



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VALTTERI LUOMA
TUOTANTOSOLUN KAPASITEETIN ENNUSTAMINEN KULUNEI-
DEN VIIKKOJEN TOTEUMIEN PERUSTEELLA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Seppo Valkealahti
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 3. helmikuuta 2016

TIIVISTELMÄ

Valtteri Luoma: Tuotantosolun kapasiteetin ennustaminen kuluneiden viikkojen toteumien perusteella.

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 63 sivua, 2 liitesivua

Toukokuu 2016

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: Professori Seppo Valkealahti

Avainsanat: kapasiteetti, tuotantosolu, tuotannonohjaus, malli

Tämän diplomityön tavoitteena oli määrittää yhteinen tapa kahden eri tuotantosolun kapasiteetin arvioimiseen kolmen viikon päähän. Ongelmana aikaisemmin käytetyissä määritelmässä oli se, että eri tuotantosoluissa käytettiin erilaisia mittaustapoja. Tuotantosolujen kapasiteettien määrittäminen eri menetelmillä johti siihen, että tuotannonohjaus oli ajoittain hyvinkin haastavaa. Uuden yhtenäisen mallin yhtenä merkitsevänä kriteerinä oli ajankäytön optimointi. Tästä johtuen valittavan uuden mallin käyttämä tietokanta pyrittiin pitämään myös pienenä. Tarkasteltavien tuotantosolujen kapasiteettia tarkasteltiin uudessa ja vanhassa mallissa työtunneissa per viikko. Tarkasteltavat tuotantosolut olivat oma tuotanto sekä alihankintasolu.

Kummassakin tuotantosolussa koeajettiin hieman erilaista mallia, sillä haluttiin tarkastella näiden uusien mallien eroja käytännössä. Alihankinnassa käytettiin mallia, jossa kerättiin tietoa valmistuneesta- ja keskeneräisestä tuotannosta. Omassa tuotantosolussa kerättiin tietoa ainoastaan valmistuneesta tuotannosta. Kummastakin tuotantosolusta laskettiin jokaiselle viikolle työntekotahdin kanssa suoraan korreloivat tehokkuuskertoimet, jotka määritettiin valmistuneen työn suhteesta kokonaistyöaikaan. Toteutuneista tehokkuuskertoimista laskettiin omassa tuotannossa eri viikko-otantamäärien mukaan keskiarvo ja alihankinnassa painotettu keskiarvo. Näin saaduista ennustetuista tehokkuuskertoimista pystyttiin ennustamaan kapasiteetti kolmen viikon päähän arvioitujen kokonaistyöaikojen kanssa.

Työn tuloksien perusteella päädyttiin lopulta malliin, jossa kapasiteetti määritettiin neljän edeltävän viikon painotetulla keskiarvolla. Kyseinen menetelmä vaatii tuotantosolulta tiedot myös keskeneräisestä tuotannosta. Keskeneräisen tuotannon raportoinnista huomattiin olevan hyötyä myös töiden edistymisen seuraamisessa.

ABSTRACT

Valtteri Luoma: Forecasting the capacity of a production cell using the realization of the recent weeks.

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 63 pages, 2 Appendix pages

May 2016

Master's Degree Programme in electrics engineering

Major: Power systems and market

Examiner: Professor Seppo Valkealahti

Keywords: capacity, production cell, production planning, model

The main focus in this thesis was to determine a single model for different production cells to estimate production capacity for 3 weeks ahead. The models observed in this thesis were divided between a subcontractor cell and the own production cell. The main issue was that the production cells had different approaches determining the capacity which made the production planning quite challenging. One of the main criteria finding the most effective way to estimate the capacity was to optimize the use of time. Therefore the collected data had to be easy to determine and also the data storage had to be minimized. The capacity was to be determined in working hours per week.

Both production cells were tested with a different models because it was essential to observe the differences between them. In one cell the model was a bit more sophisticated than with the other, and it was meant to appoint if the added requirement of time consumed in data collection would be worth of the more specific data. In subcontractor cell the data was collected from both manufactured- and unfinished works when in own production cell only the manufactured works were included in the report of made work per week. From both cells it was essential to calculate the efficiency factor that was determined as the relation between made work and total working hours available in a specific time period. From these calculated efficiency factors it was possible to estimate the capacity after 3 weeks when one knew the total working hours to that time period. In own production cell the efficiency factor was determined as an average between last 3, 4 and 5 weeks and in subcontracting cell those averages were manipulated with altering importance-factors depending on how recent the weeks were.

The conclusion was that the best model to estimate the capacity was the one using 4 weeks with a manipulated importance-factors. The model used unfinished works as a part of the report of produced works and it was found to be important in other aspects as well.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Konecranes Finland Oy Hämeenlinnan toimeksiannosta. Työskentelelin yhtiössä alihankintainsinöörinä noin 1,5 vuotta. Työn ohjaajana on toiminut Hanna-Leena Islander Konecranes Oyj:stä ja tarkastajana professori Seppo Valkealahti Tampereen teknillisestä yliopistosta.

Kiitän Hanna-Leena Islanderia kaikesta tuesta ja ymmärryksestä mitä häneltä tämän projektin aikana olen saanut sekä hyödyllisistä keskusteluista, joiden pohjalta tämä työ rakentui. Haluan kiittää myös Seppo Valkealahtea erittäin hyvistä korjausehdotuksista sekä tuesta tämän matkan varrella. Kiitoksen ansaitsevat tietenkin myös kaikki muut minua tässä työssä auttaneet henkilöt.

Haluan kiittää vanhempiani Heli ja Rauno Luomaa kaikesta henkisestä ja taloudellisesta tuesta, mitä olen heiltä koko opintojeni aikana saanut. Lisäksi kiitän läheisiä ystäviäni avusta ja tuesta mitä olen heiltä saanut niin tässä työssä, kuin opinnoissanikin. Erityiskiitokset haluan osoittaa isälleni Rauno Luomalle sekä tärkeälle ystävälleni Annamari Toloselle, jotka jaksoivat kannustaa, auttaa ja tukea minua poikkeuksetta tämän työn laatimisessa.

Tampereella, 19.5.2016

Valtteri Luoma

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	VALMISTETTAVAT SÄHKÖKOJEISTOT	3
2.1	Sillan kaappi	3
2.2	Nostimen sähkötaulu	6
2.3	Virransyöttö	7
2.4	Painikeohjain	9
3.	TUOTANNON SUUNNITTELU	10
3.1	Kapasiteetti	10
3.1.1	Suunniteltu kapasiteetti	12
3.1.2	Toteutunut kapasiteetti	13
3.1.3	Maksimikapasiteetti	13
3.1.4	Kapasiteettiin vaikuttavat tekijät	14
3.2	Rakenneajat	16
3.3	Keskeneräinen tuotanto	17
4.	TUOTANTOKAPASITEETIN ENNUSTAMINEN AIKAISEMMIN	20
4.1	Oma tuotanto	20
4.2	Alihankkija	21
5.	TUOTANTOKAPASITEETIN ENNUSTAMINEN VIIKKOTOTEUMISTA	24
5.1	Ennustusmalli	24
5.2	Tehokkuuskertoimen ennustaminen	25
5.2.1	Viiden edellisen viikon ennustusmalli	25
5.2.2	Neljän edellisen viikon ennustusmalli	27
5.2.3	Kolmen edellisen viikon ennustusmalli	28
5.3	Tavoiteltavat hyödyt	29
5.3.1	Tehokkuuden mittari	30
5.3.2	Solun täyttöaste	30
5.4	Kapasiteetin arvioiminen kappalekohtaisesti	31
6.	TUOTANTOKAPASITEETIN ENNUSTUSMALLIEN TESTAAMINEN	33
6.1	Tarvittavat tiedot tuotantosoluista	33
6.2	Oma tuotanto	35
6.3	Alihankintasolu	36
7.	TULOKSET	37
7.1	Oma tuotanto	37
7.1.1	Tehokkuuskerroin	39
7.1.2	Kapasiteetti	47
7.2	Alihankintasolu	50
7.2.1	Tehokkuuskerroin	52
7.2.2	Kapasiteetti	53
7.3	Tulosten vertailu	55

8. YHTEENVETO	60
LÄHTEET	62

LIITE A: Tuotantosolusta tarvittavat tiedot kapasiteetin määrittämiseen

LIITE B: Valmistumisvaiheiden määrittämiseen käytettävä taulukko

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ETO	Engineer to order, valmistettavat työt suunnitellaan asiakkaan ostotilauksen perusteella.
KET	Keskeneräinen tuotanto, työt määritellään keskeneräiseen tuotantoon, kun se on aloitettu, mutta ei vielä valmistunut.
E	Tehokkuuskerroin, lasketaan valmistuneen työn ja toteutuneen kokonaistuntimäärän suhteesta
F	Työkuorma
H	Työntekijämäärä
h_{tot}	Kaikkien työntekijöiden yhteenlaskettu kokonaistuntimäärä yhdeltä viikolta
h_{vk}	Yksittäisen työntekijän työtuntimäärä yhdeltä viikolta
K	Kapasiteetti
R_{kok}	Rakennaikojen yhteenlaskettu tuntimäärä
r	Rakennaika, yksittäiselle työlle määritelty valmistusaika tuotannossa.
T	Täyttöaste, määritellään tuotantosolun työkuorman ja kapasiteetin suhteesta

1. JOHDANTO

Konecranes Finland Oyj:n toimeksianto työlle oli pyrkiä löytämään yhtenäinen tapa arvioida kapasiteettia eri sähkökojeistoja tuottavien tuotantosolujen kesken. Ratkaistavana ongelmana oli siis tutkia, onko eri tuotantosolujen kapasiteettia mahdollista arvioida yhdellä ainoalla mallilla, jossa niin ajankäyttö kuin käyttäjäystävällisyys olisivat optimoituja. Ongelmana oli, että jokaisen tuotantosolun kapasiteettia arvioitiin hieman eri tavalla, eikä niitä ollut täten helppoa vertailla keskenään. Vertailu toisi mukanaan helpotusta kuorman tasaamiseen, eli sen jakamiseen eri tuotantosolujen kesken, sekä mahdollisten yli- tai alikuormitustilanteiden tehokkaaseen purkamiseen. Tämän lisäksi mahdolliset uudet tuotanto- tai alihankintasolut saisivat heti alussa selvät ja yksiselitteiset ohjeet siitä, mitä tietoja solun toiminnasta halutaan ja miksi.

Työ aloitettiin tutkimalla ja keräämällä tarvittavia tietoja kahdesta eri tuotantosolusta, joissa valmistettavat sähkökojeistot olivat periaatteeltaan samanlaisia, mutta valmistuksessa ne erosivat niin valmistusajaltaan kuin haastavuudeltaankin toisistaan. Ajatuksena oli koeajaa muutamaa erityyppistä mallia kapasiteetin määrittämiseen kummassakin tuotantosolussa ja tuloksia analysoiden löytää paras, kummankin tuotantosolun käyttöön soveltuva ratkaisu.

Tuotantosoluista tarvittavat tiedot olivat työntekijöiden kokonaisviikkotuntimäärät sekä toteutuneen työn määrä. Näiden tietojen pohjalta laskettavien tehokkuuskertoimen eroavaisuudet eri viikkojen välillä arvioitiin teoriassa ennen mittauksia toteutuneita arvoja pienemmiksi.

Työn yhtenä päämääränä oli lisäksi määrittää keskeneräisen tuotannon merkitys tehokkuuskertoimeen. Kyseistä tuotannon osaa ei aikaisemmin nähty merkityksellisenä kapasiteetin arvioinnissa eikä valmistuneen työn seuraamisessa. Tarkasteltavissa tuotantosoluissa keskeneräisellä tuotannolla oli hyvin suuri vaikutus valmistuvien tuotteiden kokonaismäärään, ja tämän tehdyn työn jakamisen tehdyille viikoille arvioitiin antavan huomattavaa lisäarvoa raportointiin, ennustuksiin ja työn seurantaan. Tiedettiin, että keskeneräisen tuotannon raportointi tulisi viemään jonkin verran aikaa joko työnjohtolta tai työntekijöiltä, mutta sen tuoma lisäarvo arvioitiin siihen kulunutta aikaa merkittävämmäksi. Tästä syystä haluttiin tutkia onko, raportin keräämiseen käytettävä aika ajankäytöllisesti kokonaistilannetta ajatellen todellisuudessa kannattavaa.

Työssä esitellään myös yrityksen valmistamat eri sähkökojeistot pääpiirteisesti ja annetaan hieman kokonaiskuvaa siitä, miksi niitä tarvitaan nostureissa. Liitteisiin on lisätty

ohje tuotantosolua varten siitä, mitä tietoja valmistavan solun on kerättävä ja raportoitava, jotta kapasiteetin määrittäminen onnistuu.

2. VALMISTETTAVAT SÄHKÖKOJEISTOT

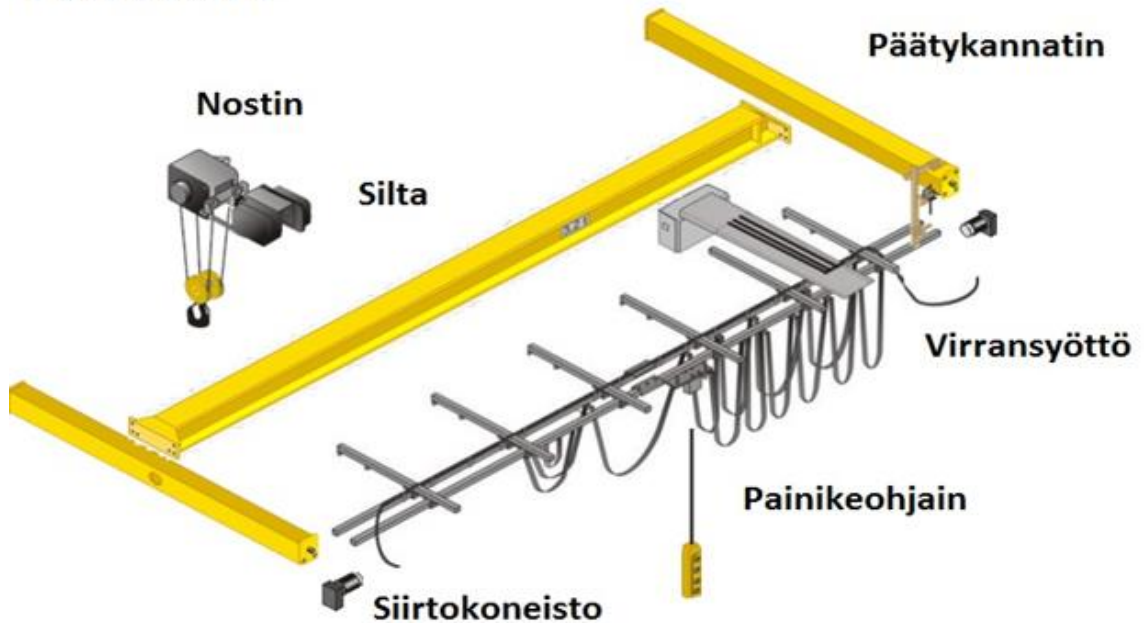
Nosturin sähkökomponentteihin kuuluu sillan kojekaappi, nostimen taulu, virransyöttö ja painikeohjain. Näiden kojeistojen valmistus eroaa toisistaan siinä määrin, että työntekijöitä ei ilman opastusta voida siirtää yhdestä tuotantosolusta toiseen. Tekemisen peruseriaatteet pysyvät samoina, mutta asennustavoissa ja käytettävissä komponenteissa on eroja. Työ rajattiin kattamaan ainoastaan sillan kojekaappien valmistus, mutta myöhemmin esitettävää mallia voi silti soveltaa myös muihin minkä tahansa tuotannon valmistussoluihin (Konecranes Oyj 2013; Islander 2015).

Vuonna 1994 Konecranes irtaantui omaksi yhtiökseen Kone OY:stä, joka oli aloittanut sähkökojeistovalmistuksensa jo vuodesta 1933. Ajan saatossa kojeistot ovat muuttuneet huomattavasti, vaikka verrattaisiin pelkästään viimeistä 10 vuotta. Käytettävät komponentit ovat hienostuneempia, fyysiseltä kooltaan pienempiä sekä tietenkin modernimpia. Siirto- ja nostokoneistojen ohjauksessa on siirrytty kaksiportaisesta kontaktoriohjauksesta invertteriohjaukseen, kojeistoissa on nykyään logiikkakomponentteja ja jarrutusliikkeistä pystytään nykyään syöttämään tehoa takaisin verkkoon. Tuotantomuotona Konecranes käyttää ETO – mallia (Engineer-to-order), eli työt suunnitellaan ostotilauksen perusteella. Konecranes panostaakin uusiin innovaatioihin ja tuotekehitykseen huomattavasti, pysyen täten johtavana nosturivalmistajana globaaleilla markkinoilla (Heikkilä 2015; Islander 2015; Konecranes Oyj).

2.1 Sillan kaappi

Nostin on usein tuettu liikkumaan kiskoillaan omalla sillallaan. Sillaksi kutsutaan palkkia, mikä on liitetty päistään päätykannattimien kiskoihin. Tästä syystä siltaan kiinnitettävää kojekaappia kutsutaan sillan kaapiksi. Kuvassa 1 on eroteltu nosturin kaikki pääkomponentit (Konecranes Oyj 2013).

Nosturi



Kuva 1. Nosturin periaatekuva (Konecranes Oyj 2013).

Sillan kaapin sisältö riippuu nostimen ominaisuuksista, mutta sen kokoon vaikuttaa pääosin sen sisällä olevat taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajien, joita usein kutsutaan inverttereiksi, koko määrittää tässä työssä käsiteltäville sillankaapeille korkeudet 400 mm, 600 mm, 1000 mm tai 1500 mm. Kaappeja liitetään usein yhteen useampia, muiden sähkökomponenttien määrästä ja koosta riippuen, esimerkkinä kuva 2. Tällaisen kaappiyhdistelmän, eli kaappiletkan pituus voi olla yli 10 metriä, vaikkakin yleensä ne vaihtelevat alle metristä muutamaan. Sähkösuunnittelussa tehdään alustava suunnitelma työssä käytettävistä komponenteista ja tämän jälkeen työsuunnittelussa tarkistetaan työ yksityiskohtaisemmin. Tällainen käytäntö varmistaa suunnittelun lähes virheetömäksi, ja se on ajan kuluessa arvioitu tarpeelliseksi. Tämän jälkeen työlle luodaan valmistuksen osaluettelo, minkä perusteella tuotantosolun työntekijä kerää ja kiinnittää komponentit pohjalevyille joka lopulta asennetaan sillankaappiin (Islander 2015; Pietilä 2012; Konecranes Oyj 2013; Kaitaranta 2011).



Kuva 2. Sillan kaappi, jonka korkeus ja leveys on 1000 mm ja syvyys 350 mm (Konecranes Oyj 2010).

Invertterit ovat yleistyneet huomattavasti viimeisen kymmenen vuoden aikana ja nykyään niitä käytetäänkin lähes kaikissa nostimissa. Nostimen nosto- ja laskuliikkeet ovat tällöin kiihtyviä ja portaattomia, jolloin nostettavat kuormat eivät kärsi liian nopeista kiihtyvistä liikkeistä. Invertteriohjauksella myös nostimen liike sillalla ja sillan liike päätyjen päällä saadaan samalla tavalla tasaisesti kiihtyväksi ja hidastuvaksi. Inverttereiden koko korreloi melko suoraan sitä miten suurta kuormaa nostimella on tarkoitus liikuttaa ja miten nopealla liikkeellä. Suuritehoisissa nostimissa vaaditaan siis myös inverttereiltä suuria tehoja, mikä taas kasvattaa siinä käytettävien komponenttien ja johdinten kokoa (kuva 3). Inverttereiden jarruttaessa liikettä, siirtomoottoreista siirtyvä sähköteho ohjataan jarruvastuksille, missä se muuttuu lämpöenergiaksi. Pienemmissä inverttereissä jarruvastukset on integroitu rakenteeseen ja ne voidaan sijoittaa muiden komponenttien läheisyyteen. Jarrutustehon kasvaessa riittävän suureksi, jarruvastusten generoiva lämpöenergia kasvaa niin suureksi, että ne täytyy sijoittaa omaan kaappiinsa erilleen invertteristä ja muista komponenteista. Jarruvastusten ideana on myös vähentää mekaanisen jarrun käyttöä (Konecranes Oyj 2010; Halla-Aho 2012; Pietilä 2012).



Kuva 3. Esimerkkikuva eri kokoisista inverttereistä (Konecranes Oyj 2010).

Sillankaapissa sijaitseva nostimen sähköjärjestelmä on jaettu karkeasti kahteen ryhmään, pää- ja ohjausjännitteeseen sähköpiiriin. Pääjännitteellä ohjataan nostimen moottoreita, mitkä nostokapasiteetista riippuen vaativat suuria tehoja. Pääjännite muunnetaan ohjausjännitteeksi kaapin sisällä olevalla muuntajalla, ja tätä pienempää jännitettä käytetään kaikissa muissa sillankaapin sisällä olevissa sähköpiireissä. Yleisin ohjausjännite tässä työssä käsiteltävissä sillankaapeissa on 48 V. Jännitteen pudottaminen pääjännitteestä lisää turvallisuutta sekä mahdollistaa pienempien ja halvempien sähkökomponenttien käytön kaapin sisällä. Sillankaappi pitää siis sisällään suurimman osan tarvittavista sähkökomponenteista mitkä määräytyvät erilaisista lisäominaisuuksista mitä nostimeen on suunniteltu. Tuotantosolusta riippuen, sillankaappien valmistumisaikaan vaikuttaa kaappien ja sähkökomponenttien koot ja lukumäärät. Valmistusajat saattavat vaihdella muutamasta tunnista yli 100 tuntiin. Alihankintasolussa arvioitu keskimääräinen työn valmistumisaika on noin 20 tuntia ja hieman enemmän omassa tuotannossa. Sillan kaappeja valmistetaan oman tuotannon lisäksi kahdessa alihankintasolussa (Pietilä 2012; Islander 2015; Myllynen 2015).

2.2 Nostimen sähkötaulu

Nostimen sähkötaulu on kiinnitetty nostimeen, jotta vedettävät kytkennät siirto- ja nostomoottoreihin voidaan tehdä lyhyillä kaapelivedoilla. Sen ohjauskäskyt tulevat yleensä sillankaapista, mutta joissain tapauksissa suoraan virransyötöstä tai painikkeesta. Sen fyysinen koko on huomattavasti sillankaappia pienempi, sillä nostimen koko luonnolli-

sesti rajoittaa sitä. Tauluun asennetaan usein joko nostimen tai koko vaunun liikkeistä vastaavia komponentteja (Islander 2015).

Nostimen taulu

Tasasuuntaaja
nostimen
jarrulle

Kuorman
mittaussignaalin
vahvistin

CID
-Nosturin
kunnonvalvonta-
yksikkö

Virransyötön
pistoiliitin



Nostimen
kontaktorit

Riviliittimet

Nostimen
vaunun
invertteri

Ohjauskaapelin
pistoiliitin

Kuva 4. Nostimen sähkötaulu ja sen yleisimmät komponentit (Konecranes Oyj 2013).

Kuvasta 4 nähdään nostimen taulun tyypillisimmät komponentit. Näitä ovat tasasuuntaaja, vahvistin, kunnonvalvontayksikkö, kontaktorit, riviliittimet ja kuten kuvasta näkyy, tauluihin asennetaan usein myös inverttereitä. Ne ovat tosin näissä tapauksissa huomattavasti pienempiä kuin mitä ne olisivat sillankaapeissa, eivätkä ne tarvitse erillistä taulun kotelon ulkopuolelle sijoitettavaa jarruvastusta. Sähkötaulut voivat joissain tapauksista olla myös pelkkiä välirasioita, jolloin sisältönä on ainoastaan rivi- ja pistoliittimiä. Tällöin ne voidaan ajatella pelkkinä yhdistyskomponentteina kaapeleiden välillä sillankaapista nostimeen. Sähkötaulujen valmistusajat vaihtelevat normaalisti muutamasta tunnista muutamaan kymmeneen tuntiin. Niiden keskinäiset erot tuotantomielessä ovat huomattavasti pienempiä kuin sillankaapeilla. Sähkötauluja valmistetaan tällä hetkellä oman tuotannon lisäksi yhdessä alihankintasolussa (Konecranes Oyj 2013; Islander 2015).

2.3 Virransyöttö

Tässä työssä virransyötöstä puhuttaessa tarkoitetaan kaapelointia virtalinjasta aina siirto- sekä nostimoottoreihin saakka, pois lukien sillankaappi ja nostimen taulu näiden väliltä. Suurin osa virransyötön kaapeleista tulee sillankaapin ja nostimen välille. Virransyötön avulla saadaan siirrettyä teho virtalinjasta sillankaapin pääsulakkeelle, mistä se kierrätetään pääkontaktorin kautta moottorisuojuille. Pääkontaktori avautuu, kun se saa ohjausjännitteen kautta käyttäjältä käskyn, eli moottoreille ei siirry tehoa, ellei pääkontaktori ole johtavassa tilassa. Moottorisuojat suodattavat tehopiikit syöttävästä tehosta ja tämän jälkeen teho siirtyy inverttereille, mistä se johdetaan virransyötön kautta

lopulta nosturin moottoreille. Invertterit muuttavat syötettävän tehon jännitettä ja taajuutta, jolloin moottoreiden liikkeistä tulee hiljalleen kiihtyviä tai hidastuvia. Mikäli käytettäisiin kontaktoreita inverttereiden sijaan, moottoreiden liikkeet muuttuisivat portaittain. Virransyöttö sillankaapilta nostimen tauluun toteutetaan joko energiansiirtoketjulla tai lattakaapeleilla (Kaitaranta 2011; Pietilä 2013).



Kuva 5. Virransyöttö energiansiirtoketjulla (Konecranes Oyj 2010).

