahdollista kapasiteetin sopeutuksen tarvetta. (Haverila ym. 2009, 417). Kuviossa 2 on esitetty esimerkki viikoittaisen kuormituksen jakautumisesta kuuden viikon tarkastelujaksolla kuvitteellisessa kuormitusryhmässä. Käytössä oleva kapasiteetti on 120 työtuntia viikossa ja se pysyy tasaisena koko tarkastelujakson ajan. Kuormituspiirroksen avulla voidaan suunnitella kuormitusta tasaavia muutoksia jo hyvissä ajoin ja näin välttää turhaa yli- tai alikuormitusta. Esimerkkitapauksessa viikkojen kaksi, neljä ja kuusi kuormitusta olisi syytä siirtää edeltäville viikoilla ja näin ollen tasata viikoittaista kuormitusta. Erityisesti viikon kuusi huomattava ylikuorma tulisi aiheuttamaan ongelmia tuotannossa, ellei sitä pystyttäisi tasaamaan sitä edeltäville viikoille.



Kuvio 2. Kuormituspiirros

Kuormitusryhmiä suunniteltaessa on huomioitava tuotannon avain- ja pullonkaulavaiheet, sillä usein nämä ovat tuotannon kapasiteettia eniten rajoittavat resurssit. Pullonkaulavaiheessa menetetty tuotanto on pois koko tehtaan tuotannosta ja pullonkaulavaiheita olisikin hyvä pitää jatkuvassa korkeassa kuormituksessa. Tuotantoa suunniteltaessa olisi taattava tarvittavan suuri puskurivarasto pullonkaulavaiheen eteen, jotta se ei häiriintyisi muun tuotannon hetkellisten ongelmien tai myöhästymisien takia.

Tuotantosuunnitelman on oltava realistinen ja toteutettavissa, sillä karkeakuormituksen ennustetta käytetään apuna kun arvioidaan toimitusaikoja, tuotantoerien kokoa ja tarkempaa töiden ajoitusta. (Lapinleimu ym. 1997, 197; Haverila ym. 2009, 415–418)

Kapasiteetin suunnittelu tapahtuu kuormitusryhmittäin ja hetkellisesti kapasiteettiä voidaan nostaa ylityöratkaisulla tai lyhyen aikavälin alihankintasopimuksilla. Tällä tavalla voidaan auttaa odottamattomien kuormituspiikkien purkamista eikä niitä pitäisi käyttää ratkaisuna pidempiaikaisen kapasiteetin nostamiseen. Pidemmällä aikavälillä kapasiteettia lisääviä keinoja ovat esimerkiksi työntekijöiden lisääminen, työvuorojärjestelyt ja uudet konehankinnat. (Lapinleimu ym. 1997, 194–202)

## 4.2 Hienosuunnittelu

Hienosuunnittelun tarkoituksena on tuotannon yksityiskohtainen suunnittelu. Hienosuunnittelun pohjana käytetään karkeasuunnittelun tuloksia ja tarkoituksena on saada

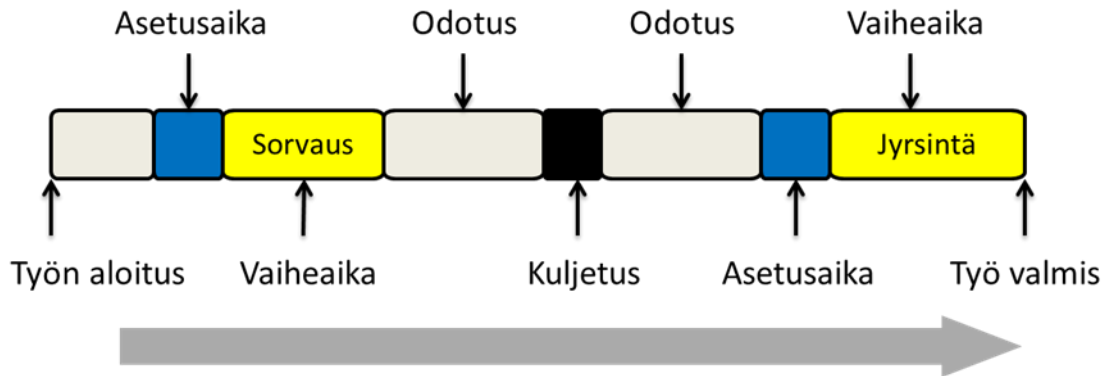
aikaiseksi tarkka tuotantosuunnitelma työjärjestyksineen ja ajoituksineen. Jotta hienosuunnittelua voidaan toteuttaa, on tiedettävä tarkasti tuotannon todellinen tilanne. Mitä tarkempia suunnitelmia pyritään tekemään sen herkempiä ne ovat erilaisien häiriöiden vaikutuksille. Kuormitusryhmien työkuorma, tuotannon jättämä ja erilaiset tuotantohäiriöt vaikuttavat suuresti käytettävissä olevaan tuotantokapasiteettiin. Hienosuunnittelun tarkkuutta voidaan parantaa pienentämällä suunnittelun aikajännettä, näin saadaan luotettavampia tietoja suunnittelun pohjaksi. Hienosuunnittelua toteutetaan tyypillisesti päivän tai viikon tarkkuudella. Nykyään pyritään vähentämään tarkan hienosuunnittelun tarvetta kehittämällä tuotantoprosessin itseohjautuvuutta. (Haverilla ym. 2009, 417–418)

Selkeästi ohjatussa tuotantojärjestelmässä karkeasuunnittelulla voidaan saada aikaan realistinen ja helposti toteutettava tuotantosuunnitelma, eikä hienosuunnittelulle täten ole lainkaan tarvetta. Hienosuunnittelun merkitys korostuu monimutkaisessa tuotantoketjussa jossa on pitkät läpimenoajat sekä monta hallittavaa kuormitusryhmää. Erityisesti pullonkaulavaiheiden hienosuunnitteluun tulisi kiinnittää huomiota jotta saadaan pidettyä yllä pullonkaulavaiheen korkeaa käyttöastetta. (Lapinleimu ym. 1997, 198)

### **4.3 Läpimenoajat**

Läpimenoaika tai läpäisy aika kuvaa kokonaisaikaa, jonka jokin tietty toimintaketju vaatii. Läpimenoaika on tuotantojärjestelmän tehokkuuden tärkeimpiä mittareita. Tavallisesti läpimenoaikaa voidaan mitata kahdella eri tavalla, jolloin puhutaan kokonaisläpimenoajasta tai valmistuksen läpimenoajasta. Kokonaisläpimenoaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu tilauksen saannista sen toimittamiseen. Valmistuksen läpimenoaika on aika, joka kuluu valmistuksen aloittamisesta tuotteen valmistumiseen.

Läpimenoaika ei kuitenkaan ole sama kuin tuotteen valmistukseen kuluva aika. Useasti merkittävä osa läpimenoajasta koostuu odotusajoista sekä muista ei lisäarvoa tuottavista työvaiheista, jolloin itse työn vaiheajat saattavat muodostaa vain pienen osan tuotteen läpimenoajasta. (Haverila ym. 2009, 401) Esimerkki läpimenoajan rakenteesta on esitetty kuviossa 3, jossa itse työvaiheisiin kuluvan ajan osuus läpimenoajasta on alle puolet. Tässä työssä läpimenoaikojen joustavuudesta puhuttaessa tarkoitetaan valmistuksen vaatimaa läpimenoaikaa.



Kuvio 3. Esimerkki läpimenoajan rakenteesta (mukaiillen Haverila ym. 2009, 401)

### 4.3.1 Läpimenoaikojen lyhentäminen

Merkittävimmät keinot läpimenoaikojen lyhentämiseen ovat eräkokojen pienentäminen ja tuotannon välivarastojen minimoiminen. Nämä toimenpiteet vähentävät keskeneräisen tuotannon määrää jolloin työvaiheiden väliset odotusajat lyhenevät. Tämä tarkoittaa työvaiheen edessä odottavien kappaleiden määrän vähenemistä eli ns. puskurin pienemistä. Yleisesti tämä nähdään hyvänä asiana, mutta erityisesti pullonkaulavaiheiden kohdalla on syytä kiinnittää huomiota puskurin riittävyyteen. Pullonkaulavaiheiden edessä on pidettävä riittävän suurta puskurivarastoa, jolla varmistetaan pullonkaulavaiheen korkea käyttöaste. Kriittisessä pullonkaulavaiheessa menetetty kapasiteetti näkyy kokonaistuotannon menetyksenä.

