

Antti Karppinen

KOKOONPANOLINJAN SIMULOINTI QUEST -SIMULOINTIOHJELMALLA

Insinöörityö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2002

1	JOHDANTO	6
2	TALGO OY	7
2.1	Talgo Oy:n Toimipaikat	7
2.2	Talgo Oy:n päätuotteet ja toimintatapa	9
3	Kokoonpanolinja 1	11
4	TUOTANNONSUUNNITTELUN PERINTEISET TYÖKALUT	13
4.1	Layout-suunnittelu	13
4.2	Vuokaavioista	16
4.3	Kuormitustoiminta	17
5	SIMULOINTI	20
5.1	Käsitteitä	20
5.2	Mallin rakentamisesta	20
5.3	Simulointiprojektin toteuttaminen	21
5.3.1	Simulointiprojektin vaiheet	23
5.3.2	Tyypillisiä simulointiprojekteissa tapahtuvia virheitä	24
5.4	Simulointiohjelmistoista	25
5.5	Simuloinnin hyödyt tuotannon suunnittelussa	27
5.6	Tulevaisuuden visiot	29
6	QUEST	31
7	RAKENNETUN SIMULOINTIMALLIN DOKUMENTOINTI	34
7.1	Perusasetukset	34
7.2	Työpisteiden ja koneiden geometria	35
7.3	Tuotteet ja välituotteet	36
7.4	Reititykset	37
7.5	Prosessit	38
7.6	Opettelukäyrä	38
7.7	Imuohjaus	39
8	KOEAJOJEN TULOKSIA	40
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
9.1	Simuloinnin hyödyntämismahdollisuudet Talgolla	42
9.2	Oman työn arviointi	43

Osasto Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Elektroniikan tuotantotekniikka
Tekijä Antti Karppinen	
Työn nimi Kokoonpanolinjan simulointi QUEST -simulointiohjelmalla	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikan tuotantotekniikka	Ohjaajat Jarmo Happonen, Kajaanin AMK Pentti Oravasaari, Talgo Oy
Aika Kevät 2002	Sivumäärä 46 + 8
Tiivistelmä	
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli selvittää Talgo Oy:n Otanmäen tehtaalla junanvaunun korien valmistukseen liittyvät mahdolliset ongelmakohdat. Tarkoituksena oli nimenomaan pyrkiä havaitsemaan mahdolliset tuotannon sudenkuopat koko tuotantolinjan tasolla, ei niinkään pureutua yksityiskohtiin. Lisäksi pyrittiin selvittelemään simuloinnin periaatteita, simulointiprojekteissa huomioon otettavia seikkoja, sekä simuloinnin etuja perinteisiin tuotannonsuunnittelun menetelmiin verrattuna.</p> <p>Lähtötietoina mallinnukseen käytössä oli linjan layout-piirros, laskennallisia aikatietoja eri työvaiheista sekä erään vaunutyyppin tuotantoprosessin kuvaus. Käytännössä työ tehtiin QUEST –tuotannonsimulointiohjelmalla, jolla mallinnettiin vaunukorien kokoonpanolinja yksinkertaisella tasolla. Projektin aikana koetettiin etsiä myös joitain ratkaisuja yksityiskohtaisempien tulosten saamiseksi. Lopulta kuitenkin päädyttiin luomaan varsin yksinkertaistettu malli, joka kuitenkin antaa jo kohtuullisen havainnollisen kuvan tuotannosta. Tehtyä simulointimallia voidaan myös käyttää pohjana tuleville malleille tuotannon muuttuessa.</p> <p>Työssä on esitelty joitain perinteisiä tuotannonsuunnittelun menetelmiä, simuloinnin periaatteita, simulointiprojektien erityispiirteitä sekä pikakatsaus simulointiohjelmiin yleensä. Työssä käytetyn ohjelman, QUEST :in, periaatteita on esitelty hieman enemmän. Projektin tulos on dokumentoitu simulointimalli, simulaatioajojen järjestäminen ja niiden tulosten arviointi on toinen projekti.</p>	
Luottamuksellinen Ei	
Hakusanat Tuotannon simulointi, mallinnus	
Säilytyspaikka Kajaanin AMK:n kirjasto	

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Production Engineering
Author Antti Karppinen	
Title Simulating an Assembly Line Using QUEST Simulation Software	
Optional professional studies Production of Electronics	Instructors / Supervisors Jarmo Happonen, Kajaani Polytechnic Pentti Oravasaari, Talgo Oy
Date Spring 2002	Total number of pages 46 + 8
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to model a production line for train cars and to use the created model to find out the “bottlenecks” of the production at Talgo Oy’s factory in Otanmäki, Finland. In addition, it was also necessary to study and figure out the advantages of simulation when compared to traditional methods of production planning.</p> <p>In the theoretical part of this project there are briefly introduced traditional ways of production planning, simulation in general, basic principles of carrying out a simulation project and some simulation software. A little more detailed introduction is made to QUEST, which was the software used in this particular project.</p> <p>The results part of the project is mostly just documentation of the simulation model. The actual results of the simulation runs are a bit smaller part of the project and they are discussed just in general level.</p>	
Confidential No	
Keywords Modelling, Production simulation	
Deposited at Kajaani polytechnic’s library	

## ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Talgo Oy:lle talven 2001 ja kevään 2002 aikana. Opinnäytetyön valvojana toimi Talgo Oy:n puolelta Pentti Oravasaari ja oppilaitoksen puolelta Jarmo Happonen. Talgolta työssä olivat mukana asiantuntijoina lisäksi Pertti Jaatinen ja Unto Karjalainen. Haluan antaa kiitokseni kaikille näille henkilöille, jotka ovat omalta osaltaan vaikuttaneet tämän opinnäytetyön tekemiseen. Erityiskiitos Pasi Lappalaiselle, joka painiskeli samantyyppisen työn parissa yhtä aikaa. Hänen kanssaan moni simulointiin liittyvä asia on selvinnyt paljon rennommissa merkeissä kuin itse päänsä puhki miettimällä.

Kajaanissa \_\_\_/\_\_\_2002

Antti Karppinen

## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia tietokonesimuloinnin mahdollisuuksia tuotannosuunnittelun apuvälineenä. Tarkemmin ottaen tarkoituksena on luoda simulointimalli junanvaunujen alumiinikorien tuotantolinjasta Talgo Oy:n Otanmäen tehtaalla. Tietokonesimuloinnin mahdollisuuksia kyseisellä tehtaalla halutaan tutkia monestakin syystä. Ensinnäkin suurten ja monimutkaisten ja -vaiheisten kokoonpanojen hallitsemista tuotannon suunnitteluvaiheessa halutaan helpottaa. Toisaalta tuotantomäärien ja tuotannossa olevien tuotteiden vaihtuessa, kenties nopeastikin, pitäisi tuotannossa ja sen suunnittelussa luonnollisestikin pystyä vastaamaan näihin tarpeisiin mahdollisimman tehokkaasti.