Energiansiirtoketjussa kaapelit on sijoitettu ketjun sisään kulkemaan nostimen mukana pääkannattimen kyljessä omassa kourussaan, kuva 5. Tällöin kaapelit eivät roiku sillankaapin ja nostimen välillä, eivätkä täten ole vaarassa osua esteisiin sillan liikkua. Se on visuaalisesti myös huomattavan siisti ja moderni ratkaisu kaapeloinnille. Sen käyttöä rajoittaa kuitenkin pääkannattimen palkin korkeus, sillä ketju ei välttämättä mahdu kaa-reutumaan tilassaan, valitusta palkista riippuen. Lisäksi sen käyttö edellyttää radiota, eli kauko-ohjattua painiketta. Energiansiirtoketjua ei käytetä tapauksissa missä nosturissa on useampi kuin kaksi nostinta. Käyttöympäristövaatimukset eivät salli sen käyttöä alle 0°C lämpötiloissa, eikä pölyisissä ympäristöissä. Vaadittavien osien määrä on kuitenkin pienempi verrattuna perinteiseen lattakaapelimalliin. Tämän lisäksi se suojaa virransyötön kaapeleita mekaaniselta kulumiselta ja täten pienentää todennäköisyyttä niiden vahingoittumiseen. Kuvassa 6. on esitetty energiansiirtoketjun kiinnitys pääkannattimeen eli siltaan (Konecranes Oyj 2010; Kaitaranta 2011).

Perinteinen lattakaapeli voidaan ripustaa kulkemaan pääkannattimen kaapelivaunuissa. Kaapelivaunut liikkuvat pääkannattimessa riippuen vaunun sijainnista. Kun vaunu on lähellä sillankaappia, kaapelivaunut ovat lähempänä toisiaan ja kaapeli roikkuu niissä keräytyneenä haitarimaiseen muotoon kts. kuva 6. Tätä kutsutaan kaapelikeräytymäksi ja se asettaa myös rajoitteita vaunun ja tämän myötä koukun sivuttaisliikesuuntaan. Mitä useampaan kaapelivaunuun kaapeli sidotaan, sitä enemmän sivuttaisliike rajoittuu. Jos taas kaapelivaunujen määrää vähennetään, kaapelin roikkumiskorkeus kasvaa ja tällöin se voi osua nosturin alla oleviin esteisiin. Lattakaapelimallia käytetään ainoana vaihtoehtona nostureissa, missä nostokapasiteetti ylittää 80 tonnia, nostimia on enem-

män kuin kaksi tai missä käyttölämpötilat laskevat alle nollan celsiusasteen. Kuvassa 6. on lattakaapelilla toteutettu virransyöttö (Konecranes Oyj 2010; Pietilä 2012).



Kuva 6. Lattakaapelilla toteutettu virransyöttö (Konecranes Oyj 2010).

2.4 Painikeohjain

Käyttäjä ohjaa nosturia joko radiokäyttöisellä- tai kaapelikiinnitteisellä ohjaimella. Ohjaimen painikkeet ovat aina kaksiportaisia hitaalla ja nopealla toiminnalla. Kaapelikiinnitteinen ohjain kiinnittyy joko sillankaappiin tai suoraan nostimeen. Ohjaimilla liikutetaan tyyppillisesti siltaa, vaunua ja koukkuja (Pietilä 2012).



Kuva 7. Radio-ohjain (Pietilä 2012).

Radiokäyttöiset ohjaimet ovat akkukäyttöisiä, ja ne varioituvat painikekäyttöisistä sauvakäyttöisiin. Jos ohjain on sauvakäyttöinen, se yleensä kiinnitetään käyttäjään vyöllä tai ripustimella, jättäen kädet vapaiksi ohjaussauvoja varten. Kuvassa 7 on esimerkki painike- ja sauvakäyttöisistä radio-ohjaimista. Painikkeilla toimivien radio-ohjaimien koko pyritään pitämään pienenä, jotta käyttäjä voi operoida niitä yhdellä kädellä (Pietilä 2012).

3. TUOTANNON SUUNNITTELU

Tuotantoa suunnitellaan tuotantosolujen kapasiteetin, työkuorman ja valmistuneen työn mukaan. Tässä työssä toisen tuotantosolun keskeneräinen tuotanto huomioidaan myös osaksi valmistunutta tuotantoa.

3.1 Kapasiteetti

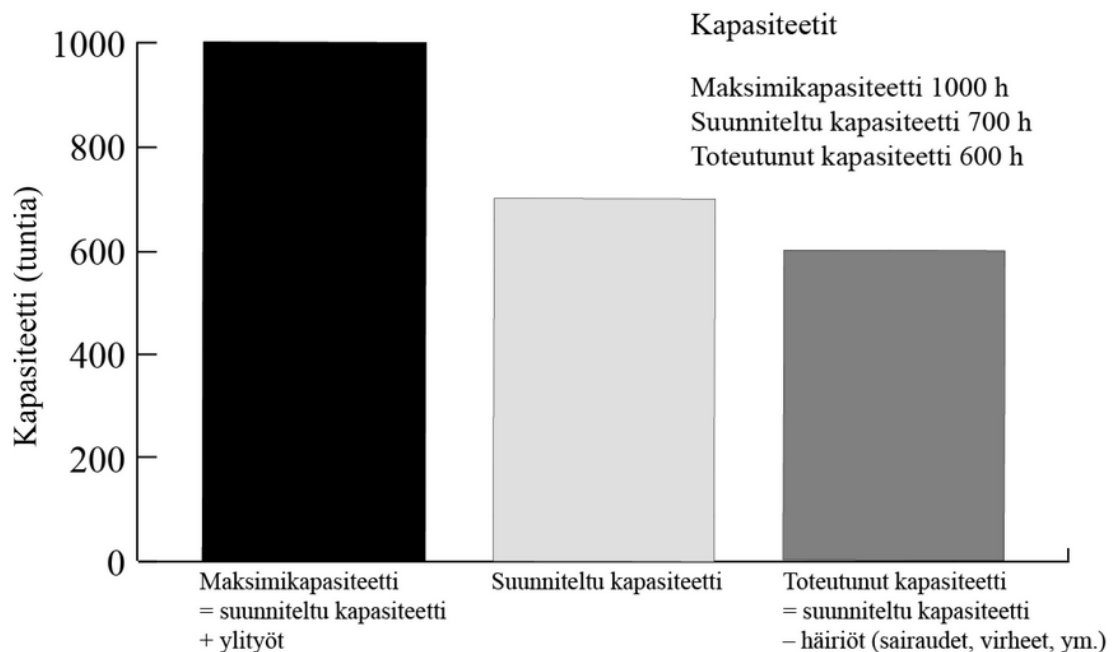
Tässä työssä kapasiteetilla viitataan tuotantosolusta saatavaan työmäärän ylärajaan. Kapasiteetin määrittämistä tarvitaan, jotta tutkimuksen kohteena olevasta yksiköstä voidaan etukäteen arvioida maksimaalinen kuormitettavuus. Tämä mahdollistaa tehokkaan kuormajaon kokonaistyökuormalle. Kuorman jakamisella tarkoitetaan sitä, että kokonaistyökuorman valmistus suunnitellaan tuotantoon jakamalla se eri tuotantosolujen kesken. Kapasiteettia säädellään yleensä lyhytaikaisilla tai pysyvillä toimenpiteillä. Lyhytaikaisiin toimenpiteisiin lukeutuvat esimerkiksi ylityöt ja pitkäaikaisiin vastaavasti uusien työntekijöiden rekrytointi. (Kouri 2014; Repo 2015).

Ensimmäiseksi tulee määrittää mistä ja mitä kapasiteettia mitataan. Tämän suureen täytyy olla mahdollisimman paljon tilanteesta riippumaton, jotta sitä voidaan käyttää enustamiseen aikaisempien toteumien pohjalta. Päämääränä on varata kapasiteetti vastaamaan tulevaa työkuormaa, eli suunnitelmaa. Vaihtoehtoina tähän työhön harkittiin joko tuotettuja kappale- tai työtuntimääriä. Mikäli tuotteet olisivat täysin tai edes lähes identtisiä, olisi järkevin ja helpoin tapa arvioida kapasiteettia kappalekohtaisesti. Tarkasteltavat tuotantosolut valmistavat kaikki sähkökeskuksia, mutta ne eroavat toisistaan huomattavan paljon. Jokainen tuotettava sähkökeskus on erilainen, ja näin ollen myös niiden valmistusajat vaihtelevat paljon. Lisäksi kapasiteettia tuottaa tässä tapauksessa ihmisistä koostuvat tuotantosolut, eli työn valmistustahti ei ole täysin vakio. Näistä syistä kapasiteettia päädyttiin arvioimaan tunneissa (Kouri 2014).

Tuotantoyksikön kapasiteetin kasvaessa sen kokonaiskulut ja tuotettavien hyödykkeiden tuotantomäärät nousevat. Kun kulut kohdistetaan yksikköjä kohden, ne ovat useimmiten pienemmät suuremmilla volyyymeilla. On siis erittäin tärkeää osata arvioida tuleva kapasiteetti etukäteen esimerkiksi ennen siihen vaikuttavia investointeja. Ideaalitulanteessa, kun kapasiteetti on yhtä suuri kuin kuorma, työhön kohdistuvat kulut usein minimoituvat (Stevenson 2007; Kouri, 2014).

Kapasiteetin arviointi tulee mielestämme perustaa aikaisempien toteumien pohjalta, sillä se antaa parhaan mahdollisen arvion tuotantosolun kyvystä tuottaa työtä myös tulevaisuudessa. Jokainen tuotantosolu toimii aina hieman eri tavalla, joten kapasiteettia ei ole

järkevää vakioda yhdeksi kaikkia tuotantosoluja koskevaksi, vaikka esimerkiksi solun kokonaistyötunnit olisivatkin yhtä suuret. Kapasiteettiin voidaan vaikuttaa henkilömäärien, työskentelytilojen ja työstövälineiden lisäämisen ohella monella eri tavalla. Motivaatiotaso vaikuttaa usein huomattavasti suoraan työhön kohdistuneiden tuntien ja kokonaistuntimäärän suhteeseen. Tämän suhteen ollessa alhaalla, tauot ja muut tehokkuutta pienentävät tekijät ovat tällöin kasvaneet ja tehokkaan työajan määrä on näin ollen laskenut. Motivaatiotasosta huolehtiminen pitäisikin olla yksi työnjohdon tuottavuutta edistävästä kulmakivistä. Kesäloma-aikaan sijaisuudet eri työtehtävissä vaikuttavat tehokkuuskertoimen kautta kapasiteettiin oppimiskäyrän mukaisesti, mikäli oletetaan työtehtävän olevan jokseenkin vieras sijaiselle. Tästä syystä omassa tuotannossa kesätyöntekijöitä ei huomioida heidän ensimmäisen kahden viikon aikana kokonaiskapasiteettiin samalla tehokkuudella kuin vakituisia työntekijöitä (Stevenson 2007; Kouri 2014; Myllynen 2015).



Kuva 8. Esimerkki laskettavista kapasiteeteista.

Kapasiteetit on jaettu tässä tapauksessa kolmeen eri osakokonaisuuteen; suunniteltuun, toteutuneeseen- ja maksimikapasiteettiin. Kuvassa 8 näkyvä toteutunut kapasiteetti on esitetty pienempänä kuin suunniteltu kapasiteetti. Tilanne voisi olla myös toisin, toteutunut kapasiteetti voi yhtä hyvin olla suurempi kuin suunniteltu. Tämä saavutetaan yksinkertaisesti sillä, että työntekotahti on oletettua tehokkaampaa, ja häiriöitä ilmenee normaalia vähemmän. Näiden kapasiteettien avulla voidaan määrittää ja arvioida tuotantosolusta saatava työmäärä ja tämän jälkeen optimoida työkuorma vastaamaan sitä parhaalla mahdollisella tavalla. Tässä vaiheessa onkin erittäin tärkeää ymmärtää mitä niillä tässä työssä tarkoitetaan (Stevenson 2007).

3.1.1 Suunniteltu kapasiteetti

Suunnitellulla kapasiteetilla on tarkoitus arvioida tuotantosolusta saatavaa työmäärää jollekin tulevalle ajanjaksolle tiettyjen laskentaperiaatteiden mukaan. Tässä työssä nämä laskentaperiaatteet perustuvat tuotantosolun aikaisempiin toteumiin eli valmistuneen työn tuloksiin. Tällöin tauot ja erilaiset häiriöt sekä poikkeukset ovat laskennassa epäsuorasti mukana. Tämän työn päämääränä oli arvioida suunniteltua tulevaa kapasiteettia (Stevenson 2007).

Poikkeuksiin lasketaan esimerkiksi koulutukset, palaverit, rikkoutuvat työvälit, erinäköiset ylimääräiset selvitystyöt sekä muut työntekoa hidastavat tekijät. Tämän työn suunnittelussa kapasiteetissa on huomioitu kaikki työntekoa hidastavat tekijät aikaisemmin tapahtuneiden vastaavien tapausten avulla. Tehokkuuskerroin lasketaan edellisiltä viikoilta kuvaamaan toteutuneiden työtuntien suhdetta solun käytettävissä olevaan kokonaistuntimäärään. Tehokkuuskertoimesta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 5. Suunniteltu kapasiteetti lasketaan käyttäen hyväksi tätä tehokkuuskerrointa, minkä pitäisi parhaiten kuvata sen hetkistä työntekotahtia solussa. Suunniteltu kapasiteetti on arvio siitä työmäärästä mitä solusta saadaan yhteensä, ylitöillä tai ilman, määrättyllä ajanjaksolla. Tämän työn käyttämässä mallissa suunniteltu viikkokapasiteetti päätetään aina viikon ensimmäisenä työpäivänä kolmen viikon päähän. Mikäli kapasiteetti määritettäisiin aikaisemmalle viikolle, se ei tarjoaisi haluttua lisäarvoa, koska kuorman jakaminen tuotantosolujen välillä täytyy tehdä aikaisemmin. Kuorma voisi olla esimerkiksi satoja tunteja suurempi kuin suunniteltu kapasiteetti, mutta tällöin sitä ei olisi mahdollista enää jakaa muiden tuotantosolujen kesken, johtuen jo tehdyistä materiaalihankinnoista tai puhtaasti tuotannonohjauksesta. Kapasiteettia ei ole myöskään järkevää suunnitella liian kauas tulevaisuuteen, sillä sen arvioiminen perustuu viimeaikaisiin toteumiin, mitkä muuttuvat ajan kuluessa. Kapasiteetin määrittäminen mahdollisimman lähelle tuo tarkimman arvion, mutta se täytyy lyödä lukkoon mahdollisimman kaukaa, jotta tuotannonohjaukselle ja kuorman jaolle jää riittävästi aikaa. Tämän lisäksi yhtiön asiakkaiden tilauskäyttäytyminen pakottaa kapasiteetin suunnittelun kolmen viikon päähän sähkökaappien valmistuksessa. Tilaukset pyritään toimittamaan mahdollisimman nopeasti asiakkaalle, ja tämä on keskimäärin minimiaika mitä vaaditaan kyseisten komponenttien suunnitteluun, materiaalihankintoihin ja valmistukseen. Tästä syystä kapasiteettia päädyttiin arvioimaan kolmen viikon päähän (Stevenson 2007; Kouri 2014; Islander 2015).

Suunniteltu kapasiteetti pitää sisällään aina pienen virhemarginaalin, mikä tulee ottaa huomioon, kun ennustetta asetetaan tietylle ajanjaksolle. Muuttujien määrä koko ennusteen algoritmin takana on erittäin suuri ja kasvaa entisestään henkilömäärän lisääntyessä. Jokaista työntekijää erikseen arvioitaessa jo pelkästään inhimillisten tekijöiden määrä kasvaa erittäin suureksi ja virhemarginaali kasvaa. Tästä syystä arvio on hyvä perustaa useamman aikaisemman samanmittaisen ajanjakson pohjalta kaikkien työntekijöiden keskiarvoon, ennustaen näin riittävän suuresta otoksesta.

3.1.2 Toteutunut kapasiteetti

Toteutunut kapasiteetti on se työmäärä mitä tuotantosolu on määrätyn ajanjakson sisällä pystynyt tuottamaan. Alihankintasolussa käytettävissä malleissa lasketaan mukaan keskeneräisestä tuotannosta valmiiksi tehty osuus kyseisellä ajanjaksolla. Näin ollen työn kokonaistuntimäärä ei välttämättä raportoidu ainoastaan yhdelle viikolle, vaan niille viikoille milloin sen valmistukseen on kohdistettu työtunteja. Tällä pyritään saavuttaman raportointiin tasaisemmat työmäärät peräkkäisille viikoille, ja myös tehokkuusker-toimen arvoksi saamaan paremmin todellisuutta kuvaava arvo. Omassa tuotannossa kerätään tieto ainoastaan valmistuneista töistä, jolloin niihin kuluvia työtunteja ei jaeta osamääräksi eri viikoille samalla tavalla. Toteutunut kapasiteetti ei välttämättä ole täysin sama kuin suunniteltu, riippuen häiriötekijöiden määrästä ja kattavuudesta. Näitä kaikkia tekijöitä on mahdoton ottaa ennalta huomioon kapasiteettia suunniteltaessa, mutta niitä voidaan approksimoida. Toteutunut kapasiteetti voi olla myös suurempi kuin suunniteltu, jos työnteon määrä kasvaa edellisiin ajanjaksoihin verrattuna. Suunniteltujen- ja toteutuneiden kapasiteettien erot kertovatkin melko suoraan miten hyvin ennustamiseen kehitetty malli toimii. Mikäli nämä erot ovat huomattavia ja toistuvia, mallin käyttämää logiikkaa on syytä kritisoida. Tosin joissain tapauksissa ei välttämättä ole olemassakaan minkäänlaista toistuvaa logiikkaa, mitä mikään malli voisi käyttää hyväkseen ennustuksissaan. Tietenkin myös mallin käyttämissä lähdetiedoissa voi olla puutteita tai ne vaihtelevat kerääjästä ja näkökannasta riippuen. Tästä syystä työssä esitetään selkeä ja yksiselitteinen tapa näiden lähdetietojen keräämiseen ja hyödyntämiseen (Stevenson 2007; Kouri 2014).

Tässä työssä kerätään ja käytetään toteutuneita kapasiteetteja tulevien ajanjaksojen, eli suunniteltujen kapasiteettien määrittämiseen sekä tämän lisäksi antamaan kuva aikaisempien arviointien todenmukaisuudesta. Esiteltävissä malleissa ennustuksien pohjana käytetään toteutuneita kapasiteetteja kolmelta, neljältä tai viideltä aikaisemmalta viikolta.

3.1.3 Maksimikapasiteetti

Maksimikapasiteetti tarkoittaa kapasiteettia mikä toteutetaan pidemmällä työpäivillä ja ylitöillä viikonloppuna, vaikka usein näistä käytetäänkin vain toista vaihtoehtoa. Konecranes on aikaisemmin käyttänyt kumpaakin tapaa, tapauksista riippuen. Pidemmät työpäivät ovat tarkoittaneet pidempiä arkityöpäiviä, mistä ylimääräinen tuntimäärä työntekijää kohti on ollut 10 tuntia per viikko. Viikonloppuna toteutetuissa ylitöissä ylimääräinen tuntimäärä on ollut 16 tuntia. Maksimikapasiteetin käyttö on yritykselle kalliimpaa, jos se saavutetaan viikonloppuna ylitöillä. Mielestämme se on pohjimmiltaan kuitenkin tehokkaampi tapa saavuttaa haluttu kapasiteetti kuin pidemmät työpäivät. Yli-työkorvaukset viikonlopulta nostavan työmotivaatiota työntekijöiden osalta, ja tämän lisäksi pitkissä työpäivissä häiriöajan suuruus nousee suhteessa tehokkaaseen työaikaan.

Toisaalta, mikäli ylityöviikonloppua käytetään aina ratkaisuna, vaarana voi pahimmillaan olla työntekijöiden oma vaikuttaminen ylitöiden tarpeellisuuteen. Tällaista työtahdin laskemista arkityöpäivinä ei kuitenkaan ole havaittu ja lisäksi työtehokkuuteen perustuva palkkiopalkkaus kannustaa tehokkaaseen työntekotahtiin. Maksimikapasiteetin määrittäminen kummallakin tavalla erikseen ja yhdessä on joka tapauksessa tärkeää, sillä usein näistä aiheutuvat lisäkustannukset ovat suhteessa hyötyjä pienempiä. Joissain tapauksissa ne ovat myös taloudellisista syistä kannattavia, jos esimerkiksi tuotteissa on ennalta määritetty sakkorangaistus myöhästymiselle. Tämän lisäksi toimitustäsmällisyys proirisoidaan usein lisäkustannusten edelle. Maksimikapasiteetti on helppo laskea tehokkuuskerrointa ja henkilömäärää käyttäen, mutta sitä ei ole tarpeellista laskea jokaiselle viikolle aina erikseen, ainoastaan tilanteen sitä vaatiessa (Islander 2015; Myllynen 2015; Vastaranta 2015).

3.1.4 Kapasiteettiin vaikuttavat tekijät

Tehokas kapasiteetti tarkoittaa teoreettisesti suurinta mahdollista työtulosta mitä tuotantosolu pystyy tiettyinä ajanjaksona tuottamaan. William J. Stevenson listaa kirjassaan ”Operations Management” osan näistä vaikuttavista tekijöistä.

Tuotantolaitosta suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota sen kokoon, laajennusmahdollisuuteen, sekä maantieteelliseen sijaintiin. Laitoksen suunnitteluvaiheessa kapasiteetin ennustaminen oikein on ratkaisevassa asemassa. Työskentelytilojen mitoittamisella oikein vältytään ahtaudelta, sekä liian pitkiltä välimatkoilta esimerkiksi eri työstösolujen välillä. Kapasiteetin pysyvä nostaminen onnistuu nopeammalla aikataululla, jos laajennusmahdollisuus on otettu rakennusvaiheessa huomioon. Maantieteellistä sijaintia tulee arvioida työvoiman löytymisen ja viilennys- tai lämmitystarpeiden lisäksi erityisesti logistisesta näkökulmasta, riippuen tietenkin valmistettavasta tuotteesta. Mikäli tuotteen kuljettaminen asiakkaalle tai eteenpäin valmistusketjussa rajoittuu muutamaankin kuljetusmuotoon, on hyvä optimoida laitoksen sijainti myös niiden mukaan (Stevenson 2007).

Standardoitujen tuotteiden valmistuksessa työtehokkuus on huomattavasti korkeampi kuin asiakkaan tarpeiden mukaan varioituvassa tuotannossa. Aikaa säästyy kun työntekijöistä saadaan karsittua ylimääräinen puntarointi oikeasta työstötavasta tai ylipäättään tuotteen toimivuudesta. Näissä tilanteissa yleisin työpisteiden asettelumalli on tuotantolinjat, missä työt liikkuvat eri työsoluja pitkin eteenpäin työntekijöiden pysyessä paikallaan (Stevenson 2007).

Laadun tason ollessa huono, joudutaan työlle usein kohdistamaan monta eri tarkastusta sen edetessä tuotantoketjussa. Vastaavasti laadun ollessa korkealla, voidaan tarkastuksien määrää vähentää. Yksi hyvä tapa tarkkailla laatua onkin satunnaistarkastukset, mitä voidaan käyttää laadun ollessa korkealla. Jokaiselle työlle ei siis tehdä omaa tarkastus-

taan, vaan valitaan otannalla esimerkiksi joka kymmenes työ laatutarkastukseen. Tarkastukset vähentävät tehokkuutta, sillä ne pidentävät läpimenoaikaa (Stevenson 2007).

Työntekijöiden henkilökohtaiset ominaisuudet vaikuttavat tehokkuuteen koulutuksen, taidon, kokemuksen ja motivaation kautta. Kouluttamisella on mielestämme erittäin suuri rooli muihin kolmeen nähden sekä tietenkin tehokkuuteen. Henkilökunnan kouluttaminen nostaa usein taitotason lisäksi myös motivaatiota, ja nämä yhdessä taas luovat edellytyksiä pidemmälle työuralle. Pidempi työura tuo sitten osaltaan myös kokemusta (Stevenson 2007).

Työjohto yhdessä luottamushenkilöiden ja liittojen kanssa määrittävät yleensä yhtiön omat säännöt työvuoroista. Näistä esimerkkeinä ovat yksi- tai kaksivuorotyöt. Henkilökuntamäärä voi olla verrattain suuri pienempäänkin tuotantotilaan nähden oikein säädettyjen työvuorojen avulla. Tämä voi myös tuotannosta riippuen kasvattaa keskeneräisen tuotannon osuutta, esimerkiksi jos samaa työtä ei voi jatkaa vuoron ja sitä kautta työntekijän vaihtuessa. Tällaisessa skenaarioissa olisi mielestämme hyvä optimoida tilanne arvioimalla hyödyt ja haitat eri vuoromääristä tai kokonaan toimintatapojen muuttamisesta siten, että työtä olisi mahdollista jatkaa vuoron vaihtuessa (Stevenson 2007).

Toiminnallisuudesta itsestään saattaa myös aiheutua tehokasta kapasiteettia rajoittavia tekijöitä. Näistä esimerkkeinä ovat töiden aikataulutus päällekkäin, materiaaliongelmat, ostettujen komponenttien laatuvirheet ja työvälineiden rikkoutuminen. Työvaiheiden päällekkäisyydestä voi aiheutua ongelmia, mikäli jotain työvaihetta joudutaan työstämään sille varatussa paikassa, ja tilaa ei ole riittävästi. Pullonkaulat esiintyessään määrittävät kapasiteetin ja siitä syystä niiden havaitseminen ja eliminointi on tärkeää. Pullonkaula tarkoittaa kapasiteetiltaan pienintä tuotantovaihetta koko tuotantoprosessissa. Materiaaliongelmat aiheutuvat usein pitkistä toimitusajoista toimittajilta sekä pienistä varastoarvoista. Tästä syystä varastomäärät olisivatkin hyvä määrittää toimitusaikojen ja keskimääräisen kulutuksen mukaan. Tuotannosta riippuen työn valmistuminen saattaa pysähtyä kokonaan, mikäli jotain tarvittavaa materiaalia ei ole, ja siitä syystä riittävien varastopuskureiden asettaminen onkin tärkeää. Materiaaliongelmia saattaa ilmetä myös viollisina toimitetuista komponenteista tai myöhästyvistä toimituksista toimittajilta. Työvälineet saattavat rikkoontua, ja siitä syystä varsinkin kriittisimpien työkalujen osalta olisi hyvä tehdä varasuunnitelma, esimerkiksi varastoida ylimääräisiä työkaluja tai huolehtia että huolto on saatavilla nopealla vasteajalla (Stevenson 2007; Kouri 2014).