Läpimenoajan lyhentäminen vaatii väistämättä koko tuotantoketjun laadun parantamista. Eräkoon pienentäminen edellyttää useissa tapauksissa asetusaikojen lyhentämistä, sillä pienet valmistuserät eivät ole taloudellisesti kannattavia jos niiden vaatimat asetusaikat ovat pitkiä. Tällaisessa tapauksessa käytössä olevaa kapasiteettiä hukattaisiin asetusten tekemiseen, jolloin niihin kuluva aika olisi suoraan pois tehtaan tuottavasta kapasiteetista. Mitä lyhyemmäksi asetusaikoja saadaan, sitä pienemmät eräkoot ovat taloudellisesti kannattavia. Toisaalta on myös huomioitava, että läpimenoaikojen ollessa lyhyitä, mahdolliset häiriöt tuotannossa saattavat aiheuttaa koko prosessin pysähtymisen johtuen työvaiheiden välisistä pienistä puskurivarastoista. (Haverila ym. 2009, 406–407)

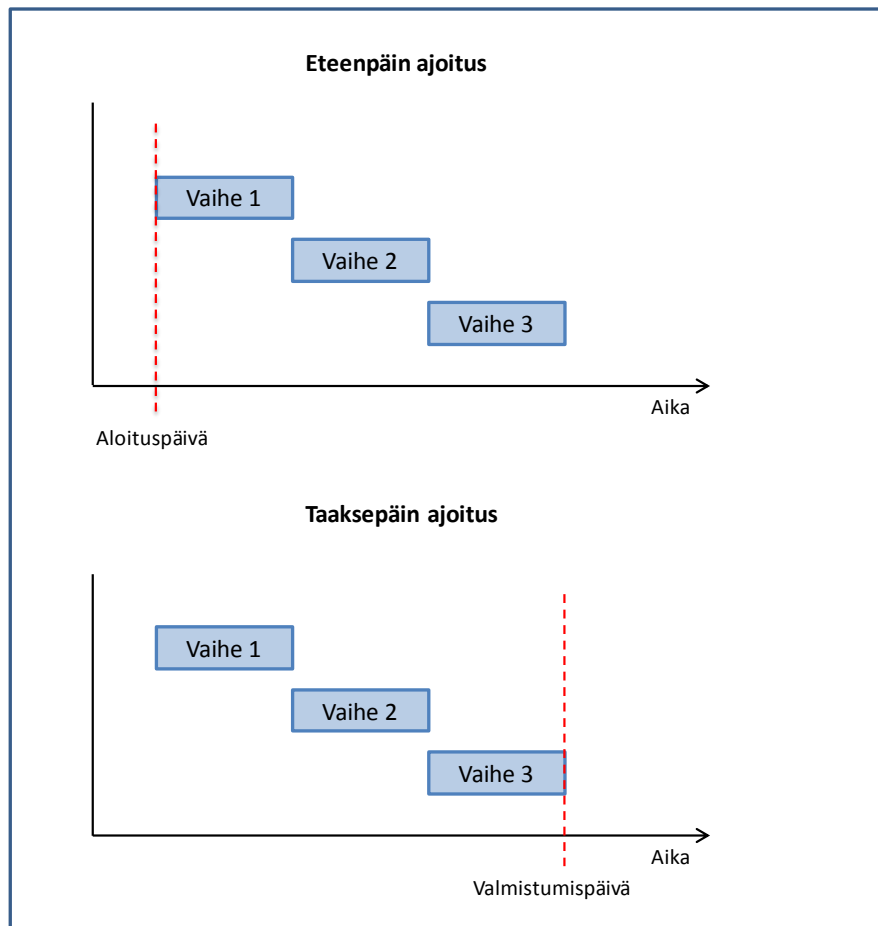
Lyhyempi läpimenoaika mahdollistaa lyhyemmät toimitusajat ja indikoi tuotannon olevan tehokasta ja hyvin toimivaa. Samalla saadaan parannettua tuotannon ohjattavuutta antamalla paremmat mahdollisuudet tuotannon ohjaamiseen pienemmän keskeneräisen tuotannon ansiosta. (Lapinleimu ym. 1997, 55).

Vaikkakin lyhyellä läpimenoajalla on monia tuotantoa parantavia vaikutuksia, ei se ole automaattisesti oikea ratkaisu jokaisen yrityksen tuotantoa kehitettäessä. Monivaiheisissa ja useita pullonkauloja sisältävissä tuotantoprosesseissa keskeneräistä tuotantoa ja odotusaikoja pienentämällä saatetaan tuotanto asettaa alttiiksi turhille pysähdyksille. Tämä saattaa johtaa tilanteeseen jossa työvaiheille jonossa olevia kappaleita ei ole ja näin ollen syntyy hukattua kapasiteettia koneiden odottaessa töitä saapuviksi. Yrityksen toiminnan laadun kehittäminen on keskeinen edellytys läpimenoaikojen lyhentämiselle.

### **4.3.2 Töiden ajoitus**

Ajoituksella tarkoitetaan tuotannon eri työvaiheiden suoritusajankohdan määrittelyä. Töiden ajoitus edellyttää töiden vaiheaikojen laskemista. Kapasiteettitarpeiden perusteella saadaan laskettua, kuinka paljon kukin työvaihe kuormittaa tuotantoa. Töiden ajoitus tapahtuu tietokoneavusteisesti, joko toiminnanohjausjärjestelmässä tai tarkemmin tuotannonsuunnitteluun tarkoitettulla ohjelmistolla. (Haverila ym. 2009, 418–419)

Ajoitukseen käytetään kahta perusmenetelmää, eteen- ja taaksepäin ajoitusta. Eteenpäin ajoituksessa lähtökohtana käytetään tuotannon aloitusajankohtaa. Aloitusajankohdasta alkaen työvaiheet ajoitetaan vaihe vaiheelta eteenpäin ja lopulta päädytään työn lopetushetkeen. Ajoituksen tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä odotus- ja siirtoaikoja työn eri vaiheiden välillä. Taaksepäin ajoituksessa lähtökohtana käytetään suunniteltua valmistumisajankohtaa ja työvaiheet ajoitetaan halutusta valmistumisajankohdasta taaksepäin, lopulta päätyen työn aloitusajankohtaan. Taaksepäin ajoitus on tuotannonohjauksessa eniten käytetty menetelmä. (Haverila ym. 2009, 419). Eteen- ja taaksepäin ajoituksen periaatetta on havainnollistettu kuviossa 4.



Kuvio 4. Eteen- ja taaksepäin ajoitus (mukaillen Haverila ym. 2009, 419)

Kuvattujen perusmenetelmien haittapuolena on, että ne eivät huomioi muita samaan ajankohtaan ajoitettuja töitä. Tämän johdosta useita eri töitä voi olla ajoitettuna tehtäväksi samassa kuormituspisteessä samanaikaisesti. Tätä kutsutaan rajattomaan kapasiteettiin ajoittamiseksi ja usein se antaa riittävät tiedot karkeasuunnittelun tarpeisiin. Hienosuunnitteluvaiheessa otetaan huomioon todellinen, rajallinen kapasiteetti ja töille muodostetaan tarkemmat työjärjestykset. (Haverila ym. 2009, 419–420)

### 4.3.3 Jättämä

Jättämällä tarkoitetaan töitä tai työvaiheita jotka ovat tuotantosuunnitelmassa ajoitettuna menneisyyteen, mutta joita ei ole vielä tehty. Jättämässä oleva työ on näin ollen myöhässä suunnitellusta aikataulusta. Jättämässä oleva työ on tuotannon sisällä myöhässä, mutta se saatetaan silti toimittaa asiakkaalle ajallaan. Työ voidaan luvata toimitettavaksi asiakkaalle kymmenen viikon toimitusajalla, mutta sille voidaan asettaa esimerkiksi kahdeksan viikon sisäinen toimitusaika. Näin toimimalla tuotantoon jää hieman peliva-

raa ja vaikka työ ajautuisikin jättämään, se voidaan silti saada toimitettua asiakkaalle ajallaan ulkoisen toimitusajan puitteissa.

Jättämästä pitäisi aina pyrkiä eroon. Tuotanto, joka on jatkuvasti jättämässä, indikoi tuotannossa tai tuotannosuunnittelussa olevista ongelmista. Jättämä lisää keskeneräisen tuotannon määrää ja näin ollen kasvattaa tuotantoon sitoutunutta pääomaa. Myös tuotannosuunnittelun tarkkuus ja realistisuus kärsii tuotannon jättämän kasvaessa. (Wallace & Stahl 2003, 44–46)



## 5 NYKYTILA-ANALYYSI

### 5.1 Tuotannosuunnittelu

Tämän työn aloitushetkellä tuotannosuunnittelua toteutettiin yrityksen toiminnanohjausjärjestelmän sekä erilaisten Excel-tiedostojen avulla. Tuotannosuunnittelusta vastaa kaksihenkinen tuotannosuunnitteluosasto, jonka tehtävänä on ylläpitää toteutuskelpoista tuotantosuunnitelmaa. Ata Gearsin toiminnanohjausjärjestelmänä toimii Logican toimittama Powered. Tuotannon hienosuunnittelua toteutetaan yhden päivän tarkkuudella ja tuotantoa ohjataan ensisijaisesti tärkeimpien pullonkaulavaiheiden tarpeiden mukaisesti.

