

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

SIMULOINTIMALLIN TOTEUTUS JA KÄYTETTÄVYYS
NOSTINTEHTAAN TUOTANNOSSA
IMPLEMENTATION AND USABILITY OF SIMULATION MODEL IN
PRODUCTION OF HOIST MANUFACTURING FACTORY

Lappeenrannassa 18.4.2011

Lauri Lindqvist

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 3 |
| 2 SIMULOINTI | 4 |
| 2.1. Simuloinnin edut ja rajoitteet..... | 4 |
| 2.2. Simuloinnissa käytettävät ohjelmointikielet ja ohjelmistot..... | 6 |
| 2.2.1. Yleiset ohjelmointikielet..... | 6 |
| 2.2.2. Simulointia varten suunnitellut ohjelmointikielet..... | 6 |
| 2.2.3. Simulointiohjelmistot..... | 7 |
| 2.3. Simuloinnin käyttökohteita..... | 7 |
| 2.3.1. Järjestelmien suunnittelu ja toiminnan kehittäminen simuloimalla..... | 7 |
| 2.3.2. Järjestelmien hallinta simuloimalla | 9 |
| 2.3.3. Simuloinnin hyödyntäminen koulutuksessa ja markkinoinnissa | 9 |
| 2.4. Simulointiprojektin yleinen toteutus..... | 10 |
| 2.4.1. Ongelman määrittely..... | 12 |
| 2.4.2. Mallin rakentaminen ja testaaminen | 12 |
| 2.4.3. Simulointiajot..... | 14 |
| 2.4.4. Projektin päättäminen ja implementointi | 14 |
| 3 SIMULOITAVAN YMPÄRISTÖN JA JÄRJESTELMÄN KUVAUS NOSTINTEHTAAN HH1-HALLISSA | 16 |
| 4 SIMULOINTIPROJEKTIN TOTEUTUS | 18 |
| 4.1. Ongelman määrittely simulointiprojektissa | 18 |
| 4.2. Mallin rakentaminen ja testaaminen simulointiprojektissa | 18 |
| 4.2.1. Simulointiprojektin mittaustulosten analysointi | 19 |
| 4.3. Simulointiajot..... | 19 |
| 4.3.1. Simulointiprojektin simulointiajot 1 ja 2 | 20 |

| | |
|---|----|
| 4.3.2. Simulointiprojektin simulointiajot 3 ja 4 | 22 |
| 4.3.3. Eri alkuarvoilla suoritettujen simulointiajojen vertailu | 25 |
| 4.4. Muita havaintoja mittausjakson ajalta | 26 |
| 5 JOHTOPÄÄTÖKSET | 28 |
| LÄHDELUETTELO | 29 |

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä selvitetään simuloinnin mahdollisuuksia tuotantoprosessin kehittämiskeinona Konecranes Standard Lifting Oy:n nostintehtaalla Hämeenlinnassa. Tavoitteena on tarkastella tuotannon toimivuutta simulointimallin avulla ja paikallistaa samalla tuotantoa haittaavia tilanteita.

Konecranes on yksi maailman johtavista nostolaittevalmistajista, joka toimittaa tuottavuutta lisääviä nostoratkaisuja ja palveluita valmistus- ja prosessiteollisuudelle, laivanrakennusteollisuudelle ja satamille. Tarkastelukohteena olevassa Konecranes Standard Lifting Oy:n HH1-hallissa kokoonpannaan köysinostimia teollisuuskäyttöön. Simuloinnin kohteena ollut tuotantosolu tunnetaan yrityksessä nimellä QC-alkukokoonpano. Tuotantosolu muodostuu neljästä peräkkäisestä työpisteestä, joissa työntekijät pysyvät samalla paikalla ja tuote siirretään nostimen avulla työpisteestä toiseen. Simulointia varten tuotantosolussa on suoritettu joulukuussa 2008 viikon mittainen tarkkailujakso, jonka aikana mitattiin kussakin työvaiheessa käytetty kokoonpanoaika.

Työtä varten on kehitetty tässä yhteydessä oma Excel-pohjainen simulointimalli, koska kohdeyrityksessä ei haluttu, hankkeen kokeiluluonteisuudesta johtuen, vielä investoida varsinaiseen simulointiohjelmistoon. Kehitetyn simulointimallin avulla on selvitetty peräkkäisten työvaiheiden erimittaisista kokoonpanoajoista aiheutuvia odotusaikoja ja jonoja. Erimittaisista kokoonpanoajoista aiheutuu turhia odotusaikoja ja tätä kautta tuottamatonta työaikaa. Toisaalta erimittaisista kokoonpanoajoista aiheutuvat jonot synnyttävät ylimääräistä tilantarvetta tuotantosoluun, jossa ei varsinaisille välivarastoille ole kuitenkaan varattu tilaa.

2 SIMULOINTI

Simulointi on määritelty tietosanakirjassa jonkin asian jäljittelyksi. Esimerkiksi matematiikassa ja tekniikassa tarkastelukohteen ominaisuuksia voidaan jäljitellä mm. pienoismallilla, samoin käyttäytyvällä sähköisellä analogiakytkenällä tai järjestelmän yhtälöiden avulla numeerisella tietokoneella. (Suomalainen tietosanakirja 1993, s. 266.)

Simulointia voidaan käyttää menetelmänä, kun pyritään matemaattisen tai loogisen mallin avulla jäljittelemään todellisen järjestelmän toimintaa ajan suhteen. Simulointia voidaan käyttää myös tiedon hankkimiseen tutkittavasta järjestelmästä tai järjestelmän toiminnan kuvaamiseen. (Ross 2006, s. 1.)

Tietokonesimulointia on käytetty liiketoiminnan ongelmien ratkomiseen jo 1950-luvulta asti. Simuloinnilla on kehitetty hyötysuhteita, supistettu kustannuksia ja parannettu kannattavuutta. Simulointia koskevia tutkimuksia on suoritettu lähes kaikilla yritystoiminnan osa-alueilla, kuten valmistavassa teollisuudessa, palvelualueilla ja kunnallisella sektorilla. (Robinson 1994, s. 3.)

2.1. Simuloinnin edut ja rajoitteet

Nykyaikaisilla simulointiohjelmistoilla on mahdollista mallintaa lähes mikä tyypinen järjestelmä tahansa. Simuloinnin avulla voidaan huomioida mm. monimutkaisia vuorovaikutussuhteita ja järjestelmän muutoksia, mikä on vaikeaa tai jopa mahdotonta muilla tavoin. (Law & Kelton 2000, s.12; Harrel & Tumay 1997, s. 9-10.)

Kokeiden suorittaminen simulointimallilla tarkoittaa sitä, että todellista järjestelmää ei tarvitse häiritä ja mallilla tehdyt kokeet (esimerkiksi uudet toimintamallit, työskentelytavat, layout-muutokset, jne.) ovat usein halvempia kuin todellisella järjestelmällä tehdyt kokeet. Simulointimallin etuna on myös se, että sillä voidaan testata asioita, joita ei ole vielä olemassakaan. Simuloinnin ja tähän yhdistetyn visuaalisesti realistisen ja vakuuttavan animoinnin avulla opitaan tuntemaan tutkittavaa järjestelmää paremmin ja rakennettua

mallia voidaan hyödyntää myös koulutustilanteissa. (Korpiharju 2000, s.4 ; Banks, Carson & Nelson 2005, s. 18-21.)

Simuloinnin vahvuuksiin tulee laskea myös mallin ajoaikaa koskevat muutokset. Ajoaikaa muuttamalla pystytään tutkimaan pitkän ajanjakson tapahtumia lyhyellä aikavälillä ja vastaavasti lyhyen ajanjakson tapahtumia pitkällä aikavälillä. (Robinson 1994, s. 6.)

Simuloinnilla haetaan tyypillisesti seuraavanlaisia hyötyjä

- riskien aleneminen
- parempi ymmärtämys järjestelmästä
- käyttökustannuksien aleneminen
- läpimenoaikojen lyheneminen
- parantunut asiakaspalvelu. (Robinson 1994, s. 6.)

Simulointiprojektiin ryhdyttäessä on kuitenkin myös harkittava, pysytäänkö vastaavat edut saamaan aikaan muilla metodeilla, kuten matemaattisella mallinnuksella tai todellisilla kokeilla. Joissakin tilanteissa nämä menetelmät riittävät, kun taas simuloinnilla voidaan käsitellä suurempaa joukkoa asioita. On myös olemassa suuri joukko liikejohdollisia syitä simuloinnin käytölle verrattaessa näihin vaihtoehtoisin tekniikoihin. (Robinson 1994, s.6.)