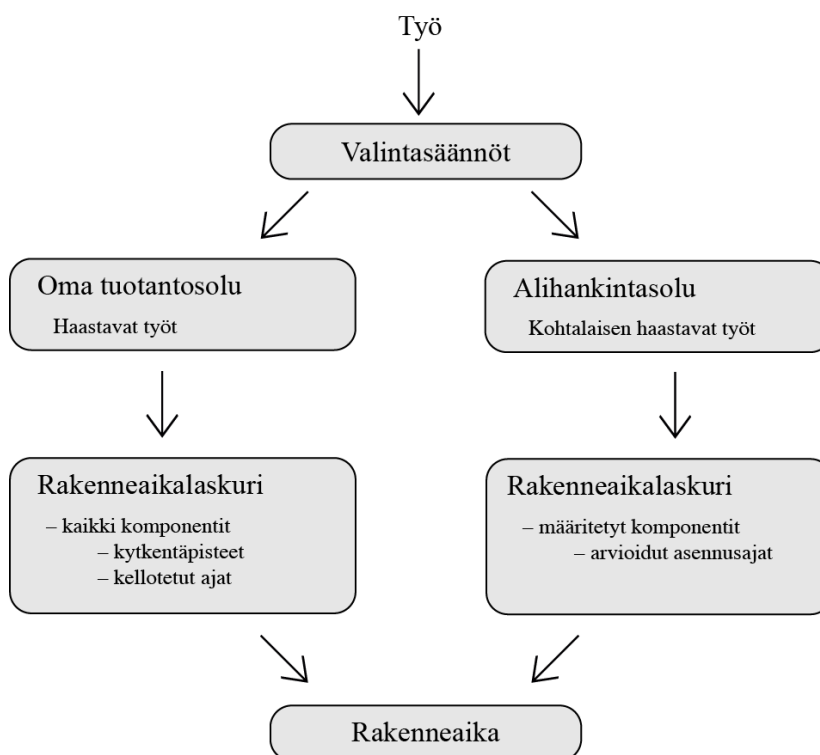
Kapasiteettia nostettaessa tai laskettaessa on hyvä ottaa huomioon myös muut sidosryhmät. Mikäli materiaalitoimittajat eivät ole tietoisia kapasiteettimuutoksista, se voi aiheuttaa ongelmia heidän omassa tuotannossaan. Heidän oma materiaalihakintansa ei välttämättä pysty nostamaan kapasiteettiaan nopeasti vastaamaan kasvavaa kysyntää. Kapasiteetin laskiessa heidän varastoarvonsa vastaavasti nousee, jos toimitusmäärät laskevat. Tämä puolestaan suurentaa sidottua pääomaa ja liiketoiminnan kannattavuus kärsii. Logistiikasta vastaava taho ei välttämättä pysty varsinkaan nopeasti nostamaan

omaa kapasiteettiaan pysyvästi lisääntyneiden toimitettavien tuotteiden myötä ilman lisäkustannuksia (Stevenson 2007).

Kapasiteettia rajoittaviin ulkopuolisiin tekijöihin voidaan laskea esimerkiksi tuote- ja päästövaatimukset. Tuotevaatimuksista löytyy usein minimivaatimustaso niin tuotteen käyttövarmuudelle kuin sen käyttöturvallisuudellekin. Näihin asioihin täytyy kiinnittää erityisesti huomiota valmistusketjun aikana tarkistuksien muodossa. Päästöjen määrä saattaa rajoittaa joidenkin työvaiheiden määrää päivälle ja tämä saattaa aiheuttaa pulonkaulan kyseiseen työvaiheeseen (Stevenson 2007).

3.2 Rakenneajat

Rakenneaika tarkoittaa työlle määritettyä läpäisy- tai valmistumisaikaa tuotannossa. Rakenneaika ei pidä sisällään minkäänlaista häiriöaikaa, vaan se koostuu ainoastaan suoraan työntekoon kohdistetusta ajasta. Tällä hetkellä saman työn valmistaminen eri tuotantosoluissa antaa eri rakenneajat, sillä jokaiselle solulle on määritetty oma logiikka niiden laskemiseen. Tuotantosolut eroavatkin melko paljon toisistaan niin osaamistason kuin valmistamisnopeuden puolesta.



Kuva 9. Yksittäisten töiden ohjautuminen ja rakenneaikojen määrittäminen.

Omaan tuotantoon ohjataan valintasääntöjen avulla valmistettavuudeltaan haastavimmat työt ja tässä työssä alihankintasoluna kutsuttuun soluun kohtalaisen haastavat työt, kuten kuvassa 10. Yksinkertaisimmat työt, missä suunnitteluun käytettävät ajat sekä rakenneajat ovat pieniä, ohjataan vielä kolmanteen tuotantosoluun, mutta tätä solua ei

tässä työssä juuri käsitellä. Töiden yksinkertaisuuden vuoksi tämä kolmas tuotantosolu pystyy valmistamaan sinne ohjattuja töitä nopeaan tahtiin, ja tästä syystä rakenneajat on määritelty lyhemmiksi kuin muissa soluissa. Niiden laskenta perustuu nosturin ominaisuuksia karkeasti analysoivaan logiikkaan. Tästä ei aiheudu ongelmia rakenneaikamäärittelyyn esimerkiksi sillankaapin kotelokoon kasvaessa, sillä kyseiseen tuotantosoluun ohjataan ainoastaan tietyn kokoisia koteloita. Sen sijaan tässä työssä käsiteltävässä alihankintasolussa rakenneajat määräytyvät tiettyjen työssä käytettävien komponenttien perusteella. Nämä komponentit esiintyvät aina jokaisessa työssä, ja tästä syystä rakenneaikalogiikka voidaan perustaa niiden lukumäärille. Näille komponenteille on karkeasti arvioitu asennusaika. Rakenneaika saattaa poiketa työstä riippuen todellisista valmistusajoista joitain tunteja, mutta pitkällä aikavälillä niiden on todettu vastaavan todellisuutta riittävän hyvin. Oman tuotannon töiden rakenneajoja lasketaan suunnitteluohjelmalla, mihin on kerätty tiedot jokaisen yksittäisen komponentin kytkentäajoista. Tämän lisäksi kytkentäpisteiden määrällä on merkitystä, kun ohjelma määrittää aikaa esimerkiksi kontaktoreille. Kyseinen deterministinen estimaatti antaa tarkemman arvion kytkentäajoista ja lopullisesta rakennejasta. Johdonmukaisuutensa vuoksi sen laskemat rakenneajat sopivat tässä työssä käytettävään kapasiteetin laskentamalliin parhaiten (Stevenson 2007).

3.3 Keskeneräinen tuotanto

Keskeneräinen tuotanto eli KET pitää sisällään kaikki aloitetut työt, jotka eivät ole valmistuneet. Sen minimoinnilla pyritään yleensä pitämään vaihto-omaisuuden arvo mahdollisimman pienenä. Tuotantosolussa missä töiden rakenneajat ovat useita kymmeniä tunteja, KET on usein huomattava. Aikaisemmin jättämä laskettiin kummassakin tuotantosolussa myöhästyneiden töiden yhteenlaskettujen rakenneajojen summana. Tämä tapa ei ottanut millään lailla kantaa siihen, missä valmistusasteessa työ oli. Se antoi toisin sanoen aina maksimituntimäärän jättämästä, vaikka todellisuudessa jättämä olisikin ollut paljon pienempi. KET käsiteltiin tässä työssä ainoastaan alihankintasolusta laske- tussa valmistuneessa tuotannossa. Valmistettaville töille määritettiin tietyt valmistumis- vaiheet joiden avulla töistä pystyttiin määrittämään prosentuaalinen valmistusaste. Tau- lukko 1 kuvaa tietyn työvaiheen prosentuaalista valmistusastetta (Repo 2015).

Taulukko 1. Valmistumisasteet keskeneräiselle tuotannolle.

Valmistumisaste	Kriteeri
20 %	Pohjalevyille on kiinnitetty kaikki tarvittavat komponentit.
40 %	Saman pohjalevyn komponenttikytkennät on tehty ja pohjalevyt asennettu koteloihin.
80 %	Kaikki tarvittavat kytkennät on tehty, työ on testiajaja lukuun ottamatta valmis.
95 %	Työ on testiajattu, kytkennät tarkastettu ja se on valmis pakattavaksi.

Työn valmistumisen ohittaessa taulukossa mainitut työvaiheet, voitiin sille määrittää jo tehty osuus kokonaistytuntimäärästä eli rakenneajasta. Valmistumisvaiheita voisi lisätä ja tarkentaa vielä tästä, mutta liian tarkka määrittäminen aiheuttaa usein myös virhemarginaalin kasvua. Lisäksi liian yksityiskohtainen ja hienostunut arviointi ei välttämättä tuo lisäarvoa, jos sen tekemiseen kuluu paljon aikaa tai sitä kautta kommunikoivat henkilöt eivät täysin ymmärrä toistensa viestintää. Näistä syistä päädyttiinkin neljään valmistumisasteportaaseen.

KET laskettiin kaikista tuotantosolussa jo aloitetuista keskeneräisistä töistä ja sen voitiin karkeasti arvioida pitävän sisällään sama määrä tunteja mitä saadaan kertomalla keskimääräinen valmistumisaika keskimääräisellä töiden kappalemäärällä solussa mil-läkin hetkellä. Aikaisemmin tästä tuotanto-osuudesta ei ollut mitään näkyvyyttä, ja sen määrittäminen yllä mainittulla tarkkuudella edesauttaisi huomattavasti tuotannon suunnittelua tuleville viikoille. Mahdollisten haasteiden ja ongelmien havaitseminen etukäteen luo edellytykset reagoida niihin ajoissa. Lisäksi tämä mahdollistaisi tarkemman solun tilan valvonnan, jolloin ali- tai ylikuormatilanteet voitaisiin nähdä herkemmin ja ajoissa (Islander 2015).

Yhtenä ratkaistavana ongelmana oli KET:n lisääminen valmistuneiden tuntien raporttiin. Täytyi siis jotenkin erotella jo aikaisempi edistyminen, ettei se raportoidu samoilla tuntimäärillä mukaan seuraaville valmistusviikoille. Esimerkkinä työ, missä ensimmäisen viikon jälkeen raportoitaisiin valmistumisasteeksi 20%, seuraavalla viikolla 40%, ja kolmannella viikolla 80%. Neljännellä viikolla työ valmistuisi, jolloin valmistusaste olisi 100%. Jos käytettäisiin valmistumisasteita sellaisinaan, raportoituisi samasta työstä

yhteensä 240% eli 2,4-kertainen määrä suhteessa rakenneaikaan. Tästä syystä tuotantosolusta saatavaan raporttiin tulee lisätä mahdollinen edellisillä viikoilla saavutettu työn valmistumisaste, joka vähennetään kyseisen viikon valmistusasteesta. Ensimmäiselle viikolle siis 20%, toiselle 20%, kolmannelle 40% ja neljännelle 20%. Tarkempiin lukuihin päästäisiin, jos valmistumisastetta tarkennettaisiin, mutta siinä tapauksessa valmistumisasteen arvion virhemarginaali rajoittaisi tarkkuutta, kuten aikaisemmin mainittiin. Yksi vaihtoehto olisi lisätä pelkkä edistymisen, eli kuluneen- ja sitä edeltävän viikon erotus, mutta mielestämme sitä olisi paljon vaikeampi seurata. Tämän lisäksi on erittäin tärkeää nähdä myös työn tilanne edistymisen kannalta ilman, että sitä joutuu erikseen eri viikkojen raportteja vertaamalla selvittämään. KET:sta kertovien raporttien on ennen kaikkea tarkoitus tehostaa seuranta.

Viikon aikana valmistunut työ lisättiin kokonaisuudessaan keskeneräisen- sekä valmistuneen tuotannon osalta yhdelle raportille. Tähän tiedostoon täytettiin sillä viikolla aloitettujen töiden työnnumerot, ostotilausnumerot, edellisen ja kuluvan viikon valmistumisasteet ja rakenneajat. Edellisen viikon valmistumisasteen avulla töistä ei raportoitunut uudelleen samoja tunteja usealle viikolle. Näillä tiedoilla oli mahdollista laskea työkohtaisesti tuotantoon käytetty aika kyseiseltä viikolta. Näiden lisäksi raportti piti sisällään henkilölukumäärät kuluvalta ja vähintään kolmelta seuraavalta viikolta, jotta kapasiteetti pystyttiin tarkistamaan kahdelle seuraavalle ja estimoimaan kolmannelle viikolle. Tuotantosolun työnjohto täytti tämän raportin aina viikon viimeisen työpäivän päätteeksi, jolloin raportoitui kyseinen työviikko kokonaisuudessaan. Tämän työn aikana raportti täytettiin valmiiksi alihankintasolun työnjohtoa varten kuluvan viikon valmistumisastetta ja henkilölukumääriä lukuun ottamatta (Tuul 2015).

Konecranesin sisäisessä raportoinnissa olisi hyvä ottaa valmistuneissa tunneissa huomioon myös KET. Kun tuotantosolusta saadaan jokaisen työn valmistusaste viikoittain, näistä tiedoista voidaan riittävän tarkasti laskea valmistuneen työn määrä viikoille. Valmistuneiden kappalemäärien raportointi noudattaisi samaa logiikkaa kuin ennenkin, sillä niitä ei ole järkevää jakaa osakokonaisuuksiin samoilla valmistumisasteilla.

4. TUOTANTOKAPASITEETIN ENNUSTAMINEN AIKAISEMMIN

Jokaisella tuotantosolulla on tällä hetkellä oma tapansa arvioida kapasiteettia ja kuormaa. Toisesta solusta arvioitua kapasiteettia ei voida vertailla muiden kanssa, sillä se arvioidaan jokaisessa solussa eri tavalla ja eri muuttujien sekä vakioiden avulla. Tästä syystä työkuormaa solujen välille koordinoivalla henkilöllä on suuria haasteita saada optimoitua kuorma tasaisesti ja optimaalisesti solujen välille. Myös sijaisuudet koordinaattoreiden näkökulmasta tulevat verrattain haastaviksi, kun arviointitapa täytyy valita aina solusta riippuen. Tästä syystä olisi hyvä löytää jokin yhteinen malli arvioida eri tuotantosolujen kapasiteettia ja täyttöastetta samoilla mittaus- ja periaatetavoilla. Tällöin ali- tai ylikuormatilanteissa saataisiin selkeä näkyvyys solun sen hetkisestä tilanteesta ja kuormaa voitaisiin jakaa soluihin tasaisemmin. Ylikuormatilanteessa voidaan kuormaa jakaa tehokkuuskertoimen ja täyttöasteen mukaan, jolloin mahdollinen jättämä, eli töiden myöhästyminen minimoituu. Töiden valmistussolua muutettaessa täytyy ottaa huomioon muutkin toimitustäsmällisyyteen vaikuttavat asiat, kuten materiaalihankinta ja logistiikka. Jos tuotantosolu on tehnyt jo materiaaliostot kyseiseen työhön eikä niitä pystytä perumaan, täytyisi kyseiselle materiaalille suunnitella jokin toinen käyttötarkoitus. Tuotantosolun vaihtuessa esimerkiksi omasta tuotannosta alihankintaan, täytyy ottaa huomioon logistiikasta aiheutuvat viiveet ja arvioida hyödyt uudelleen. Toisaalta kun ylikuormatilanne havaitaan riittävän ajoissa, nämä eivät normaalitilanteessa vaikuta toimitustäsmällisyyteen (Islander 2015; Myllynen 2015; Tuul, 2015).

4.1 Oma tuotanto

Työntekijät leimaavat itsensä töihin omalla henkilökortillaan. Työpäivän päätteeksi he vastaavasti leimaavat itsensä ulos, jolloin päivän aikana kertyneet työntunnit lisätään järjestelmään. Näistä leimauksista koostuu järjestelmän laatima ja tallentama raportti työntekijöiden yhteenlasketuista työtunneista viikoille. Työnjohto päivittää muuttuvat tilanteet työntekijöiden arvioiduista työtunneista tulevaisuudessa toiseen raporttiin. Tässä raportissa on arvioitu lomat, valmistussolujen työntekijävaihdokset, sekä muut ennalta tiedetyt työtunteja pienentävät tekijät. Näiden lisäksi pidetään raporttia erilaisista häiriöajoista. Nämä häiriöajat pitävät sisällään palaverit, työn korjaukset tai muut työntekoa vähentävät tekijät työajassa. Tätä raporttia kirjataan työntekijöiden toimesta ja työnjohto kirjaa kokonaistunnit näistä viikkoraportteihinsa, mistä yksi sisältää toteutuneet työtunnit. Näin ollen on mahdollista laskea toteutuneet työtunnit melko tarkasti jokaiselta kuluneelta viikolta sekä arvioida tulevat työtunnit lähiviikoille.

Työsuunnitteluvaiheessa jokaiselle oman tuotannon työlle määritetään rakenneaika sille varatun oman suunnitteluohjelman avulla. Tämä rakenneaika ei kuitenkaan ole vielä suoraan vertailukelpoinen tuotantosolun työtunteihin. Kyseinen aika skaalataan siten, että se jaetaan kertoimella 0,45. Tämä on keskimäärin sama kerroin millä edellisen vuoden rakenneajat on saatu vastaamaan solun työtunteja. Kerroin ei vastaa tällä hetkellä ihan täysin todellisuutta, sillä sen antamat valmistuneet työtunnit ovat suurempia kuin solun työntekijöiden kokonaistunnit. Kerroin on siis todellisuudessa hieman suurempi, eli työntekotahti on kasvanut viime vuoden keskiarvosta. Kapasiteetin ja työkuorman määrittäminen tapahtuu siis arvioitujen kokonaisviikkotuntimäärien, rakenneaikojen ja 0,45 kertoimen avulla (Islander 2015; Myllynen 2015).

Kokonaisviikkotuntimäärä on tässä tapauksessa suoraan kapasiteetti K :

$$K(t) = H(t)h_{vk}(t), \quad (4.1)$$

missä K on viikon t kapasiteetti, H on työntekijämäärä ja h_{vk} yhden työntekijän viikon työtuntimäärä.

Työkuorma määritetään rakenneajoista ja se skaalataan vastaamaan samoja tunteja kapasiteetin kanssa kertoimen 0,45 avulla:

$$F(t) = \frac{R_{kok}(t)}{0,45}, \quad (4.2)$$

missä F on työkuorma ja R_{kok} kokonaisrakenneaika.

Edellisen viikon valmistuneet työt ja työtunnit raportoidaan aina viikon ensimmäisenä työpäivänä, jolloin määritetään myös tulevien viikkojen kapasiteetit ja työkuormat. Oman tuotannon tapauksessa tilanne on kuitenkin tällä hetkellä se, että työkuormaa ei varsinaisesti määritetä kapasiteetin perusteella vaan päinvastoin rajoittamattomalla kapasiteettisuunnittelulla. Ensiksi määritetään työkuorma, minkä jälkeen arvioidaan millaisella kapasiteetilla siihen tulisi vastata. Työkuorma määritetään yleensä seuraavalle kuudelle viikolle, mutta jos tiedossa on suurikuormaisia viikkoja kauempana, raportoidaan myös ne (Kouri 2014; Myllynen 2015).

4.2 Alihankkija

Tässä työssä tarkasteltavana oleva alihankkijasolu toimittaa tällä hetkellä ainoastaan sillankaappeja. Työmäärä on pyritty pitämään pitkällä aikavälillä noin 700 tunnin tasolla per viikko. Yksittäisiä ali- ja ylikuormaviikkoja on luonnollisesti esiintynyt, mutta niitä on pyritty kompensoimaan tasaamalla kuormaa aikaisemmilta viikoilta tai uudelleensijoittamalla osaa työntekijöistä toisiin työtehtäviin. Suuren viikkokuorman tunnistaminen useamman viikon päästä voi olla erittäin vaikeaa, sillä tuotannonohjaajalla ei ole normaalitilanteessa mahdollisuutta nähdä mikä työviikko on karkeassa suunnittelus-

sa jäädytetty, eli mihin ei enää lisätä töitä. Uusia töitä saatetaan suunnitella valmistuviksi kolmenkin viikon päähän. Tämän lisäksi suunnittelemtomien töiden listalla saattaa olla töitä, missä pyydetty toimituspäivä siirtyy usealla viikolla tai jopa kuukaudella eteenpäin. Alihankkijalle annetaan tällä hetkellä viikoittain arvio neljän seuraavan viikon kuormasta ja tämän perusteella pyydetään myös kapasiteetti aina neljänneltä viikolta. Tämä rajoitettu kapasiteettisuunnitelma lasketaan ostetuista ja suunnittelemtomista töistä, minkä päälle lisätään arvio mahdollisesta lisäkuormasta. Tällä pyritään antamaan noin kuukausi aikaa reagoida mahdollisiin yli- tai alikuormaviikkoihin. Pyydetty kapasiteetti saattaa vaihdella alle kolmesta sadasta tunnista yli tuhanteen. Tämä on tuottanut paljon ongelmia tuotannonohjaukseen alihankkijasolussa (Kouri 2014; Islander 2015; Tuul 2015; Vastaranta 2015).

Jokaisen työpäivän päätteeksi solun tuotannonohjaaja lähettää päivän toimitettujen töiden tiedot sekä raporttinsa sen hetkisestä tilanteestaan muiden tilattujen töiden osalta. Tämä raportti on kooste järjestelmään avatuista töistä, niiden arvioidusta lähetyspäivästä sekä mahdollisista ongelmista, mitkä aiheuttivat tai aiheuttavat työn myöhästymisen. Raportti pitää sisällään kaikki työt mitä ei vielä ole toimitettu. Raportin pääasiallinen tarkoitus onkin saada estimaatit eli arviot töiden valmistumis- ja lähetyspäivistä. Mitään arviota keskeneräisten töiden sen hetkisestä tilanteesta ei tällä hetkellä ole, tehtyjen tuntien määrät viikoilta raportoidaan siis ainoastaan kyseisellä viikolla valmistuneista töistä. Tästä syystä raportoitavat työtuntimäärät per viikko eivät pidä täysin paikkaansa, kun ajatellaan todelliseen työntekoon kulunutta aikaa. Jos joltain viikolta ei pystytä toimitamaan jotain sille suunniteltua työtä, se jää seuraavan viikon kuormaan täydellä tuntimäärällään jättämänä, vaikka se olisikin täysin valmis.

Tämän hetkinen arviointi kuormitettavuudesta perustuu ainoastaan yhdessä alihankkijan työnjohdon kanssa sovittuun tuntimäärään per viikko. Se ei siis perustu minkäänlaiseen laskennalliseen arvioon todellisesta kapasiteetista. Kapasiteetti pyritään tässäkin tapauksessa luomaan sen jälkeen kun kuorma on määritetty. Tavoitteena on siis määrittää kapasiteetti riittävällä tarkkuudella, jotta kuorma voidaan suunnitella sen mukaan tuotantosolujen välille. Tällöin myös kuorman tasaaminen eri viikoille samassa solussa helpottuu, jos jollekin viikolle on tulossa poikkeuksellisen suuri kuorma. Lisäksi kuormaa eri solujen välille jakavalla osapuolella olisi parempi näkymä kunkin solun sen hetkisestä tilasta, mikä on ratkaisevan tärkeää kuormituksia määritettäessä (Piilola 2015; Tuul 2015).

Työssä esiteltävällä mallilla ei ollut mahdollista tehdä testiajoa menneisyyden osalta, sillä kaikkia tarvittavia tietoja ei ollut haettavissa jälkikäteen. Valmistuneissa tunneissa eli toteumissa ei ole KET:a laskettu mukaan ja tästä syystä tehokkuuskertoimet vaihtelevat välillä 0,43 – 1,32 viikosta riippuen. Jollain viikolla on näennäisesti toimitettu työtä yli teoreettisen kapasiteettimaksimin, koska jotkut työt ovat olleet lähes valmiita jo edellisellä viikolla. Pitkäaikainen keskiarvo tehokkuuskertoimesta antoi sitä vastoin melko luotettavan tuloksen, sillä siinä tasoittui viikkojen väliset erot toteumissa. Tämä

olisi myös yksi keino saada laskettua tehokkuuskerroin, tosin se ei ota nopeita muutoksia huomioon kuten kesätyöntekijöitä tai ylipäättään uusia työntekijöitä, joiden tehokkuus oletettavasti laskee yleistä keskiarvoa. Pitkäaikaisella painottamattomalla keskiarvolla alkuvuosi 2015 antoi tehokertoimen arvoksi 0,849. Tämä arvo on mielestämme erittäin korkea ja se herättää epävarmuutta rakenneaikojen todenmukaisuudesta. Alihankkijan oma tehokerroin tuotannolleen ohjausmielessä on 0,85 mikä osuu lähes täydellisesti samaan tämän kanssa (Tuul 2015).