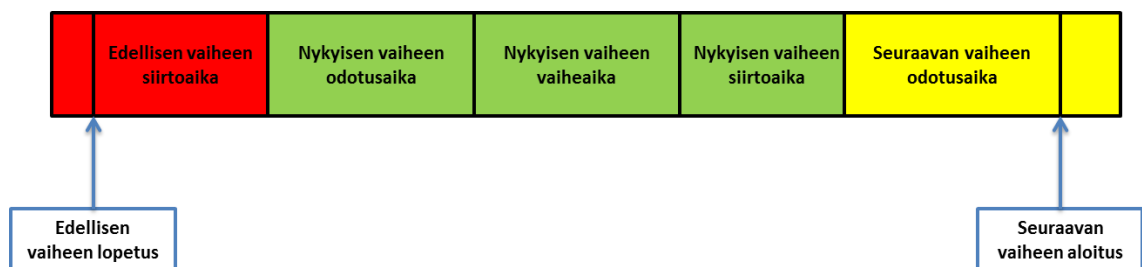
Tuotantosuunnitelma laaditaan toiminnanohjausjärjestelmässä, jossa töille suunnitellut työvaiheet ajoitetaan ja työlle muodostuu sen valmistussuunnitelma. Kaikki tuotantosuunnitelman muutokset tehdään toiminnanohjausjärjestelmään, joskin joitain tuotannosuunnitteluun liittyviä toimintoja toteutetaan myös Excel-pohjaisten listojen avulla. Poweredin rajoittuneet tuotannosuunnittelun työkalut sekä yrityksen monivaiheinen ja pitkä tuotantoprosessi ovat haaste todenmukaisen tuotantosuunnitelman ylläpitämiseen. Olemassa olevalla järjestelmällä tuotannosuunnittelun kehittäminen on osoittautunut hankalaksi ja yritykseen ollaankin hankkimassa uutta erityisesti tuotannosuunnitteluun tarkoitettua ohjelmistoa. Uusi ohjelmisto tulee vastaamaan paremmin tuotannosuunnittelun tarpeisiin ja se tulee toimimaan yhdessä nykyisen toiminnanohjausjärjestelmän kanssa.

Tuotannon keskeisten kuormitusryhmien kuormitustilanteen seuranta ja hallinta ovat tuotannosuunnittelun tärkeimpiä tavoitteita. Yleisesti kuormitusta ja kapasiteetin riittävyyttä seurataan viikkotasolla ja mahdollisiin ongelmakohtiin pyritään puuttumaan hyvissä ajoin, jotta ne voitaisiin välttää ennakoivilla toimenpiteillä. Nykyisen Poweredissa tapahtuvan tuotannosuunnittelun heikkoutena on töiden ajoituksen tapahtuminen yksi työ kerrallaan, ilman muiden töiden huomioimista. Tämä hankaloittaa erityisesti töiden uudelleenajoittamista ja tuotannon kokonaisuuden hallintaa, sillä yksittäisen työn ajoituksen muutokset saattavat aiheuttaa sekaannusta muiden töiden ajoitusten kanssa.

## 5.2 Ajoitus

Töiden ajoitus tapahtuu Poweredissa työ kerrallaan halutusta valmistuspäivämäärästä taaksepäin ajoittamalla. Työn ajoituksessa ei huomioida lainkaan muiden töiden tarve ajankohtia eikä tuotannon rajallista kapasiteettia. Näin ollen töiden ajoituksen tapahtuessa rajattomaan kapasiteettiin useita töitä voi ajoittua tehtäväksi samanaikaisesti samassa kuormituspisteessä. Töiden työjärjestykset muodostuvat ajoitustietojen perusteella työn jäljellä olevan vaiheketjun pituuden ja suunnitellun valmistuspäivän mukaan. Saman valmistuspäivän töistä ensimmäiseksi asettuu se, jolla on jäljellä pisin vaiheketju. Töiden ajoituksen kannalta tärkeitä tietoja ovat itse työvaiheiden kesto sekä odotus- ja siirtoaikojen pituudet.

Kullekin kuormitusryhmälle on määritelty vaiheen odotus- ja siirtoaika. Odotusajalla tarkoitetaan ennen työvaihetta olevaa odotusaikaa, eli eräänlaista välivarastointia ennen työvaiheen aloittamista. Siirtoaika taas tarkoittaa työvaiheen jälkeistä aikaa jonka aikana kappale siirtyy seuraavaan kuormitusryhmään. Nämä molemmat ajat tulevat kuormitusryhmän tiedoista, eikä tehtävällä nimikkeellä tai työvaiheella ole vaikutusta näiden aikojen pituuksiin. Lisäksi jokaisen työn ja työvaiheen vaiheaika muodostuu tarvittavasta asetustajasta, työn kappalemäärästä sekä kappaleen vaatimasta koneajasta. (Reuna 2011, 76). Siirto- ja odotusaikoja voidaan muokata työkohtaisesti esimerkiksi töitä uudelleen ajoitettaessa ja kuormituksia tasattaessa. Vaihe-, siirto- ja odotusaikojen muodostuminen käydään läpi tarkemmin seuraavissa alaluvuissa. Kuviossa 5 on havainnollistettu odotus- ja siirtoaikojen sijoittumista työvaiheiden välille.



Kuvio 5. Odotus- ja siirtoaikojen sijoittuminen työvaiheiden väliin (mukaillen Reuna 2011, 77)

### 5.2.1 Vaiheaika

Töiden ajoitus edellyttää kaikkien töiden vaiheaikojen tuntemista. Itse työn vaiheaika muodostuu työvaiheen asetusajasta sekä työn vaatimasta koneajasta. Vaiheaikojen pituudet vaihtelevat suuresti eri kuormitusryhmien välillä. Powerediin on tehty eri nimikkeille rakennemalleja, joista saadaan tiedot vaiheaikojen pituuksista. Asetus- ja koneajat vaihtelevat kuormitusryhmän ja siinä tapahtuvan työvaiheen mukaisesti. Vaiheaikoihin yleisesti vaikuttavia tekijöitä ovat:

- pinionin varsityyppi (varrellinen/varreton)
- hammaspyörän halkaisija
- pinionin pituus
- kappaleen massa
- hiilettyisyvyys
- nimikeryhmä (millä tuotantolinjalla työ tehdään)

(Reuna 2011, 70–72). Töiden vaiheaikojen muodostumista ei käydä tämän työn osalta yksityiskohtaisemmin läpi. Nykyisten vaiheaikojen todetaan olevan tarkkuudeltaan hyviä ja niiden avulla töiden ajoitus saadaan vastaamaan todellisuutta. Tämän työn osalta olemassa oleviin vaiheaikojen rakenteisiin ei ole tarkoitus tehdä muutoksia. Tätä päätöstä voidaan perustella Ata Gearsin tuotannon läpimenoajan rakenteella, jossa itse työvaiheiden vaiheajat muodostavat vain hyvin pienen osan tuotannon vaatimasta läpimenoajasta. Toki vaiheaikojen määrittelyn tärkeyttä tarkan ja todenmukaisen tuotantosuunnitelman tekemiseen ei pidä vähätellä, sillä esimerkiksi todenmukaisen kuormitus-tilanteen tarkastelu edellyttää oikein määriteltyjä töiden vaiheaikoja.

### 5.2.2 Siirtoaika

Kuormitusryhmän siirtoajan tarkoituksena on varata aikaa kappaleen siirtämiseksi kuormituspisteeltä toiselle. Yleisesti käytettäväksi siirtoajaksi on vakiintunut 24 tuntia, joka takaa riittävän ajan työn siirtämiseksi tarvittaessa Ata Gearsin eri toimipisteiden välillä. Lisäksi tämä selkeyttää päivän tarkkuudelle tehtävää hienokuormitusta, sillä työn kahta eri työvaihetta ei haluta ajoittaa samalle päivälle. Vaikka siirtoaika on määritetty erikseen jokaiselle kuormitusryhmälle voidaan sitä muuttaa työkohtaisesti jolloin tehtävät muutokset koskevat vain kyseistä työtä ja työvaihetta.

### 5.2.3 Odotusaika

Odotusaika on Ata Gearsille tehty räätälöinti Powerediin, siitä käytetään myös nimitystä jonotusaika. Odotusaika tarkoittaa itse työvaiheen eteen sijoittuvaa aikaa, joka kertoo kuinka kauan kuormitusryhmälle saapuva kappale odottaa itse työvaiheen alkamista. Mitä pidempi odotusaika kuormitusryhmälle on asetettuna, sitä suurempi välivarasto tämän kuormitusryhmän eteen syntyy. Erityisesti pullonkaulavaiheiden pidempien odotusaikojen tarkoituksena on taata kuormitusryhmälle riittävä määrä jonossa olevia töitä. Odotusaika on aina kuormitusryhmäkohtainen, mutta siihen on mahdollista tehdä työkohtaisia muutoksia.