Simulointimallin rakentaminen vaatii erikoisosaamista, joka kertyy vasta ajan ja kokemuksen myötä, mikä aiheuttaa simuloinnille omat rajoitteensa. Tästä johtuen simulointi voi olla kallista ja aikaa vievää toimintaa. Lisäksi simuloinnilla saavutettujen tulosten tulkinta voi joissain tapauksissa osoittautua vaikeaksi. On myös mahdollista, että joissain tilanteissa muut helpommat, taloudellisemmat ja paremmat ratkaisut jäävät huomiotta. Lisäksi tulisi muistaa, että simulointi on vain kokeellinen menetelmä, joka ei automaattisesti etsi optimoituja ratkaisuja annettuihin ongelmiin. (Harrel, Turmay 1997, s. 11-12.)

2.2. Simuloinnissa käytettävät ohjelmointikielien ja ohjelmistot

Seuraavissa kappaleissa käsitellään yleisesti simuloinnissa käytettäviä simulointikieliä ja ohjelmistoja, niiden vahvuuksia ja heikkouksia sekä kyseisessä metodissa vaadittavia ohjelmointitaitoja.

2.2.1. Yleiset ohjelmointikielien

Yleisiä ohjelmointikieliä, kuten Fortania, Pascalia, C- ja C++-kieliä voidaan käyttää ohjelmoitaessa simulointimallia. Näiden ohjelmointikielten etuna voidaan pitää niiden edullista hintaa, yleisyyttä ja vähäisempää laskentakapasiteetin tarvetta verrattaessa muilla tavoin toteutettuihin simulointimalleihin. Johtuen näiden kielten yleisestä luonteesta, ne ovat myös joustavampia erilaisten asioiden toteuttamisessa. (Kuori 1995, s.11.)

Yleisten ohjelmointikielten käytön haittana simulointimallia rakennettaessa voidaan pitää mallintamisen vaikeutta ja tehottomuutta. Ohjelmoijan on itse luotava kaikki rutiinit, joita simuloinnissa tarvitaan, ja ohjelmat eivät tue simulointimallien kehittämistä eikä malleissa vaadittujen erityispiirteiden toteuttamista. Ohjelmistoista tulee usein monimutkaisia ja vaikeaselkoisia. Myös grafiikan ja animaation toteuttaminen yleisillä ohjelmointikielillä on lisäksi erittäin vaikeaa ja työlästä. (Kuori 1995, s.11.)

2.2.2. Simulointia varten suunnitellut ohjelmointikielien

Simulointikielien, eli simulointiin erikoistuneet ohjelmointikielien, ovat erityisesti simulointimallien laatimiseen suunniteltuja ohjelmointikieliä. Niissä on valmiit funktiot, joilla pystytään tehokkaaseen mallintamiseen, jolloin mallin rakentamiseen kuluva aika on huomattavasti lyhyempi. Simulointikielten rakenne tukee myös simulointimallin kehittämistä, jolloin mallista tulee helpommin ymmärrettävä ja mallin muuttaminen on huomattavasti helpompaa. Jotkin simulointikielien pystyvät myös tehokkaaseen tietojen hallintaan simuloinnin aikana, ja se parantaa niiden suorituskykyä. Tunnetuimpia simulointikieliä ovat mm. GSSP, GASP, ModSim ja Siman. (Kuori 1995, s.11.)

2.2.3. Simulointiohjelmistot

Simulointiohjelmistot ovat valmiita, jonkin tietyyppisen järjestelmän mallintamiseen tarkoitettuja ohjelmistoja. Simulointiohjelmistoissa on tyypillisesti valmiina mallin kohdetyhmän perusrakennepuosat, mikä helpottaa ja yksinkertaistaa mallin kehittämistyötä. Ohjelmoinnin osalta simulointiohjelmistot ovat huomattavasti helpompia kuin edellä kuvatut menetelmät ja mallinnettava järjestelmä kuvataankin ohjelmalle erilaisten parametrien avulla. Tietojen syöttö järjestelmään voi osittain tapahtua valmiiden lomakepohjien avulla, jolloin järjestelmän kehittäminen on varsin nopeaa. (Kuori 1995, s.11.)

Simulointiohjelmistoissa on valmiit tilastomatemattiset apuvälineet stokastisten havaintojen tulkitsemiseen ja mallintamiseen. Simulointiohjelmistojen käyttö on suhteellisen helposti omaksuttavissa ja eri mallien toiminta on hahmotettavissa helpommin kuin muilla tavoin toteutetuissa malleissa. Simulointiohjelmistoissa on myös lisänä animaatio, mikä helpottaa mallin kehittämistä ja toiminnan ymmärtämistä. Tunnetuimpia simulointiohjelmistoja ovat ProModel, Quest, AutoMod, Arena ja Taylor ED. (Kuori 1995, s.11.)

Valmiit simulointiohjelmistot ovat hankintahinnaltaan kalliita, mitä voidaankin pitää niiden haittapuolena. Ohjelmistot poikkeavat toisistaan myös mallintamisen tarkkuuden osalta. Kuvattavien yksityiskohtien tarkkuus, tyyppi ja määrä määräytyvät ohjelmistokohtaisesti. (Kuori 1995, s.11.)

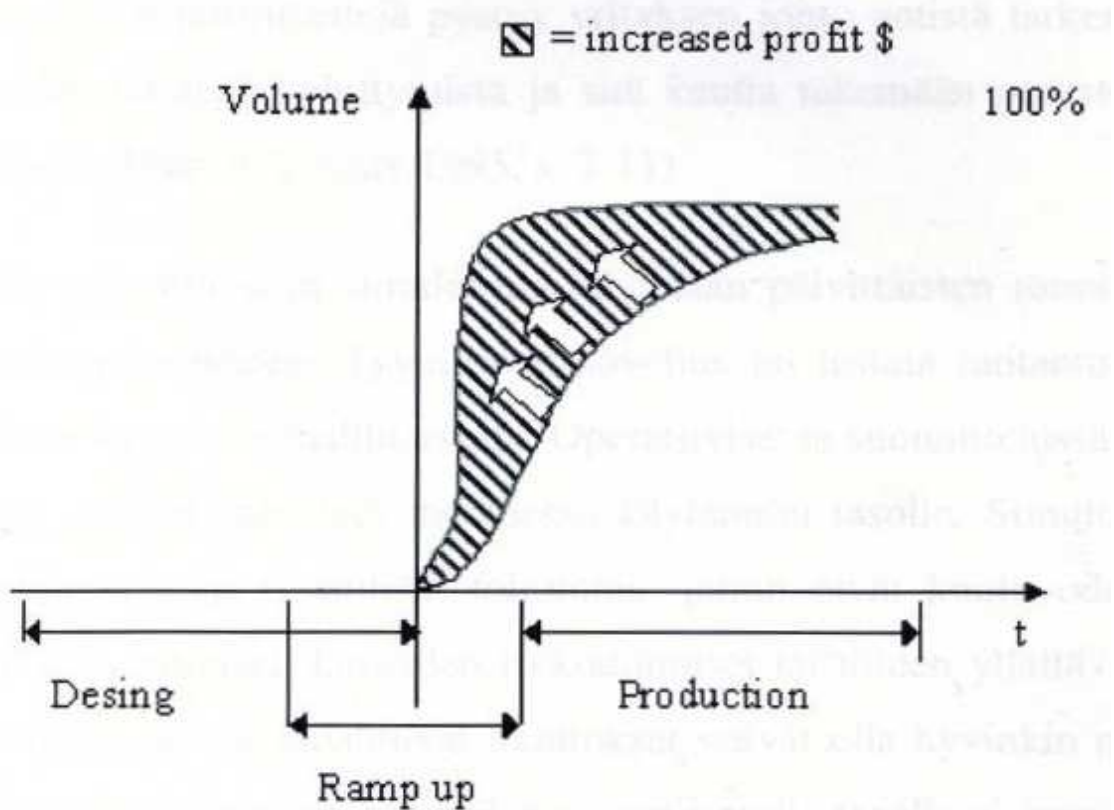
2.3. Simuloinnin käyttökohteita

Simuloinnin käyttökohteet voivat olla hyvin moninaisia. Seuraavassa kappaleessa simuloinnin käyttökohteet on jaettu kolmeen pääryhmään: järjestelmien suunnittelu, järjestelmien hallinta sekä koulutus ja markkinointi.