Molemmat tuotantosolut arvioivat siis kapasiteettiaan eri tavoilla. Tästä pääpiirteisesti määräytyi tämän työn tarpeellisuus. Alimitoitettu kapasiteetti rajoittaa toimituksia, jolloin toimitustäsmällisyys kärsii. Sen vuoksi jokaisen tuotantosolun tulee pystyä tuottamaan se määrä valmistunutta työtä, mitä työkuorma milläkin ajanjaksolla vaatii. Kapasiteetin ja työkuorman suhdetta optimoimalla saavutetaan tämän kautta yksi merkittävimmistä kilpailueduista markkinoilla. Samoin kuin työkuormasta, myös kapasiteetista saadaan muuttuva tekijä ja tämä on mahdollista jos sen tilanne pystytään ennalta laske-
malla määrittämään (Kouri 2014; Islander 2015; Repo 2015).

5. TUOTANTOKAPASITEETIN ENNUSTAMINEN VIKKOTOTEUMISTA

Henkilöstömäärä vaikuttaa kapasiteettiin oletettavastikin paljon. Tässä työssä ei kuitenkaan paneuduttu juurikaan sen arvioimiseen, vaan pyrittiin löytämään paras tapa arvioida kapasiteettia sillä oletuksella, että arviot henkilöstömääristä voidaan ennustaa kolmen viikon päähän. Mallin ajatuksena on ennustaa tuotantosolussa valmistuvan työmäärän suhdetta käytettävissä olevaan kokonaistuntimäärään edellisten viikkototeumien perusteella. Valmistunut työmäärä saadaan suoraan töiden rakenneajoista ja kokonaistuntimäärä työntekijöiden viikkotuntien summasta. Näiden kahden tekijän avulla laskettavilla tehokkuuskertoimilla aikaisemmilta viikoilta voidaan sitten arvioida myös tuleva kapasiteetti, kun ensin määritellään henkilöstömäärä kolmen viikon päähän. Tässä työssä tehokkuuskerroin ja kapasiteetti arvioidaan kolmen viikon päähän aina työviikon ensimmäisenä työpäivänä.

5.1 Ennustusmalli

Malli laskee tehokkuuskertoimen avulla keskiarvon tuotantosolun jokaisesta työntekijästä saatavasta tehokkaasta työmäärästä tunneissa. Tehokas työmäärä on vertailukelpoinen soluun asetettuun työtuntimäärään, ja nämä työmäärät yhteenlaskettuna ovat kapasiteetti.

Tehokkuuskerroin E lasketaan toteutuneiden kokonaisrakenneaikojen, eli toteuman R_{kok} ja kokonaisviikkotuntimäärän h_{tot} suhteesta

$$E(t) = \frac{R_{kok}(t)}{h_{tot}(t)}. \quad (5.1)$$

Tehokkuuskertoimen ei todellisuudessa pitäisi koskaan olla arvoltaan 1,00 tai varsinkaan sen yli, mutta malli itsessään toimii oikein vaikka arvo ylittyisikin. Tällaisessa tapauksessa on melko varmaa, että rakenneajat eivät pidä täysin paikkaansa. Malli arvioi menneen perusteella tulevaa. Tällöin ennuste on menneisyyttä vastaava ja realistinen, väärilläkin rakenneajoilla. Tosin jos rakenneaikalaskenta ei mahdollista saman tuotantosolun töiden vertailua keskenään, tällöin ennusteesta ei saada tarkkaa. Tehokkuuskertoimella kerrotaan siis solun henkilöstömäärästä saatavat kokonaistyötunnit kyseessä olevalta ajanjaksolta, mistä voidaan määrittää kapasiteetti.

$$K(t) = E(t)h_{tot}(t). \quad (5.2)$$

Alihankintasolussa kapasiteettia arvioitiin käyttämällä edellisten viikkojen tehokkuuskertoimien painotettua keskiarvoa. Tehokkuuskertoimet edellisiltä viikoilta painotettiin omilla kertoimillaan, jotta niistä saatava ennuste saataisiin mahdollisimman tarkasti nykytilannetta kuvaavaksi. Sitä ei ollut järkevää laskea ainoastaan edelliseltä viikolta, sillä muuttuvat tilanteet heiluttaisivat arvoa liikaa ja sen luotettavuus kärsisi oleellisesti. Jos taas laskentaan otettaisiin liian monta viikkoa mukaan, laskenta ei ottaisi riittävän hyvin huomioon muuttuvia tilanteita.

Omassa tuotantosolussa kapasiteetti määritettiin kolmen viikon päähän edellisten viikkojen toteumien painottamattomana keskiarvona. Keskiarvoa ei painotettu, sillä viikkojen toteumat erosivat toisistaan paljon. Tämä johtui siitä, että KET:a ei otettu huomioon, jolloin töiden yhteenlasketut tunnit koostuivat ainoastaan valmistuneista töistä.

Tutkimus aloitettiin vertailemalla näiden kahden hieman erilaisen ennustusmallin käytettävyyttä rinnakkain. Ajatuksena oli selvittää miten paljon lisäarvoa saadaan, jos KET otetaan laskennassa huomioon. Kuten aikaisemmin mainittiin, ajankäyttöä tuli tarkastella yhtenä minimoitavana tekijänä, sillä mallin käytettävyyden riippuu paljolti siitä. KET:a ei ole tähän mennessä otettu raportoinneissa huomioon, vaikka se antaakin lähempänä todellisuutta olevan tilannekuvan valmistuneen työn viikkoraportointiin.

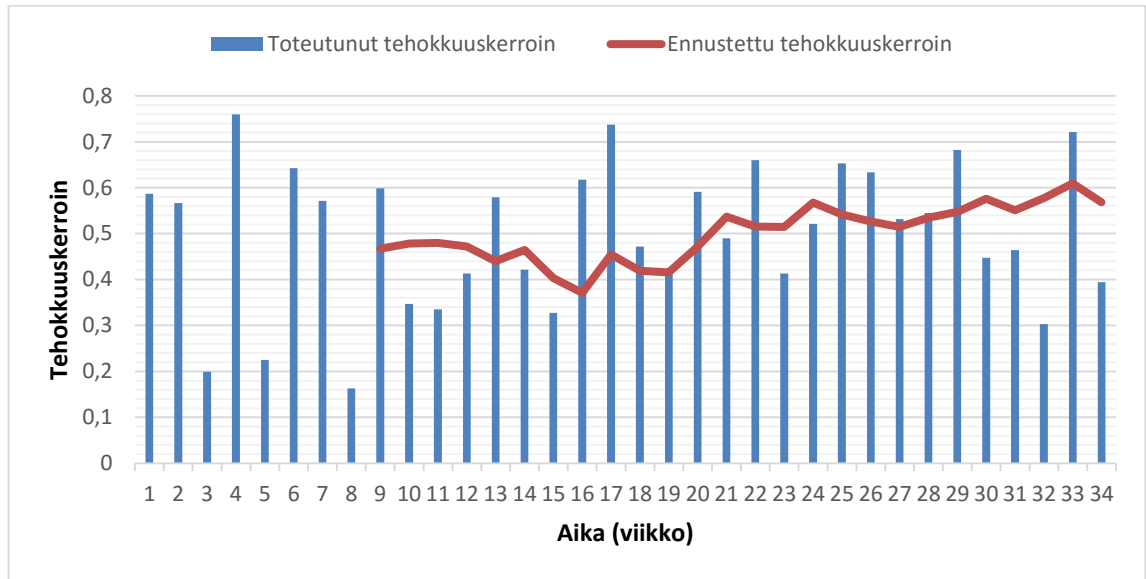
5.2 Tehokkuuskertoimen ennustaminen

Ajatuksena oli testata muutama eri vaihtoehto tehokkuuskertoimen ennustamiselle kumpaankin tuotantosoluun, jotta lopuksi tuloksia analysoimalla olisi mahdollista osoittaa jokin niistä parhaaksi. Muutamien eri vaihtoehtojen tarkastelun jälkeen päädyttiin ottamaan vertailuun mukaan kolmen, neljän ja viiden viimeisimmän viikon toteumien perusteella tehdyt ennusteet. Yksi hylätyistä vaihtoehdoista oli malli, jossa otettaisiin kolmen edellisen viikon toteumien lisäksi seuraavalle viikolle laskettu ennuste mukaan, mistä sitten laskettaisiin painotettu ja painottamaton keskiarvo tuotantosolusta riippuen. Tämä vaihtoehto ei kuitenkaan osoittautunut tuloksiltaan erityisen tehokkaaksi, ja lisäksi sen ylläpitämiseen vaadittiin enemmän laskentaa ja täten myös aikaa. Tästä syystä se jätettiin kokonaan pois tästä työstä. Havainnollistavat kuvat toteutuneista ja ennustetuista tehokkuuskertoimien arvoista liitettiin alla oleviin kappaleisiin, joista kuitenkin tehtiin tarkemmat analyysit ennusteiden toiminnallisuuksista myöhemmin kappaleeseen 6. Tulokset.

5.2.1 Viiden edellisen viikon ennustusmalli

Ensiksi käsiteltiin malli, missä tuleva tehokkuuskerroin arvioitaisiin edellisen viiden viikon toteumien perusteella. Kyseinen ratkaisu ei reagoi nopeasti muuttuviin tilanteisiin, mutta se pysyy sitä vastoin melko vakaana niissä tilanteissa, missä muutokset eivät ole toistuvia vaan satunnaisia. Kuvasta 10 näkyy miten ennuste osuu todellisten arvojen

kanssa yhteen oman tuotantosolun tehokkuuskertoimien kanssa ilman painotusta eri viikkojen osalla.



Kuva 10. Oman tuotannon toteutuneet ja viiden edeltävän viikon avulla ennustetut tehokkuuskertoimet.

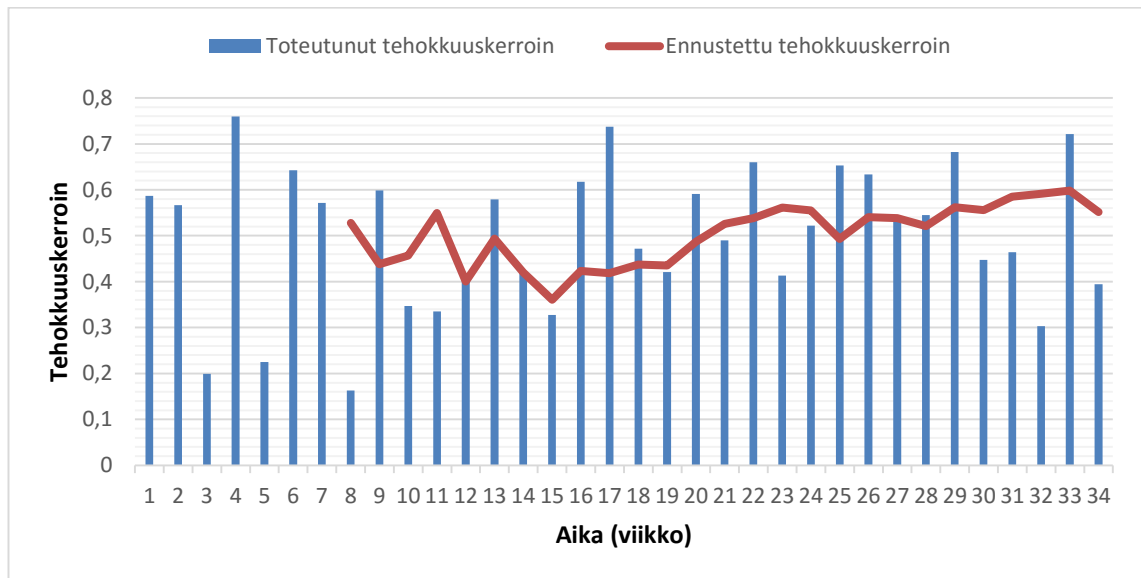
Mallissa siis ensimmäinen arvio oli mahdollista asettaa vasta viikolle yhdeksän, sillä se vaati toteutuneet tehokkuuskertoimet viideltä edeltävältä viikolta ja se asetetaan aina kolmen viikon päähän. Suurin tehokkuuskertoimen ennustevirhe tapahtui viikolla 17, missä se oli itseisarvoltaan 0,283. Keskimääräinen ennustevirhe oli 0,1044 mikä vastaa 104,4 tunnin virhettä 25 työntekijän tuotantosolussa yhden viikon osalta, kun työpäivien pituus on kahdeksan tuntia. Alihankintasolussa painotettu tehokkuuskerroin laskettiin seuraavasti:

$$E(t+3) = 0,3E(t-1) + 0,25E(t-2) + 0,2E(t-3) + 0,15E(t-4) + 0,1E(t-5) \quad (5.3)$$

$E(t+3)$ kuvaa arvioitua tehokkuuskerrointa kolmen viikon päähän. $E(t)$ tarkoittaisi tässä tapauksessa kuluvan viikon tehokkuuskerrointa. Aikataulusta johtuen vertailu alihankintasolussa arvioitujen ja toteutuneiden arvojen välillä pystyttiin tekemään ainoastaan kuuden viikon osalta.

5.2.2 Neljän edellisen viikon ennustusmalli

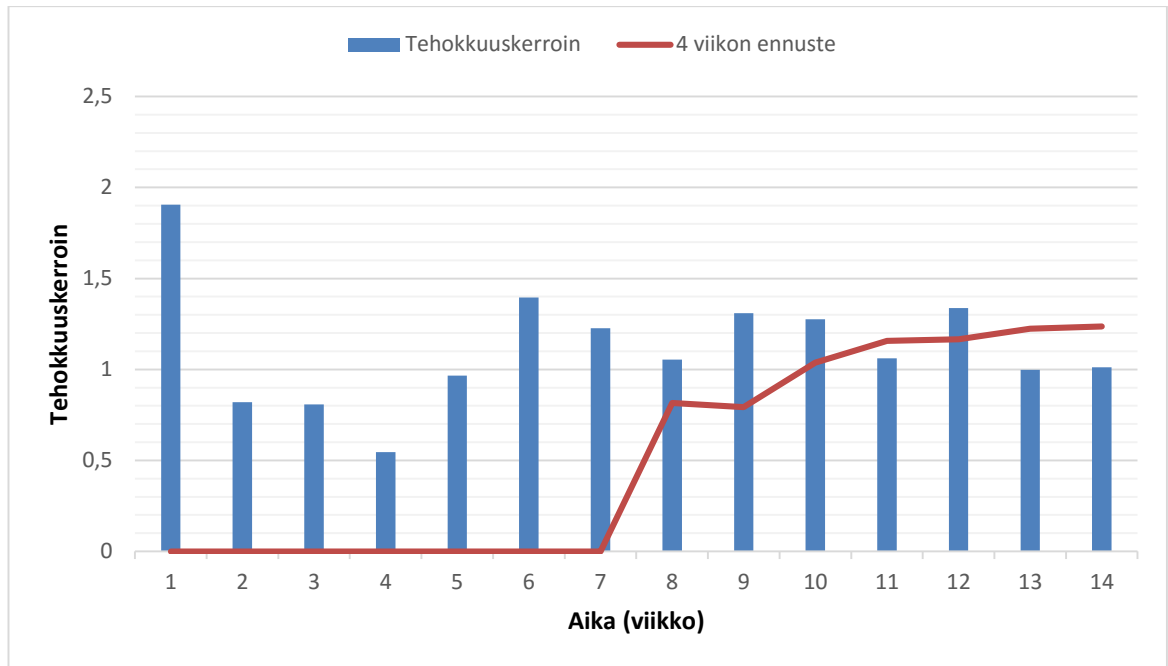
Neljän edellisen viikon toteutuneisiin tuotantoihin perustuvassa ennustusmallissa reagoit nopeus muutoksiin oli hieman nopeampi, eikä mallin vakaus kärsinyt oleellisesti, vaikka mukaan otettavien viikkojen määrä laskikin edelliseen malliin verrattuna. Kuvassa 11 näkyy tilanne oman tuotannon toteutuneista ja ennustetuista tehokkuuskertoimista.



Kuva 11. Oman tuotannon toteutuneet ja neljän edeltävän viikon avulla ennustetut tehokkuuskertoimet.

Tämä oli lähtökohtainen malli alihankintasolun tehokkuuskertoimen arvioimiseen. Tästä syystä tähän kappaleeseen on liitetty myös alihankintasolua koskeva kuva 12 toteutuneista ja ennustetuista kertoimista. Tässä mallissa kapasiteetti laskettiin painotetuista keskiarvoista seuraavasti:

$$E(t + 3) = 0,4E(t - 1) + 0,3E(t - 2) + 0,2E(t - 3) + 0,1E(t - 4). \quad (5.4)$$



Kuva 12. Alihankintasolun toteutuneet ja neljän edeltävän viikon painotetut keskiarvot tehokkuuskertoimille.

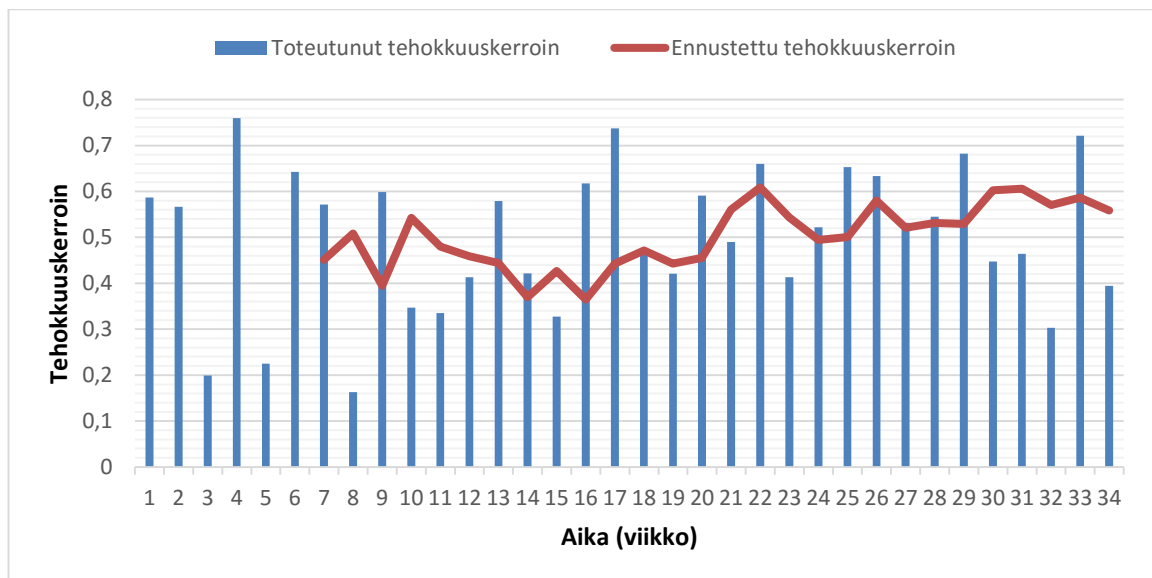
Arvioituja ja toteutuneita arvoja oli mahdollista vertailla tämän työn aikana seitsemän viikon osalta alihankintasolussa tällä mallilla, kts. kuva 13. Oleellista on kuitenkin nähdä tehokkuuskertoimien heilahtelut, mihin suurimmaksi osaksi johtopäätökset mallin toiminnallisuudesta lopuksi tehtiinkin (Kouri 2014)

5.2.3 Kolmen edellisen viikon ennustusmalli

Kolmen edellisen viikon toteutuneisiin tuotantoihin perustuvassa ennustusmallissa tehokkuuskertoimelle ennustettu arvo ei pysynyt enää riittävän vakaana, sillä satunnaiset muuttuvat tilanteet aiheuttivat hieman liian nopeita ja rajuja seurauksia mallin ennustuksiin. Varsinkin alihankintasolussa käytettävä painotettu keskiarvo missä käytettiin kaavaa (5.5):

$$E(t + 3) = \frac{3E(t-1)+2E(t-2)+E(t-3)}{6}. \quad (5.5)$$

Lähtökohta painotuskertoimille pysyi siis samana, eli viikoista viimeisin painotettiin suurimmalla kertoimella. Nyt viikko t-1 sai kuitenkin suhteessa suuremman kertoimen kuin edellisissä, ja sen merkitys nousi yhtä suureksi kuin kaksi edellistä viikkoa yhdessä. Painokerroin arvot olisi ollut mahdollista valita myös toisin, mutta valittu tapa osoittautui muita vertailussa mukana olleita tapoja tehokkaammaksi.



Kuva 13. Oman tuotannon toteutuneet ja kolmen edeltävän viikon avulla ennustetut tehokkuuskertoimet.

5.3 Tavoiteltavat hyödyt

Pääasiallisena tarkoituksena oli löytää yhtenäinen ennustusmalli tuotantosoluille, millä saavutettaisiin tehokkaampi ja tarkempi tapa arvioida kapasiteettia ja vallitsevaa työkuormaa sekä tarjota jokin tapa mitata tuotantosolujen työtehokkuuksien kehitystä. Tällöin myös eri tuotantosolujen tehokkuuksia voitaisiin vertailla keskenään, mikäli töiden rakenneajat olisivat näiden solujen välillä samat. Ennustusmallin avulla nähdään jos jokin solu ei toimi halutulla tehokkuudella tai jos rakenneaikojä täytyy kalibroida uudelleen. Malli tarjoaa työkalun mitata tuotantosolun tehokkuutta verraten työlle annettua rakenneaikaa todellisiin toteutuneisiin tunteihin. Rakenneaikojä tulee tietenkin arvioida myös kriittisesti, jos tehokkuuskerroin poikkeaa huomattavasti asetetusta skaalasta, mikä tulee määrittää solu- ja rakenneaikakohtaisesti. Yli- tai alikuormatilanteissa voidaan käyttää mallin laskemaa kapasiteettia määrittämään solujen täyttöasteet. Täyttöasteita vertailemalla kuormanjaosta saadaan tasaisempi ja soluista vertailukelpoisia keskenään, vaikka rakenneajat olisivatkin erilaiset. Tosin jos solusta riippuen puhutaan työkuormasta ja kapasiteetista kymmenissä tai sadoissa tunneista, täytyy ottaa huomioon yksittäisten töiden vaikutus kummankin solun täyttöasteeseen. Toisessa tapauksessa työ saat-

taa nostaa täyttöastetta huomattavasti enemmän kuin toisessa. Täyttöaste T saadaan kaavasta:

$$T(t) = \frac{F(t)}{K(t)}, \quad (5.1)$$

missä F kuvaa työkuormaa.

5.3.1 Tehokkuuden mittari

Oletetaan, että yhdestä työntekijästä raportoitu työä yhdelle viikolle 40 tuntia. 100 prosentin tehokkuus saavutettaisiin, jos työntekijästä saataisiin jalostettua tuo sama määrä toteutuneisiin työtunteihin. Tästä ajasta osa kuluu kuitenkin taukoihin ja erilaisiin häiriöihin. Tästä syystä onkin erittäin tärkeää määrittää tehokkuuskerroin, millä viikkotuntimäärä saadaan skaalattua vastaamaan mahdollisimman tarkasti työhön suoraan kohdistettuja tunteja. Tehokkuuskerroin ilmaisee siis suhteen rakenneajan ja todellisen valmistumisajan välillä (Repo 2015).

Tehokkuuskertoimen arvo riippuu siis rakenneajoista ja solun työntekijöiden yhteenlasketuista työtunneista. Rakenneajat eivät kuitenkaan aina ole realistisia, ja mikäli niihin ei voida puuttua, tuleekin mitoittaa jokin perustaso tehokkuuskertoimelle. Tähän perustasaan vertailemalla voidaan tehdä johtopäätöksiä eri viikkojen tehokkuuksista. Tavoitteet tuleville ajanjaksoille voidaan asettaa tähän perustasaan nähden. Rakenneaikojen ollessa realistisia, tavoitetason asettamisessa tulee määrittää taukojen lisäksi maksimaalinen hyväksyttävä häiriöaika. Varsinkin suuressa tuotantosolussa useaan, ellei jokaiseen työpäivään kuulu kuitenkin joitain pieniä häiriöitä, mitkä hidastavat tehokasta työaikaa. Tästä syystä olisi epärealistista määrittää tavoitetaso yhtä suureksi teoreettisen maksimitason kanssa. Teoreettisella maksimitasolla tarkoitetaan työpäiviä, missä häiriöaika pitää sisällään ainoastaan tauot.

5.3.2 Solun täyttöaste

Täyttöaste kertoo suhteen kuorman ja kapasiteetin välillä. Jos rakenneajat lasketaan eri soluissa samalla periaatteella, voidaan täyttöasteita vertailla suoraan keskenään. Tällöin siis kuormajako helpottuu oleellisesti, kun voidaan käsitellä myös ainoastaan yhtä rakenneaikaa. Tällä hetkellä rakenneaikalaskenta ei kuitenkaan noudata samaa logiikkaa kahden tässä työssä käsiteltävän tuotantosolun kanssa. Tästä johtuen hienokuormitusta tehtäessä rakenneajat on selvitettävä kummankin solun kannalta erikseen. Täyttöaste antaa mielestämme joka tapauksessa parhaan tavan kuorman tasaamiselle tuotantosolujen välillä, vaikka rakenneajat poikkeavatkin toisistaan. Tuotantosolujen kapasiteetit eroavat toisistaan tilanteesta riippuen paljonkin, ja tästä syystä kuormaa tulisi suunnitella ja jakaa täyttöasteiden mukaan. Ajatellaan, että yhden solun kapasiteetti olisi kaksin-

kertainen toiseen nähden ja kyseessä olisi ylikuormatilanne. Uusi työ pitäisi ohjata soluun, missä se veisi joko viides- tai kymmenesosan kapasiteetista solusta riippuen, kummankin solun kapasiteetin ollessa jo täynnä. Jos tilannetta ajatellaan ainoastaan tuntiperusteisesti, kummankin kapasiteetti ylittyisi samalla tuntimäärällä. Täyttöasteen tarkastelu sen sijaan antaa huomattavasti kattavamman tilannekuvan, sillä siinä verrataan työstä aiheutuvia työtunteja solun kokonaiskapasiteettiin. Mikäli työ on mahdollista tehdä ilman ylitöitä nostamalla hieman solun sisäistä tehokkuuskerrointa, onnistuu se helpommin solussa, missä kokonaiskapasiteetti on korkeampi. Tehokkuuskertoimeen vaadittava korotus on aina pienempi suuremmassa tuotantosolussa, jos verrattavat tunnit eivät muutu solusta riippuen. Tässä työssä käsiteltävien tuotantosolujen tapauksessa verrattavat tunnit ovat hieman erisuuruiset, ja siitä syystä täyttöasteet tulisi laskea soluille omien rakenneaikojen mukaan (Repo 2015).