Odotusajan pituudella määritellään kuormitusryhmän suunniteltu työjonon pituus. Tästä syystä odotusaikojen pituuksissa esiintyy suuria eroja eri kuormitusryhmien välillä. Merkittävimpien kuormitusryhmien pidemmällä odotusajoilla halutaan varmistaa koneiden jatkuva kuormitus ja täten maksimoida käytettävəsi oleva kapasiteetti. Pidempiä odotusaikoja käytetään erityisesti seuraavissa työvaiheissa.

#### **Lämpökäsittely**

Erityisesti lämpökäsittelyvaiheen odotusaika on huomattavasti pidempi kuin muilla työvaiheilla. Poiketen muista oman tuotannon työvaiheista lämpökäsittelyn odotusaika sisältää myös itse työvaiheeseen kuluvan ajan. Ajoituksen kannalta lämpökäsittelyn tarvitsema aika muodostuu siis kuormitusryhmän siirto- ja odotusajasta. Kuormituksen seuraamiseksi lämpökäsittelylle muodostuu myös kappalekohtainen vaiheaika, mutta johtuen lämpökäsittelyn toteutustavasta tätä aikaa ei huomioida työn ajoituksessa. Työt saapuvat lämpökäsittelyn työjonoon muita kuormituspisteitä varhaisemmassa vaiheessa ja tästä syntyvästä suuremmasta työjonosta on hyötyä lämpökäsittelyn hiiletyspanoksia suunniteltaessa. Hiiletysyvyuden mukaan muodostettavat lämpökäsittelyuunien panokset kootaan laittamalla saman hiiletysyvyuden vaatimat työt samaan panokseen. Panokset saadaan mahdollisimman täysiksi kun jonossa olevien töiden määrä pidetään tarpeeksi suurena ja näin ollen myös helpotetaan panosten suunnittelua. Tämä toimintatapa nostaa keskeneräisen tuotannon määrää, mutta sillä saadaan nostettua lämpökäsittelyuunien kapasiteettia ja näin ollen lämpökäsittelyn alihankinnan tarve pienenee.

## **Alihankinta**

Alihankinnan odotusajat vaihtelevat tehtävän työvaiheen mukaan, mutta kuitenkin niin että alihankintana tehtäviin työvaiheisiin käytetään aina omaa tuotantoa pidempää odotusaikaa. Keskeisten alihankkijoiden kanssa on sovittuna ajat minkä mukaan kyseisten työvaiheiden kesto määräytyy. Varsinaisen vaiheajan määrittämistä ei tehdä alihankintakuormitusryhmien kohdalla, vaan koko prosessin kesto huomioidaan pidempänä odotusaikana. Esimerkiksi tuotannon alkuvaiheessa tehtävä pehmeäSORVAUS tapahtuu lähes poikkeuksetta alihankintana ja näin ollen tähän työvaiheeseen varattava odotusaika sisältää koko alihankintaprosessiin kuluvan ajan. Myös alihankinnassa tehtävän lämpökäsittelyn kohdalla odotusajan pituus kuvastaa aikaa mikä varataan koko lämpökäsittelyn suorittamiseen alihankinnassa.

## **Hampaan viimeistely**

Hampaan viimeistelyvaihe on tuotannonsuunnittelun kannalta kriittinen pullonkaulavaihe. Hampaan viimeistelyyn käytettävien kuormitusryhmien työjonot halutaan pitää riittävällä tasolla, jotta niitä edeltävien vaiheiden mahdolliset häiriöt eivät aiheuttaisi hampaan viimeistelyssä töiden loppumista. Hampaan viimeistelyn yhteydessä tehdään myös koitos, jossa lautasen ja pinioni sovitetään yhteen. Tästä syystä lautasen ja pinionin on kohdattava hampaan viimeistelyn yhteydessä eivätkä ne voi jatkaa seuraavaan työvaiheeseen ennen kuin molempien kappaleiden hampaan viimeistely ja koitos on suoritettu. Hampaan viimeistelyvaiheen kuormitusryhmissä käytetään hieman muita normaaleja työvaiheita pidempiä odotusaikoja ja näin taataan riittävä puskurivarasto näille tärkeille pullonkaulavaiheille.

### **5.2.4 Odotusajan merkitys ajoituksessa**

Odotusaikojen tarkoituksena on parantaa ajoituksen tarkkuutta ja luoda paremmat edellytykset tuotannon hienokuormituksen muokkaamiseksi. Tuotannon hienokuormitusta tehdessä ja töitä uudelleen ajoitettaessa odotusaika on työvaiheiden välistä ns. pelivaraa, johon voidaan tarpeen mukaan tehdä muutoksia. Kuten aikaisemmin mainittiin yksittäisen työn työvaiheen odotusajat tulevat aina kunkin työvaiheen kuormitusryhmän tiedoista. Työkohtaisesti odotusaikojen muokkaaminen on kuitenkin mahdollista ja odotusaikaa vähentämällä voidaan vähentää kyseisen työn läpimenoaikaa. Näin saatetaan

toimia esimerkiksi kiireellisten töiden tapauksessa, jolloin kyseisen työ priorisoidaan työjonoissa muiden töiden edelle.

Odotusaikojen lyhentäminen useilta töiltä ja näiden töiden ajoitus työjonojen kärkeen saattaa johtaa muun tuotannon myöhästymiseen. Odotusajan lyhentäminen varaa työlle vähemmän aikaa työvaiheiden väliin ja mikäli kuormitusryhmän todellinen jono on asetettua odotusaikaa suurempi, ei työtä ehditä aloittamaan suunnitellussa ajassa. Tällöin kyseinen työ ja kuormitusryhmä ajautuvat jättämään. Turhan pitkien odotusaikojen käyttö sekoittaa myös tuotantosuunnitelmaa. Jos kuormitusryhmän todellinen jono on lyhyempi kuin sille asetettu odotusaika, tarkoittaa se töiden valmistumista suunniteltua aikaisemmin. Täten turhan pitkät odotusajat lisäävät keskeneräisen tuotannon määrää.

Ata Gearsin tuotannossa esiintyvä kuormituksen vaihtelu on huomioitu odotusaikojen pituuksissa. Kuormituksessa esiintyvän vaihtelun vuoksi odotusajat ovat pidettävä riittävän pitkinä, jotta kuormituksen huippukohdassa tuotanto ei ajaudu jättämään. Tärkeimpien kuormitusryhmien riittävän pitkällä odotusajoilla halutaan myös varmistaa niiden korkea käyttöaste varautumalla mahdollisista häiriöistä syntyviin tuotannon vaihteluihin.

Tuotantosuunnitelmaa muokattaessa ja töitä uudelleen ajoitettaessa nykyisen järjestelmän puutteet korostuvat. Töiden uudelleen ajoittaminen tapahtuu yleisesti työlle asetettujen siirto – ja odotusaikojen muutoksilla, jonka jälkeen työ uudelleen ajoitetaan. Ongelmana on, että jokainen työ joudutaan käymään läpi yksitellen jolloin aina työtä uudelleen ajoitettaessa pitää huomioida ettei ajoitus huomio muiden töiden tarpeita. Tämä saattaa johtaa tilanteeseen, jossa kuormitusryhmien työjonoissa työjärjestykset muodostuvat virheellisiksi. Lisäksi tuotannossa liikkeellä olevien töiden määrä on suuri ja tämä hankaloittaa entisestään kaikkien töiden hienosuunnittelun hallintaa.

Kuvassa 5 on esitetty esimerkki Poweredin työn vaiheistuksen välilehdeltä. Töiden mahdolliset siirto- ja odotusaikojen muutokset tapahtuvat kyseisen näkymän kautta. Vaiheiden aikatiedoista voidaan seurata toteutuvatko vaiheet niille suunniteltuina tarvehetkinä. Lisäksi nähdään mikä työvaihe työlle on suoritettu viimeksi, sekä milloin sille suunnitellun seuraavan työvaiheen pitäisi valmistua.

The screenshot shows the PoweredIn software interface for a production order. The main window title is 'Tuotantotilaus - PINIONI'. The menu bar includes 'Tiedosto', 'Muokkaa', 'Siirtyminen', 'Suunnittelu', 'Valmistus', 'Näytä', 'Laatu', 'Toiminnot', and 'Ohje'. The toolbar contains navigation and action icons. Below the toolbar is a table listing production stages (Vnro, Työvaihe, Aloituspvm, Lopetuspvm, Alkuaika, Loppuaika, Pä, Siirtoaika, Jonotusaika, Aikayksikkö, Linkitys, Kok.määrä, Valm.määrä). The row for '300 Karkaisu' is highlighted in blue. Below the table are several control panels: 'Vaihe' with icons for various actions, 'Tunnistietiedot' (Identification) with fields for 'Työvaiheen nro: 300', 'Työvaihe: Karkaisu', and 'Seur.vaihe: 0'; 'Aikatiedot' (Time data) with a table for 'Suunniteltu' and 'Toteutunut' times; and 'Ohjaustiedot' (Control data) with fields for 'Järjestely:', 'Työjono:', 'Jonotusaika: 336 h', 'Siirtoaika: 24 h', 'Limitsy%', 'Hukka%', and 'Asetusmäärä: 0'. The status bar at the bottom reads 'Enter data or press ESC to end.'