Tämän työn alkaessa korien tuotantolinjalle on tulossa ainakin yksi vaunusarja, mahdollisesti jopa samaan aikaan myös toinen. Lisäksi Linjalla on ennestään vielä kolmannen vaunutyypin kokoamiseen tarvittavat rakenteet, joita ei haluta purkaa mahdollisesti uudelleen alkavan tuotannon takia. Kaiken kukkuraksi on mahdollista, että kaikkia kolmea vaunutyyppeä voidaan tulla valmistamaan yhtä aikaa. Kaiken kaikkiaan tällaisessa tilanteessa simuloinnin mahdollisuudet ovat varsin houkuttelevat. Mikäli voitaisiin rakentaa helposti muokattavissa olevat, luotettavia tuloksia antavat simulointimallit prosesseista, voitaisiin suunniteltavaa kokonaisuutta ymmärtää ainakin suuntaa-antavalla tasolla helpommin.

## 2 TALGO OY

Yhtiö on saanut alkunsa 1.8.1983 kun Rautaruukki Oy:öön perustettiin erikoisvaunuyksikkö, jonka päätuotteita olivat erikoistavaravaunut. Myöhemmin, 1.1.1991, tämä erikoistavaravaunuyksikkö ja Valmet Oy:n kiskokalustotuotanto yhdistettiin uudeksi yhtiöksi, Oy Transtech Ltd:ksi. Vuoden 1995 lopulla Oy Transtech Ltd fuusioitiin Rautaruukki Oy:öön. [1]

18.6.1999 Patentes Talgo S.A. osti Transtech -yksikön liiketoiminnat. Tässä yhteydessä perustettiin uusi yritys, joka sai nimen Talgo-Transtech Oy. Helmikuussa 2002 nimi muuttui yksinkertaisesti Talgo Oy:ksi. Patentes Talgo S.A. :lla on tuotantotoimintaa Suomessa, Espanjassa, Saksassa ja Yhdysvalloissa. Konsernin palveluksessa on noin 1800 henkilöä ja vuonna 200 sen liikevaihto oli noin 1 830 milj. euroa. [1]

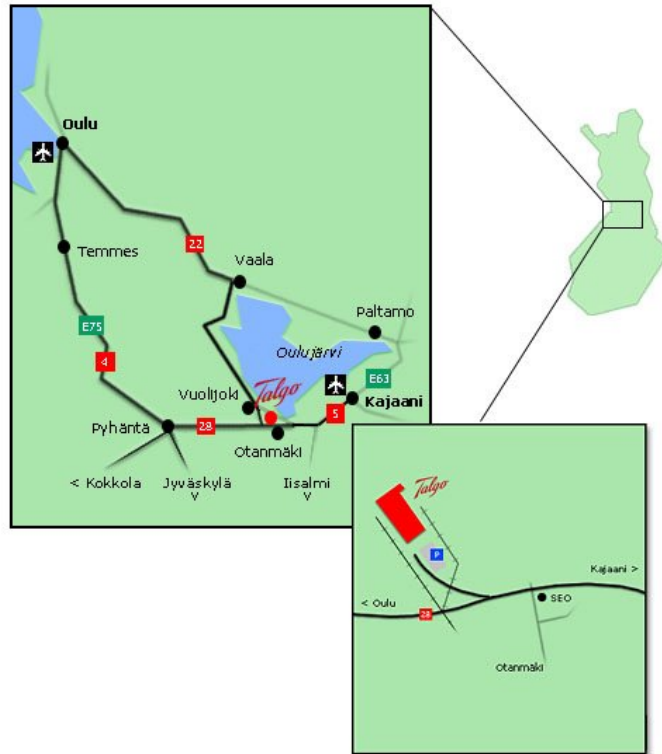
### 2.1 Talgo Oy:n Toimipaikat

#### Oulun konttori

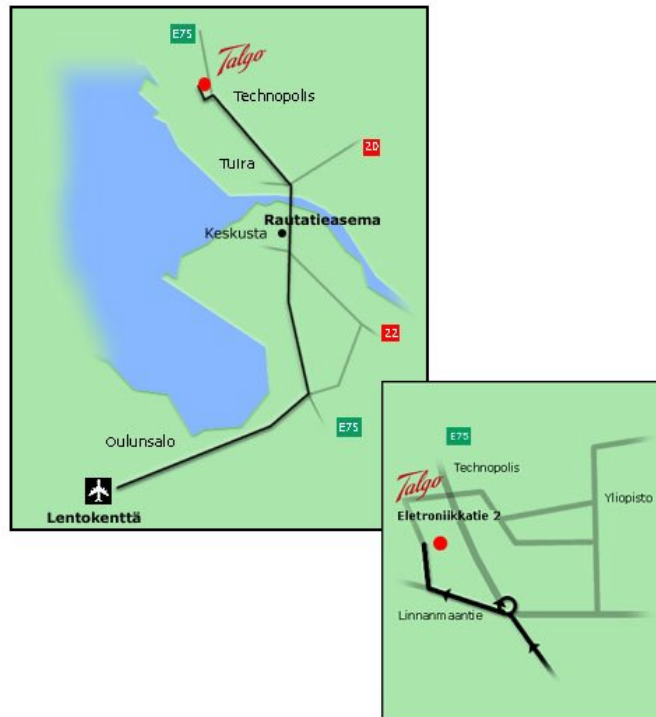
Oulun konttorilla toimii yritysjohto, kiskokaluston myynti ja markkinointi sekä tuotesuunnittelu ja -kehitys. Oulun toimipisteen sijainti selviää kuvasta 2. [1]

#### Otanmäen tehdas

Otanmäen tehtaalta löytyy tuotanto sekä sen lisäksi materiaali-, talous- ja henkilöstöhallinto, laatutoiminnot sekä konepajatuotteiden markkinointi. Otanmäen tehdas on yksi Euroopan suurimpia täysin integroitua kuljetusvälinekonepajoja, sen hallipinta-ala on noin 55000 m<sup>2</sup>. Tuotantotilana tehdas ja sen tuotantolinjat vastaavat erittäin hyvin vaativien kiskokalustotuotteiden joustavaan ja virheettömään valmistamiseen. Varsinaisen vaunutehtaan lisäksi Otanmäessä on myös erillinen konepaja. Otanmäen tehtaan sijainti selviää kuvasta 1. [1]



Kuva 1. Talgo Oy:n toimipaikat [2]



Kuva 2. Oulun konttori [2]



## 2.2 Talgo Oy:n päätuotteet ja toimintatapa

Talgo Oy toimittaa asiakkailleen mahdollisimman hyvin käyttöönsä sopivia kiskokalustoratkaisuja. Suurin osa Talgon toimituksista on asiakkaiden tarpeiden mukaan ja yhteistyössä heidän kanssaan räätälöityjä vaativia junavaunuja. Toinen suuri liiketoiminta alue on keskiraskaiden konepajatuotteiden valmistus. [2]

Yksi tärkeimmistä suunnittelun lähtökohdista on asiakkaan tieto tuotteen todellisista käyttöolosuhteista. Tuotteet pyritään toteuttamaan teknologisesti mahdollisimman korkeatasoisesti ja suunnittelussa pyritään tarkoituksella pitämään yllä innovatiivisuutta. Tuotteiden ollessa pitkälle räätälöityjä, on organisaation pysyttävä joustamaan riittävän notkeasti. Joustavalla toimintatavalla pyritään siihen, että spesifikaatiomuutokset myöhäisessäkin vaiheessa olisivat mahdollisia. [2]