2.3.1. Järjestelmien suunnittelu ja toiminnan kehittäminen simuloimalla

Uuden järjestelmän suunnitteluvaiheessa pystytään simulointimallilla suorittamaan kokeiluja, jotka muuten olisivat mahdottomia. Näiden kokeilujen avulla voidaan

esimerkiksi löytää pullonkauloja tuotantojärjestelmästä. Näin voidaan lyhentää huomattavasti todellisen järjestelmän käyttöönottoaikaa, mikä puolestaan näkyy kustannussäästöinä. Kuvassa 1 on esitetty kuinka tuotannon käyttöönottoajan lyhenemisellä on suora yhteys voiton kasvuun. (Delfoi 2000)



Kuva 1. Simuloinnin avulla voidaan nopeuttaa järjestelmän implementointivaihetta. Design tarkoittaa suunnitteluvaihetta, Ramp up tuotannon ylösajovaihetta, Production varsinaista tuotantovaihetta, Volume tuotantovolyymia ja Increased profit kasvanutta tuottavuutta. (Delfoi 2000)

Jo olemassa olevien järjestelmien simuloinnilla voidaan suorittaa järjestelmää koskevia testauksia ja tällä tavoin kehittää toimintaa häiritsemättä varsinaista järjestelmää. Esimerkiksi tuotantolaitoksesta tehdyllä mallilla pystytään vertailemaan imu- ja työntöohjauksen vaikutusta laitoksen toimintaan (Kuori 1995, s.11.)

Simulointimallilla on myös mahdollista suorittaa erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisumalleja joustavammin kuin todellisella järjestelmällä. Simulointimalli onkin hyvä työväline

testaukseen, jota tulisi käyttää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta järjestelmässä olevat virheet ja ongelmat löydetään ennen kuin virheiden aiheuttamat kustannukset alkavat kasaantua. (Law, Kelton 2000, s. 20.)

2.3.2. Järjestelmien hallinta simuloimalla

Kokonaisten tehtaiden ja järjestelmien suunnittelu pitää sisällään huomattavan joukon muitakin asioita, kuin pelkät fyysiset laitteet. Järjestelmien hallinnassa simulointia voidaan hyödyntää esimerkiksi valittaessa parasta ohjaustapaa tavara- ja asiakasvirroille. Simulointi on myös hyvä väline etsittäessä ratkaisuja aikataulusongelmiin ja resurssien allokointiin. Simuloimalla esimerkiksi vaihtoehtoisia tuotantopaketteja, toimintamalleja, vuorojärjestelmiä ja töiden prioriteetteja pystyy yrityksen johto entistä tarkemmin arvioimaan vallitsevan tilanteen kehittymistä ja sitä kautta tekemään perusteltuja ja tarkempia päätöksiä. (Harrel, Tumay 1997, s. 7-11)

Operatiivisessa suunnittelussa simulointia pystytään käyttämään toimintojen suunnitteluun ja aikataulutukseen. Tyypillinen sovellus on testata tuotantosuunnitelmia tehtaan toimintaa kuvaavan mallin avulla. Simuloinnilla on kuitenkin selkeät rajoitteet mentäessä operatiivisessa suunnittelussa käytännön tasolle. Simuloinnilla kannattaa mallintaa vain tyypillistä toimintaa, johon ei kuulu odottamattomat muutokset, kuten työntekijöiden sairastumiset, koneiden rikkoutumiset tai töiden yllättävät saapumisajat. Operatiivisella tasolla muutokset voivat olla hyvinkin nopeita ja odottamattomia, mikä selittää osaltaan sen, että operatiivisella tasolla ei juurikaan ole toimivia sovelluksia, vaikka useat simulointiohjelmistot mahdollistavat mallien kytkennän suoraan yrityksen operatiivisiin järjestelmiin. (Korpiharju 2000, s. 28.)

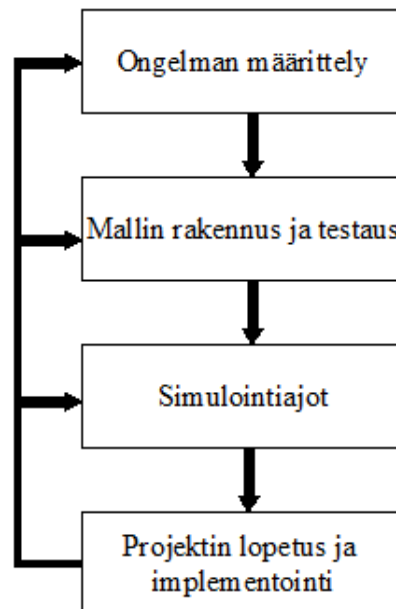
2.3.3. Simuloinnin hyödyntäminen koulutuksessa ja markkinoinnissa

Koulutuksen näkökulmasta simulointi tarjoaa hyvän näkymän järjestelmän toimintaan. Simulointimalli voi auttaa työntekijöitä ja työnjohtoa ymmärtämään, kuinka järjestelmä toimii ja miten erilaiset toimintamallit vaikuttavat järjestelmään. (Buxton 2000, s. 1568 - 1576)

Hyvin animoidulla simulointimallilla saavutetaan huomattavasti havainnollisempi, kiinnostavampi ja kiinnostavampi esitys esimerkiksi tulevan järjestelmän toiminnasta. Simulointiohjelmistojen kehittyneiden graafisten apuvälineiden ansiosta simuloinnin hyväksikäyttö juuri koulutus- ja markkinointitarkoituksiin on lisääntynyt. (Buxton 2000, s. 1568 -1576)

2.4. Simulointiprojektin yleinen toteutus

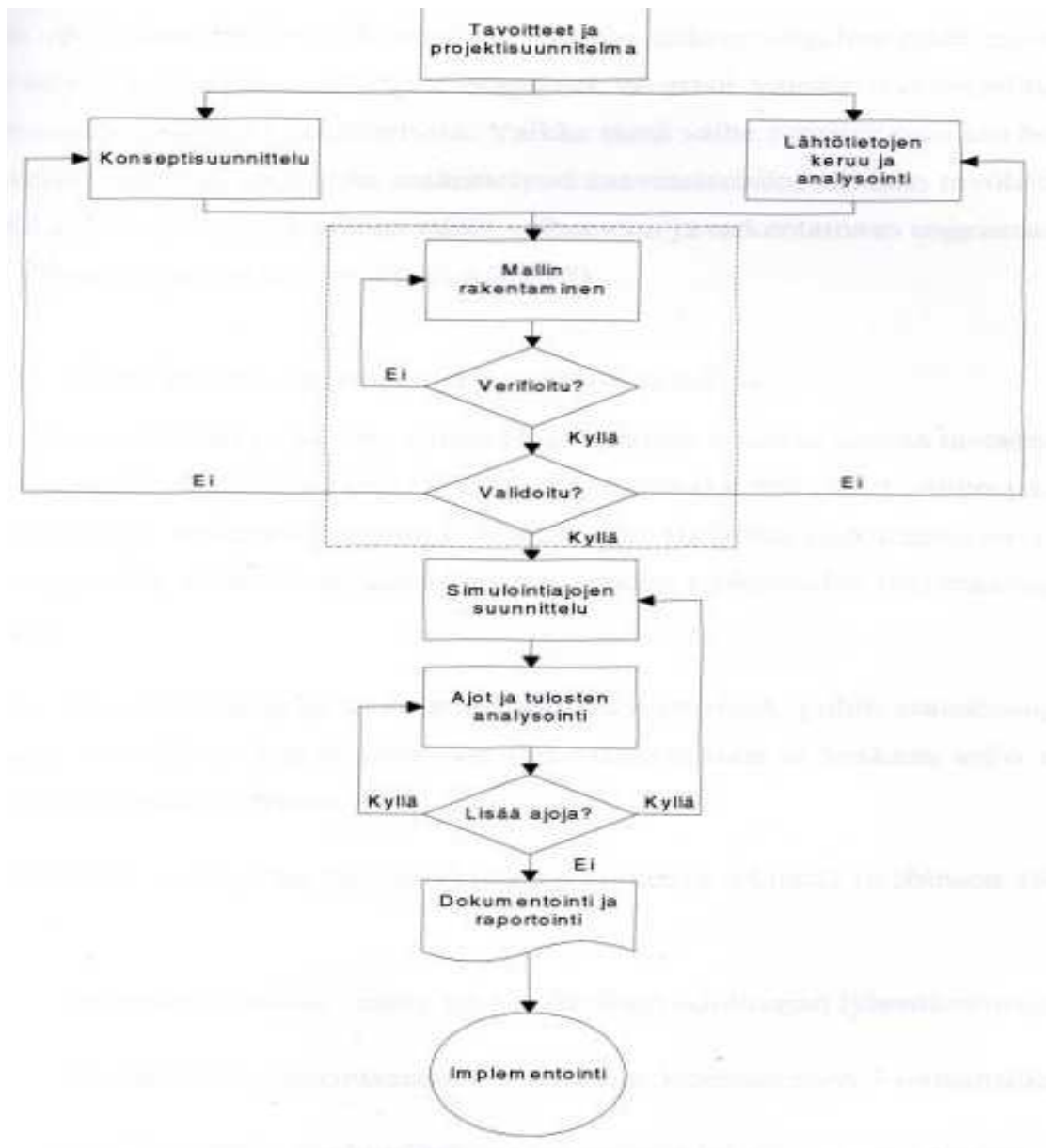
Simulointiprojekti muodostuu yleisesti neljästä päävaiheesta. Nämä vaiheet ovat ongelman määrittäminen, mallin rakennus ja testaus, simulointiajot ja projektin lopetus ja implementointi. Todellisuudessa projekti ei aina kulje vaihe vaiheelta ensimmäisestä vaiheesta viimeiseen, vaan projektin aikana joudutaan usein palaamaan edellisiin vaiheisiin asioiden tarkennuttua tai muututtua. Taaksepäin palaaminen ei aina tarkoita, että projektissa olisi epäonnistuttu, vaan tällainen etenemistapa on tyypillistä simulointiprojektille. Kuvassa 2 on esitetty simulointiprojektin päävaiheet kaaviokuvana.