Vnro	Työvaihe	Aloituspvm	Lopetuspvm	Alkuaika	Loppuaika	Pä	Siirtoaika	Jonotusaika	Aikayksikkö	Linkitys	Kok.määrä	Valm.määrä
10	Sahaus	28/05/12	29/05/12	17:48	04:25	X	4,	0, h		?	1,	
100	SorvausP	05/06/12	30/05/12	08:25	08:25	X	120,	120, h		?	1,	
190	Ultraus	06/06/12	05/06/12	08:25	08:25	X	0,	0, h		?	1,	
200	HammastusP	06/06/12	05/06/12	08:25	12:25	X	24,	24, h		?	1,	
210	Pupo	06/06/12	06/06/12	12:25	12:25	X	0,	0, h		?	1,	
300	Karkaisu	20/06/12	20/06/12	12:25	13:18	X	24,	336, h		?	1,	
305	Oikaisu	21/06/12	21/06/12	13:18	22:20	X	24,	0, h		?	1,	
320	HiontaOhj	26/06/12	27/06/12	22:20	00:53	X	24,	24, h		?	1,	

Kuva 5. Esimerkki Poweredin työvaihe välilehden näkymästä

Vaikka useita töitä saattaa olla ajoittuneena samanaikaisesti, samaan kuormituspisteesen voidaan kuormitusryhmien kuormitustilannetta silti seurata luotettavasti viikkotasolla. Päiväkohtaisen kuormitustilanteen seuraamista ei ole katsottu tarpeelliseksi tuotantosuunnitelman kannalta, sillä viikkotasolla tapahtuva kuormitustarkastelu antaa tarpeeksi selkeän kuvan kunkin kuormitusryhmän tilasta.

### 5.3 Läpimenoajat

Läpimenoaikojen pituutta selvitettiin toiminnanohjausjärjestelmästä saatavien historia- ja suunnitelmatietojen perusteella. Läpimenoaikoja tutkittiin linjakohtaisesti, sillä linjojen kesken esiintyy merkittävää vaihtelua töiden vaiheiden lukumäärissä sekä vaiheajojen pituuksissa. Jokaisen tuotantolinjan sisällä syntyy myös eroja hammaspyörien hiilettyssyvyyteen sekä lautaspyörän halkaisijaan liittyen, mutta linjakohtaisen tarkastelun katsottiin tuovan riittävän tarkkuuden läpimenoaikojen lähtötilanteesta. Lähtötilanne

läpimenoaikojen suhteen haluttiin selvittää tutkimalla sekä suunniteltuja läpimenoaikoja että tuotannossa toteutuneita läpimenoaikoja.

Suunniteltu läpimenoaika saatiin selvitettyä tutkimalla aika, joka kuluu työn ensimmäisen työvaiheen aloittamisesta viimeisen työvaiheen päättämiseen. Työn ensimmäinen työvaihe on raaka-aineesta riippuen joko aihiolaskenta tai sahaus. Lopuksi jokaiselle työlle suoritetaan lopputarkastus ja se on viimeinen työvaihe töille joita ei luokiteta. Luokitettavien töiden kohdalla viimeisenä työvaiheena suoritetaan luokitus.

Suunniteltujen läpimenoaikojen tarkasteluun valittiin työt jotka suoritetaan kokonaisuudessaan elokuun 2012 ja joulukuun 2012 välisenä aikana. Valittu aikajakso antaa riittävän laajan otannan tuotantotöistä, joiden ajoituksia ei ole muutettu alkuperäisistä suunnitelmista. Vanhojen jo valmistuneiden töiden alkuperäisiä suunniteltuja läpimenoaikoja ei voida tarkastella johtuen töille tapahtuneista uudelleen ajoituksista, jotka ovat korvanneet Poweredissa töiden alkuperäiset ajoitustiedot. Tästä syystä otanta tehtiin töistä, joiden tuotantoa ei vielä ole aloitettu eikä niiden alkuperäisiin vaiheiden ajoituksiin ole tehty muutoksia. Tulokset suunnitelluista linjakohtaisista läpimenoajoista on esitetty liitteessä 1.

Tuotannossa toteutuneita läpimenoaikoja tutkittiin keräämällä tietoja vuonna 2012 viiden ensimmäisen kuukauden aikana valmistuneiden töiden läpimenoajoista. Läpimenoaika saatiin laskemalla aika työn ensimmäisen vaiheen toteutuneesta aloitushetkestä työn viimeisen tarkastusvaiheita edeltävän työvaiheen toteutuneeseen lopetusaikaan. Näin ollen töiden tarkastusvaiheisiin kuluva aika ei lasketa niiden toteutuneiden vaihetietojen perusteella. Sen sijaan työn tarkastusvaiheisiin kuluva ajaksi oletetaan niille suunniteltu aika. Tämä johtuu loppupään vaiheiden ohjaamisesta asiakkaiden todellisten tarpeiden mukaisesti. Näin ollen näiden viimeisten vaiheiden todelliset toteumat vaihtelevat tuotannosta riippumattomista syistä. Todellisuudessa osa töistä läpäisee tarkastusvaiheet suunniteltua nopeammin, mutta osa töistä saattaa odottaa vaiheiden toteutusta suunniteltua pidempään. Tulokset toteutuneista linjakohtaisista läpimenoajoista on esitetty liitteessä 1.

Saatuja suunniteltujen ja toteutuneiden läpimenoaikojen tuloksia voidaan pitää keskenään vertailukelpoisina, vaikkakin toteutuneiden töiden läpimenoaikaa ei voitu uudelleenajoituksista johtuen verrata näille alkuperäisesti suunniteltuihin aikoihin. Linjakoh-



taisesti töiden nimikkeet ja vaiheketjut pysyvät riittävän stabiileina vertailtaessa kahta käytettyä ajanjaksoa ja näin tulosten voidaan katsoa olevan vertailukelpoisia.

Toteutuneita ja suunniteltuja läpimenoaikoja on verrattu keskenään liitteessä 2. Tuloksista nähdään 700–1200-, ja 1100–2000-linjojen osalta suunniteltujen läpimenoaikojen toteutuvan hyvällä tarkkuudella. Erinäisistä syistä johtuen 500–800-linjan sekä läppäyslinjan töiden toteutuneiden läpimenoaikojen todetaan olevan hieman suunniteltuja läpimenoaikoja pidempiä.

## 6 JOUSTAVAT LÄPIMENOAJAT

Joustavilla läpimenoajoilla on tarkoitus saada tarpeen mukaan tietty osa töistä valmistettua lyhyemmällä läpimenoajalla ja tasapainottaa tuotannon työjonoja töillä, joihin voitaisiin soveltaa pidempää läpimenoaika. Käytännössä tämä tarkoittaa lyhyemmän läpimenoajan töiden odotusaikojen lyhentämistä ja niiden tarpeenmukaista priorisointia työjonoissa muun tuotannon edelle. Vastaavasti normaalia pidemmän läpimenoajan töiden odotusaikoja pidennettäisiin, jotta tärkeimpien kuormitusryhmien puskurivarastot saadaan pidettyä riittävän suurina. Edellytyksenä pidemmän läpimenoajan käyttämiselle on työn valmistuksen aloittaminen normaalia aikaisemmin, sillä töiden valmistamisajankohtaa ei tietenkään haluta siirtää myöhemmäksi.

Tuotannon läpimenoajan lisäksi kokonaisläpimenoaikaan tarvitsee huomioida suunniteluun sekä raaka-aine hankintaan kuluva aika. Näistä raaka-aineen hankintaan kuluva aika voidaan katsoa olevan kestoaltaan pidempi ja näin ollen määräävässä asemassa läpimenoajan kannalta. Raaka-aineiden toimitusajoihin vaikuttavat tarvittavan raaka-aineen tyyppi, koko sekä eri toimittajien väliset erot toimitusajoissa.

Joustavista läpimenoajoista saatavien hyötyjen selvittäminen aloitettiin tutkimalla kuinka paljon läpimenoaika voitaisiin vähentää pienentämällä työvaiheiden välisiä odotusaikoja. Tämä tapahtuu työvaiheiden odotusaikoja vähentämällä tai jopa koko odotusaika poistamalla. On kuitenkin huomioitava ettei kaikkien työvaiheiden odotusaikoja ole syytä vähentää. Esimerkiksi lämpökäsittelyn odotusaika on syytä pitää ennallaan nykytila-analyysissä todetusta työvaiheen toteutustavasta johtuen.