### Henkilövaunut

Talgo on henkilöliikennekaluston vahva kehittäjä. Konsernilla on toimialueesta yli 50 vuoden kokemus, ja se kuuluu maailman huippuihin mm. kallistuvakorisissa ja nopeissa junissa. Talgo -konsernilla on myös pitkäaikainen kokemus kiskokaluston huollosta. Toiminnan laajentaminen tuotteiden huollon kautta entistä kokonaisvaltaisempiin ratkaisuihin on myös Talgo Oy:n strategia. Talgo Oy:n Henkilövaunuosaamisesta esimerkkinä mainittakoon Kaksikerroksinen InterCity –vaunu, Kuva 3. [2]



*Kuva 3. Talgon kaksikerroksinen InterCity –vaunu [2]*

### Tavaravaunut

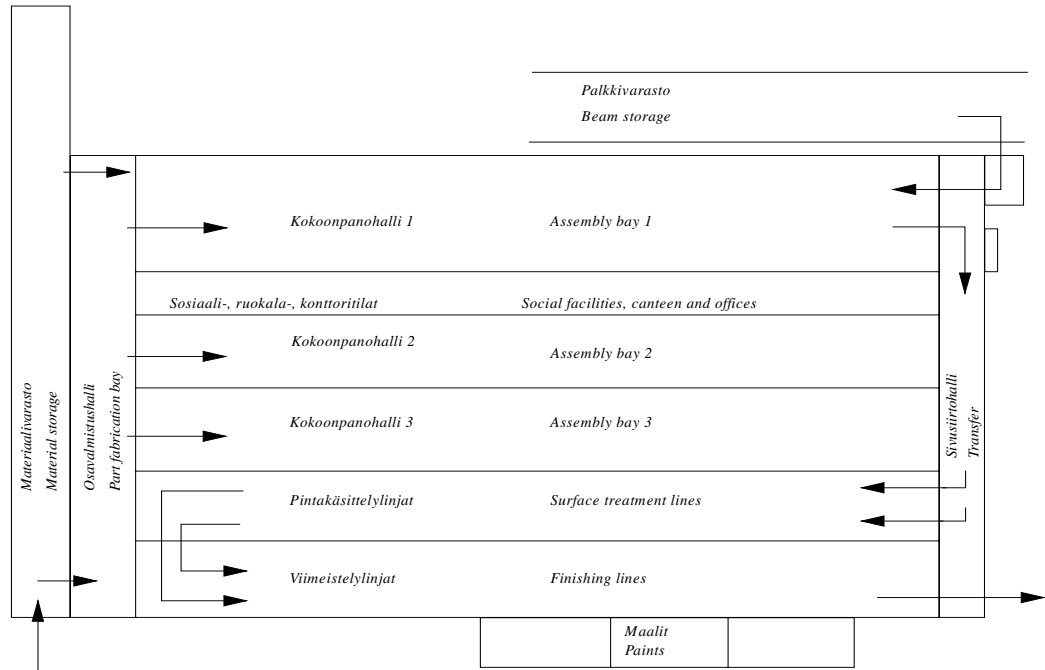
Suurin osa Talgon tavaravaunutoimituksista on vaativia räätälöityjä tavaravaunuja, ja tuotekehitys on tuottanut useita innovatiivisia tavaravaunukonsepteja: mm. 200 km/h kulkeva nopea tavaravaunu, markkinoiden tiivein siirtoseinävaunu ja autoteollisuuden tarpeisiin kehitetty kokonaiskuljetuskustannuksia merkittävästi alentava monitoimivaunu. [2]



*Kuva 4. Talgon tavaravaunuosaamista, kuvassa siirtoseinävaunu [2]*

### 3 KOKOONPANOLINJA 1

Kokoonpanolinja 1 on korien kokoonpanolinja, jolla valmistetaan pääasiassa alumiinisia vaunun koreja. Linjalle tulee materiaalia rullaradalta sen alkupäästä, osavalmistuksesta ja materiaalivarastosta. Linjalla hitsataan myös raaka-ainetta osavalmistusta varten, joten materiaalia virtaa linjan alkupäässä molempiin suuntiin. Linjan alkupäässä kootaan vaunun seinät, katto sekä alusta useammassa eri työpisteessä tai hitsausautomaatissa kukin. Linjan keskivaiheilla sijaitsee portaaliijrsinkone, jonka kautta useimmat näistä pääkomponenteista kulkevat. Linjan loppupäässä tehdään korien kokoonpano kokoonpanojigeissä ja erillisillä kokoonpanohitsauspaikoilla. Valmis kori siirretään sivusiirtohallissa viimeistely ja pintakäsittelylinjoille. Itse Kokoonpanolinja 1:llä materiaalin ja puolivalmisteiden siirrot tapahtuvat pääasiassa neljällä siltanosturilla. Pienempiä komponentteja kuljetetaan myös trukilla ja työpisteiden sisällä puominostureilla. Tuotantolinjasta ja sen sijoittumisesta muihin tehtaan osastoihin nähden antaa yleiskuvan koko tehtaan layout kuvassa 5 sekä linjan layout, liite B.



*Kuva 5. Otanmäen tehtaan layout, jossa nuolet kuvaavat tuotantoprosessien kulkua pääpiirteittäin. Kokoonpanohalli 1 näkyy kuvassa ylimpänä. [1]*

### TTTP - projekti

TTTP - projekti on Espanjaan RENFE/SNCF :lle toimitettava, 31 matkustajavaunua käsittävä tilaus. Vaunut ovat pääasiassa eri tyyppisiä makuuvaunuja ja ne tulevat liikenteeseen välille Madrid - Pariisi. Lyhenne TTTP tulee sanoista Trenes Talgo Trans Pirineos, joka tarkoittaa Pyreneiden vuoriston yli kulkevaa junaa. Lohkokaavio liitteessä A esittää TTTP :n korin valmistusvaiheet ja -järjestyksen pääpiirteissään siinä muodossa kuin sitä on käsitelty mallinnuksen kannalta. Katkoviivoin merkityt vaiheet ovat todellisen prosessin vaiheita, jotka yksinkertaistuksen vuoksi on jätetty pois simulaatiomallista, tai kuvattu mallissa todellisuudesta poikkeavasti.

## 4 TUOTANNONSUUNNITTELUN PERINTEISET TYÖKALUT

Ennen tietokonesimulointia ei varsinaisesti ole ollutkaan olemassa mitään täysin vastaavanlaista ATK-työkalua. Toisin sanoen simulointi tuo suunnitteluun jotain uutta eikä niinkään korvaa suoranaisesti mitään olemassa olevaa työkalua ainakaan täysin. Ennen kolmeulotteista mallinnusta sekä prosessien simulointia täytyi kokonaisuutta hahmotella esimerkiksi kaksiulotteisten layout-piirustusten, vuokaavioiden, kuormituslaskelmien ja -piirustusten, ajoitussuunnitelmien, kokemuksen sekä fyysisten pienoismallien avulla. Seuraavissa kappaleissa on esitelty joitain näistä tekniikoista, joiden tueksi simulointia pyritään hyödyntämään.