Kuva 2. Simulointiprojektin päävaiheet (Robinson 1994, s.29)

Jokainen edellä kuvatuista simulointiprojektin päävaiheesta voidaan jakaa edelleen pienempiin vaiheisiin, jotka taas noudattavat samanlaista iteroivaa lähestymistapaa.

Päävaiheet on jaoteltu edelleen pienempiin kokonaisuuksiin kuvassa 3 (Banks, Carson, Nelson 2000, s.15)



Kuva 3. Simulointiprojektin vaiheet. (Banks, Carson, Nelson 2000, s. 15.)

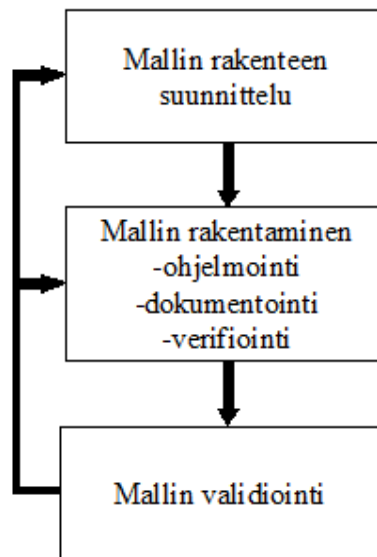
2.4.1. Ongelman määrittely

Ensimmäisenä ja usein koko simulointiprojektin tärkeimpänä vaiheena on ymmärtää ongelma, jota simulointiprojektilla pyritään ratkaisemaan. Ongelman ratkaisuun liittyen on myös määritettävä sopiva lähestymistapa tämän tai näiden ongelmien ratkaisemiseksi. Ensimmäisessä vaiheessa ongelman määrittelyssä tulee tunnistaa varsinainen ongelma. Ongelmana voi olla esimerkiksi jokin seuraavista: tuotantolaitos toimii alle asetettujen tavoitteiden, vähittäiskauppa ei pysty saavuttamaan tavoiteltua palvelutasoa tai tuotteita käsitellään liian usein kuljetusketjun aikana. (Robinson 1994, s. 29 -30, 41-42)

Ongelma tulee myös muotoilla niin, että kaikki projektin osapuolet ymmärtävät sen ja ovat yhtä mieltä ongelman määritelmästä. Vaikka tämä työvaihe suoritettaisiin alkuvaiheessa huolellisesti, saattaa projektin aikana kuitenkin ilmetä tarvetta palata tähän vaiheeseen ja tarkentaa ongelman määrittelyä. (Banks, Carson, Nelson 2000, s.14 -17)

2.4.2. Mallin rakentaminen ja testaaminen

Tässä työvaiheessa rakennetaan varsinainen simulointimalli ja testataan sen toiminta. Testausvaihe suoritetaan, jotta saataisiin varmuus mallin ja todellisen järjestelmän vastaavuudesta. Mallin rakentaminen ja testaaminen voidaan jakaa kuvan 4 mukaisesti kolmeen erilliseen vaiheeseen.



Kuva 4. Simulointimallin rakentaminen ja testaaminen (Robinson 1994, s127)

Mallin rakenne tulisi suunnitella paperilla ennen varsinaisen tietokonemallin rakentamista. Näin voidaan varmistua siitä, että paras lähestymistapa tulee valittua ennen kuin varsinaista mallia aletaan kirjoittaa tietokoneelle. Lisäksi tämä lähestymistapa antaa hyödyllistä dokumentaatiota sekä mallin rakentamista että valmiin mallin dokumentointia varten. (Robinson 1994, s. 129 -139)

Varsinainen malli rakennetaan joko simulointiohjelmistolla tai yleisillä ohjelmointikielillä. Mallin rakentaminen koostuu kolmesta päävaiheesta. Nämä ovat ohjelmointi, dokumentointi ja verifiointi. Ohjelmointivaiheessa malli syötetään koneelle. Dokumentointivaiheessa selvitetään mallin rakenne. Verifiointivaiheessa varmistetaan koodin oikeellisuus. (Robinson 1994, s. 130 -131)

Mallille on myös tarpeellista suorittaa validointi, jolla varmistetaan että malli vastaa oikealla tarkkuusasteella todellisen järjestelmän toimintaa ja projektin alkuperäisiä tavoitteita. Validointia voidaan pitää mallin makrotason tarkasteluna, kun taas verifiointi vastaa mallin mikrotason tarkastelua. (Robinson 1994, s. 140 -148)

2.4.3. Simulointiajot

Simulointiajot voidaan jakaa kahteen erilliseen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa simulointiajot suunnitellaan ja toteutetaan. Toisessa vaiheessa keskitytään tuloksien analysointiin ja johtopäätöksien tekemiseen.

Simulointiajojen suunnittelu on jatkoa simulointimallin suunnittelun yhteydessä tehdyille ajojen karkeasuunnittelulle. Jokaista eri toimintavaihtoehtoa koskien tulee suunnitella tarvittavien ajojen lukumäärä, jokaisen ajon pituus ja lämmittelyjakso. (Robinson 1994, s. 155.)

Jotta mallista ulossaatavat tulokset olisivat luotettavia, on mallille normaalitilanteessa suoritettava niin kutsuttu lämmittelyjakso. Tämän vaiheen aikana ei vielä kerätä tuloksia. Toinen mahdollisuus on syöttää malliin alkuarvoja, jotka kuvaavat esimerkiksi tehtaan keskeneräistä tuotantoa. (Kelton 1998, s. 33 – 38.)

Kun simulointiajoja aletaan suorittaa, tarjolla saattaa olla hyvinkin useita erilaisia kombinaatioita, joita mallilla voitaisiin testata. Usein kuitenkin aika ei riitä kaikkien eri kombinaatioiden tutkimiseen, joten onkin aiheellista löytää ne kombinaatiot jotka soveltuvat parhaiten kyseisellä mallilla tutkittaviksi. (Kelton 1998, s. 33 – 38.)

2.4.4. Projektin päättäminen ja implementointi

Projektin päättäminen ja implementointi voidaan jakaa edelleen pienempiin vaiheisiin. Nämä vaiheet ovat tulosten esittäminen, tulosten implementointi ja dokumentointi.