Kuten nykytila-analyysissä todettiin, töiden siirtoajat ovat vakiintuneet vuorokauden mittaisiksi ja näin ollen töiden siirtäminen pystytään toteuttamaan suunnitellussa ajassa myös yrityksen toimipisteiden välillä. Siirtoaikojen pituuksiin ei suunnitella muutoksia, joskin edelleen työkohtainen siirtoajan muokkaaminen tulee olemaan mahdollista. Siirtoaikoja voitaisiin tietyissä tapauksissa lyhentää, mutta sitä ei katsottu tarpeelliseksi joustavia läpimenoaikoja suunniteltaessa. Tätä päätöstä tukee myös päivän tarkkuudella tehtävä hienokuormituksen suunnittelu (Reuna 2012).

## 6.1 Läpimenoaikojen lyhentäminen

Tämän työn osalta pääasiallisena keinona läpimenoaikojen lyhentämiseen tutkitaan töiden odotusaikojen mahdollisia vähennyksiä. Töiden läpimenoaikaa on mahdollista lyhentää merkittävästi vähentämällä töiden välivarastointia työvaiheiden välillä. Ata Gearsin tuotannon työvaiheiden välinen aika muodostaa erittäin suuren osan tuotteen läpimenoajasta. Joten työvaiheiden välisten odotusaikojen vähennyksillä pystytään vaikuttamaan merkittävästi tuotteiden läpimenoaikaan.

Merkittävänä keinona läpimenoaikojen lyhentämiseen käytettyä eräkokojen pienentämistä ei lähdetty selvittämään tämän opinnäytetyön osalta, sillä yrityksen tuotanto on jo valmiiksi yksittäis- tai piensarjatuotantoa. Tästä johtuen eräkokojen muutoksista saatavien läpimenoaika hyötyjen oletetaan olevan kokonaisuudessaan melko pieniä. Nykyisellään työ siirtyy seuraavaan työvaiheeseen vasta kun kaikki samaan tuotantotilaukseen kuuluvat kappaleet ovat valmistuneet sitä edeltävästä työvaiheesta. Joidenkin töiden kohdalla kuitenkin voitaisiin saavuttaa nopeampi läpimenoaika siirtämällä työvaiheesta jo valmistuneet kappaleet seuraavaan työvaiheeseen. Tämä korostuu työvaiheissa joiden kappalekohtaiset koneajat saattavat olla pituudeltaan jopa kymmeniä tunteja. Eräkokojen pienentämiseen liittyvien hyötyjen ja haittojen selvittäminen voidaan katsoa olevan mahdollinen jatkotoimenpide.

Odotusaikoja lyhentämällä saavutettavaa lyhyempää läpimenoaikaa testattiin Poweredin testikannassa tehdyillä muutoksilla. Testikannassa pystyttiin käsittelemään todellisia tuotantotilauksia, joiden ajoituksia pystyttiin muokkaamaan halutulla tavalla. Odotusaikojen pituuksia muokattiin alkuperäisistä suunnitelluista ajoista ja työt ajoitettiin tämän jälkeen uudestaan. Näin saatiin määritettyä mikä on linjakohtainen lyhyin läpimenoaika karsimalla töiden odotusaikoja. Lyhyellä läpimenoajalla valmistettavien töiden odotusajat olisivat siis mahdollisimman lyhyet joka mahdollistaa niiden nopeamman toimittamisen asiakkaalle. Tarkastelu tehtiin linjakohtaisesti ja saatuja tuloksia voidaan pitää kunkin tuotantolinjan mahdollisena lyhyenä läpimenoaikana. Tarkastelun tulokset on esitetty liitteessä 3.

Liitteessä 3 esitetyistä tuloksista voidaan nähdä millaisia linjakohtaisia muutoksia odotusaikoja vähentämällä pystyttäisiin saavuttamaan. Näiden tulosten perusteella töiden

tuotannon läpimenoaikaa pystyttäisiin vähentämään linjakohtaisesti alla olevan taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2: Läpimenoajan suhteellinen lyhennys

Tuotantolinja	Läpimenoajan lyhennys
500–800	20 %
700–1200	28 %
1100–2000	25 %
Läppäyslinja	15 %
<b>Keskiarvo</b>	<b>22 %</b>

Suurin etu saavutettaisiin 700–1200- sekä 1100–2000-linjoilla, joiden työt läpikäyvät yleensä muita linjoja pidemmän vaiheketjun.

Odotusajat toimivat myös eräänlaisena tuotannosuunnittelun pelivarana ja näin ollen tarvittaessa odotusaikoja muokkaamalla pystytään hienosäätämään tuotantosuunnitelmaa. Kuten aikaisemmin luvussa 5.2 todettiin, odotusaikojen vähentäminen pienentää tuotannon hienosuunnittelun pelivaraa sekä pienentää kuormitusryhmien jonojen pituuksia. Pitkässä ja monivaiheisessa tuotantoketjussa nämä asiat on otettava huomioon tuotantosuunnitelmaa laadittaessa erityisesti pullonkaulavaiheiden osalta, jotta käytettävissä oleva kapasiteetti päästään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

## 6.2 Normaalista pidempi läpimenoaika

Vastapainoksi lyhyemmällä läpimenoajoilla valmistettaville töille on tarkoituksena tasapainottaa tuotannon vaihtelevaa kuormitusta normaalia pidemmän läpimenoajan töillä. Käytännössä tämä tarkoittaisi töiden tuotannon aloittamista normaalia aikaisemmin sekä töiden vaiheiden välisten odotusaikojen lisäämistä. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää töitä, joiden toimitusaika on normaalia kokonaisläpimenoaikaa pidempi. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi osa meriteollisuuden toistuvista nimikkeistä.

Kokonaisläpimenoaika koostuu normaalisti raaka-aine hankinnan, suunnittelun sekä tuotannon vaatimasta läpimenoajasta. Tuotannon suunniteltuja läpimenoaikoja tutkittiin kappaleessa 5.3 ja niistä saadut tulokset ovat esitettynä liitteessä 1. Työn suunnitteluun ei tarvitse erikseen varata aikaa, sillä sen oletetaan olevan kestoltaan raaka-aineen han-

kintaan kuluva aikaa lyhyempi. Näin ollen kokonaisläpimenoajan voidaan katsoa koostuvan ainoastaan tuotannon läpimenoajasta sekä raaka-aine hankintoihin kuluva ajasta. Poikkeuksen tähän toimintatapaan muodostavat työt joiden valmistukseen käytettävää raaka-ainetta on saatavilla suoraan varastosta. Tällaisten tapausten kohdalla on erikseen huomioitava työn suunnitteluun kuluva aika, erityisesti uusien nimikkeiden tapauksessa.

Läpimenoaikojen lyhentämistä tutkittiin kappaleessa 6.1 jossa esitettiin odotusaikoja vähentämällä saatavat hyödyt läpimenoaikoihin. Saatujen tulosten perusteella läpimenoaikoja voitaisiin lyhentää keskimäärin noin 22 prosentilla vähentämällä töiden odotusaikoja. Tällä tavalla kuormituspisteiden puskurivarastojen kokoa pienennetään ja näin keskeneräisen tuotannon määrää saadaan pienennettyä. Yrityksen vaihtelevasta tuotannon kuormituksesta sekä halusta ylläpitää tuotantokapasiteetin korkeaa käyttöastetta, koetaan tarpeelliseksi valmistaa osa töitä normaalia pidemmällä läpimenoajalla. Näiden töiden tarkoituksena on tasapainottaa tuotannon kuormitusvaihtelua sekä erityisesti välttää tuotantokapasiteetin käyttöasteen laskulta. Pullonkaulavaiheiden sekä joidenkin muiden tärkeimpien työvaiheiden kohdalla pidemmällä läpimenoajalla valmistettavien kappaleiden odotusaikojen pituudet tullaan joko pitämään ennallaan tai niitä jopa tullaan pidentämään. Työn odotusaikoja pidennettäessä on huomioitava niiden kasvattavan myös keskeneräisen tuotannon määrää. Lisäksi odotusaikojen pidennyksen johdosta työn valmistus tarvitsee aloittaa normaalia aikaisemmin, jolloin myös tarvittavat raaka-aineet ovat oltava saatavilla normaalia aikaisemmin.

Johtuen eri tuotantolinjojen vaatimista läpimenoajoista, jokaiselle linjalle muodostuu niiden oma vähimmäistoimitusaika. Jotta voitiin selvittää kuinka suureen osaan töistä pidempiä läpimenoaikoja voitaisiin soveltaa, tarvitsi saada selville kuinka paljon on avoimia töitä, joiden sovittu toimitusaika on selkeästi normaalia kokonaisläpimenoaikkaa pidempi. Normaalia pidemmän toimitusajan töiden määrää on tutkittu liitteessä 4.