### 4.1 Layout-suunnittelu

Tuotantolaitoksen layout-suunnittelu perustuu tuotantotekniseen suunnitteluun, joka puolestaan jakautuu tuotantoprosessin suunnitteluun ja työvaiheiden tekniseen suunnitteluun. Valmistettavien tuotteiden rakenne, niiden valmistusmäärä(/aikayksikkö), käytettävät tuotantomenetelmät ja prosessit pääasiassa siis ratkaisevat tilantarpeen ja layoutin. Layout-suunnittelu aloitetaan oikeaoppisesti kokonaisuudesta ja tarkennetaan yksityiskohdat vasta sen jälkeen. Suunnittelu on myös järkevää jakaa etenemisjärjestyksen mukaisiin osiin, joita ovat prosessin, tarvittavien laitteiden, tilojen ja niiden keskinäisen sijoittamisen suunnittelu. [3, s. 102 - 104]

#### Virtausanalyysi

Tyypillinen tapa alkaa selvittämään toimintojen sijoittamista toisiinsa nähden on tehdä valmistusprosessin perusteella materiaalin virtausanalyysi, jonka perusteella laaditaan esimerkiksi mistä – mihin -kaavio. Tällainen kaavio kertoo materiaalin virtauksen eri toimintojen välillä. Kuvassa 6 on esimerkki tyypillisestä mistä – mihin -kaaviosta.

mistä \ mihin	r.a.-varasto	harjaus	automaatti 1	automaatti 2	jyrsin	kokoonpano	varasto
r.a.-varasto		570		10	60	20	
harjaus			280	290			
automaatti 1				120	100	40	20
automaatti 2					350	70	
jyrsin						350	
kokoonpano							480
varasto							

*Kuva 6. Esimerkki mistä – mihin -kaavion käytöstä virtausanalyysissä. Virtausmäärät tulee yhdenmukaistaa vertailukelpoisiksi yksiköiksi, esimerkiksi kuljetuskerroiksi.*

#### Yhteyskaavio

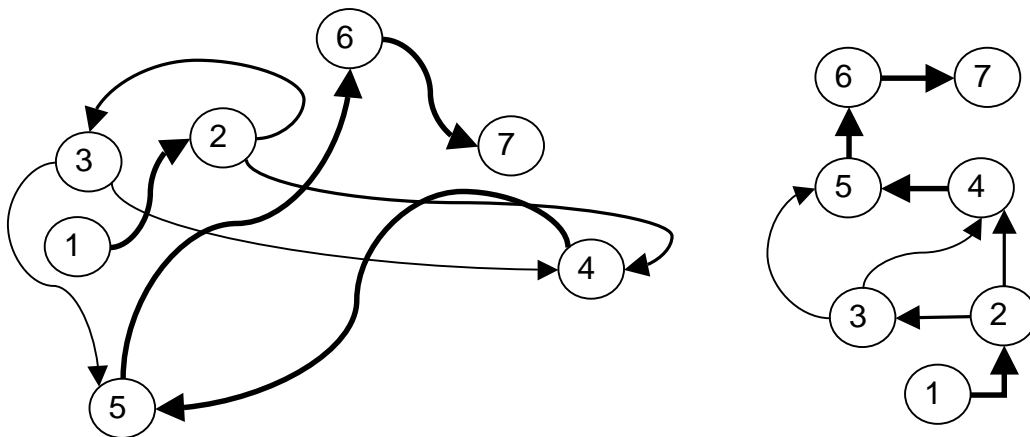
Virtausanalyysiä seuraava vaihe on toimintojen välisten yhteyksien selvittäminen esimerkiksi yhteyskaavion avulla. Yhteyskaavioon määritellään kaikkien toimintojen keskinäisten yhteyksien merkityksellisyys. Yhteyden merkityksellisyys voidaan määrittää esimerkiksi luokittamalla materiaalin virtausmäärä jollain arvosteluasteikolla erittäin merkityksellisestä merkityksettöömään. Tälle samalla asteikolle sijoitetaan myös kaikki muut merkityksellisyyteen vaikuttavat tekijät, esim. yhteiset työntekijät, rakennustekniset seikat, jne. Kuvassa 7 on tyypillinen yhteyskaavio, josta selviää yhteyksien merkityksellisyys.

							r.a.-varasto
						harjaus	4
				automaatti 1	3		0
		automaatti 2	2	3			1
	jyrsin	4	2	0			1
	kokoonpano	4	1	1	0		1
varasto	4	0	0	1	0		0

Kuva 7. Yhteyskaavio, josta selviää toimintojen keskinäisen yhteyden merkitys. 0=merkityksetön → 4=erittäin merkittävä.

### Toimintojen yhteyspiirros

Yhteyskaavion pohjalta laaditaan toimintojen yhteyspiirros. Yhteyspiirrosta tehdessä ei vielä ajatella lainkaan varsinaisia tiloja, vaan suunnitellaan toimintojen pääpiirteittäinen sijoittuminen toisiinsa nähden tarkoituksena saada merkityksellisimmät yhteydet toimintojen välillä kaikkein lyhimmiksi. Yhteyspiirroksen laatimiseen soveltuu esimerkiksi Excelin vuokaavionpiirto-ominaisuudet. Yhteyspiirros on kuitenkin kohtuullisen helppo tehdä myös pelkällä kynällä ja paperilla. Kuvassa 8 on esitetty kehittälyvaiheessa oleva yhteyspiirros sekä kehittelyn lopputulos.

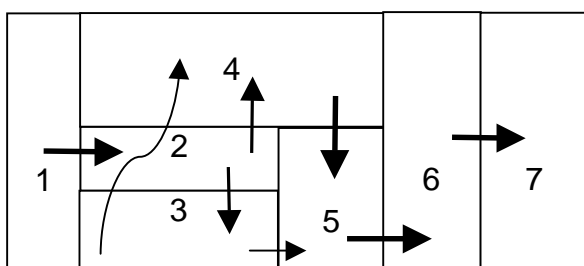


Kuva 8. Yhteyspiirroksessa vahvemmillä piirretyt nuolet kuvaavat merkityksellisimpiä yhteyksiä ja heikommalla piirretyt vähemmän merkityksellisiä. Oikean puoleinen piirros on kehittelyn lopputulos.

## Pinta-alayhteyskaavio

Kun yhteyspiirros on valmis, laaditaan pinta-alayhteyskaavio. Pinta-alayhteyskaaviota varten tarvitaan jo tarkat piirustukset työpisteiden sisäisestä layoutista ja varsinkin niiden ääriviivoista. Näitä kutsutaan työpaikkapiirroksiksi.

Työpaikkapiirroksista kokoamalla saadaan jo kohtuullisen tarkat mitat eri osastoille, jotka sitten sijoitetaan yhteyspiirroksen mukaisesti paikoilleen. Kuvassa 9 on esimerkki pinta-alayhteyskaaviosta.



*Kuva 9. Pinta-alayhteyskaaviossa alkavat tilat jo hahmottua*

## 4.2 Vuokaavioista

Vuokaavio on prosessien kuvaustapa, jossa jokainen prosessin toiminto määritellään ja sille merkitään tekijä. Vuokaavion voi toteuttaa perinteisesti erilaisilla tekstilaatikoilla, joiden sisään tapahtuma merkitään ja siihen kytköksissä olevat toiminnot yhdistetään viivalla tai nuolella työvaiheiden etenemisen selkeyttämiseksi ja vaiheiden riippuvuuksien osoittamiseksi. Vuokaaviossa edetään aloituksesta loppuun askel askelelta. Kuvaustekniikka ja selkeys ovat kaiken perusta toimivassa vuokaaviossa. [4, s. 333]

Vuokaavioita on pääperiaatteeltaan kahdenlaisia. Toisessa kuvataan prosessi alusta loppuun, joko vasemmalta oikealle tai ylhäältä alas. Tällä tavalla tehtäessä tekijä merkitään toiminnan yhteyteen samaan laatikkoon. Toinen tapa on merkitä toiminnantekijät kaavion jollekin sivulle ja listata tekijöiden viereen hei-



dän toimintansa ja yhdistää toiminnot vasta tämän jälkeen toisiinsa viivoin tai nuolin. Liitteessä A on käytetty ensimmäistä tapaa TTTP :n tuotantoprosessin ja siitä tehdyn mallin kuvaamisessa, koska se lienee tässä tapauksessa havainnollisempi.