Simulointimallin antamat tulokset voidaan esittää joko suullisesti tai kirjallisesti. Raportointitavasta riippumatta on tärkeää esittää tulokset, johtopäätökset ja suositukset siten että kaikki osapuolet ymmärtävät ne. (Robinson 1994, s.198)

Toisinaan implementointi on hoidettu simulointitiimin jäsenen toimesta ja toisinaan ulkopuolisen tahon toimesta. Onnistuneesti suoritettujen implementointien taustalla ovat seuraavat tekijät

- tunnistaa kuka on vastuussa implementoinnista
- kehittää implementointisuunnitelma

- seurata implementoinnin toteutusta

Tulosten käyttöönoton varmistaminen on koko projektin onnistumisen kannalta tärkeää. Simulointiprojektin voidaan katsoa epäonnistuneen, mikäli mallilla on osoitettu, että jokin muutos olisi perusteltua toteuttaa, ja tästä huolimatta muutosta ei toteuteta, varsinkin mikäli muutos olisi ollut taloudellisesti suotavaa. Mikäli simulointiprojektista saadut tulokset ja niiden perusteella muodostetut kehittämissuhteet unohdetaan, tai niihin suhtaudutaan välinpitämättömästi, on koko projekti ollut todennäköisesti vain ajan ja resurssien tuhlausta. (Robinson 1994, s.199 – 201.)

3 SIMULOITAVAN YMPÄRISTÖN JA JÄRJESTELMÄN KUVAUS NOSTINTEHTAAN HH1-HALLISSA

Konecranes on yksi maailman johtavista nostolaittevalmistajista, joka toimittaa tuottavuutta lisääviä nostoratkaisuja ja palveluita valmistus- ja prosessiteollisuudelle, laivanrakennusteollisuudelle ja satamille. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2008 2102,5 miljoonaa euroa. Standardinostolaitteiden liiketoiminta-alue tarjoaa esisuunniteltuja ja modulaarisia komponentteja sekä nostureita eri asiakastoimialoille.

Ennen tämän kandidaatintyön aloittamista Hämeenlinnassa sijaitsevan nostintehtaan HH1-hallissa ongelmaksi oli todettu, että tuotantoyksikössä ei aina saavuteta sille asetettuja tuotantotavoitteita. Ongelman tarkempaa selvitystä varten päätettiin rakentaa simulointimalli. Simulointimallin lähtötietoja varten tuotantohallissa toteutettiin 8.12. - 12.12.2008 viikon mittainen tuotannon seurantajakso, jossa selvitettiin QC- nostinten alkukokoonpanon peräkkäisten työvaiheiden toteutumista erityisesti ajankäytön näkökulmasta katsottuna. Työvaiheeseen käytetyn ajan mittaamisessa oli tarkoituksena, että työvaihe tehtiin alusta loppuun ilman keskeytyksiä. Tavoitteena oli, että simulointimallilla saadaan selville täydellä kapasiteetilla toimivan tuotantosolun eri työvaiheiden väliin kertyvä turha odotusaika sekä työvaiheiden välissä jonottavien keskeneräisten tuotteiden määrä.

Tutkittava tuotantosolu muodostuu neljästä peräkkäisestä työvaiheesta. Ensimmäisessä työvaiheessa kiinnitetään nostovaihe nostomoottoriin. Toisessa vaiheessa työn alla olevaan moottori-vaihe-pakettiin kiinnitetään köysitela ja niin kutsutut päädyt. Seuraavassa työvaiheessa muuten alkukokoonpantu nostinaihio köysitetään ja neljännessä työvaiheessa alkukokoonpantu nostin koeajetaan. Neljännen työvaiheen jälkeen nostin siirtyy loppukokoonpanoon.

Mittauksia tehtiin edellä mainituista neljästä työvaiheesta yhteensä 101. Työntekijät suhtautuivat tehtyihin mittauksiin pääosin myönteisesti ja rakentavasti, mutta suurin osa mittaushavainnoista tehtiin kuitenkin vain kahdesta viimeisestä työvaiheesta. Mittauksien

aikana ei todettu sellaista hidastelua, mikä olisi vaikuttanut tuloksien oikeellisuuteen. Mittaustulokset vastasivat myös omaa ennakkokäsitystäni solun toiminnasta, mikä perustuu omaan työkokemukseen kyseisessä hallissa sekä työntekijänä että työnjohtajana.

4 SIMULOINTIPROJEKTIN TOTEUTUS

Seuraavassa osiossa käsitellään simulointiprojektin toteuttamista nostintehtaan HH1-hallissa.

4.1. Ongelman määrittely simulointiprojektissa

Tämän työn yhteydessä rakennetulla simulointimallilla on tarkoitus tarkastella yhden tuotantosolun toimintaa, erityisesti tuotannossa ilmeneviä odotusaikoja sekä toisaalta työvaiheiden väliin muodostuvia keskeneräisten tuotteiden jonoja. Simulointimallin avulla testataan myös yksinkertaisen simulointimallin soveltamista tuotannon kehittämisessä.

4.2. Mallin rakentaminen ja testaaminen simulointiprojektissa

Kandidaatintyössä rakennettu simulointimalli on toteutettu aiemmin luvussa 2.4 esitetyin askelin. Mallin rakentaminen osoittautui melko monimutkaiseksi työvaiheeksi, koska malli on rakennettu alusta asti itse. Ohjelmoitaessa palattiin useaan otteeseen taaksepäin, mikä teki tästä työvaiheesta ylivoimaisesti työn pitkäkestoisimman.

Kandidaatintyön tähän vaiheeseen kuului myös vaiheaikojen kellotus, joka suoritettiin viikon mittaisena jaksonekscranesilla. Kellotusjakson aikana mitattiin työvaiheiden kestot siten, että työvaihe pyrittiin suorittamaan aina yhtäjaksoisesti alusta loppuun ilman keskeytyksiä.

Malli verifioitiin ohjelmoinnin aikana. Jokaista työvaihetta koskeva ohjelmointiosuus ohjelmoitiin erillisinä osana ja niiden toimintaa testattiin useassa vaiheessa ohjelmoinnin aikana. Malli on myös ohjelmoinnin osalta rakenteeltaan sellainen, että virheet oli helppo havaita sekä erillisistä koodin osista että kokonaisesta mallista.

4.2.1. Simulointiprojektin mittaustulosten analysointi

Simulointiprojektiin sisältyneen neljän, toisiaan seuraavan työvaiheen mittaustuloksia tarkasteltaessa voitiin jo mittauksia suoritettaessa huomata, että kyseisessä solussa kaksi ensimmäistä työvaihetta ovat ajallisesti keskenään hyvin samanmittaisia, kuten myös kaksi viimeistä. Tulosten hajonta sen sijaan aiheuttaa eroja myös peräkkäin olevien samanmittaisten työvaiheiden aikojen välille.

Ensimmäisen työvaiheen hajonta on suuri, mikä johtuu paljolti mittauksien vähäisestä määrästä. Yksi tulos erottuu muista mittaustuloksista kuitenkin selvästi poikkeavalla kokoonpanoajalla. Kokoonpanoaikaa kasvatti mittaustilanteessa se, että työstettävänä olleen koneen osia ei heti löydetty varastosta. Työvaiheen odotusarvo on 22 minuuttia ja hajonta 13 minuuttia.

Toisessa työvaiheessa ajan odotusarvoksi muodostui 18 minuuttia ja keskihajonnaksi 5 minuuttia. Tämän työvaiheen tasaiset ajat johtuvat työvaiheessa tarvittavien osien luonteesta, eli osat ovat pääosin vakio-osia ja tarvittavat osat löytyivät nopeasti varastosta. Näiden osien varastosaldot olivat siis ainakin mittauksien aikaan hyvin paikkansapitävät.

Kolmannen työvaiheen odotusarvoksi muodostui 32 minuuttia ja keskihajonnaksi 13 minuuttia. Tämän työvaiheen hajonta aiheutuu käytännössä köysien vaihtoon kuluneesta ajasta, erimittaisista telaputkista ja eri nopeudella toimivista nostovaihteista.

Neljännän työvaiheen odotusarvoksi muodostui 32 minuuttia ja keskihajonnaksi 9 minuuttia. Tämä työvaihe poikkeaa edellisistä siinä, että se toteutetaan lähes kokonaan koneellisesti. Tämän vuoksi työvaiheen toiminnan nopeuteen ei juurikaan pystytä vaikuttamaan.