### **6.3 Tuotannosuunnittelun uusi työkalu**

Tätä työtä tehdessä yrityksessä valmistauduttiin käyttöönottamaan uusi tuotannosuunnitteluohjelmisto, SW-Developmentin toimittama PES (Planning Efficiency System). Uusi ohjelma mahdollistaa entistä tehokkaamman tuotannonohjauksen sekä sen avulla

joustavien läpimenoaikojen toteuttaminen tulee mahdolliseksi. Nykyinen toiminnanohjausjärjestelmällä toteutettava töiden ajoitus suoritetaan työ kerrallaan, mutta uudella järjestelmällä pystytään käsittelemään ja ajoittamaan tarvittaessa jopa koko tuotanto samanaikaisesti.

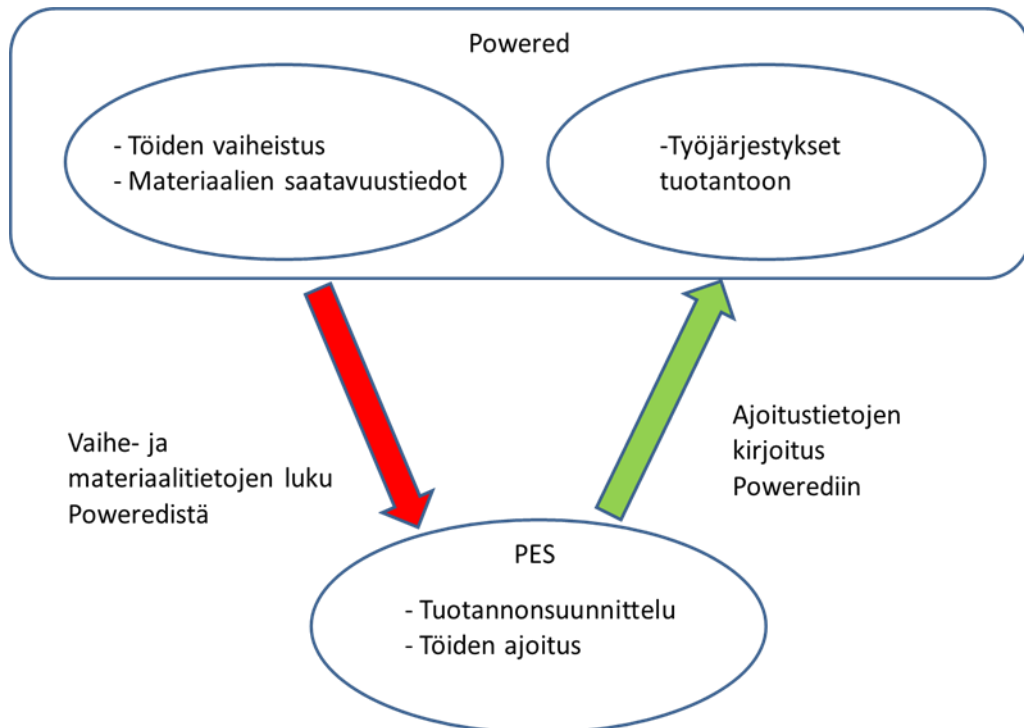
Nykytila-analyysin kappaleessa 5.2.4 esiintuotujen nykyisen järjestelmän heikkouksien johdosta joustavien läpimenoaikojen toteuttaminen nykyisellä toiminnanohjausjärjestelmässä tehtävällä tuotannosuunnittelulla ei olisi mahdollista. Uudella tuotannosuunniteluun tarpeisiin räätälöidyllä ohjelmistolla pystytään hallitsemaan nykyistä paremmin käytössä olevia resursseja asiakastarpeiden mukaisesti. Uusi ohjelmisto ajoittaa työt rajalliseen kapasiteettiin, jolloin työt eivät voi ajoittua tehtäväksi samanaikaisesti samassa kuormituspisteessä. Näin töiden ajoituksella saadaan entistä parempi kuva tuotannon todellisesta kuormituksesta töiden ajoituksen huomioidessa myös muut tuotannossa olevat työt. PES mahdollistaa myös töiden automaattiajoituksen, jolla koko tuotantokanta voidaan ajoittaa samanaikaisesti mikä helpottaa todenmukaisen tuotannosuunnitelman ylläpitämistä.

Uudentyyppisen töiden ajoittamisen ansiosta työt ajoittuvat aina tehtäviksi oikeassa tärkeysjärjestyksessä. Töiden ajoituksessa huomioidaan työlle asetetut tarpeet, eli milloin tuotteen on oltava valmis sekä aikaisin hetki, jolloin tuotetta voidaan ruveta valmistamaan, eli milloin työhön tarvittavat raaka-aineet ovat saatavilla. Töiden työjärjestys määräytyy tarvittavan valmistuspäivämäärän mukaisesti siten, että työ jonka tarvehetki on lähimpänä nykyhetkeä priorisoituu tehtäväksi ensimmäisenä. Näin toimimalla työt saadaan tehtyä oikeassa järjestyksessä niiden asiakastarpeen mukaisesti.

Toisin kuin Poweredin rajattomaan kapasiteettiin ajoittaminen, PESin käyttämä rajalliseen kapasiteettiin ajoittaminen huomioi kuormitusryhmien rajallisen kapasiteetin ja näin ollen työt ajoittuvat käytössä olevan kapasiteetin mukaisesti. Vanhan järjestelmän mukainen samaan tarvehetkeen ajoittuminen jää pois ja jokainen työ varaa ajoituksen mukaisesti tarvitsemansa ajan kultakin kuormitusryhmältä.

Töiden vaiheistus ja alkuperäinen ajoitus tapahtuvat edelleen toiminnanohjausjärjestelmässä. Tuotannosuunnittelussa töiden tiedot luetaan Poweredista uuteen PES järjestelmään jossa työt ajoitetaan uudelleen kulloisenkin tuotantotilanteen ja työn tarvehetken mukaisesti. Tärkeimpinä tietoina ajoituksessa käytetään työn haluttua valmistuspäivämäärää sekä työn vaihetietoja. Tämän jälkeen uudet ajoitustiedot kirjoitetaan ta-

kaisin Powerediin, jossa töiden ajoituksista muodostuu kulloinkin toteutettava tuotanto-suunnitelma. Poweredin ja PES-ohjelmiston välistä tiedonkulkua on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Havainnekuva Powered - PES tiedonkulusta

Tilausten suuri määrä, toimitusaikatoiveiden vaihtelevuus sekä tuotantokannan ennustettavuuden heikkous lisäävät tarvetta tuotantosuunnitelman jatkuvalla päivitettävyydellä. Uusi ohjelmisto helpottaa tarvittaviin muutoksiin reagointia ja sen avulla pystytään ohjaamaan tuotantoa asiakkaiden kulloistenkin tarpeiden mukaisesti.

## 7 TYÖN TULOKSET

Joustavien läpimenoaikojen tarkoituksena on parantaa yrityksen palvelukykyä vastamalla entistä paremmin asiakkaiden nykypäivän toimitusaika tarpeisiin. Joustavilla läpimenoajoilla osa tuotteista saadaan valmistettua noin neljänneksen nykyistä lyhyemmällä tuotannon läpimenoajalla. Tämä nopeampi läpimenoaika näkyy suoraan asiakkaalle lyhentyneen toimitusajan muodossa ja tämä omalta osaltaan parantaa yrityksen kykyä toimittaa tuotteita asiakkaiden tarpeiden mukaisesti myös tulevaisuudessa.

Yrityksen monivaiheisen ja pitkän tuotantoketjun kuormitusten tasapainottamiseksi esitetyt pidemmän läpimenoajan työt nostavat osaltaan keskeneräisen tuotannon määrää ja saattavat aiheuttaa ongelmia varastokapasiteetin riittävyyden osalta. Tästä johtuen pidemmän läpimenoajan töiden osuus tarvitsee tasapainottaa oikeaan suhteeseen lyhyen läpimenoajan töiden kanssa. Näin välttyään sekä keskeneräisen tuotannon määrän kasvulta että keskimääräisen läpimenoajan pidentymiseltä.

Uusia läpimenoaikoja käyttöönotettaessa on huomioitava lyhyen läpimenoajan mukanaan tuomat pienemmät pelivarat ja täten esimerkiksi suunniteltujen työjärjestysten toteutumista tulisi seurata nykyistä tarkemmin. Tuotannossa tapahtuva työjonojen muokkaaminen saattaa johtaa ongelmiin erityisesti niiden töiden osalta, joiden odotusajat ovat suunniteltu mahdollisimman pieniksi. Tällaisten töiden riski ajautua jättämään kasvaa ja johtuen näille töille suunnitelluista pienistä pelivaroista on jättämän kiinni saaminen normaalia haastavampaa.