Tuotannon suunnittelussa ja kehittämisessä vuokaavio on nimenomaan havainnollistamistyökalu. Siitä selviää nopeasti prosessin toiminta pääpiirteissään. Vuokaaviota voidaan myös käyttää pohjana layout suunnittelussa. Esimerkiksi Excelillä piirrettyä vuokaaviota voi käyttää joissain tapauksissa suoraan yhteyspiirroksena (ks. 4.1, YhteySPIirros, Kuva 8). Prosessia suunniteltaessa tai parannettaessa on tarpeen tehdä monenlaisia eri vuokaavioesityksiä, joista parhaita puolia yhdistelemällä päästään sopivaan lopputulokseen. [4, s.333]

Erilaisia suunnittelun apuna käytettäviä vuokaavioesityksiä:

- nykyinen ohjeiden mukainen toiminta (dokumentointi)
  - nykyinen todellinen toiminta
  - rajaton tavoitemalli (ei mitään esteitä toiminnalle)
  - realistinen tavoitemalli
  - erilaiset suunnitteluvaihtoehdot
- toteutunut kehitetty toimintamalli (dokumentointi)



[11, s. 333]

### 4.3 Kuormitustoiminta

Tuotannosuunnittelun tavoitteena on sopeuttaa markkinoiden tarpeet ja tuotannon taloudelliset toimintamahdollisuudet toisiinsa siten, että tuotantokapasiteetti kuormittuu mahdollisimman tasaisesti ja että sovittuja toimitusaikoja pystytään noudattamaan [3, s.115]. Tuotannosuunnittelua tehdään monella eri tasolla, karkeasta hienoon. Se alkaa markkinointivaiheessa toimitusaikojen määrittämisellä ja päättyy yksityiskohtaiseen tuotanto-ohjelmaan.

## Kapasiteetti

Kapasiteetti on tuotantokyvyn mitta ja sitä mitataan usein työ- tai konetunteina. Resurssien muodostamaa bruttokapasiteettia ei useinkaan voida kokonaan hyödyntää. Häiriötekijöiden, kuten konerikkojen, huoltotöiden, sairauksien jne. takia nettokapasiteetti yleensä vaihtelee 70 – 90 %:n tietämällä. [3, s. 115]

## Kuormittaminen

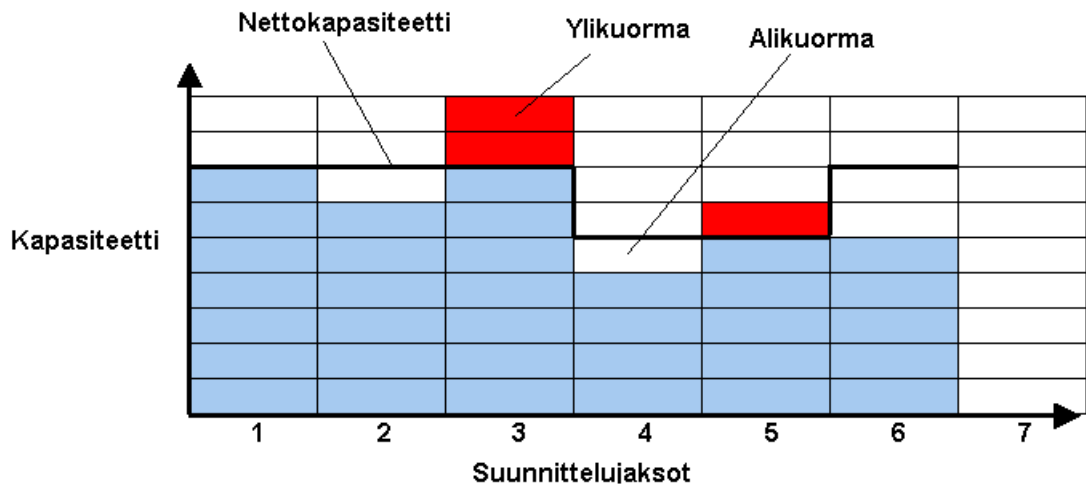
Kuormittaminen on valmistuskapasiteetin varaamista etukäteen jonkin työn suorittamista varten [5]. Koska kapasiteetti on aina rajallinen, on kuormittaminen siis periaatteessa kuorman ja kapasiteetin vertailua toisiinsa. Kuormitusaste pyritään pitämään sopivalla tasolla, monesti mahdollisimman suurena. Teoriatyössä resurssien täydellinen hyödyntäminen tarkoittaa sitä, että 100% nettokapasiteetista olisi koko ajan käytössä. Joissain tapauksissa voidaan kuormaa nostaa sen ylikin joillain erityisjärjestelyillä kuten esimerkiksi ylitöillä. Toisaalta on myös olemassa teorioita siitä, että pieni alikuormitus, noin 80 – 90%:n kuormitusaste nettokapasiteetille, turvaa koko ajan nopeat toimitukset ja hyvän laadun eli asiakkaan kannalta paremman palvelutason.

Tuotantoresurssit jaetaan tuotannosuunnittelua varten kuormitusryhmiin. Ryhmäjako voidaan tehdä toimintokohtaisesti, henkilöstöryhmäkohtaisesti, yksittäisten koneiden jne. mukaan. Sopiva ryhmäjako riippuu yrityksestä, samoin jako karkea- ja hienosuunnittelun välillä.

Kuormituslaskelmien tuloksena on hienolla tasolla käytännössä töiden ajoitus-suunnitelma eli milloin ja minkä kokoisilla resursseilla mitäkin töitä tehdään. Laskelmia tehdään manuaalisesti sekä Taulukkolaskennan avulla. Tulokset esitetään usein tuntivarauslomakkeiden muodossa tai jotain graafista esitysmuotoa käyttäen havainnollisuuden parantamiseksi. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki Excelillä toteutetusta tuntivarauslomakkeesta ja kuvassa 11 kuormitusprofiilin kuvaamisesta graafisesti.

Kurmitusryhmä: Jyrsin			Nettokapasiteetti/Vko				96		h		edistyminen	
			Vko 12		Vko 13		Vko 14		Vko 15			
Työnr.	Työn nimi	Tunnit	h	yht.	h	yht.	h	yht.	h	yht.		
1234	akseli	50	20	20	30	30		0		0	50	1
2256	kekkupukki	80	20	40	40	70	20	20		0	80	1
1255	kannake	35	35	75		70		20		0	35	1
3402	asentoteline	100	21	96	26	96	53	73		0	100	1
1298	akseli	50		96		96	23	96	27	27	50	1
				96		96		96		27	0	#####
				96		96		96		27	0	#####

Kuva 10. Kuormitusryhmäkohtainen tuntivarauslomake



Kuva 11. Kuormitusprofiilin esittäminen graafisesti

## 5 SIMULOINTI

### 5.1 Käsitteitä

#### Systemi

Systemi on todellinen ajassa ja avaruudessa toimiva kokonaisuus, joka rakentuu keskenään vuorovaikutuksessa olevista osista [6].