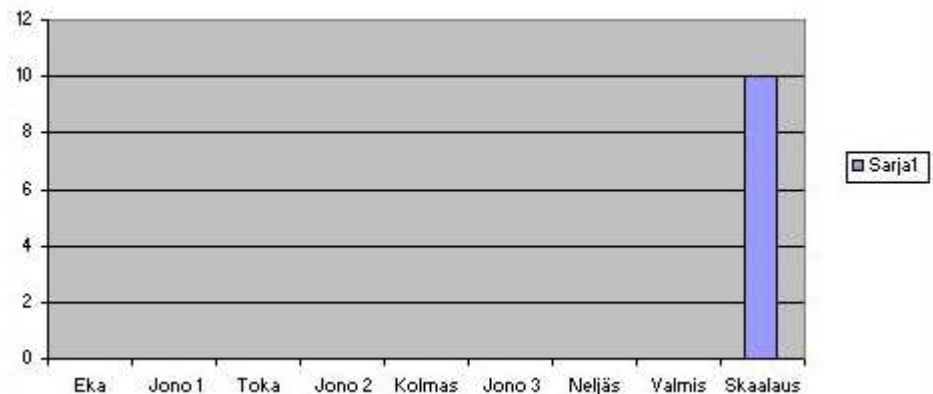
4.3. Simulointiajot

Seuraavissa kappaleissa käsitellään kandidaatintyötä varten rakennetulla simulointimallilla suoritettuja kokeita. Ensimmäiset kaksi ajoa suoritettiin siten, että missään välivarastossa ei ole työvuoron alkaessa yhtään keskeneräistä tuotetta. Kaksi jälkimmäistä ajoa suoritetaan niin, että jokaisessa välivarastossa on työvuoron alkaessa kaksi keskeneräistä tuotetta

muiden alkuarvojen pysyessä samoina kuin ensimmäisessä tilanteessa. Keskeneräisten tuotteiden määrä asetettiin kahteen kappaleeseen, koska tuotteiden fyysinen koko asettaa rajoituksia välivaraston koolle.

4.3.1. Simulointiprojektin simulointiajot 1 ja 2

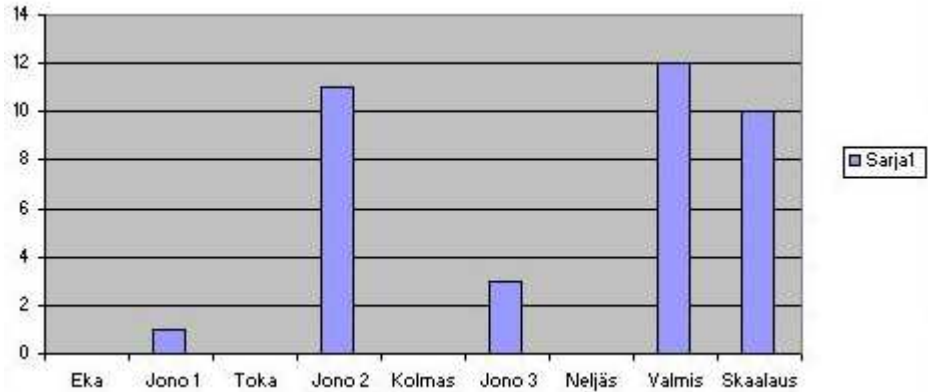
Nämä kaksi simulointiajota suoritettiin alkuarvoilla, kun työpisteiden väliset välivarastot ovat tyhjinä. Tällainen tilanne vallitsee tuotantosolussa usein varsinkin aamuvuoron alkaessa. Kuva 5 kuvaa mallin näyttämää tilannetta vuoron alussa. Mallin tulosteessa työvaiheet on nimetty seuraavasti: ”Eka” tarkoittaa ensimmäistä työvaihetta ja Jono1 ensimmäisen ja toisen työvaiheen väliin muodostuvaa keskeneräisten nostinten jonoa. ”Toka” tarkoittaa toista työvaihetta ja Jono2 vastaavasti toisen ja kolmannen työvaiheen väliin muodostuvaa jonoa. Kolmas tarkoittaa kolmatta työvaihetta ja Jono3 kolmannen ja neljännen työvaiheen väliin muodostuvaa jonoa. Neljäs tarkoittaa neljättä työvaihetta.



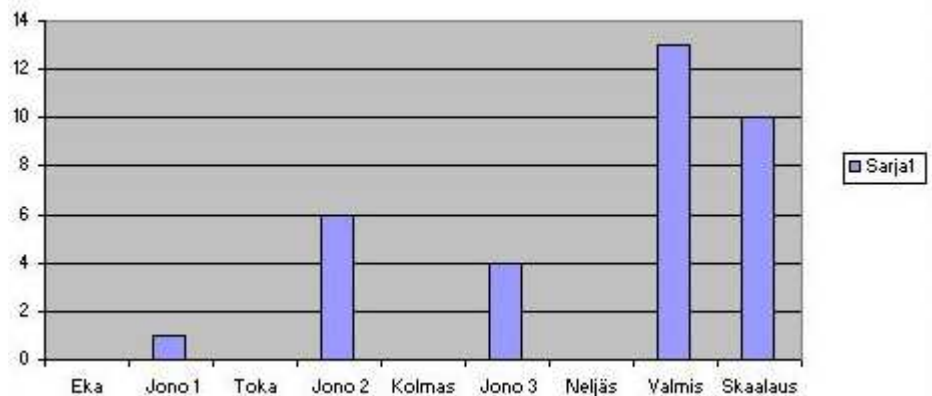
Kaavio 1. Simulointiajosten 1 ja 2 alkutilanne, jolloin työvaiheissa tai jonoissa ei ole vielä tuotteita. Pystyakselilla kuvataan kappalemääriä ja vaaka-akselilla työvaiheita ja niiden väliin muodostuvia jonoja.

Simulointiajosten 1 ja 2 lopputulokset on esitetty kuvissa 6 ja 7. Simulointiajosten perusteella valmiita tuotteita valmistuu vuoron aikana noin 12, mikä vastaa hyvin tuotantosolun yhden vuoron aikana valmistavaa tuotemäärää. Mallin tuloksista on myös helppo havaita, että työvaiheet 1 ja 2 ovat työvaiheita 3 ja 4 huomattavasti nopeampia. Tämä ero on helppo havaita kuvien 6 ja 7 kohdasta jono2.

Kuvan 6 kohdat Eka, Toka, Kolmas ja Neljäs kuvaavat itse työvaiheita. Työvuoron loppuessa työvaiheessa ei ole enää toimintaa, joten vaiheen palkki saa arvon nolla.

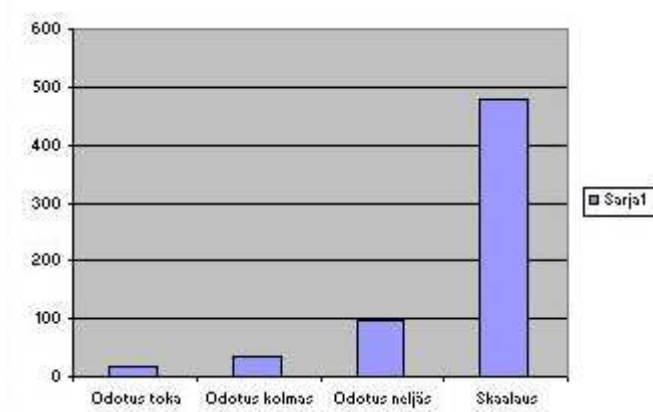


Kaavio 1. Simulointiajon 1 lopputulos. Pystyakselilla kuvataan kappalemääriä ja vaakakselilla työvaiheita ja niiden väliin muodostuvia jonoja.

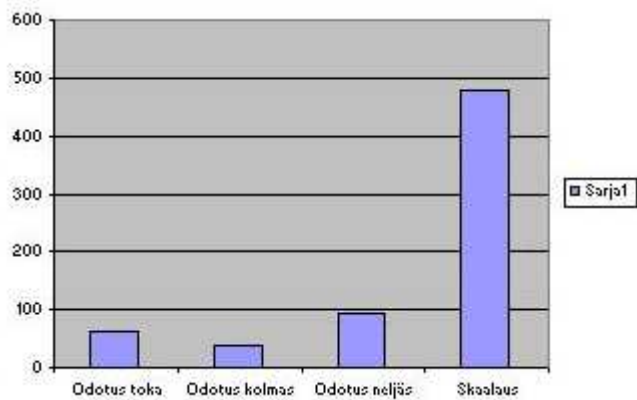


Kaavio 1. Simulointiajon 2 lopputulos. Pystyakselilla kuvataan kappalemääriä ja vaakakselilla työvaiheita ja niiden väliin muodostuvia jonoja.