Täyttöaste on mahdollista optimoida arvoon yksi, mutta varsinkin tässä työssä käsiteltävien tuotantosolujen kanssa se on haastavaa. Soluja kuormittavat työt kuluttavat kapasiteettia hyvin epätasaisesti ja myös rakenneaikoihin voi tulla yllättäviä muutoksia vasta työn valmistusvaiheessakin. Tämän lisäksi arvot kapasiteeteista ovat perustuneet niin karkeaan arviointiin, ettei ole ollut järkevää kuluttaa resursseja kuorman optimointiin liian tarkasti. Tämän työn yhtenä tavoitteena on luoda yhteinen, samoihin periaatteisiin nojaava tapa arvioida kapasiteettia näiden kahden tuotantosolun välille, jolloin täyttöasteita voidaan vertailla ja kuormaa tasata tehokkaammin (Islander 2015; Myllynen 2015).

5.4 Kapasiteetin arvioiminen kappalekohtaisesti

Mikäli tuotantosolu tuottaa samankaltaista tuotetta useita kappaleita päivässä, eivätkä rakenneajat poikkea toisistaan paljoa ja ne pysyvät riittävän pieninä, yksi vaihtoehto on määrittää kapasiteetti kappaleisiin perustuen. Tällöin ei ole järkevää ottaa KET:a laskentaan mukaan, sillä kappalemäärät ovat oletettavasti korkealla ja näin ollen niiden yksityiskohtaiseen tarkasteluun kuluisi liikaa aikaa. Ei olisi tehokasta käydä jokaista työtä erikseen läpi ja arvioida sille jokin osamäärä valmistuneeksi osaksi, varsinkaan rakenneaikojen ollessa pienet.

Valmistuneet kappalemäärät saattavat poiketa toisistaan useita kymmeniä viikoista riippuen, joten ennusteen olisi hyvä noudattaa jonkinlaista keskiarvoa. Painotetun keskiarvon mallissa ongelmaksi muodostuvat mahdolliset epätasaiset viikot, KET:n jäädessä pois laskennasta. Siksi ei ole järkevää painottaa lähiviikkoja suuremmalla kertoimella, sillä ne eivät välttämättä kuvaa solun sen hetkistä tilannetta yhtään paremmin kuin aikaisemmatkaan viikot. Tästä syystä mielestämme paras vaihtoehto olisikin keskiarvotettu ennustus, missä menneiden viikkojen epätasaisuudet keskiarvottuvat ilman painotuksia. Viikkojen otantamäärä olisi syytä pitää riittävän suurena, jotta epätasaisuudet keskiarvottuvat ja toisaalta rajoittaa mahdollisimman vähään, sillä liian monen viikon otanta hidastaa mallin kykyä reagoida muutoksiin. Näin ollen paras vaihtoehto olisi toimia kuten tuntimäärän ennustamisessa, eli valita otantamäärään neljä viikkoa.

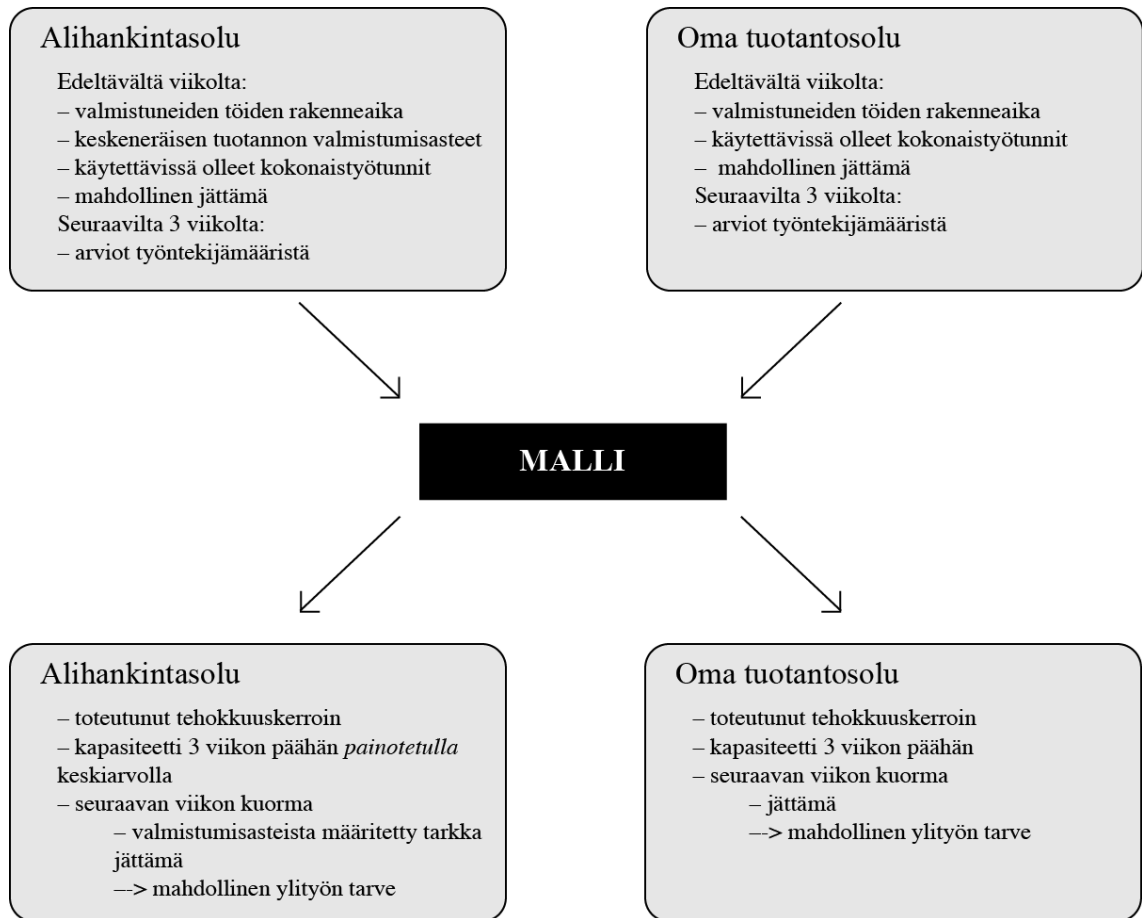
Kapasiteetin arvioiminen kappalekohtaisesti helpottuu oleellisesti verrattuna tuntiperusteiseen malliin. Valmistuneiden tuotteiden lukumäärä jaetaan henkilölukumäärällä, minkä jälkeen saadaan suoraan valmistuneet tuotteet henkilöä kohden. Tämän kappalemäärän perusteella voidaan laskea nyt neljän tai viiden edellisen viikon keskiarvo, ja ennustaa kapasiteetti kappaleissa kolmen viikon päähän yhdessä henkilöstölukumäärän kanssa. Mikäli valmistettavien tuotteiden rakenneajat ovat selvillä, voidaan laskea myös tehokkuuskerroin ja määrittää tuotantosolun yleinen tehokkuus. Tehokkuuskerrointa ei siis tarvitse erikseen määrittää kapasiteettia laskettaessa, mutta siitä voidaan suoraan määrittää tavoitetaso (Repo 2015).

6. TUOTANTOKAPASITEETIN ENNUSTUSMALLIEN TESTAAMINEN

Tarvittavia tietoja kapasiteetin arvioimiseen olivat siis edellisten kolmen, neljän tai viiden viikon tehokkuuskertoimet valitusta mallista riippuen, sekä arvioitu työntekijämäärä kolmen viikon päähän. Alihankintasolussa kerättiin tiedot valmistuneen ja KET:n osalta ja sen jälkeen verrattiin näitä kyseisenä viikkona kokonaisuudessaan käytettävissä olleisiin työtunteihin. Omassa tuotannossa tiedot kerättiin ainoastaan valmistuneista töistä ja näitä vastaavasti verrattiin kokonaistuntimääriin. Mittauksia tehtäessä arvioitiin haitaksi se, ettei tarkasteltavissa tuotantosoluissa ollut aluksi riittävästi kuormaa verrattuna teoreettiseen kapasiteettiin. Työn tehokkuus on yleensä pienempi paineettomassa ympäristössä ja täten saatavat tulokset eivät välttämättä vastaa todellisia arvoja. Tämä ongelma kuitenkin kierrettiin perustelemalla tilanne siten, että tuotantosolun työnjohdon arvioitiin näkevän tilanne samoin. Oletuksena oli, että kyseinen henkilö siirtäisi tarvittavan määrän työntekijöitä tilapäisesti toisiin työtehtäviin, jolloin tehokkuus pysyisi halutulla tasolla. Lisäksi mittauksia tehtäessä otannassa oli lopulta sekä pieni- että suurikuormaisia viikkoja mukana, mikä vastaa hyvin perustilannetta.

6.1 Tarvittavat tiedot tuotantosoluista

Mallit käyttivät kapasiteettia ennustaessaan käytettyjä työtunteja sekä solussa käytettävissä olevia kokonaistuntimääriä. Alihankintasolussa toteutuneet työtunnit koostuivat sekä valmistuneesta- että keskeneräisestä tuotannosta. KET arvioitiin mukaan laskentaan 20 prosentin tarkkuudella, sillä sitä tarkemmat arviot eivät olisi antaneet juurikaan lisäarvoa laskentaan. Osa tästä tuotannosta saattoi muodostua jättämästä, ja tällöin osatiin arvioida myös tarkemmin miten paljon seuraavan viikon kuorma todellisuudessa oli jättämä mukaan lukien. Tämä tarjosi apua tuotannonohjaukseen, jos haluttiin laskea tarvittavaa työpanosta ylitöille esimerkiksi viikonlopulle. Omassa tuotantosolussa toteutuneet työtunnit koostuivat ainoastaan täysin valmistuneiden töiden rakenneaikojen määrittämistä tunneista. KET:a ei laskettu suoraan mukaan, ja tästä syystä myös tehokkuuskertoimen arvioiminen erosi alihankintasolussa käytetystä laskentamallista.



Kuva 14. Mallin tarvitsemat tiedot ja niistä lasketut tiedot.

Kuvassa 14 on esitetty kaavio tiedoista mitä tuotantosoluista pyydettiin ja mitä niiden pohjalta pystyttiin laskemalla arvioimaan.

Kummastakin tuotantosolusta kerättiin tiedot tuotannon työntekijämääristä, joilla pystyttiin laskemaan se tuntimäärä mitä koko solussa työskenneltiin kyseessä olevalla ajanjaksolla. Työntekijämäärät annettiin kuluvan viikon lisäksi kolmelta seuraavalta viikolta, minkä jälkeen kapasiteetti arvioitiin kolmen viikon päähän. Kahdelta seuraavalta viikolta vaadittiin myös päivitetty työntekijämäärät, jotta pystyttiin tarkkailemaan kapasiteettimuutoksia.

Tämän jälkeen tehokkuuskerroin määritettiin solun yhteiseksi keskiarvoksi sen kaikista työntekijöistä. Tätä tehokkuuskerrointa käytettiin kapasiteetin laskemiseksi tuleville viikoille kertoen sillä solun työntekijöiden muodostama kokonaistuntimäärä. Tehokkuuskerroin määritettiin viikkoperusteisesti ja sen arvo laskettiin tuotantosolusta riippuen joko edellisten viikkojen keskiarvona, tai sitten painotettuna keskiarvona. Painotus-suhteet vaihtelivat mukaan otettujen viikkojen mukaan, mutta suurin kerroin annettiin aina viimeisimmälle viikolle. Näin saatava kapasiteetti asetettiin kolmen viikon päähän, sillä tällöin sitä pystyttiin vielä käyttämään suunniteltaessa kuormanjakoa.

6.2 Oma tuotanto

Valmistuneet työtunnit oli mahdollista määrittää jälkikäteen jo menneiltä ajanjaksoilta, ja tästä syystä oli mahdollista kerätä tarvittavat tiedot useammalta viikolta. Tässä vaiheessa tiedot kerättiin valmiiksi skaalatuista toteutuneista työtunneista ja solun kokonaistuntimääristä. Näiden avulla pystyttiin määrittämään tehokkuuskerroin ja lopulta arvioimaan kapasiteetti aina kolmen viikon päähän. Rakenneajat skaalattiin vanhalla menetelmällä vastaamaan paremmin käytettävissä olevia tunteja jakamalla ne tuottavuuskertoimen pitkäaikaisella keskiarvolla. Lopulta kuitenkin päädyttiin skaalaamattomiin rakenneaikoihin, sillä malli ei olisi saanut skaalauksista mitään lisäarvoa. Lisäksi kun lasketaan kapasiteetti suoraan rakenneajoiksi, ei ole tarvetta ylimääräiselle skaalaukselle.

Tarvittavien tietojen kerääminen aloitettiin listaamalla toteutuneiden tuntien lisäksi häiriöaika ja tuotantosolun työntekijöistä saatava käytettävissä oleva tuntimäärä. Näistä laskettiin tehokkuuskerroin:

$$E(t) = \frac{R_{kok}(t)}{h_{tot}(t) - I(t)}, \quad (6.1)$$

missä I on kyseessä olevan ajanjakson häiriöaika. Häiriöaika tarkoittaa sitä ajanjaksoa, mikä myös olisi laskettu toteutuneisiin työtunteihin ilman sattunutta häiriötä tai keskeytystä. Se otetaan tässä tapauksessa huomioon tehokkuuskerrointa määritettäessä, ja tässä mallissa se vähennetään solun kokonaistytuntimäärästä. Tällöin saadaan osa häiriöaikaan vaikuttavista tekijöistä karsittua pois, kun määritetään tulevaa kapasiteettia toteutuneiden tehokkuuskertoimien avulla (Myllynen 2015).

Kun riittävän monelle ajassa taaksepäin olevalle viikolle oli laskettu tehokkuuskertoimet, pystyttiin vertaamaan mallilla ennustettuja tehokkuuskertoimia toteutuneisiin. Tehokkuuskertoimet vaihtelivat viikoista riippuen odotetun paljon jokaisessa kokeiltavassa mallissa. Ajattelimme tämän johtuvan pääosin KET:n jättämisestä laskennan ulkopuolelle, jolloin töihin sidottuja työtunteja ei pystytty jakamaan oikeille viikoille. Tässä tuotantosolussa töiden rakenneajat ovat useinkin yli 40 tuntia, mikä tarkoittaa yli viikon valmistumisaikaa (Myllynen 2015).

Suurin osa ennustetun kapasiteetin ja toteutuneiden tuntien välillä aiheutui väärin arvioiduista henkilömääristä. Tämä johtui tilanteesta riippuen joko työntekijöistä itsestään tai työnjohdosta. Työntekijä saattoi sairastua tai pyytää yllättävän loman, tai sitten työnjohto teki muutoksia solun työntekijämääriin. Kun kuorma oli alhaalla, ei ollut järkevää pitää tuotantosolua täydessä kapasiteetissaan, vaan pyrkiä siirtämään väliaikaisesti työntekijöitä työvoiman tarpeen mukaan eri tehtäviin tai vapaalle. Näin toimien tehokkuuskerroin on mahdollista pitää korkealla, vaikka työkuorma olisikin matalalla tasolla (Myllynen 2015).

6.3 Alihankintasolu

Alihankintasolu tarjosi jokaisen työpäivän päätteeksi raportin, missä oli tiedot jokaisen työn ostotilausnumerosta, työnumerosta, edellisen ja kuluvan viikon edistymisestä sekä rakenneajasta. Tämän perusteella oli mahdollista laskea kyseisellä viikolla saavutettu edistyminen. Yhteenlaskettu edistyminen suhteutettiin tämän jälkeen työntekijöiden kokonaistuntimäärään, mistä saatiin kyseisen viikon tehokkuuskerroin.

Työ- ja ostotilausnumeroa käytettiin identifioimaan jokainen työ erilleen toisistaan. Tuotannonohjausjärjestelmä määräsi automaattisesti nämä kaksi numeroa jokaiselle työlle.

Edellisen ja kuluvan viikon edistymät kertoivat eri töiden valmistumisasteiden kehittymisen viikon ajalta. Niiden erotuksen avulla pystyttiin laskemaan rakenneajasta viikon aikana valmistunut työmäärä.

Rakenneajat saattavat vaihdella töiden osalla muutamasta tunnista lähelle 60 tuntia. Yksittäisiä töitä ei voida arvioida mitenkään järkevästi yhdellä keskiarvotetulla tuntimäärällä. Tästä syystä pyydettyyn raporttiin tuli lisätä ostotilauksella annettu rakenneaika jokaisen työn kohdalle. Täten raportista voitiin laskea työhön jo käytetty ja jäljellä oleva tuntimäärä valmistumisasteen avulla. Rakenneajat saattavat myös muuttua työtä tehdesä ja tämä sattui usein varsinkin alihankintasolussa. Uusi rakenneaika tuli muuttaa myös raportille, ja tällöin työkuormakin piti määrittää uudelleen.

Työt järjestettiin raportilla pyydettyjen toimitusviikkojen mukaan. Tällöin esimerkiksi jättämä voitiin erotella selkeästi erilleen, ja sen määrä oli helppo laskea. Myös viikko-kohtainen työtuntimäärä näkyi raportilla selkeästi ja mielestämme tämä olisi ollut hyödyllistä myös oman tuotannon työnjohdolle. Tällä saavutettaisiin myös yhtenäinen tapa seurata viikkokuormaa alihankinnan ja Konecranesin välillä.

Alihankintasolun työnjohdon kanssa sovittiin raportin käyttöönotosta kesän alussa. Tälle työlle laaditun aikataulun vuoksi ei ollut mahdollista ennustaa tehokkuuskertoimien kautta laskettuja kapasiteetteja riittävän monelle viikolle, käytetystä mallista riippumatta. Kolmen viikon mallissa oli mahdollista verrata kahdeksan viikon edestä arvioituja ja toteutuneita kapasiteetteja, kun taas viiden viikon mallissa arvot näki vain kuuden viikon osalta.

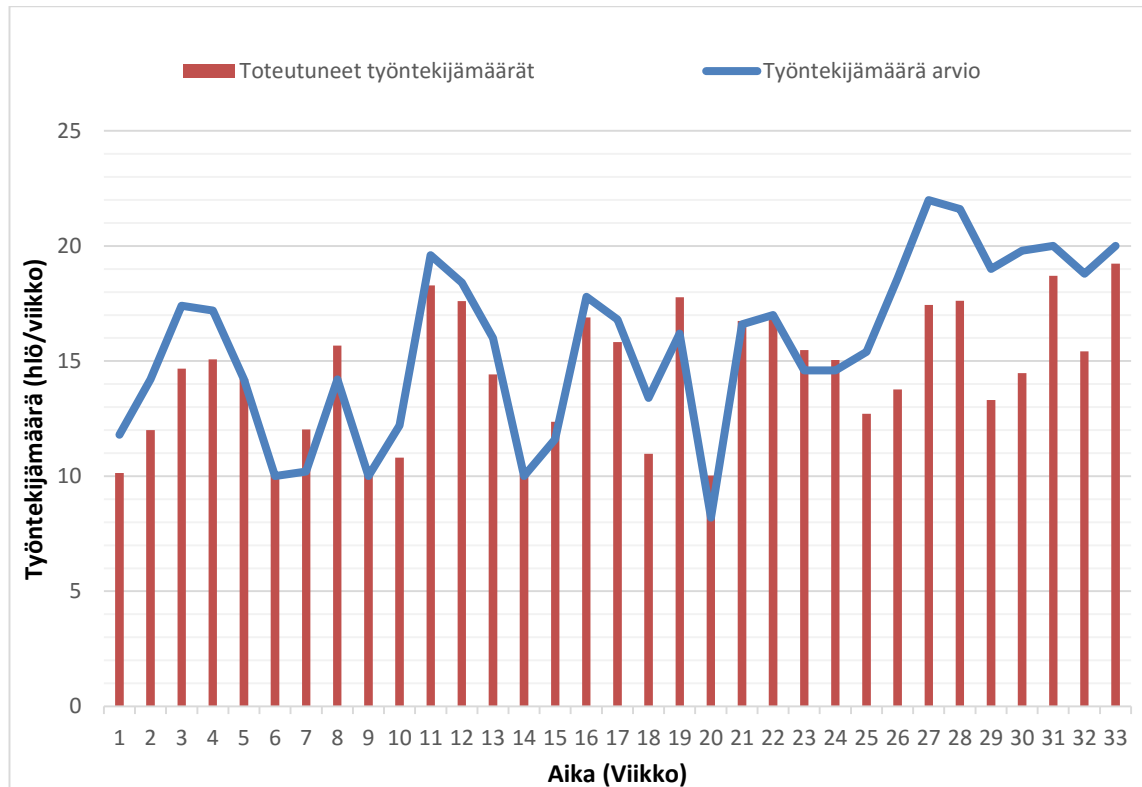
7. TULOKSET

Tehokkuuskertoimien suora vertailu tuotantosolujen välillä oletettiin erittäin hankalaksi rakenneaikalaskureiden eroavaisuuksien vuoksi. Tärkeää oli kuitenkin selvittää kummankin solun peräkkäisten viikkojen tehokkuuskertoimien vaihtelu, ja mahdolliset syyt niihin.

7.1 Oma tuotanto

Työn tavoitteena oli arvioida maksimikapasiteettia tehokkuuskertoimen avulla. Kun vertaillaan jokaisen kolmen solussa käytetyn eri ennustusmallin huippuarvoja, ovat ne kaikki lähellä arvoa 0,60. Yksittäisten viikkojen tehokkuuskertoimista nähdään, että usealla viikolla tämä arvo ylittyy melko paljonkin. Uskomme tämän johtuvan kuitenkin enemmänkin siitä, että töihin sidotut työtunnit eivät jakautuneet oikein niille viikoille milloin niitä valmistettiin. Suurimmaksi mahdolliseksi tehokkuuskertoimen arvoksi arvioitiin 0,68 mikä saadaan toteutuneiden tehokkuuskertoimien kahden suurimman peräkkäisen viikon keskiarvosta. Tämä tapahtui viikoilla 16 ja 17, mikä on sama ajan-kohta, jolloin tuotannon työntekijöille ilmoitettiin siitä, että tehokkuuskertoimen mittaus aloitetaan.

Mallin koeajossa yritettiin simuloida todellista tilannetta mahdollisimman tarkasti, ja tästä syystä kapasiteetti arvioitiin aina kolmen viikon päähän, eikä arvioita muutettu enää myöhemmin. Työntekijämäärät saattoivat vaihdella paljonkin, kun verrattiin arvioituja ja todellisia arvoja, johtuen vähäisestä kuormasta tai työntekijöistä itsestään. Vähäinen kuorma vaikutti tilanteeseen siten, että työntekijöitä ohjattiin toisiin työtehtäviin tai heille sallittiin vapaapäiviä, jos se vain oli mahdollista.

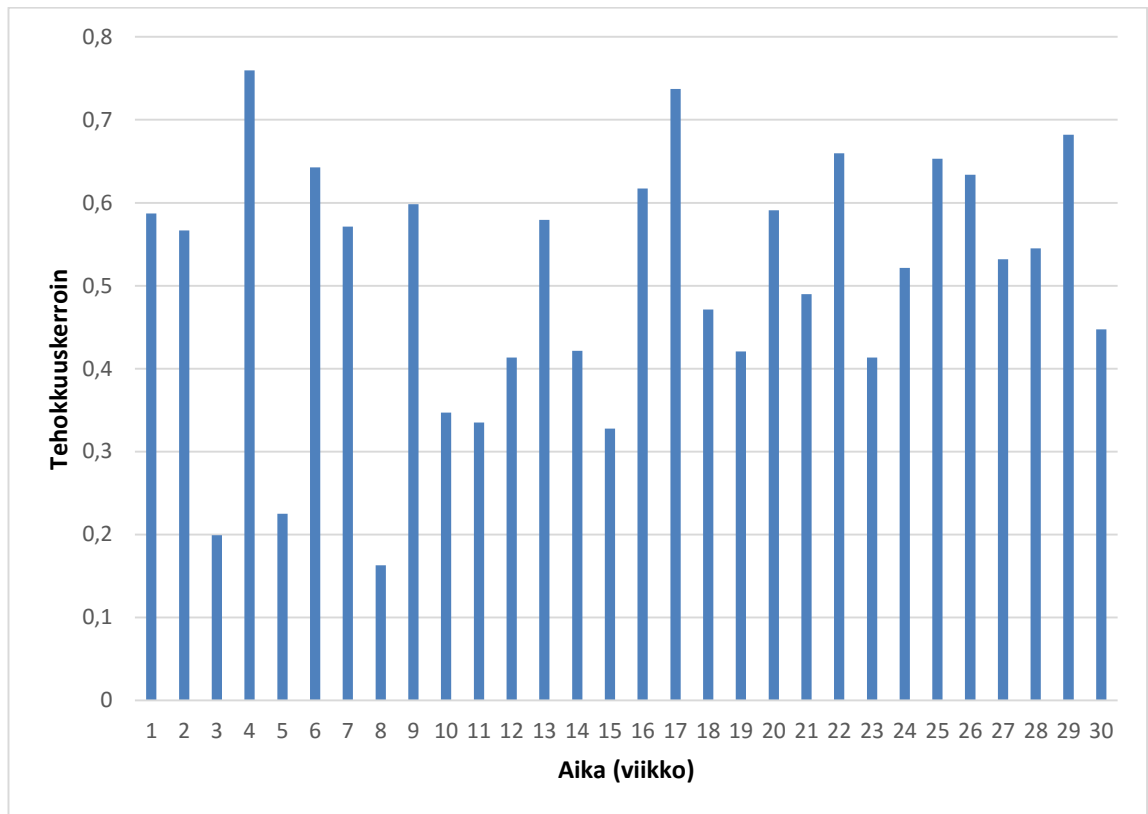


Kuva 15. Toteutuneet ja arvioidut työntekijämäärät eri viikoille.