#### Malli

Malli on yksinkertaistettu esitys todellisesta systeemistä. Mallin tarkoitus on helpottaa todellisen systeemin ymmärtämistä [6].

#### Simulaatio

Simulaatio = dynaaminen malli

Simulaatio on mallin toimintaa ajan ja avaruuden suhteen. Simulaation tarkoitus on paljastaa ja selventää mallin ja sitä kautta todellisen systeemin osasten vuorovaikutussuhteet, eli helpottaa ymmärtämään systeemin toimintaa. [6]

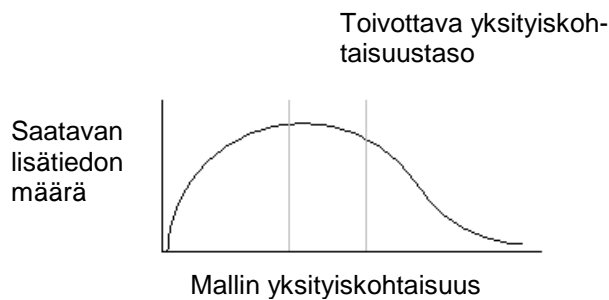
Tässä tekstissä on käsitteitä mallintaminen ja simulointi käytetty joissain kohti löyhästi, jopa hieman ristiinkin, tarkoitettaessa yleensä ottaen simulointimallin luomista ja simulaatioiden ajamista.

### 5.2 Mallin rakentamisesta

Malli siis on yksinkertaistettu esitys todellisesta systeemistä ja sen tarkoitus on edistää todellisen systeemin ymmärtämistä. Mallia rakennettaessa joudutaan etsimään oikea, tarkoituksenmukainen yksityiskohtaisuustaso. Mikäli mallista

jätetään pois jotain, joka on systeemin toiminnan kannalta olennaista, ei simulaatio tietenkään vastaa systeemin todellista toimintaa. Mallin yksityiskohtaisuus tai tarkkuus voi yksinkertaisesti olla riittämätön, jotta simulaatioajolla voitaisiin selvittää haluttuja asioita. Tällaisissa tapauksissa malli siis ei luultavasti helpota systeemin ymmärtämistä kovinkaan paljon.

Jos malli taas rakennetaan erittäin tarkaksi, siitä voi muodostua lähes yhtä hankala ymmärrettävä kuin systeemi itse. Tällöinkään malli ei täytä tehtäväänsä, koska liian tarkassa mallissa ilmiöiden syyt voivat peittyä sekamelskaan kuten ne peittyvät todellisuudessaakin. Tämä korostuu eritoten silloin kun mallia rakennetaan nimenomaan simulointia silmälläpitäen. Jokainen lisätty ominaisuus tulee jo rakentamisvaiheessa testata ja dokumentoida sen käyttäytyminen simulaatiossa, ettei myöhemmin, mallin verifiointivaiheessa, ajauduta umpikujaan. Näin toteaa myös Gene Bellinger, eräs alan ammattilaisista ”Every time I have developed multiple levels of model refinement or elaboration without testing it I have set myself up for numerous headaches” [6]. Tätä yksityiskohtaisuuden vaikutusta saavutettuihin tuloksiin havainnollistaa myös kuva 12.



*Kuva 12. Malliin lisätyt yksityiskohdat parantavat simulaatiotuloksia vain tiettyyn rajaan saakka [7]*

### 5.3 Simulointiprojektin toteuttaminen

Simulointiprojekti on kuin mikä tahansa muu projekti ja siihen siis sopivat tyypilliset projektin tunnusmerkit. Kuten projekteissa yleensäkin, myös mallinnukseen

ja simulointiin ryhdyttäessä tulisi työllä olla selkeä päämäärä. Ensin tulisi päättää se, mihin kysymyksiin haetaan vastausta. Mikäli tavoitteeksi asetetaan ympäröivästä vain jonkin systeemin mallinnus ja simulointi, on vaarana projektin rönsyily, joka johtaa tehottomuuteen tulosten saavuttamisessa. Tavoitteeksi tulee mieluummin määritellä esimerkiksi jonkin erityisen ongelman selvittäminen, tai jonkin systeemin osatekijän vaikutus kokonaisuuteen. Näin voidaan heti mallinnuksen alkuvaiheessa valita tarvittavat lähtötiedot, eli mitkä asiat mallinnettavasta systeemistä tulee selvittää, sekä oikea yksityiskohtaisuustaso. Lisäksi olisi hyvä tietää minkälaisia päätöksiä simulointitulosten perusteella tehdään, jotta simuloinnista osataan ottaa ulos oikeat tulokset ja esittää ne asiaankuuluvalla tavalla.

Simulointiprojektiin tarvitaan monenlaisia tietoja ja taitoja sekä monen osa-alueen osaajia:

- Projektin hallinta
- Mallinnus
- Ohjelmointi
- Mallinnettavan systeemin tuntemus

[7]

Tyypillisiä tiimin jäseniä:

- Systeemianalyttikot
- Suunnittelijat
- Johdon edustajat
- Simulointimallin käyttäjät
- Asiantuntijat

[7]

### 5.3.1 Simulointiprojektin vaiheet

Jo pienetkin simulointiprojektit sisältävät paljon eri työvaiheita, jotka ovat enemmän tai vähemmän välttämättömiä työn jäsentämisen ja toisaalta tulosten luotettavuuden kannalta. Ehkä juuri simuloinnin epätieteellisen luonteen takia projekteissa on pyrittävä etenemään rauhallisesti ja järjestelmällisesti, vaihe vaiheelta, jotta välttyttäisiin sekamelskalta ja saataisiin aikaan luotettavia tuloksia. Seuraavassa listassa on esitetty simulointiprojektin vaiheet mukailtuna PMC :n [8] aineistosta.

- ongelman määrittely
  - päämäärä
  - rajaus
  - tarvitaanko simulointia vai tullaanko toimeen muilla keinoilla?
  - tulos-panos laskelma
  
- projektin suunnittelu
  - tarvittavien mallien määrä
  - työkalujen (simulointiohjelman) valinta
  - tarvittavan tiedon määrittely
  - tarvittavat henkilöresurssit
  - projektin tuotosten määrittely
  
- karkean mallin suunnittelu
  - systeemin elementtien määrittely
  - grafiikkavaatimukset, 3D?, animaatio?
  - erikoisempien logiikoiden tarpeen selvittäminen
  - kuinka simulaatioajoista syntyvät tiedot kerätään ja kuinka niitä käsitellään?
  