Simulointiajosten 1 ja 2 odotusaikakaaviot on esitetty kuvissa 8 ja 9. Skaalauspylväs on asetettu yhden työvuoron kestoja kuvaavaksi. Odotusajoista huomionarvoinen seikka ilmenee neljännen työvaiheen odotusajoissa, joka on kuvissa 8 ja 9 esitetty nimellä *odotus neljäs*. Tämä todella pitkä odotusaika aiheutuu pelkästään siitä asiasta, että tuotantosolu on vuoron alkaessa tyhjä. Työvaiheiden 3 ja 4 ollessa muutenkin hitaimmat työvaiheet on todella haitallista, mikäli työvaiheet joutuvat vuoron alussa odottamaan yli tunnin ensimmäistä kokoonpantavaa tai koeajettavaa konetta.



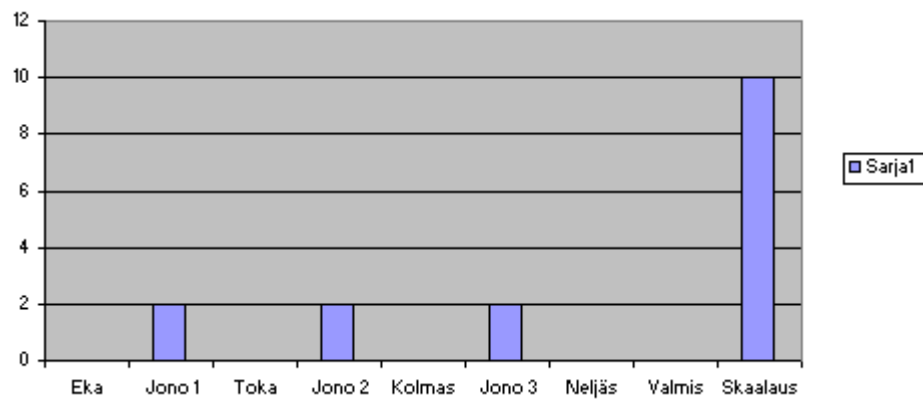
Kaavio 1. Simulointiajon 1 odotusajat minuutteina. Pystyakselilla kuvataan aika ja vaakakselilla jokainen työvaihe.



Kaavio 2. Simulointiajon 2 odotusajat minuutteina. Pystyakselilla kuvataan aika ja vaakakselilla jokainen työvaihe.

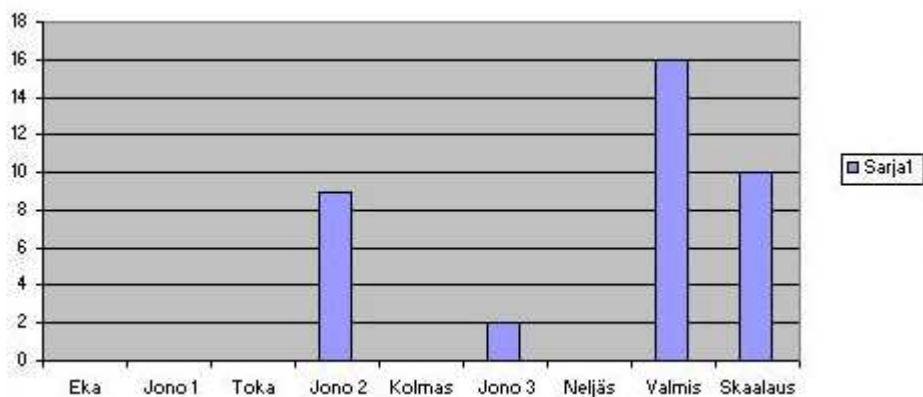
4.3.2. Simulointiprojektin simulointiajot 3 ja 4

Simulointiajot 3 ja 4 suoritettiin kuvan 10 mukaisessa alkutilanteessa, jolloin jokaisessa jonossa on kaksi keskeneräistä tuotetta, johtuen tuotteen fyysisestä koosta. Tämä alkutilanne mahdollistaa jokaisen työvaiheen yhtäaikaisen aloituksen. Tämä poistaa myös työvuoron alusta viimeisien työvaiheiden turhan odotusajan.

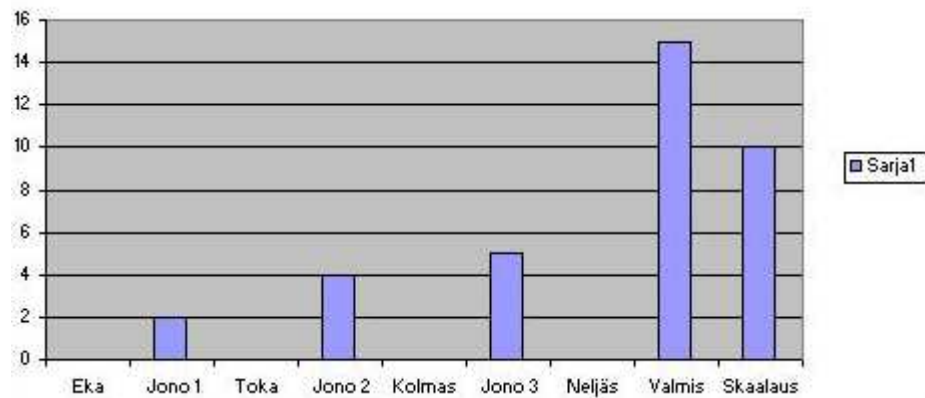


Kaavio 3. Simulointiajojen 3 ja 4 alkutilanne. Pystyakselilla kuvataan kappalemääriä ja vaaka-akselilla työvaiheita ja niiden väliin muodostuvia jonoja.

Simulointiajojen 3 ja 4 lopputulokset ovat esitetty kuvissa 11 ja 12. Simulointiajojen perusteella valmiita tuotteita valmistuu työvuoron aikana noin 15. Kappalemääräisesti suurimmat jonot muodostuvat näilläkin alkuarvoilla työpisteiden 2 ja 3 väliin.

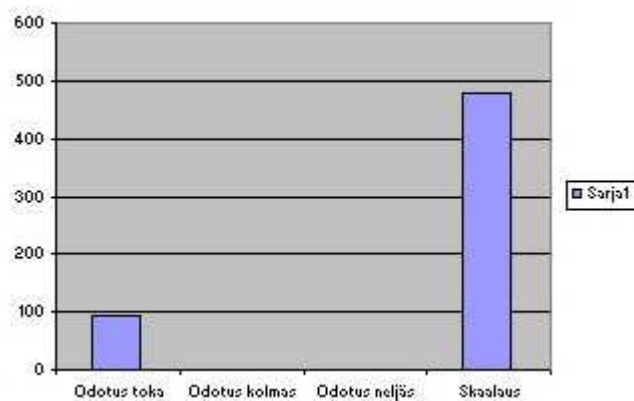


Kaavio 4. Simulointiajon 3 lopputulos. Pystyakselilla kuvataan kappalemääriä ja vaaka-akselilla työvaiheita ja niiden väliin muodostuvia jonoja.

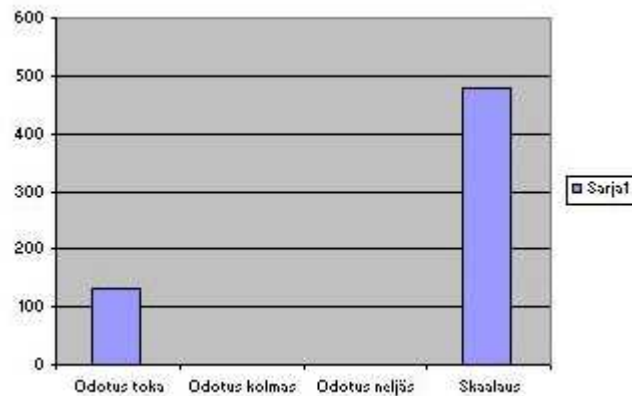


Kaavio 5. Simulointiajon 4 lopputulos. Pystyakselilla kuvataan kappalemääriä ja vaakakselilla työvaiheita ja niiden väliin muodostuvia jonoja.

Simulointiajosten 3 ja 4 yhden työvuoron odotusaikakaaviot on esitetty kuvassa 13 ja kuvassa 14. Annetuilla alkuarvoilla odotusta aiheutuu vain toiselle työpisteelle ja se ei vaikuta negatiivisesti valmistuneiden tuotteiden määrään. Kyseisillä alkuarvoilla kahden viimeisen työvaiheen ei tarvitse lainkaan odotella.



Kaavio 6. Simulointiajon 3 odotusajat minuutteina. Pystyakselilla kuvataan aika ja vaakakselilla jokainen työvaihe.



Kaavio 7. Simulointiajon 4 odotusajat minuutteina. Pystyakselilla kuvataan aika ja vaakakselilla jokainen työvaihe.