Kuvasta 16 näkyy miten arvioidut ja toteutuneet työntekijämäärät poikkeavat toisistaan, kun ennuste tehtiin kolme viikkoa ennen kyseessä olevaa ajanjaksoa. Tehokkuuskertoimet laskettiin kolmen viikon päähän nojaten näihin arvioihin. Varsinkin kesä- ja heinäkuun aikana (viikot 25 - 30) arvioidut työntekijämäärät olivat huomattavasti suurempia kuin toteutuneet. Keskimääräinen virhe työntekijämäärien ennustamisessa oli 1,82 kun solussa työskenteli keskimäärin 14,42 henkilöä.

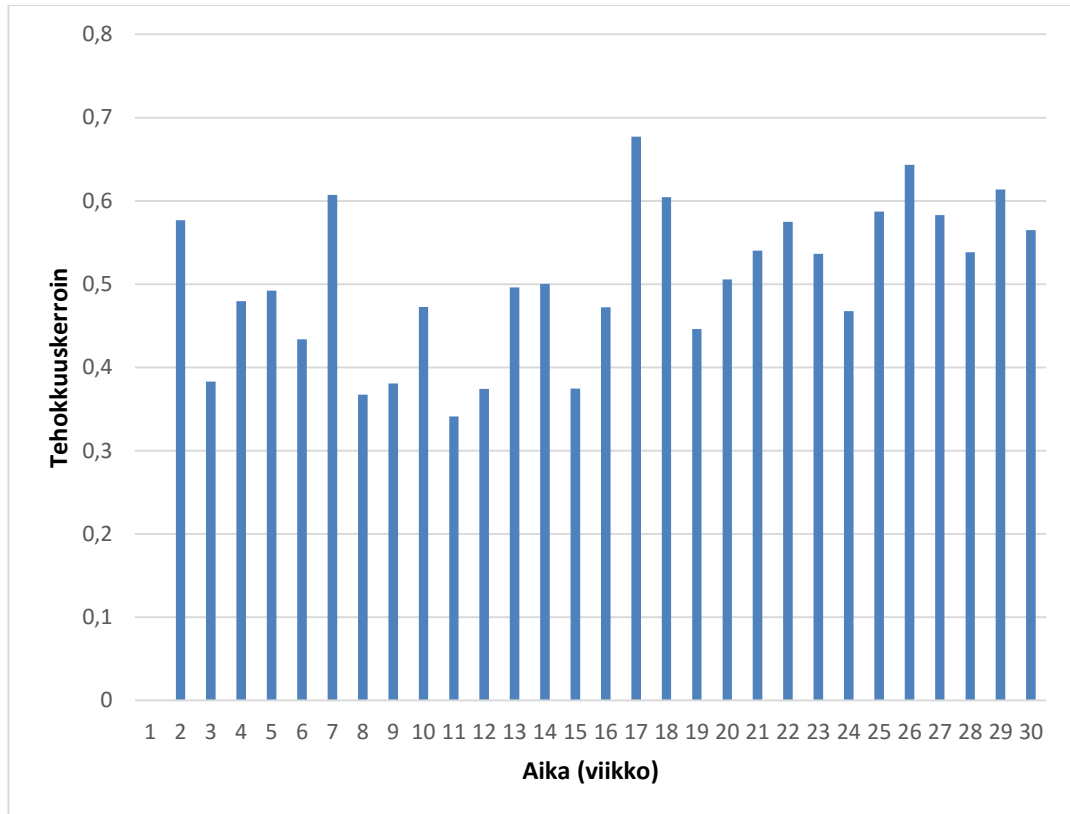
7.1.1 Tehokkuuskerroin

Tehokkuuskertoimien lasketut arvot heilahtelivat suhteellisen paljon varsinkin alkuvuoden raporteista kerättyjen tuntimäärien perusteella. Heilahteluväli olikin 0,16 – 0,76 viikoilta kahdeksan ja neljä. Osittain tätä heilahtelua selittää ylipäätään se, että KET:a ei huomioitu tässä tuotantosolussa ja toteutuneet työtunnit raportoituivat mahdollisesti tästä johtuen väärille viikoille.

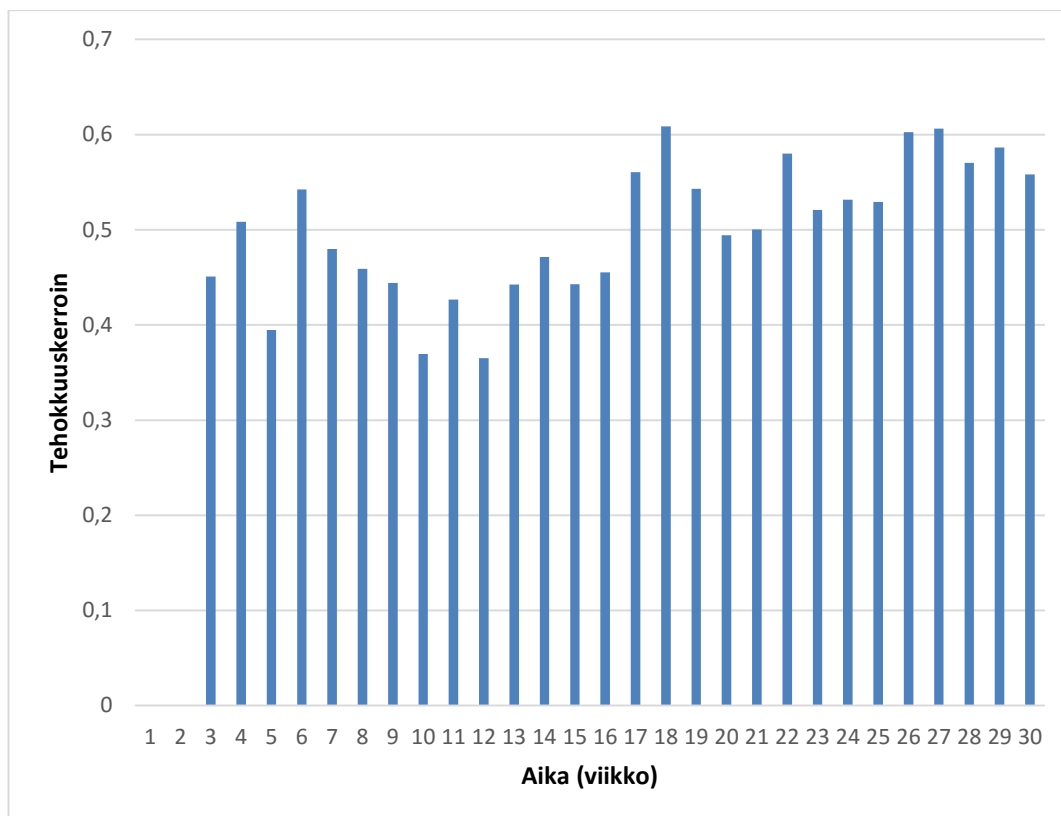


Kuva 16. Toteutuneet tehokkuuskertoimet.

Kuva 16 havainnollistaa tehokkuuskertoimen heilahtelua. Heilahtelun vuoksi kuvasta ei pysty suoraan tekemään juuri minkäänlaisia johtopäätöksiä, varsinkaan kun ymmärrettään KET:n puuttuminen laskennasta. Jos otetaan kahdelta tai kolmelta kuluneelta viikolta tehokkuuskertoimen keskiarvo, päästään hieman selkeämpiin tuloksiin. Tästä syystä käyttöön otettiin keskiarvotetut valmistuneet työtunnit viikoilta.



Kuva 17. Kahden viimeisen viikon tehokkuuskertoimien keskiarvot.

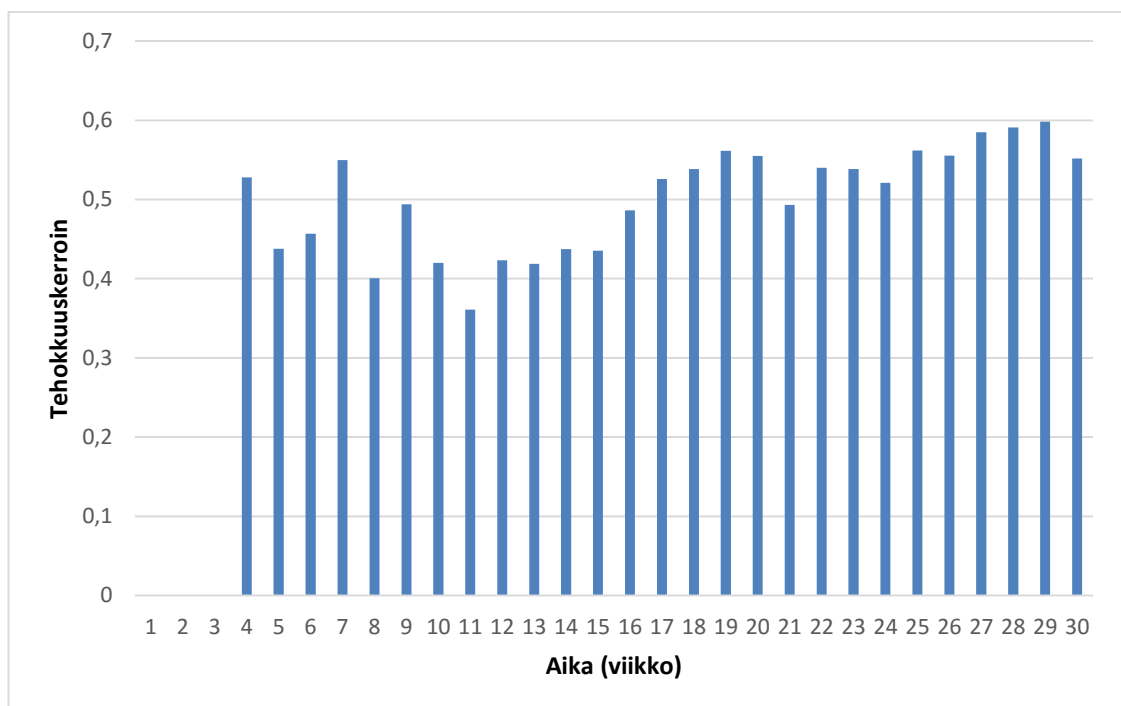


Kuva 18. Tehokkuuskertoimet kolmen viimeisen viikon keskiarvona.

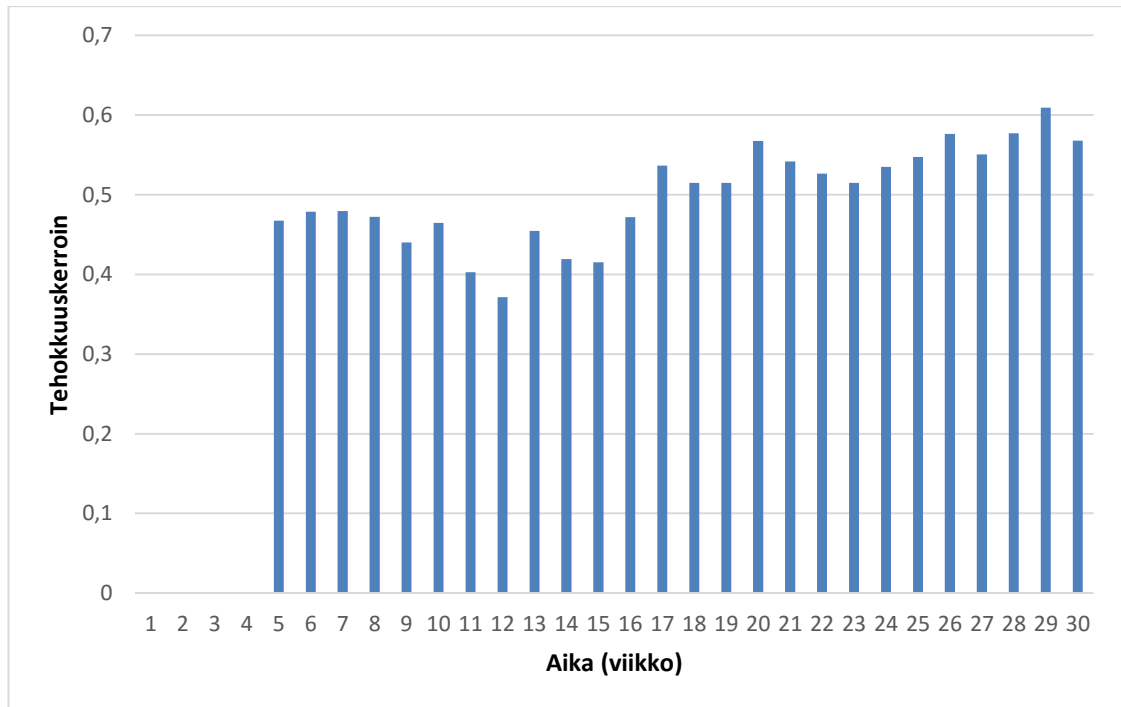
Kuvista 17 ja 18 näkee huomattavasti selkeämmin trendin minkä mukaan tehokkuuskerroin hakee arvoaan. Keskiarvottamisella pyrittiin siis tasaamaan niitä eroja, mitkä syntyivät väärille viikoille jakautuneiden tuntimäärien vuoksi, eli ottamaan KET epäsuorasti arviointiin mukaan. Suuri osa tämän tuotantosolun valmistamista töistä jakautuu useammalle viikolle rakennaikansa vuoksi, ja siitä syystä keskiarvotettu tehokkuuskerroin kuvasikin todellista arvoa paremmin. Kahden peräkkäisen viikon keskiarvossa tehokkuuskerroin vaihteli välillä 0,34 – 0,68, mikä on huomattavasti vähemmän kuin yhtä viikkoa käsiteltäessä. Jos tehokkuuskerrointa arvioitiin kolmen viikon keskiarvona, nouseva ja laskeva trendi on huomattavasti helpommin havaittavissa ja lisäksi heilahteluväli rajoittuu arvojen 0,37 – 0,61 väliin. Mikäli tehokkuuden kehittymistä halutaan seurata, tulisi sitä tehdä useamman viikon keskiarvosta, varsinkin jos keskenkeräistä tuotantoa ei voida ottaa laskentaan mukaan. Mitä useamman peräkkäisen viikon tehokkuuskertoimen arvo keskiarvotetaan, sitä selvemmin nouseva- ja laskeva kehittyminen näkyy. Jos verrataan kuvaa 18 laskettuihin arvoihin kuvassa 16, nähdään miten arvot tasoittuvat ja trendit tulevat paremmin näkyviin keskiarvottamalla ne. Parhaiten solun tilannetta kuvaa keskiarvo, missä mukaan luettavien viikkojen lukumäärä on sama kuin keskimääräinen töiden valmistumis-, eli rakennaika viikoissa. Toisin sanoen jos solun keskimääräinen rakennaika työlle on kaksi viikkoa, tulisi tehokkuuskertoimen kehitystä seurata kahden viikon keskiarvotetusta arvosta. Näin ollen olisi mahdollista reagoida riittävän ajoissa tilanteeseen, mikäli tehokkuus kääntyy huomattavaan laskuun. Lisäksi voidaan olettaa

että yksittäinen väärin raportoitunut viikko ei antaisi valheellista kuvaa todellisuudesta, sillä sitä edeltävä tai seuraava viikko on väärin raportoitunut myös, mutta vastakkaiseen suuntaan. Keskiarvotettujen kuvaajien toteutuneista arvoista tehokkuuskertoimen näyttää olleen alimmillaan viikon 12 ympärillä. Alin tehokkuuskertoimen arvo kuvassa 16 on kuitenkin viikolla kahdeksan. Todellisuudessa arvo oli todellakin alhaisimmillaan 12. viikon ympärillä, johtuen alhaisesta kuormasta. Työkuorman vähäisyys vaikutti todennäköisesti myös työntekotahtiin motivaatiota alentavan tekijänä. Tämän lisäksi asiaan on saattanut vaikuttaa myös se, että kaikkia työntekijöitä ei ollut mahdollista siirtää toisiin työtehtäviin, mikä normaalisti nostaisi tehokkuutta. Tällöin siis työntekijöitä oli solussa liian monta työmäärään nähden.

Kuvissa 19 ja 20 on esitetty vielä kuvaaja neljän ja viiden peräkkäisen viikon keskiarvotetusta tehokkuuskertoimesta. Neljän viikon tapaus osoittaa vielä hieman tasaisempaa arvoa verrattuna kolmen viikon keskiarvoon, mutta jos tarkastellaan viiden viikon keskiarvoa, trendi tehokkuuskertoimen arvolle ei erotu enää yhtään selkeämmin.

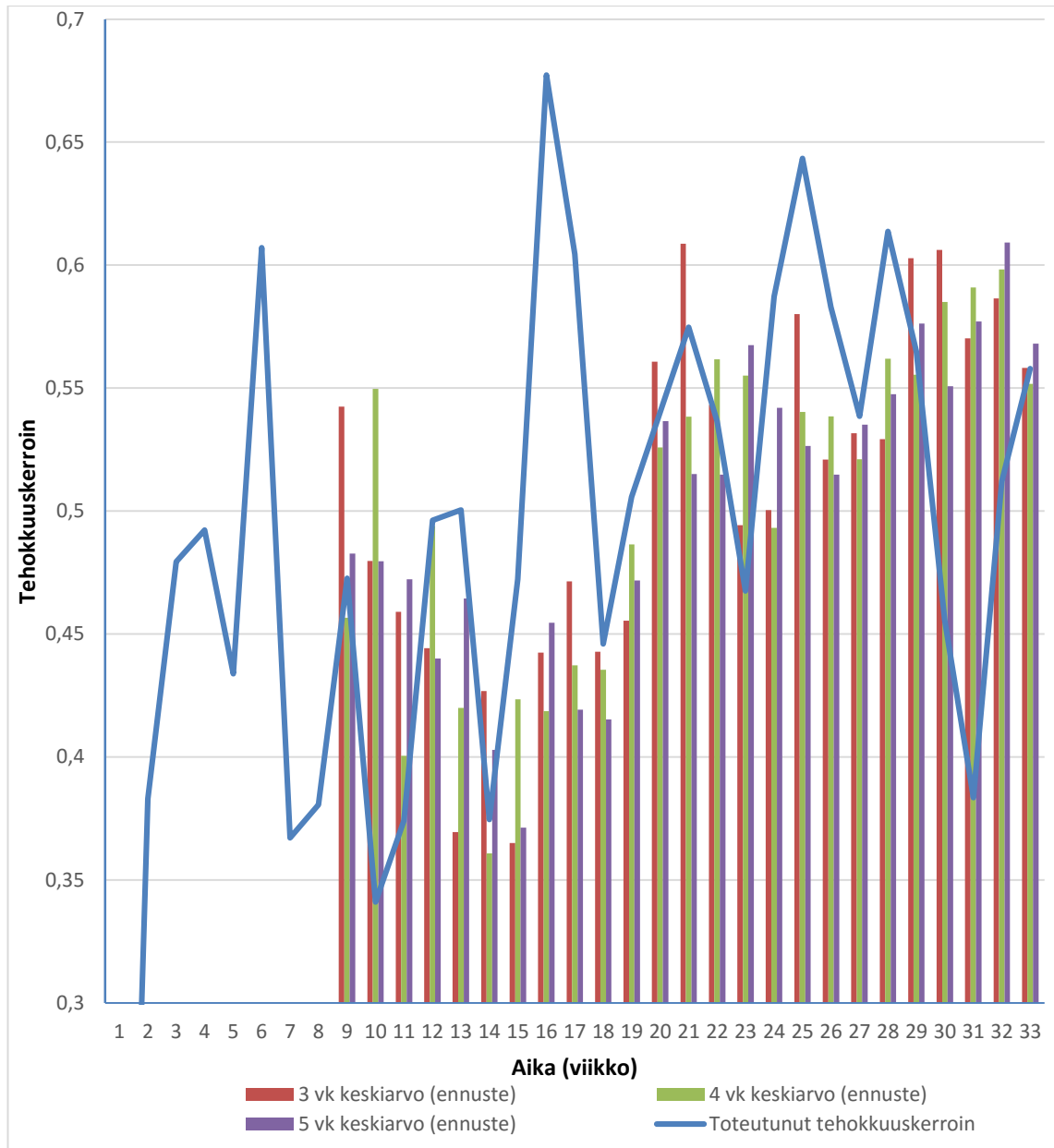


Kuva 19. Tehokkuuskertoimet neljän viimeisen viikon keskiarvona.



Kuva 20. Tehokkuuskertoimet viiden viimeisen viikon keskiarvona.

Tehokkuuskertoimen kuvaajasta saa sitä tasaisemman mitä useampaa viikkoa siinä keskiarvotetaan, mutta liian monen viikon otannalla se ei enää kuvaa todellista tilannetta. Kahden viikon keskiarvo antaa tässä tapauksessa totuudenmukaisimman arvon käsiteltävänä olevasta yksittäisestä viikosta. Tästä syystä tuloksissa on verrattu ennustettuja arvoja kahden viikon keskiarvotettuun tehokkuuskertoimeen.



Kuva 21. Jokaisen eri ennustusmallin tehokkuuskertoimet sekä toteutunut tehokkuuskerroin.

Kuvassa 21 viivat kuvaavat jokaisen eri mallin antamaa viikkoennustetta tehokkuuskertoimelle edellisten viikkojen perusteella. Pystypalkki kuvaa toteutunutta tehokkuuskerrointa kahden edeltävän viikon keskiarvona. Ennusteet alkavat kaikki vasta viikolta yhdeksän, sillä vertailu tehtiin niiltä viikoilta missä jokaiselle eri mallille pystyttiin laskemaan arvo. Vastaavasti kahden viikon keskiarvo toteutuneista arvoista saatiin alkamaan viikolta kaksi. Taulukossa 2 on kyseisten tehokkuuskertoimien tarkat numeeriset arvot alkaen viikolta yhdeksän.

Taulukko 2 Lasketut numeeriset arvot kuvan 21 tehokkuuskertoimille.

Viikko	Toteutunut tehokkuuskerroin	3 vk keskiarvo (ennuste)	4 vk keskiarvo (ennuste)	5 vk keskiarvo (ennuste)
9	0,47	0,54	0,46	0,48
10	0,34	0,48	0,55	0,48
11	0,37	0,46	0,40	0,47
12	0,50	0,44	0,49	0,44
13	0,50	0,37	0,42	0,46
14	0,37	0,43	0,36	0,40
15	0,47	0,37	0,42	0,37
16	0,68	0,44	0,42	0,45
17	0,60	0,47	0,44	0,42
18	0,45	0,44	0,44	0,42
19	0,51	0,46	0,49	0,47
20	0,54	0,56	0,53	0,54
21	0,57	0,61	0,54	0,52
22	0,54	0,54	0,56	0,51
23	0,47	0,49	0,56	0,57
24	0,59	0,50	0,49	0,54
25	0,64	0,58	0,54	0,53
26	0,58	0,52	0,54	0,51
27	0,54	0,53	0,52	0,54
28	0,61	0,53	0,56	0,55
29	0,56	0,60	0,56	0,58
30	0,46	0,61	0,59	0,55
31	0,38	0,57	0,59	0,58
32	0,51	0,59	0,60	0,61
33	0,56	0,56	0,55	0,57

Ennustetun tehokkuuskertoimen keskimääräinen virhe määritetään vertaamalla sitä kahden edeltävän viikon toteutuneiden arvojen keskiarvoon. Tämä kahden viikon keskiarvo kuvaa parhaiten todellisia arvoja, ja silloin KET tulee otettua tavallaan myös huomioon. Tätä arvoa verrataan sen jälkeen aikaisemmin ennustettuun arvoon kyseiselle viikolle, ja määritetään keskimääräinen virhe. Taulukossa 3. näkyy sinisellä värillä kuvattuna miten suuria virhe-ennusteita eri mallit antoivat toisiinsa nähden, sekä numeeriset arvot näille virheille.

Taulukko 3. Eri ennustusmallien virheet viikoittain. Pylväät kuvaavat virheiden suhdetta toisiinsa.

Viikko	3 vk keskiarvo (ennuste)	4 vk keskiarvo (ennuste)	5 vk keskiarvo (ennuste)
9	0,01	0,06	0,09
10	0,07	0,02	0,01
11	0,14	0,21	0,14
12	0,08	0,03	0,10
13	0,05	0,00	0,06
14	0,13	0,08	0,04
15	0,05	0,01	0,03
16	0,11	0,05	0,10
17	0,23	0,26	0,22
18	0,13	0,17	0,19
19	0,00	0,01	0,03
20	0,05	0,02	0,03
21	0,02	0,01	0,00
22	0,03	0,04	0,06
23	0,01	0,03	0,02
24	0,03	0,09	0,10
25	0,09	0,09	0,05
26	0,06	0,10	0,12
27	0,06	0,04	0,07
28	0,01	0,02	0,00
29	0,08	0,05	0,07
30	0,04	0,01	0,01
31	0,15	0,13	0,10
32	0,19	0,21	0,19
33	0,07	0,09	0,10

Kaikki käsiteltävät viikot rajattiin alkamaan viikolta yhdeksän, sillä viiden viikon keskiarvoennusteen ensimmäinen arvo voidaan asettaa aikaisintaan yhdeksännelle viikolle. Tehokkuuskertoimien vertailu tehtiin niiltä viikoilta mistä ennusteet oli laskettu jokaisella eri ennustusmallilla. Taulukon 3 arvot ovat virheen itseisarvoja, ja alla taulukossa 4 on lista keskimääräisistä virheistä ja virheiden summista kyseisiltä viikoilta jokaisella eri ennustusmallilla.

Taulukko 4. Virheanalyysi eri mallien ennustuksista.