- mallinnettavan prosessin tutkiminen

- prosessikuvaus
  - geometria
  - yksityiskohdat
  - karkean mallin rakentaminen ja verifiointi
- 
- lopullisen mallin rakentaminen, tarkastaminen ja käyttöönotto
    - simulointiohjelman rajoitukset huomioonottaen
    - mallin perinpohjainen esittely sen käyttäjille
    - dokumentointi, vuokaaviot
    - mallin kalibrointi tarvittaessa
- 
- kokeiden tekeminen
    - päämuuttujien etsiminen
    - syy-seuraussuhteiden etsiminen
    - luotettavuuden arviointi
- 
- dokumentointi ja tulosten esittäminen
    - käyttökoulutus
    - sopivan käyttöliittymän rakentaminen

### 5.3.2 Tyypillisiä simulointiprojekteissa tapahtuvia virheitä

Väärän simulointiohjelmiston valinta voi vaikuttaa ratkaisevasti koko projektin onnistumiseen ja saavutettaviin tuloksiin. [7] Valintaan vaikuttaa mallinnettavan systeemin tyyppi ja koko. Kuten jo aiemminkin on mainittu, erikoistuneita simulointiohjelmistoja löytyy sään ennustamisesta lääketieteeseen ja lisäksi suuri määrä yleispäteviä ohjelmistoja.

Puutteellinen tai puuttuva dokumentointi voi aiheuttaa runsaasti lisätyötä mallin testausvaiheessa. Ainakin tulisi pitää kirjaa niistä oletuksista joita systeemistä on tehty sen verran tarkasti, että malli voitaisiin tarpeen vaatiessa luoda uudel-



leen alusta pitäen. Mikäli malliin sisältyy paljon kirjoitettua ohjelmakoodia kannattaa muistaa sen asianmukainen kommentointi. [7]

Virheet mallin testaus ja verifiointivaiheessa aiheuttavat sen, että malli jää virheelliseksi eli siihen voi jäädä piileviä bugeja. Tässä vaiheessa on myös tärkeää selvittää se miten simulaation antamia tuloksia pitäisi tulkita. Simulaatiohan ei välttämättä vastaa suoraan todellisen systeemin toimintaa, vaan tuloksia on tulkittava ja ymmärrettävä mitä ne todellisessa systeemissä tarkoittavat. Tulosten väärinymmärtäminen on yksi tyypillinen huolimattomuusvirhe simulaatiota hyödynnettäessä. [7]

#### 5.4 Simulointiohjelmistoista

Yksinkertaisia simulaatioita voi tehdä jo varsin tavanomaisilla ohjelmilla, kuten Excelillä tai matematiikkaohjelmilla [9]. Tarjolla on myös ohjelmointikieliin simulointia varten tehtyjä valmiita kirjastoja. Ohjelmointikieliä voi käyttää simulointiin myös ilman mitään erityiskirjastoja, mutta mallin rakentaminen on tällöin melkoisen työlästä, joskin mahdollisimman joustavaa. Erityisesti simulointiin tarkoitetut ohjelmointikieliset, simulointikieliset, on rakennettu jo alusta pitäen pelkästään simulointikäyttöön. Näillä kielillä mallin rakentaminen on jo paljon kevyempää kuin tavallisilla ohjelmointikielillä.

Simulointikielistä seuraava kehityksen askel ovat graafisella käyttöliittymällä varustetut simulointiympäristöt. Nämä ovat usein simulointikielten päälle rakennettuja käyttöliittymiä, jotka helpottavat ja nopeuttavat mallien luomista sekä simulaatioiden ajamista. Joillain ympäristöillä luotuja malleja voi jopa ajaa suoraan Excelistä käsin. Osa näistä ympäristöistä tarjoaa myös reaaliaikaisen kolmeulotteisen animaation simulaatioajosta.

Simulointiohjelmistoja on ollut olemassa jo varsin pitkään ja niitä on sovellettu monilla eri aloilla moniin eri tarkoituksiin, niinpä valmiita, erikoistuneita

simulointiohjelmistoja löytyy nykyään jo melko lailla joka lähtöön. Tuotannon simulointiinkin on olemassa jo kymmenittäin ohjelmia. Näiden erikoistuneiden ohjelmien idea on luoda helppo ja tarkoituksenmukainen käyttäjäliittymä siten, että kyseessä olevaan erikoisalueeseen liittyvien mallien tekeminen olisi mahdollisimman vaivatonta.

Seuraavassa listassa on lueteltu ohjelmia joita mainostetaan myös tuotannon simulointiin soveltuviksi. Listassa on kaikenlaisia ohjelmia tavallisista ohjelmointikielistä graafisiin simulointiympäristöihin saakka, joten niiden ominaisuuksissa on suuria eroja. Suurimmat erot ohjelmien välillä ovat ehdottomasti niiden hinnoissa jotka vaihtelevat muutamasta sadasta Yhdysvaltain dollarista kymmeneen tuhansiin.

(Tuotannon)simulointiohjelmia:

APS Virtual Planning

Arena

Aspbova

AutoMod

C Library

Extend + Industry

Extend + Manufacturing

Extend Suite/Industry Suite

Fortran Library

GPSS/H (yleiskäyttöön)

GPSS for Windows (yleiskäyttöön)

IGrafx Process 2000

MAST

Parallel Library

PASION Simulation System

ProModel

Proof Animation

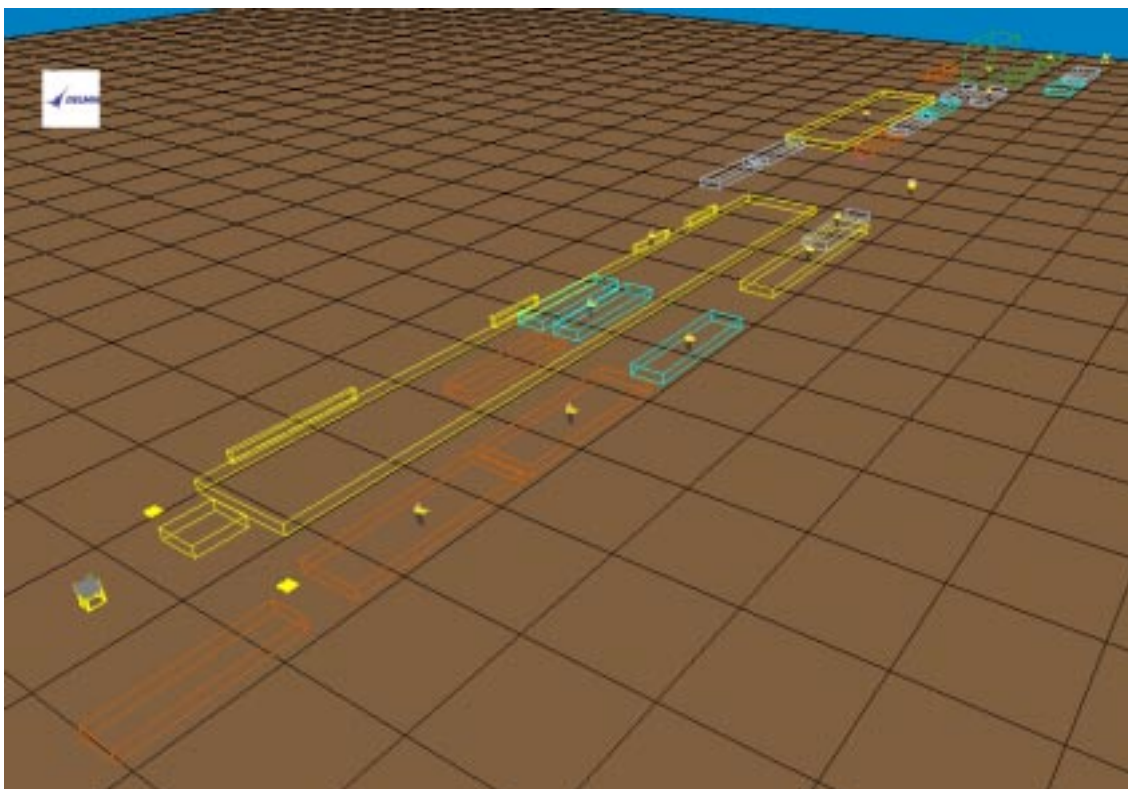
QUEST

SIMUL8  
SLX  
SMP Library  
Taylor Enterprise Dynamics  
Witness  
[10]