4.3.3. Eri alkuarvoilla suoritettujen simulointiajojen vertailu

Seuraavissa kappaleissa käsitellään kandidaatintyössä eri keskeneräisten tuotteiden määrällä suoritettujen simulointiajojen tuloksia. Ensimmäisessä osassa käsitellään eri alkuarvojen vaikutusta valmistuneisiin tuotteisiin muodostuneisiin jonoihin. Toisessa osassa käsitellään eri alkuarvojen vaikutusta eri tuotantovaiheiden odotusaikoihin. Simulointiajot 1 ja 2 on suoritettu alkuarvoilla jolloin välivarastoissa ei ollut keskeneräisiä tuotteita ja simulointiajot 3 ja 4 on suoritettu alkuarvoilla jolloin kussakin välivarastossa on kaksi keskeneräistä tuotetta.

Taulukossa 1 on esitetty simulointiajojen aikana muodostuneet jonot ja valmistuneet tuotteet. Tuloksista on helppo havaita ero valmistuneiden tuotteiden määrässä. Tämä ero aiheutuu siitä että viimeinen työvaihe joutuu odottamaan työvuoron alussa kohtuuttoman kauan ennen kuin pääsee vuorollaan jatkamaan ensimmäisen tuotteen valmistamista.

Taulukko 1. Simulointiajoissa muodostuneet jonot.

| | Jono 1 | Jono 2 | Jono 3 | Valmis |
|-------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Simulointiajo 1 | 1 | 11 | 3 | 12 |
| Simulointiajo 2 | 1 | 6 | 4 | 13 |
| Keskiarvo 1 ja 2 | 1 | 8 | 3 | 12 |
| Simulointiajo 3 | 0 | 9 | 2 | 16 |

Taulukossa 2 on esitetty työvuoron aikana eri työvaiheille aiheutuneet odotusajat minuutteina. Odotusajoista havaittavissa millainen merkitys tyhjällä tuotantosolulla on vuoron alussa. Se kerryttää odotusaikaa erityisesti neljännelle työvaiheelle, joka on muutenkin hitain työvaihe. Muodostuneet odotusajat eivät ole mitenkään merkityksettä, sillä näillä ajoilla on helppo selittää koko tuotantosolun pienempi kokonaisvalmistusmäärä.

Taulukko 2. Simulointiajojen odotusajat minuutteina.

| | Odotus toinen | Odotus kolmas | Odotus neljäs | Yhteensä |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| Simulointiajo 1 | 19 | 36 | 98 | 153 |
| Simulointiajo 2 | 64 | 39 | 92 | 195 |
| Keskiarvo 1 ja 2 | 42 | 38 | 95 | 174 |
| Simulointiajo 3 | 94 | 0 | 0 | 94 |
| Simulointiajo 4 | 131 | 0 | 0 | 131 |
| Keskiarvo 3 ja 4 | 113 | 0 | 0 | 113 |

4.4. Muita havaintoja mittausjakson ajalta

Seuraavat huomiot tehtiin suoritetun seurantajakson aikana. Ne esitetään samassa järjestyksessä missä itse tuotantokin etenee, joten järjestys ei välttämättä kuvaa asioiden tärkeysjärjestystä.

Ensimmäisen työvaiheen valmiiden tuotteiden varastointipöydän sijainti aiheuttaa tuotantoon turhaa edestakaista liikettä. Tämä on helposti korjattavissa pöydän paikan

vaihdoksella. Pöydän nykyinen sijainti estää myös työpisteen koko mahdollisen nostinkapasiteetin käytön. Tämä ongelma vaikuttaa myös seuraavan työvaiheen toimintaan etenkin nostinkapasiteetin osalta. Ensimmäisessä työvaiheessa myös kokoonpano-osien etsiskely aiheuttaa merkittäviä viiveitä, mikä kertoo osaltaan myös kokoonpano-osien varastoinnin kehittämishaasteista.

Toissa työvaiheessa ongelmia aiheuttavat epäkurantit osat. Erityisiä ongelmia mittausjakson aikana oli päädyiksi kutsuttavien peltien maalipinnoissa ja väliaisojen kierteissä.

Keskiönostoiksi kutsuttavien nostinten köysittäminen aiheuttaa neljännelle, jo muutenkin eniten työaikaa vaativalle työpisteelle, turhaa viivästystä. Mikäli näitä nostimia on enemmän tuotannossa, hidastaa se koko solun toimintoa todella paljon. Köysittämiselle olisi syytä etsiä toisenlainen ratkaisu, esimerkiksi vaikka aivan erillisestä köysityspenkistä, joka sijaitaisi koeajopukin jälkeen ja jossa kyseiset nostimet köysitettäisiin esimerkiksi loppukokoonpanon toimesta.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennettu simulointimalli osoittautui toimivaksi keinoksi tarkastella tuotannon toimivuutta ja paikallistaa samalla tuotantoa haittaavia tilanteita. Simulointimallista kertyneet kokemukset ja kirjallisuudesta saadut tiedot kannustavat myös laajempiin simulointiprojekteihin. Työssä kehitetyn simulointimallin hyödyntäminen koko tehtaan kattavassa simulointiprojektissa ei ole kuitenkaan järkevää, koska mallin muuttujien määrä muuttuisi niin suureksi, että ohjelmasta tulisi todella raskas ja vaikeasti käytettävä. Koko tehtaan kattavassa simulointiprojektissa tulisikin perehtyä kaupallisiin simulointimalleihin ja -ohjelmistoihin.

Suoritettujen simulointiajojen perusteella voidaan havaita mm. erilaisten alkuarvojen vaikutus tuotannon tehokkuuteen. Tuottavuuden kannalta haitallisin tilanne tuotantosolussa syntyy, kun työvuoron alkaessa tuotantosolun työpisteiden välissä olevat välivarastot ovat tyhjiä. Tämä tilanne aiheuttaa tuotannon viivästyksiä ja toisaalta turhia odotusaikoja. Tuotanto tulisi järjestää siten, että tätä kyseistä tilannetta ei pääse syntyämään, eli välivarastoinnin tarkkailuun tulisi kiinnittää huomiota. Tällä tavoin kahden hitaimman työvaiheen odotusajat saadaan pysymään minimissään ja näin pidettyä tuotantomäärät mahdollisimman korkeina.

Simulointimallilla voidaan tutkia laajemmin esimerkiksi seuraavia asioita:

1. Tuotannon kokoonpanossa syntyvien odotusaikojen aiheuttajien paikallistaminen, mittaaminen ja minimoiminen. Esimerkiksi hallin nosturikapasiteetista tai kokoonpanosien etsinnästä aiheutuvat tarpeettomat tuotannon viivästyksset.
2. Tuotannonsuunnittelun kehittämisen apuvälineenä. Esimerkiksi simuloinnin käyttäminen tuotannonsuunnitteluun ja aikataulutukseen testaamalla tuotannosuunnitelmia tehtaan toimintaa kuvaavalla mallilla.
3. Erilaisten layout-mallien suunnittelu ja kokeilu ilman todellisen toiminnan häiritsemistä.

LÄHDELUETTELO

Banks, J., Carson, J., Nelson, B. 2005. Discrete-Event System Simulation. 4th Edition. Prentice-Hall, New Jersey U.S.A. 548 s. ISBN: 0-13-144679-7

Buxton, K. 2000. Simulation in the future. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference. s. 1568-1576. ISBN: 0-7803-6579-8

Delfoi. 2000. Yritys ja tuote-esite.

Harrell, C., Tumay, K. 1997. Simulation made easy – A managers guide. Institute of Industrial Engineers, Georgia U.S.A. 311 s. ISBN: 0-89-806136-9

Kelton, W. Designing Simulation Experiments. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. s.33-38. ISBN: 0-7803-5780-9

Korpiharju, Pekka. 2000. Tapahtumapohjainen simulointi, luentomoniste. Espoo, Teknillinen Korkeakoulu. 92 s.

Kuori, Ilkka. 1995. Tuotannon suunnitteluharjoitukset kevät 1995, luentomateriaali. Tampere, Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. 49 s.

Law, A., Kelton, W. 2000. Simulation modelling & analysis. Third Edition. McGraw-Hill, Inc. 759 s. ISBN: 0-07-059292-6

Robinson, S. 1994. Successful Simulation. McGraw-Hill, England. 246 s. ISBN: 0-07-707622-2

Ross, S. 2006. Simulation. Fourth edition. Elsevier Inc. USA. 298 s. ISBN: 0-12-598063-9