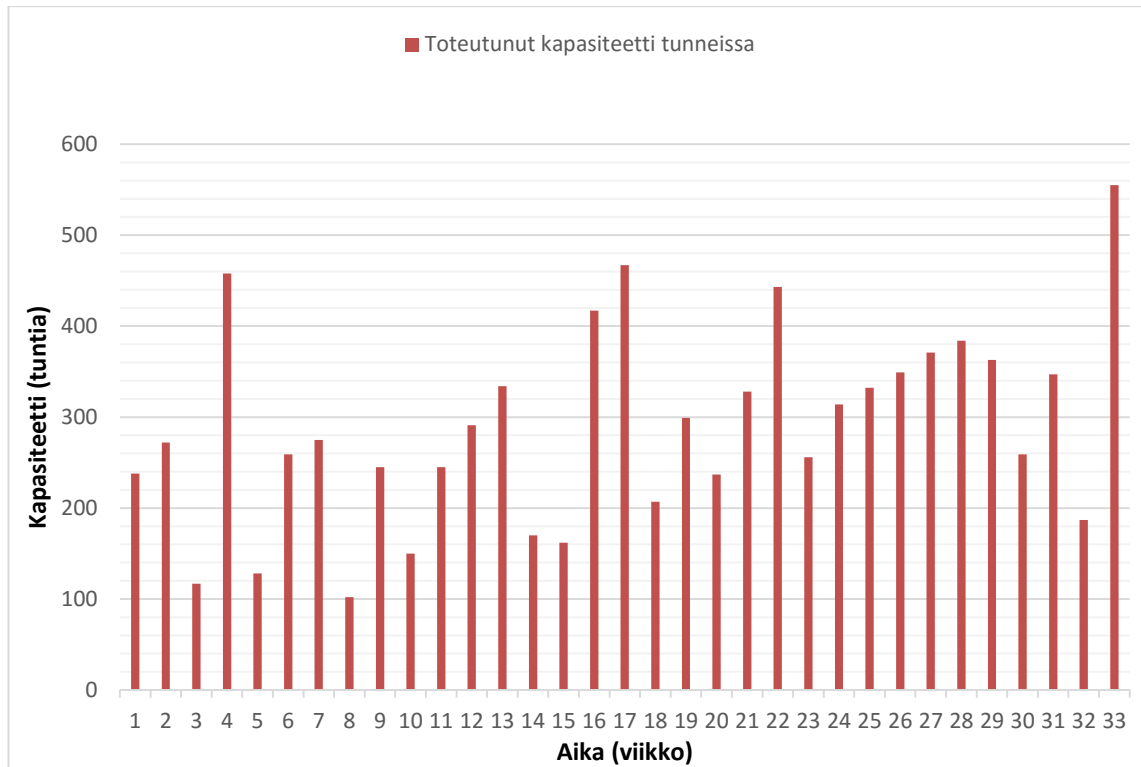
	3 viikon ennuste	4 viikon ennuste	5 viikon ennuste
Keskim. virhe	0,08	0,07	0,08
Virheiden summa	1,91	1,82	1,91

Virhetarkastelun mukaan parhaan arvion tehokkuuskertoimesta antoi neljän viikon keskiarvo. Keskimääräinen virhe oli pienin, samoin kuin viikkojen yhteenlaskettu virhe. Toisaalta neljän viikon ennuste antoi myös suurimman yksittäisen virheen, mutta toisaalta yksittäisiin viikkoihin keskittyminen tässä analyysissä ei kuvaa mallin toimivuutta parhaiten.

7.1.2 Kapasiteetti

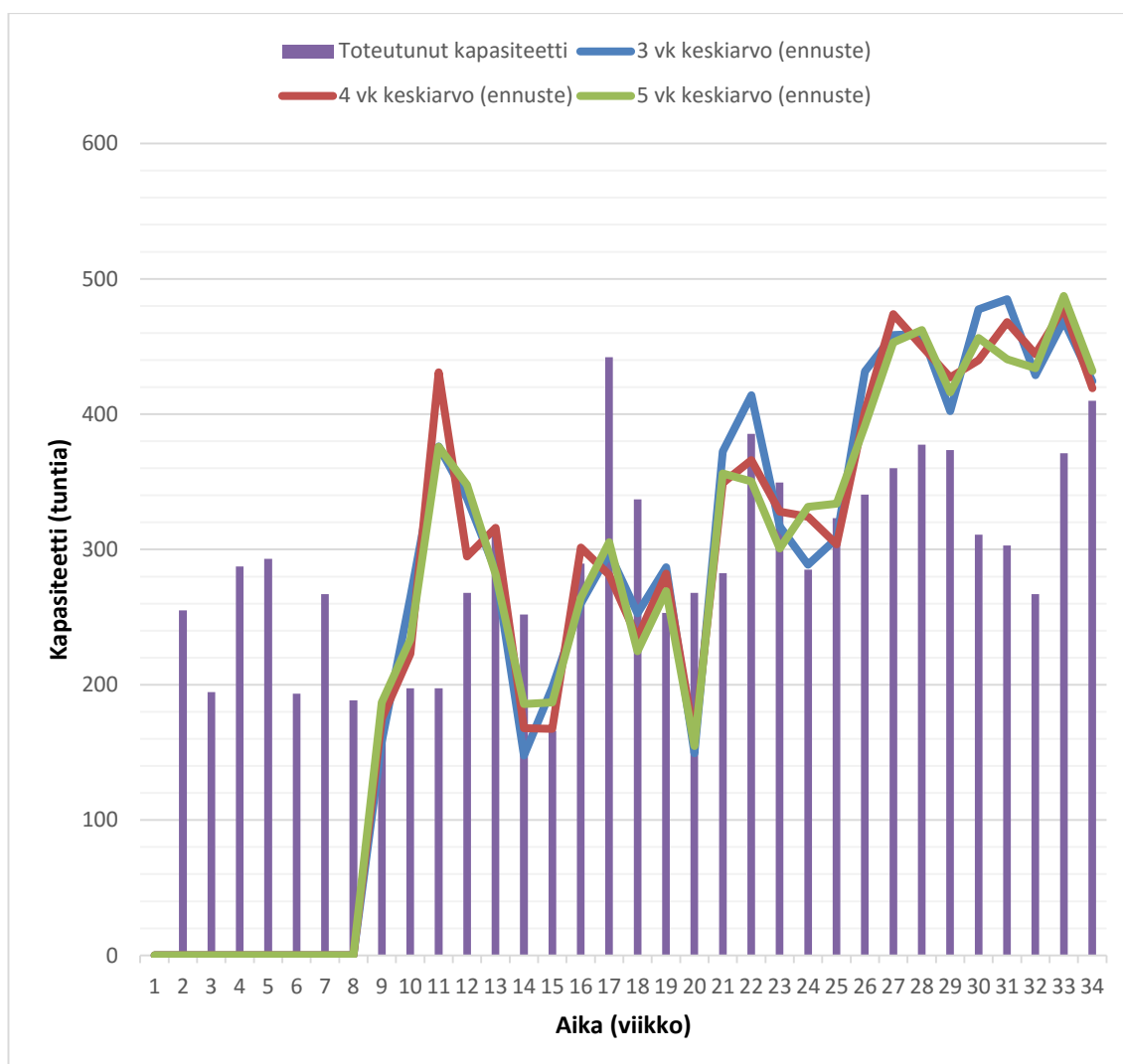
Kapasiteetin arvioiminen tapahtui ennustetulla henkilölukumäärällä ja tehokkuuskertoimella kyseessä olevalle viikolle. Suuret erot ennustetuissa ja toteutuneissa kapasiteeteissa aiheutuivat suurelta osin myös väärin ennustetuista henkilölukumääristä. Varsinkin viikkojen 25 – 30 henkilölukumäärien ennustamisessa oli huomattavan suuria virheitä. Kyseisenä ajanjaksona solussa työskenteli keskimäärin 4,5 henkilöä vähemmän, kuin mitä oli ennustettu. Henkilömäärän vähentäminen oli tehty tietoisesti alhaisen työkuorma takia. Henkilökuntaa pyydettiin käyttämään kertyneitä vapaita, jotta tehokkuus pystyttiin pitämään korkeammalla. Tämä ei toisaalta vaikuttanut tehokkuuskertoimien ennustamiseen, mihin pääosin tässä työssä keskityttiin.

Kuvassa 22 on esitetty toteutuneet työtunnit viikkokohtaisesti. Kuvassa toteutuneena tuntimääränä ovat kyseisellä viikolla valmistuneiden töiden yhteenlasketut skaalaamattomat rakenneajat.



Kuva 22. Toteutuneet työtunnit yksittäisiltä viikoilta.

Kuvassa 22 on selkeästi erotettavissa poikkeuksellisen suuria viikkotyötuntimääriä ajoittain, mikä aiheutuu pääosin siitä, ettei KET:a ole otettu raportoinnissa mitenkään huomioon. Työtunnit raportoituivat aina ainoastaan yhdelle viikolle, ja tästä syystä yhden viikon aikana raportoituja työtunteja ei pitäisi myöskään käsitellä sellaisinaan. Toteutuneita työtunteja täytyy käsitellä kuten tehokkuuskertoimia edellä, eli tässä tapauksessa keskiarvona kahden viimeisen viikon toteumista. Tällöin väärin raportoituneet työtunnit tasoittuvat osoittamaan paremmin keskimääräisen työmäärän viikoilta.



Kuva 23. Toteutuneet ja ennustetut kapasiteetit eri ennustemalleilla.

Kuvassa 23 on esitetty jokainen tässä työssä käytettävä tapa arvioida kapasiteettia ja lisäksi kahden edellisen viikon keskiarvo toteutuneista työtunneista. Viikolla 11 arvio kapasiteetista oli huomattavasti suurempi kuin toteutunut. Henkilömäärä oli ennusteen mukaan 1,3 henkeä todellista suurempi, mutta tehokkuuskerroin oli todellisuudessa huomattavasti pienempi, ja aiheutti täten yli 200 tunnin virheen kapasiteettiin. Koska kyseessä on kahden viikon keskiarvo kyseiselle ajanjaksolle, KET:n ei pitäisi vaikuttaa tilanteeseen. Väärin ennustettu tehokkuuskerroin aiheutti huomattavan virheen todelliseen kapasiteettiin. Malli arvioi neljän viikon keskiarvolla viikolle 11 tehokkuuskertoimeksi 0,55, kun toteutunut oli ainoastaan 0,34. Selkeää syytä tehokkuuskertoimen virhearviointiin ei löytynyt, sillä kyseinen ajanjakso oli kaukana menneisyydessä kun sen selvittäminen aloitettiin, että tietoa tapahtumista ei enää ollut saatavilla. Työtehokkuus oli kyseisellä ajanjaksolla huomattavasti alemmalla tasolla kuin normaalisti.

Malli ennusti jokaista laskentatapaa käyttäen keskimäärin noin 150 tunnin virheen kapasiteettiin viikolla 17. Kyseisellä viikolla työskenteli 0,97 henkilöä vähemmän kuin oli arvioitu, eli senkin puolesta tehokkuuskerroin oli todellisuudessa huomattavasti korke-

ampi kuin mallin ennustama. Syyksi tähän epäiltiin viikolla 16 aloitettu tehokkuuskertoimen arvioiminen valmistuneista töistä palkkiopalkkausjärjestelmää varten. Työntekijöiden motivaatio oli siis ymmärrettävästä syystä korkealla ja viikoilla 16 ja 17 valmistunut työmäärä ja tehokkuus olivatkin ennätysellisiä siihen mennessä. Taulukossa 5 on listattu tehokkuuskertoimet viikolla 17.

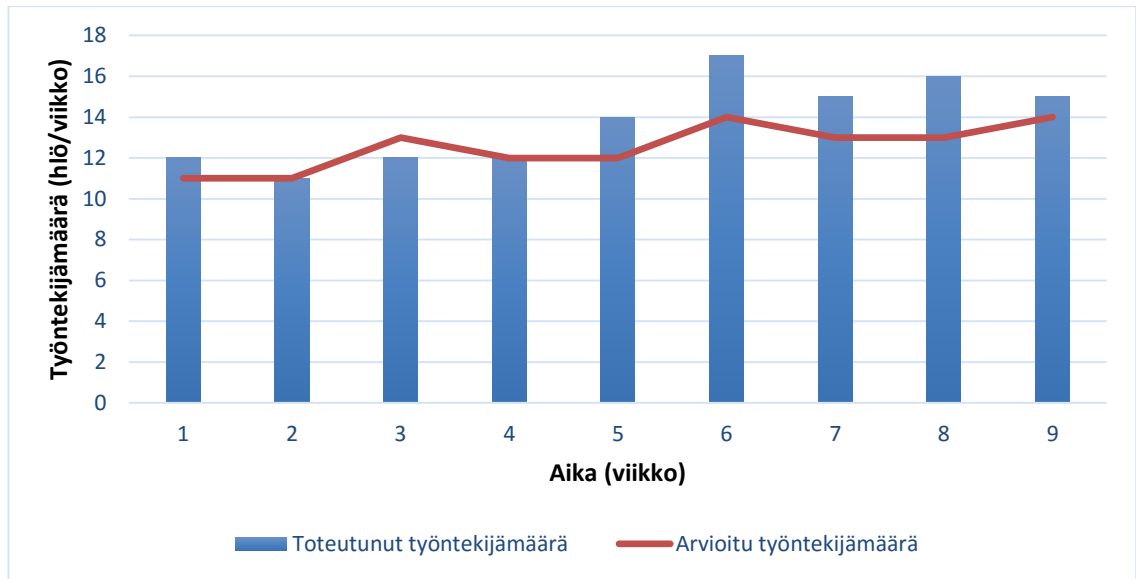
Taulukko 5. Viikkojen 16 ja 17 toteutuneiden ja ennustettujen tehokkuuskertoimien keskiarvot.

Toteutunut tehokkuuskerroin	Kolmen viikon ennuste	Neljän viikon ennuste	Viiden viikon ennuste
0,68	0,44	0,42	0,45

7.2 Alihankintasolu

Alihankintasolussa tarvittavat tiedot pystyttiin keräämään 14 viikon ajalta. Ensimmäinen raportoitu viikko oli huomattavasti muita viikkoja tehokkaampi, ainakin näennäisesti. Ensimmäisen viikon tehokkuuskertoimeksi laskettiin 1,91 mikä oli huomattavasti suurempi kuin minkään muun tarkasteltavan viikon kerroin. Kyseiselle viikolle raportoitiin ilmeisesti virheellisesti useampi työ sitä edeltävältä viikolta, jolloin valmistuneeseen tuotantoon ei vielä laskettu keskeneräistä tuotantoa.

Työntekijämäärät arvioitiin myös alihankintasolussa aina kolmen viikon päähän, samoilla perusteilla kuin oman tuotannon kanssa, ja lisäksi tavoitteena oli eri mallien vertailu näiden kahden tuotantosolun välillä. Arvioidut työntekijämäärät pitivät paikkansa huomattavasti paremmin toteutuneiden kanssa, verrattuna omaan tuotantosoluun. Suurin virhe oli kolme henkilöä, ja näin tapahtui kahdella eri viikolla. On huomioitava, että mitä suurempi työntekijämäärä tuotantosolussa on, sitä haastavampaa on ennustaa se tarkalleen kolmen viikon päähän. Toisaalta tuotantosoluissa missä työkuorma vaihtelee suuresti viikoista riippuen, täytyy tuotannosuunnittelijalla olla mahdollisuus lisätä tai vähentää solun työntekijöitä hetkellisesti, mikäli työkuorma ei vastaa kapasiteettia. Alla olevassa kuvassa 24 näkyvät työntekijämäärät kyseessä oleville viikoille. Viikkoja on aikaisemmin mainitun 14 viikon sijaan ainoastaan yhdeksän, sillä alihankintasolun työnjohtajaa pyydettiin arvioimaan työntekijämääriä hieman myöhässä. Tarkat työntekijämäärät saatiin jokaiselta 14 viikolta, mutta arvioidut määrät kolmen viikon päähän puuttuivat ensimmäisiltä kahdelta viikolta.



Kuva 24. Toteutuneet ja arvioidut työntekijämäärät eri viikoilta.

Kuvasta 24 näkyy, että viimeisillä viikoilla työntekijämääriä hieman kasvatettiin, johtuen työkuormasta, mikä ylitti ennalta pyydetyn kapasiteetin. Taulukossa 6 on eroteltu työntekijämääristä lasketut työtunnit sekä tehokkuuskertoimella skaalatut todelliset työtunnit viikoittain.

Taulukko 6. Työntekijämäärien virheestä aiheutuva kapasiteettivirhe.

Viikko	Virhe työntekijämäärän arvioinnissa	Työtunnit	Tehokkuuskertoimella skaalatut työtunnit (kapasiteettivirhe)
1	1	37,5	52,3
2	0	0	0
3	1	37,5	39,5
4	0	0	0
5	2	75	95,7
6	3	112,5	119,4
7	2	75	100,3
8	3	112,5	112,3
9	1	37,5	37,9

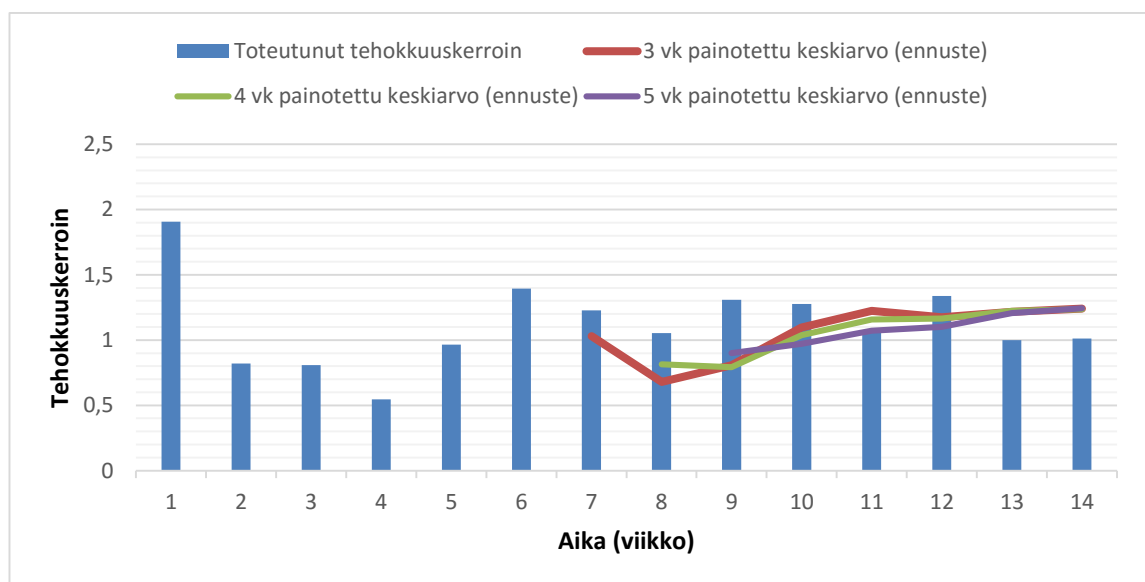
Taulukossa 6 skaalatut työtunnit ovat siis kyseisellä viikolla lasketulla tehokkuuskertoimella kerrottuja todellisia työtunteja. Keskimääräinen virhe näiden yhdeksän viikon osalta on 1,44 henkilöä viikolta, kun solussa työskenteli keskimäärin

13,78 työntekijää. Henkilölukumäärien ennustaminen oli siis suhteessa hieman tarkempaa alihankintasolussa verrattuna omaan tuotantosoluun, jos verrataan keskimääräistä virhettä kokonaistyöntekijämäärään. Huomioitavaa oli myös se, että alihankintasolussa yksi työntekijä teki viikossa 37,5 tuntia, kun taas omassa tuotannossa yhden työntekijän työviikko oli 40 tuntia (Tuul 2015).

7.2.1 Tehokkuuskerroin

Alihankintasolun tehokkuuskerroin heilahteli välillä 0,55 – 1,39. Heilahtelu oli huomattavasti odotettua suurempaa. Alunperin KET:n huomioimisen osana tuotantoa arvioitiin pienentävän heilahtelua, ja nimenomaan vakauttavan tehokkuuskerrointa viikkojen vertailussa toisiinsa. Tämän lisäksi kerroin ylitti useasti arvon 1,00 mikä oikeilla rakenneajoilla ei ole mahdollista. Tämä kuitenkin selittynee sillä, että alihankintasolussa valmistettavien sähkökojeistojen rakenneaika pitää sisällään myös työhön epäsuorasti vaikuttavat toimistotyöntekijät. Toimistotyöntekijöihin luetaan tässä tapauksessa henkilöt, jotka vastaavat materiaalihankinnoista, logistiikasta, töiden myynnistä ja työnjohdosta. Kyseisellä tavalla muodostuvaan rakenneaikaan on päädytty siitä syystä, että ostetun työn määrä alihankinnasta pitäisi sisällään aina kaikki suoraan yksittäisiin töihin sisältyvät toiminnot.

Kuvassa 25 on listattuna tehokkuuskerroin 14:tä eri viikolta, sekä niiden pohjalta lasketut ennusteet kolmen, neljän ja viiden edellisen viikon perusteella.



Kuva 25. Painotetuilla keskiarvoilla lasketut tehokkuuskertoimet ja toteutuneet tehokkuuskertoimet.

Pienin keskimääräinen virhe toteutuneeseen tehokkuuskertoimeen verrattuna saatiin viiden viikon painotetun keskiarvon mallilla. Alla olevassa taulukossa 7. on listattuna jokaisen ennustemallin keskimääräinen virhe sekä virheiden yhteenlaskettu summa.

Taulukon 7. arvojen laskennassa on otettu huomioon ainoastaan viikot 9 – 14, eli viikot jolloin jokaisella mallilla oli mahdollista laskea tehokkuuskerroin.

Taulukko 7. Ennustusmallien tehokkuuskertoimien virheet viikoilta 9 - 14.

	Kolmen viikon painotettu keskiarvo	Neljän viikon painotettu keskiarvo	Viiden viikon painotettu keskiarvo
Keskimääräinen virhe	0,24	0,25	0,23
Virheiden summa	1,46	1,47	1,40

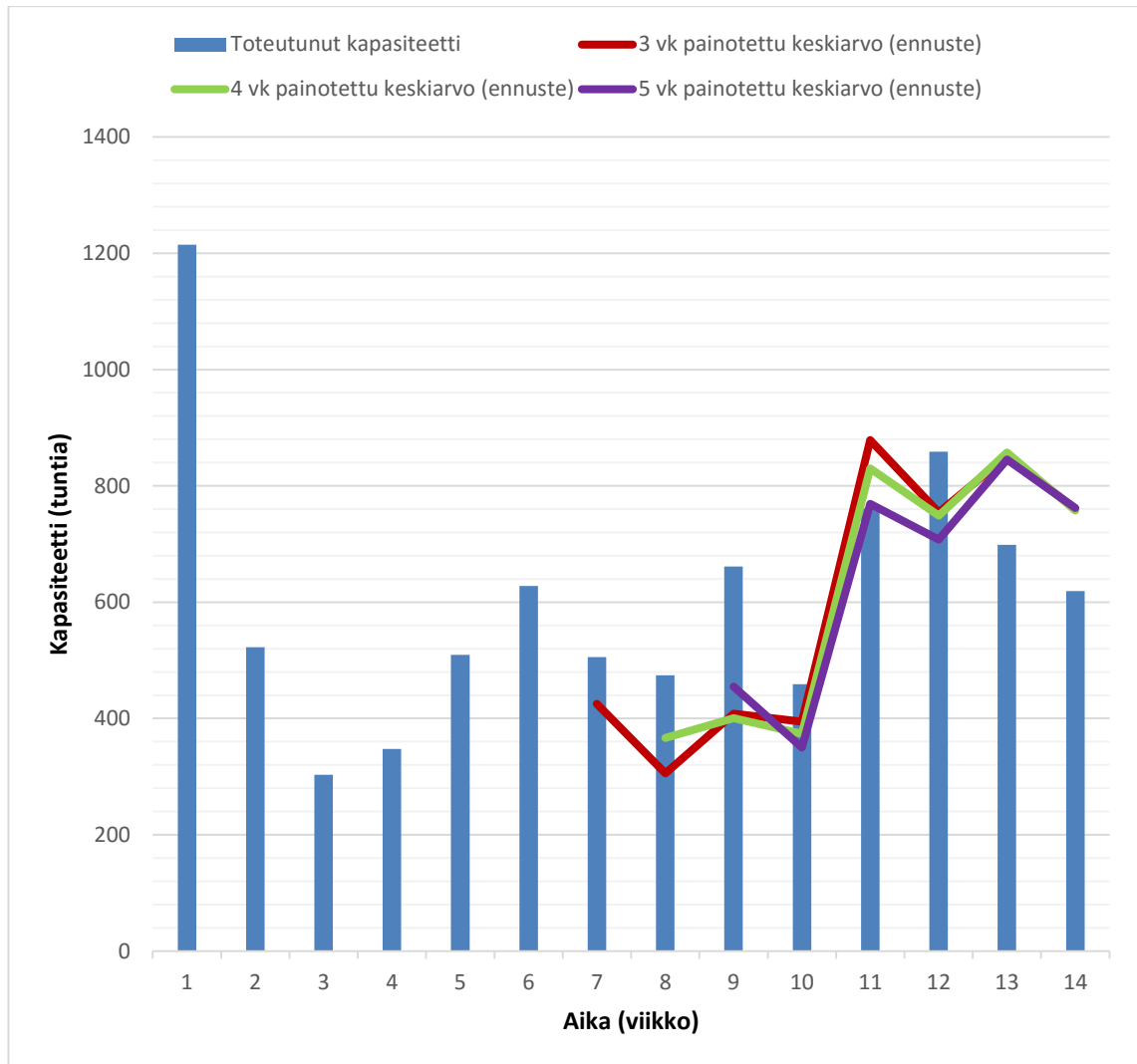
Viiden viikon painotettu keskiarvo osui hieman tarkemmin toteutuneisiin arvoihin verrattuna muihin ennustamismalleihin. Tarkat virhearvot on listattuna taulukkoon 8.