Esitettyjen läpimenoaika ratkaisujen toteuttamista oli tarkoitus testata uuden tuotannon-suunnitteluohjelmiston avulla tämän opinnäytetyön tekovaiheessa. Johtuen erinäisistä aikataulumuutoksista suunniteltuja testejä ei ollut mahdollista toteuttaa ennen tämän opinnäytetyön valmistumista. Tästä syystä tämän työn tulokset jäävät liitteissä esitettyjen lukujen sekä pohdintojen varaan.

### 7.1 Saavutettavat hyödyt

Joustavien läpimenoaikojen tärkeimpänä tavoitteena on parantaa yrityksen palvelukykyä toimittamalla tuotteita kulloistenkin asiakastarpeiden mukaisilla toimitusajoilla.



Mahdollistamalla töiden nopeamman läpimenoajan pystytään tuotteita toimittamaan asiakkaiden lyhentyvien toimitusaika tarpeiden mukaisesti sekä nyt että tulevaisuudessa. Tuotannon vaihtelevaa kuormitusta pyritään tasaamaan pidemmän läpimenoajan töillä, joilla pyritään pitämään tuotantokapasiteetin käyttöaste mahdollisimman korkeana.

Vastaamalla entistä paremmin asiakkaiden nopeisiin toimitusaika vaatimuksiin parannetaan yrityksen kilpailukykyä ja ylläpidetään asiakaslähtöisen toiminnan perusperiaatteita. Töiden odotusaikojen vähentäminen lisää tarvetta toiminnan laadun parantamiselle, jolloin tuotannon ongelmakohtiin on kehitettävä toimivat ja pysyvät ratkaisut sekä pyrittävä kehittämään toimintaa jatkuvan parantamisen ideologian mukaisesti.

## **7.2 Huomioitavat uhat ja haitat**

Odotusaikojen lyhennettäessä työjonojen tarkka noudattaminen korostuu, erityisesti lyhyen läpimenoajan töiden pienempien pelivarojen vuoksi. Toteutuskelpoisen tuotantosunnitelman tärkeys sekä tuotannon itseohjautuvuuden merkitys korostuvat mitä enemmän tuotannon pelivaroja halutaan pienentää. Hyvän toimitusvarmuuden ylläpitämiseksi on tarkasteltava koko tuotantoketjun soveltuvuutta lyhyempien läpimenoaikojen käyttämiseen. Töiden valmistuksen suunnittelu epärealistisen lyhyillä läpimenoajoilla johtaa yrityksen toimitusvarmuuden laskuun ja sekaannukseen tuotannossa. On parempi toteuttaa muutos hallitusti useammassa pienemmässä osassa, jotta sekä läpimenoajan lyhentämisen että toimitusvarmuuden parantamisen tavoitteet toteutuvat.

Lyhyen läpimenoajan työt laskevat osaltaan keskeneräisen tuotannon määrää ja vastaavasti pidemmän läpimenoajan töillä on käänteinen vaikutusta keskeneräiseen tuotantoon. Pidemmän läpimenoajan töitä ei ole tarkoituksenmukaista valmistaa kuin ainoastaan tasapainottamaan tuotannon vaihtelevaa kuormitusta. Niiden turhan aikainen valmistuksen aloittaminen sitoo pääomaa sekä saattaa synnyttää ongelmia kappaleiden varastoinnin kannalta.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli tutkia asiakastarpeiden mukaan joustavien läpimenoaikojen toteuttamista ja niillä saavutettavia hyötyjä. Työssä tarkasteltiin millä tavalla töiden läpimenoaikaa olisi mahdollista lyhentää häiritsemättä monivaiheisen ja pitkän tuotantoketjun sujuvuutta. Tavoitteena oli myös säilyttää erityisesti tärkeimpien kuormitusryhmien korkea käyttöaste tasapainottamalla kuormituksen vaihteluja pidemmän läpimenoajan töillä.

Työssä esitettyjä odotusaikojen lyhentämistä ja sitä kautta saavutettavaa läpimenoajan nopeutumista voidaan pitää merkittävänä keinona tuotteiden lyhyemmän toimitusajan saavuttamiseksi. Uuden tuotannosuunnitteluohjelmiston käyttöönoton viivästyisestä johtuen haluttuja läpimenoaikamallien testauksia ei ollut mahdollista toteuttaa ennen tämän opinnäytetyön valmistumista. Tuotannon vaihtelevan kuormituksen tasaaminen paremman suunnittelun ja laadukkaamman toteutuksen kautta loisi mahdollisuuden yhä lyhyempien odotusaikojen käyttämiselle. Täten työssä esitettyjen pidemmän läpimenoajan töiden määrää voitaisiin vähentää, jolloin keskeneräisen tuotannon määrää sekä keskimääräinen läpimenoaika pienenisivät.

Työlle asetettujen tavoitteiden voidaan todeta toteutuneen joustavien läpimenoaikojen toteutustavan osalta. Työssä määriteltiin millaiset läpimenoajan lyhennykset olisivat mahdollisia ja kuinka suuria hyötyjä näillä muutoksilla olisi saavutettavissa. Esitettyjä läpimenoaikamalleja ei aikataulumuutoksista johtuen päästy lainkaan testaamaan ja tästä syystä esitettyjen ratkaisujen toteuttaminen ei myöskään ollut mahdollista ennen tämän työn valmistumista.

### 8.1 Jatkokehitysmahdollisuudet

Opinnäytetyötä tehdessä ilmeni useita kehittämismahdollisuuksia joiden toteutusta ja tarvetta voitaisiin tutkia uuden tuotannosuunnitteluohjelmiston käyttöönoton jälkeen. Mahdollisia kehityskohteita ovat muun muassa:

### **Raaka-aine varaston kasvattaminen**

Raaka-aineiden toimitusajan osuus on merkittävässä roolissa tuotteen kokonaisläpimenoajan muodostuksessa. Raaka-aine varaston kokoa kasvattamalla olisi mahdollista pienentää raaka-aineiden toimitusajan osuutta tuotteen kokonaisläpimenoajasta, mutta varaston koon kasvattaminen toki lisää siihen sitoutuneen pääoman määrää. Raaka-aineiden varastoon ostamista hankaloittaa erityisesti tilausten vaikea ennustettavuus sekä käytettävien raaka-aineiden laaja skaala.

### **Vaiheajojen tarkempi määrittäminen**

Yhtenä jatkokehityskohteena on tutkia nykyisin käytössä olevien suunniteltujen vaiheajojen toteutumista tuotannossa, sekä tehdä suunniteltuihin aikoihin tarvittavia korjauksia. Tarkempien vaiheaikatietojen perusteella tuotantosuunnitelmasta pystytään tekemään entistä realistisempi. On myös syytä arvioida toiminnanohjausjärjestelmään kirjattavien vaiheajojen kirjauskäytäntöjä sekä vaiheaika kirjausten tarkkuutta.

### **Myynnin ohjaaminen todellisen kuormituksen perusteella**

Mahdollisuus kehittää työkalu myynnin ohjaamiseen tuotannon todellisen kuormitustilanteen mukaisesti. Yksinkertainen sekä helposti ylläpidettävissä oleva työkalu joka soveltuisi nykyistä paremmin sekä myynnin että tuotannon tarpeisiin. Tavoitteena olisi eri asiakastarpeiden parempi huomioiminen sekä käytössä olevan kapasiteetin tasaisempi kuormitus.

## LÄHTEET

Ata Gears Oy. 2012. Yritysesittely materiaalit.

Chhajer, D. & Lowe, T. 2008. Building Intuition: Insights from Basic Operations Management Models and Principles. USA: Springer.

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

Ilkka Kouri, Kare Huttunen 2012. Kilpailukykyinen tuotannonohjaus menestyksen perustana. Ratekoulutus 31.5-1.6.2012. Helsinki.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Miettinen, P. 1993. Tuotannonohjaus ja logistiikka. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Reuna, V. 2011. Tuotannonsuunnittelun kehittäminen konepajayrityksessä. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Reuna, V. kehitysinsinööri, Ata Gears Oy. 2012. Haastattelu 12.7.2012

Sule, D. 2008. Production Planning and Industrial Scheduling: Examples, Case Studies and Applications. Second Edition. USA: CRC Press.

Wallace, T. & Stahl, R. 2003. Master Scheduling in the 21st Century. USA: T. F. Wallace & Company.

## **LIITTEET**

- Liite 1. Läpimenoajat tuotantolinjoittain
- Liite 2. Suunniteltujen läpimenoaikojen toteutuminen
- Liite 3. Lyhennetyt läpimenoajat linjoittain
- Liite 4. Työt pidemmällä läpimenoajalla

Liikesalaisuuksien suojelemiseksi liitteet on jätetty julkaisematta.