Taulukko 8. Tehokkuuskertoimien virheet eri ennustemalleilla.

Viikko	3 vk painotettu keskiarvo	4 vk painotettu keskiarvo	5 vk painotettu keskiarvo
9	0,50	0,52	0,41
10	0,18	0,24	0,30
11	0,16	0,10	0,01
12	0,16	0,17	0,24
13	0,22	0,23	0,21
14	0,23	0,23	0,23

7.2.2 Kapasiteetti

Kapasiteetin määrittäminen tehokkuuskertoimen ja henkilöstömäärän avulla antoi kuvan 26 mukaisen tilanteen.



Kuva 26. Toteutuneet sekä kolmen-, neljän- ja viiden viikon ennustusmallien kapasiteetit.

Suurin virhe kapasiteetin arvioinnissa tapahtui viikolla 9 jokaisella eri laskentamallilla. Kyseisen viikon työntekijämäärä oli ennusteen mukainen, mutta tehokkuuskertoimen arvo poikkesi huomattavasti jokaisella mallilla. Syyksi tähän voidaan arvioida referenssi viikkojen poikkeuksellisen alhaiset tehokkuuskertoimet, sillä ennusteet tehtiin viikolla 6. Tehokkuuskerroin viikolla 1 oli poikkeavan suuri. Viiden edellisen viikon toteumiin perustuvassa mallissa kyseinen viikko otettiin laskennassa huomioon ja tästä syystä sen antama ennuste oli lähimpänä toteutunutta arvoa viikolla 9.

7.3 Tulosten vertailu

Parasta mallia kapasiteetin arvioimiseen etsittäessä hylättiin useita eri vaihtoehtoja joko ajankäyttöön tai käyttäjäystävällisyyteen liittyvistä syistä. Lopuksi päädyttiin arvioimaan tehokkuuskertoimien virhemarginaaleja eri tapojen välillä. Vahva ennakkokäsitys oli, että KET:n huomioiminen osana viikkoraportointia toisi mukanaan paitsi paremman seurantatyökalun, myös pienemmän heilahtelun tehokkuuskertoimiin eri viikkojen välillä. Se ei kuitenkin tulosanalyysin perusteella näyttänyt suoraan vaikuttavan tasoittavana tekijänä tehokkuuskertoimen heilahteluihin. Keskimääräiset virheet ennustetuissa tehokkuuskertoimissa olivat huomattavasti pienemmät omassa tuotannossa, missä KET:a ei otettu yhtä tarkasti huomioon. Tällä tarkoitetaan sitä, että keskiarvottamalla kaksi viimeisintä viikkoa saatiin näkymä, missä myös työt jakautuivat aina kahdelle edeltävälle viikolle, jolloin KET huomioitiin epäsuorasti.

Taulukko 9. Keskimääräiset tehokkuuskertoimien virheet kummassakin tuotantosolussa.

	3 viikon ennuste	4 viikon ennuste	5 viikon ennuste
Oma tuotanto	0,08	0,07	0,08
Alihankkija	0,24	0,25	0,23

Kuten taulukosta 9 näkyy, tehokkuuskertoimen keskimääräiset heilahtelut olivat paljon suurempia alihankintasolussa. Toisaalta täytyy ottaa huomioon, että kyseisessä solussa käsiteltävien ja vertailtavien viikkojen otantamäärä oli suppea. Jos viikkoraportteja olisi ollut yhtä monta kuin oman tuotantosolun tapauksessa, tulokset voisivat antaa erilaisen lopputuloksen. Tähän vaikuttaa oletettavasti myös vertailun kohteena olleiden tuotantosolujen eroavaisuudet keskenään. Vertailusta olisi tullut huomattavasti yksiselitteisempää, jos kummassakin tuotantosolussa olisi raportoitu valmistunut työmäärä KET:n kanssa, ja ilman sitä. Suurimpana yksittäisenä tekijänä tähän kuitenkin vaikuttivat solujen raportointitavat. Alihankinnan keräämät tiedot työntekijämääristä eivät olleet läheläkään niin tarkat kuin oman tuotannon kohdalla, vaikka niissä ennusteiden virheet näyttivätkin pienemmiltä. Alihankinnassa yhden työn valmistuksesta vastasi aina useampi eri työntekijä ja työntekijöiden työtehtävät painoutuivat kaikki samalla arvolla keskiarvotetussa tehokkuuskertoimessa. Toisin sanoen oli samantekevää tehokkuuskertoimen kannalta työskentelikö työntekijä esimerkiksi koeajo- tai johdotussolussa. Tämän logiikan mukaan tehokkuuskerroin olisi arvioitu samaksi, esimerkiksi tilanteissa missä viisi henkilöä työskentelisi pelkästään johdotus- tai koeajosolussa tai näiden yhdistelmässä. Työntekijöiden jakaminen eri tuotantovaiheisiin jätettiin työnjohdon vas-

tuulle ja jako oletettiin optimaaliseksi. Koko tuotantosolun valmistusta ei olisi saanut olettaa näin tasaiseksi, sillä pullonkaulavaihe tuotannossa määrittää aina lopullisen kapasiteetin. Näin ollen tuotannon eri valmistusvaiheille olisi pitänyt myös määrittää omat painotuskertoimet, jotta pullonkaulavaihe olisi saanut sen edellyttämän kertoimen muihin verrattuna. Omassa tuotannossa tätä ongelmaa ei ollut, sillä yksi tai kaksi työntekijää vastasivat aina työn valmistuksesta alusta loppuun. Lisäksi koeajovaiheessa työkennelleitä henkilöitä ei laskettu mukaan tehokkuuskerrointa määritettäessä. Oletuksena onkin, että jos valmistumisvaiheiden kertoimet olisi otettu laskennassa huomioon alihankintasolussa, olisivat ennusteiden tulokset olleet huomattavasti tarkemmat (Kouri 2014).

Oman tuotannon tehokkuuskerroinnusteet osuivat hyvin kohdalleen, kun niitä verrattiin kahden peräkkäisen viikon keskiarvotettuun kertoimeen. Tällöin KET:a ei suoraan otettu huomioon, sillä työt raportoituivat kahdelle viikolle. On kuitenkin huomioitavaa, että kyseessä olevassa tuotantosolussa suuri osa töistä pitää sisällään yli viikon rakennajan. Toisin sanoen sama malli ei sovellu toiseen tuotantosoluun, missä rakenneajat ylittävät harvoin 40 tuntia. Perusteluksi esimerkki tuotantosolusta, missä rakenneajat ovat keskimäärin 15 – 20 tuntia jokaisen työn osalta. Ensimmäisellä viikolla tuotantosolun valmistukseen vaikuttaisi poikkeuksellisen huono työmotivaatio, ja työtä valmistuu ennätyksellisen huonolla tehokkuudella. Seuraavalla viikolla työmotivaatio ja yleinen tehokkuus nousisivat huomattavan suureksi ja työtä valmistuu ennätyksellisen suurella tehokkuuskertoimen arvolla. Näistä viikoista keskiarvottamalla tehokkuuskerroin olisi huomattavasti alhaisempi kuin mitä se olisi toiselta viikolta erikseen laskettuna. Maksimikapasiteettia ei voitaisi määrittää tulevaisuuteen uuden suurimman mahdolliseksi havaitun tehokkuuskertoimen avulla. KET:n määrittämisellä osana valmistunutta työmäärää on suuri merkitys. Toisaalta tietoja käsiteltäessä, kuluneiden kahden viikon keskiarvotetusta tehokkuuskertoimesta ei ollut mielestämme käytäntöön juurikaan apua. Sen avulla tehokkuuskertoimien heilahtelut saatiin pienemmiksi, mutta se ei vastannut todellisuutta yhtä tarkasti kuin valmistumisasteilla määritetty arvo. Lisäksi haluttiin määrittää kapasiteettia yhdelle viikolle kolmen viikon päähän, mihin tämä malli ei tarjonnut riittävästi näkymää.

KET:n raportointi antoi huomattavaa lisäarvoa alihankintasolun seurantaan. Eri töiden valmistumisasteet ilmaisivat tehokkaasti kyseessä olevan työn tilanteen, eikä täten ollut välttämätöntä lähettää kyselyä yksittäisten töiden sen hetkisestä valmistumisarviosta. Lisäksi huomattavaa lisäarvoa antoi se, että tuotantosolua pystyi seuraamaan tarkemmin, ja näkemään sekä ennakoimaan mahdolliset yli- tai alikuormatilanteet ajoissa. Tämä antoi lisää aikaa reagoida tilanteisiin joita ei ole mahdollista ratkoa lyhyellä aikavälillä. Myös tuotantosolun työnjohto piti menetelmää kannattavana ja hyödyllisenä. KET:n raportointi vaati työnjohdolta noin 70 työltä vain yhden tunnin ajan. Kyseessä oleva henkilö tarkasti järjestelmästäan kuluvaan viikon lisäksi kahden seuraavan viikon aikana lähetettävien töiden tilanteen ja merkitsi nämä raporttiinsa. (Tuul 2015).

Raporttirungon laatimiseen vaadittavat ostotilaus- ja työnumerot saadaan kopioitua helposti toisesta, Konecranesin tuotannonohjausjärjestelmästä saatavasta raportista, ja kokonaisen raportin esivalmisteluun kului noin viisi minuuttia. Oman tuotannon työnjohto piti kyseistä KET:n raportointia myös erittäin hyvänä ajatuksena ja olisi toivonut sen mukaan myös omiin raportointeihinsa. Yhdessä päädyimmekin ratkaisuun, missä työnjohto päivittäisi joka perjantai ilmoitustaululle listan keskeneräisistä töistä, mihin työntekijät täyttäisivät töistä lähtiessään työnsä sen hetkisen tilanteen. Tällöin työt missä rakenneaika saavuttaa lähes, tai jopa yli sata tuntia, raportoituvat huomattavasti tasaisemmin niiden valmistusviikoille. Tätä ei kuitenkaan tätä työtä tehtäessä päästy vielä kokeilemaan (Myllynen 2015).

Ongelmana ennustuksia laadittaessa oli se, että tehokkuuskerroin täytyi arvioida kolmen viikon päähän, vaikka ei ollut minkäänlaista tietoa vielä sitä edeltävästä kahdesta viikosta. Tämä johti siihen, että eri tekniikoista ei pystynyt suoraan virhearvioinnin perusteella erottamaan selkeästi parasta, sillä lähimpään tulokseen päästiin tilanteesta riippuen jokaista eri ennustustapaa käyttäen. Mikäli ennuste olisi voitu asettaa seuraavalle viikolle edellisten viikkojen perusteella, olisi ollut vielä paljon perustellumpaa käyttää painotettuja keskiarvoja, missä viimeisin työtahti saa aina suurimman painoarvon. Jokaisessa tässä työssä käytetyssä ennusteessa reagointiviive oli kuitenkin aina vähintään kolme viikkoa. Oleellista tässä tosin on se, että malli antaa työkalun arvioida kapasiteetti viimeisimmän työntekotahdin mukaiseksi. Mikäli aikaisemmin on havaittu tuotantosolun pystyvän työskentelemään tietyllä tehokkuudella, pitäisi sen pystyä myös tarpeen tullen vastaavanlaiseen tehokkuuteen. Tällaisissa tapauksissa työnjohdon pitää pystyä motivoimaan ja kannustamaan työntekijöitä saavuttamaan haluttu tehokkuus. Saavutetut tehokkuuskertoimet olisikin mielestämme hyvä pitää yhtiön sisäisesti julkisina, jolloin voidaan myös yhteisesti arvioida pystytäänkö esimerkiksi ylikuormatilanteessa työtä tekemään tarvittava määrä maksimikapasiteetilla. Tämän lisäksi voidaan perustellusti päättää mahdollisista ylityötarpeista, sekä arvioimalla eri skenaarioita päättää, mikäli joitain töitä on priorisoitava tuotannossa. Yksittäisten töiden priorisointi saattaa tosin johtaa siihen, että alemman prioriteettiluokan työt jäävät huomiotta. Lisäksi kapasiteetin täyttöaste voi huonontua (Kouri 2014).

Kun KET päädyttiin huomioimaan osana valmistunutta tuotantoa, raportoinnin arveltiin vievän työnjohdolta liikaa aikaa niin yksittäisten töiden, kuin henkilölukumäärien osalta. Kuten aikaisemmin mainittiin, töiden raportointi vaati työnjohdolta lopulta vain noin tunnin viikoittain. Alihankintasolun toiminnanohjausjärjestelmä tarjosi henkilölukumäärien määrittämiseen helpon ja nopean työkalun. Kyseinen järjestelmä piti reaaliaikaista kirjaa työntekijöiden sen hetkisestä sijoituksesta eri tuotantovaiheissa. Työntekijät leimasivat itsensä aina tiettyihin työvaiheisiin tiettyjen töiden kohdalle. Tämän lisäksi järjestelmään oli jo aiemmin luotu arvio työntekijän sijoituksesta tulevaisuudessa. Tämä oli tietenkin perusteltua, sillä kapasiteettia pyrittiin arvioimaan jo ennen tämän työn mittauksia. Samankaltainen seurantatyökalu oli myös Konecranesin omassa tuotantosolussa. Arvio liiallisesta ajankäytöstä näiden tietojen hankkimiseen oli näin ollen virheellinen, molemmat tuotantosolut käyttivät samoja tietoja jo ennen tämän työn laatimista oman kapasiteettinsa laskemiseen (Myllynen 2015; Piilola 2015; Tuul 2015).

Tarkkaan ennusteeseen pääsemiseksi henkilöstömäärän tarkka arvioiminen kolmen viikon päähän merkitsi paljon. Tässä työssä siihen ei kuitenkaan paneuduttu sen enempää, vaan keskityttiin tehokkuuskertoimen määrittämiseen. Sen väärin arvioiminen aiheuttaa huomattavaa virhettä kapasiteetin ennustamisessa. Oletetaan esimerkin vuoksi, että tehokkuuskerroin heilahtelisi välillä 0,65 – 0,85 ja solussa olisi 25 työntekijää, tällöin tehokkuuskertoimen antaman kapasiteetin virhemarginaali olisi 200 henkilötuntia, kun käytetään kaavoja (5.1) ja (5.2).

Tämä tuntimäärä pitää sisällään siis keskimäärin 10 työtä yhdelle viikolle. Oletetaan nyt, että keskimääräinen tehokkuuskerroin olisi edellä mainitun heilahteluvälin keskiarvo 0,75. Jos kapasiteettia arvioitaessa henkilölukumäärä arvioitaisiin väärin seitsemällä henkilöllä, olisi virhemarginaali kaavojen (5.1) ja (5.2) mukaan 210 tuntia.

Seitsemän henkilön puuttuminen todellisesta henkilöstömäärästä viikolla on huomattavan paljon, ja tässä työssä tätä lukua arvioitaessa suurin ero oli hieman yli viisi henkilöä. 25 työntekijän tuotantosolussa seitsemän henkilön virhe henkilölukumäärässä vastaa siis suunnilleen 0,20 virhearviota tehokkuuskertoimessa.

Johtopäätöksenä edellä esitetystä esimerkistä voidaankin sanoa, että myöskään tehokkuuskerrointa arvioidessa sen arvoa ei voida esittää absoluuttisena totuutena. Kertoimelle täytyy näin ollen antaa myös keskimääräinen heilahteluväli, joka kapasiteettia laskettaessa täytyy ottaa huomioon. Tämä heilahteluväli saadaan keskimääräisestä heilahteluvälistä, mikä on virheiden itseisarvojen keskiarvo halutulta viikkomäärältä. Tässä työssä laskettiin keskiarvo jokaisen ennustusmallin keskimääräisestä virheestä taulukossa 9. Virheanalysoinnissa tarkasteltavien viikkojen otantamäärän voi myös määrittää esimerkiksi samaan kuin mistä tehokkuuskerroin lasketaan. Tällöin se antaa paremmin sen hetkistä tilannetta kuvaavan arvion.

Taulukko 10. Keskimääräiset tehokkuuskertoimien virheet ennustuksissa perustuen kolmen, neljän ja viiden viikon otantamääriin.

	3 viikon ennuste (kolmella viimeisellä viikolla)	4 viikon ennuste (nel- jällä viimeisellä vii- kolla)	5 viikon ennuste (vii- dellä viimeisellä vii- kolla)
Oma tuotanto	0,14	0,11	0,09
Alihankkija	0,20	0,18	0,20

Taulukossa 10 on laskettu keskimääräiset virheet käyttäen otantana samaa viikkomäärää, mistä ennusteet on laadittu. Tällöin tilanne muuttuu huomattavasti varsinkin neljän viikon painotetun keskiarvon osalla, kun tarkastellaan tässä työssä viimeisimmäksi käsiteltyjä ajanjaksoja. Kun yllä olevan taulukon keskiarvot kerätään jokaisesta mahdollisesta ajanjaksosta ja nämä arvot vielä keskiarvotetaan, saadaan taulukon 11 mukaiset keskimääräiset virheet.

Taulukko 11. Keskimääräiset tehokkuuskertoimien virheet keskiarvotettujen lähiviikkojen virheiden keskiarvona.

	3 viikon ennuste	4 viikon ennuste	5 viikon ennuste
Oma tuotanto	0,08	0,07	0,07
Alihankkija	0,21	0,21	0,22

8. YHTEENVETO

Omassa tuotannossa parhaan arvion tehokkuuskertoimesta antoi tuloksista riippuen joko neljän tai viiden viikon keskiarvotettu ennuste. Tuotantosolussa ei kerätty tietoa KET:sta, vaan toteumat keskiarvotettiin kahdesta viimeksi kuluneesta viikosta. Toteutuneista tehokkuuskertoimista voidaan todeta, että heilahtelut olivat huomattavasti vähäisempiä kuin alihankintasolussa. Tämän vuoksi myös ennusteet erosivat vähemmän toteutuneista arvoista. Näin ollen on kyseenalaista vertailla näitä tuloksia suoraan keskenään.

Alihankintasolussa parhaan tuloksen antoi myös neljän ja viiden viikon ennuste. Viiden viikon ennuste oli tarkin, kun verrattiin keskimääräistä virhettä kaikkien työssä käsiteltävien viikkojen osalta. Neljän viikon ennuste antoi sitä vastoin paljon tarkemman arvion, kun käsiteltiin viimeisimpiä ajanjaksoja. Eri mallien virheiden erot olivat tosin suhteellisen pienet toisiinsa nähden. Kun analysoidaan toteutuneita tehokkuuskertoimia, voidaan todeta arvojen tasoittuvan viimeisimpien viikkojen kohdalla. Uskommekin, että jos työssä tarkasteltava ajanjakso olisi pitänyt kokonaisuudessaan sisällään useampia viikkoja, soluun olisi laadittu painotuskertoimet eri tuotantovaiheille ja rakenneajat olisi määriteltävä tarkemmin, olisi tehokkuuskertoimen heilahtelu ollut huomattavasti vähäisempää.

Viiden viikon painotettu keskiarvoennuste antoi vähemmän painoarvoa viimeisimmälle viikolle verrattuna kahteen edellämainittuun tapaan. Tällöin suuri heilahtelu peräkkäisten viikkojen tehokkuuskertoimissa tasapainottui tehokkaasti, varsinkin kun kyseessä oli tuotantosolu, jossa kertoimet myös heilahtelivat alussa paljon. Pidemmän aikavälin tarkastelu olisi tehnyt tuloksista yksiselitteisemmät ja osoittanut aiheutuiko tehokkuuskertoimen heilahtelu muusta kuin sattumanvaraisuudesta. Pidemmän aikavälin seuranta olisi kertonut myös esimerkiksi aiheuttiko uudenlainen raportointitapa virheellisiä kirjauksia tuloksiin tai olivatko käytetyt rakenneajat epärealistisia. On tietenkin mahdollista, että jokaista työntekijäsiirtoa alihankkijan Konecranesille kohdistetusta tuotannosta johonkin toiseen ei kirjattu, sillä työntekijöistä laadittiin ainoastaan yksi raportti viikossa. Omassa tuotannossa työntekijämääriä pystyttiin sen sijaan seuraamaan reaaliajassa (Myllynen 2015).

Alihankintasolun käyttämä rakenneaikalaskenta perustui ainoastaan muutaman määritetyn komponentin asennusaikaan, kun taas omassa tuotannossa laskenta suoritettiin suunnitteluohjelmalla, johon oli mahdollista parametroida jokaisen työssä käytettävän

komponentin asennusaika. Tämä saattoi aiheuttaa epätarkkuutta alihankintasolun toteutuneisiin tehokkuuskertoimiin lyhyellä aikavälillä (Myllynen 2015).

Kun verrataan oman tuotannon ja alihankintasolun ennustettujen ja toteutuneiden tehokkuuskertoimien virheitä ja analysoidaan tilannetta kokonaisuuden kannalta, osoittautuu neljän viikon painotettu keskiarvomalli parhaaksi yhteiseksi tavaksi analysoida ja arvioida kapasiteetti kolmen viikon päähän. Aikaisemmin osoitettiin oletetut syyt virhemarginaalien suuruuteen ja keinot, joilla niistä saadaan tarkempia. KET:n huomioiminen osana toteutuneita työmääriä antaa huomattavaa lisätietoa työnseurantaan, raportointiin ja lopulta ennustusten laatimiseen. Sen avulla on myös mahdollista asettaa keskiarvotettaville viikoille painotukset eri kertoimilla, jolloin viimeisin viikko voidaan asettaa merkityksellisimmäksi ennustettaessa tehokkuuskerrointa tuleville ajanjaksoille. Jos painotettuja keskiarvoja käytettäisiin ilman KET:a, tehokkuuskertoimien heilahtelut olisivat liian suuria ja epätarkkoja, jolloin ennusteet eivät olisi enää käyttökelpoisia. Viikko-otantamäärässä päädyttiin neljään, koska neljässä viikossa pystyttiin reagoimaan riittävän nopeasti muuttuviin tilanteisiin, kuitenkin horjuttamatta liikaa tehokkuuskertoimia yksittäisten piikkien tai notkahdusten ilmetessä. Tämän lisäksi käytettävät painotuskertoimet eri viikoilla jakautuvat tasaisimmin toisiinsa nähden.

Jatkotutkimukset aiheesta olisi hyvä kohdistaa tuotannon eri valmistusvaiheiden painotuskertoimien määrittämiseen. Kyseinen tutkimus vaaditaan, mikäli yksittäiset työt valmistetaan useamman eri työntekijän toimesta ja halutaan määrittää tehokkuuskerroin tarkasti. Suurin painotuskerroin tulee kohdistaa pullonkaulavaiheisiin, joiden tarkka määrittäminen on tärkeää.

LÄHTEET

Halla-Aho, H. (2012). Taajuusmuuttajan valmistuksen teknologiasiirto. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Heikkilä, J. (2015). Tuotannonohjausmenetelmät. Luentokalvot. Tampereen teknillinen yliopisto.

Islander, H-L. (2015). Diplomi-insinööri, sähkölaitetehtaan johtaja, Konecranes Oy, Hämeenlinna. Haastattelu 10.09.2015.

Kaitaranta, E. (2011). Nosturin virransyötön konfigurointi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Konecranes Oyj. (2013). Crane electrics short presentation. Konecranes intranet. Sisäinen koulutusmateriaali. Käytetty 4.6.2015.

Konecranes Oyj. (2014). Electrics training material. Konecranes intranet. Sisäinen koulutusmateriaali. Käytetty 08.06.2015.

Konecranes Oyj. Historia.[WWW]. [Viitattu 28.10.2015]. Saatavissa: <http://www.konecranes.fi/tietoa-konecranesista/historia>.

Konecranes Oyj. (2010). Level 2 electronics. Konecranes intranet. Sisäinen koulutusmateriaali. Käytetty 17.6.2015.

Kouri, I. (2014). Toiminnanohjaus. Luentokalvot. Tampereen teknillinen yliopisto.

Myllynen, M. (2015). Sähköinsinööri, sähkölaitetuotannon suunnittelija, Konecranes Oy, Hämeenlinna. Haastattelu 10.11.2015.

Pietilä, V-P. (2012). Kustomointia vaativien teollisuusnostureiden toimitusprosessi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Piilola, T. (2015). Alihankintasolun johtaja. Haastattelu 24.11.2015.

Repo, S. (2015). Teollisuustalouden perusteet. Luentokalvot. Tampereen teknillinen yliopisto.

Stevenson, W.J. (2007). Operations management. International Student Edition with Global Readings. Ninth edition. New York. McGraw-Hill/Irwin.

Tuul, M. (2015). Alihankintasolun työnjohtaja. Haastattelu 08.07.2015.

Vastaranta, O. (2015). Diplomi-insinööri, sähkölaitetehtaan johtaja, Konecranes Oy, Hämeenlinna. Haastattelu 24.11.2015.

LIITE A: TUOTANTOSOLUSTA TARVITTAVAT TIEDOT KAPASITEETIN MÄÄRITTÄMISEEN.

NEEDED INFORMATION FROM THE PRODUCTION CELL

- Information has to be reported weekly on the week's last working day
 - Employee amount for each of the following 4 weeks ahead
 - In case of production line layout
 - Detailed information of the employees in different phases
 - Changes in the positioning of the employees have to be informed immediately
 - For each individual work with requested delivery date within the following 3 weeks ahead
 - Progress if started but not finished
 - Old and new values in per cents from the given working phase table
 - Updated work time for each individual work
 - The works should be put in order starting with the most recent requested delivery date
 - If the requested delivery date cannot be met, estimated schedule for the new delivery date

LIITE B: VALMISTUMISVAIHEIDEN MÄÄRITTÄMISEEN KÄYTETTÄVÄ TAULUKKO.

TABLE FOR VALUES IN PER CENTS FOR
THE PROGRESS OF THE WORKS

20 %	All of the components required have been attached to the bottom plate
40 %	The wiring between the components in the same bottom plate have been done and the bottom plates have been attached to the cubicles.
80 %	All of the necessary wiring have been done between the cubicles, the work is ready to be tested.
95 %	The work has been tested and verified as fully functioning. The work is ready for packing.