## 5.5 Simuloinnin hyödyt tuotannon suunnittelussa

Tuotannon mallinnuksen ja simuloinnin tarkoituksena on, auttaa tuotannon-suunnittelijaa ymmärtämään paremmin todellisuutta eli tässä tapauksessa tuotantoprosessia. Suunnittelutyö helpottuu ja tehostuu, koska graafiseen malliin perustuva simulaatio on helpompi ymmärtää sekä havainnollisempi kuin laskelmat ja matemaattiset kaavat. Jo pelkkä mallin rakentaminen pakostakin lisää ymmärtämistä.

Layoutin suunnittelussa jo pelkkä kolmeulotteinen malli on erittäin käyttökelpoinen havainnollistamisväline layout-ehdotuksia tutkittaessa. Mikäli sitä vielä voidaan käyttää simulointimallina ja realistisen animaation tuottamiseen, päästään jo aika hyvältä pohjalta vertailemaan eri vaihtoehtoja. Havainnollistamisen merkitys on suuri nimenomaan layout-suunnittelussa, koska layout-ehdotuksia tulisi tarkastella jo varhaisessa vaiheessa mahdollisimman useiden sidosryhmien jäsenten kanssa. Simulointimallia voidaan käyttää havainnollistamisvälineenä myös koulutettaessa työntekijöitä uusiin menetelmiin. Kuvassa 13 on esitettyä QUEST :in kolmeulotteista grafiikkaa, geometria on mahdollista piirtää vielä huomattavasti tarkemmaksikin kuin kyseisessä kuvassa.



*Kuva 13. Kolmeulotteinen, todelliseen geometriaan perustuva, grafiikka parantaa mallin havainnollisuutta todella paljon. Mallinnetussa virtuaalimaailmassa on myös helppo liikkua tarkastelemassa sen yksityiskohtia.*

Simulointituloksia voidaan käyttää materiaalina tuotannonohjaukseen liittyvien päätösten pohjaksi. Joskus yksinkertaisemmat laskelmat eivät anna riittävää varmuutta tehdä kovin radikaaleja päätöksiä ja joudutaan niin sanotusti pelaamaan ”varman päälle”. Simulointi on omiaan juuri tukemaan näitä laskelmia ja antamaan päätöksentekoon enemmän varmuutta. Tähän tosin liittyy myös riski siitä, että simulointiin aletaan luottaa sokeasti. Kolmeulotteisella animaatiolla höystetty simulointimalli saattaa näyttää erittäin vakuuttavalta vaikka se olisi lähes täysin virheellinen.

Eräs simuloinnin keskeinen etu on, että tuotannon sujumiseen vaikuttavien muuttujien, layout-ratkaisuiden, vaiheajojen, välivarastojen jne., vaikutusten tarkastelu kokeilemalla on mahdollista ilman että todellista tuotantoa tarvitsee häiritä näillä kokeiluilla. Tällainen tilanne voisi olla esimerkiksi uuden tuotannonohjausfilosofian kuten imuohjauksen, tasoitetun tuotannon tai JIT :n

käyttöönotto. Usein koeajot ovat liian kalliita, joissain tapauksissa jopa täysin mahdottomia, suorittaa todellisilla resursseilla. Lisäksi, mikäli mallintamiseen kuluva aikaa ei lasketa, on koeajoja selkeästi nopeampaa suorittaa simulointimallin avulla. Useiden viikkojen tai kuukausien tuotantoa voidaan simuloida muutaman minuutin kestäväällä tietokoneajolla. Toisaalta aikaa saattaa kulua simulaatioajoihinkin melko runsaasti mikäli simulaatioajoja halutaan toistaa tilastollisen materiaalin saamiseksi.

## 5.6 Tulevaisuuden visiot

Simulointiohjelmien kehittyessä niihin alkanee tulla lisää ominaisuuksia tiedon esittämistä, analysointia ja muihin ohjelmiin siirtoa varten. Jonkinlaista integroitumista tulee tapahtumaan olemassa oleviin tietojärjestelmiin, kuten toiminnanohjausjärjestelmiin. Ainakin aikataulutuksen yhdistäminen simulointiohjelmiin olisi hyödyllinen lisäominaisuus. Simulointiohjelmaan integroidun kalenterin avulla voisi toteuttaa ainakin karkeaa kuormituslaskentaa ja töiden ajoituksen suunnittelua. Tai ainakin simuloimalla voisi koeajaa etukäteen tietylle jaksolle suunniteltu tuotanto läpi useaan otteeseen sisällyttäen ajoihin hieman satunnaisuutta. Näin saataisiin tilastollinen ennuste mitä tuleman pitää. [11]

Graafisten, jopa kolmiulotteisten, ympäristöjen yleistyessä luulisi ohjelmien CAD-ominaisuuksienkin muuttuvan helppokäyttöisemmiksi. Suunnittelu tulisi tietenkin tehdä kolmeulotteisesti, mutta ohjelma tulostaisi esimerkiksi automaattisesti kaksiulotteiset, työpiirustuksiksi kelpaavat, pohjapiirroksiset layoutista.

Myös itse mallinnus tulee luultavasti helpottumaan simulointiohjelmien kehittyessä yhä enemmän oliopohjaisiksi. Ohjelmakoodin kirjoittamisen tarve vähenee, eikä mallin rakentamiseen tarvita välttämättä enää niin paljon ohjelmointiosaamista. Ohjelmistoista tullaan myös tarjoamaan nykyistä enemmän eri toimialoille räätälöityjä versioita.

Eräs ohjelmistojen kehityssuunta on niiden laajeneminen yrityksen koko toimintaan, markkinointiin, laatutoimintoihin yms. Itse asiassa tämä kehitys on kulkenut laajemmalla tasolla yksityiskohtaisempaan, yrityksen ylimmän johdon työkaluista operatiiviselle tasolle.

## 6 QUEST

QUEST :lla voi rakentaa malleja kaksi- tai kolmeulotteisessa maailmassa. 2D-maailma on tarkoitettu lähinnä sellaisten summittaisten mallien tekemiseen, joissa ei layoutilla ole suurta merkitystä, eli ympäristö on täysin symbolinen. Tällainen malli voisi olla vaikkapa ensimmäinen hahmotelma tuotantolinjasta. QUEST :in 3D-maailmassa tapahtuva mallintaminen perustuu elementtien ja layoutin tarkkaan geometriaan joten se soveltuu paljon yksityiskohtaisempaan suunnitteluun kuin kaksiulotteinen malli. QUEST antaa mahdollisuuden muuntaa 2D-malli 3D-malliksi, eli mallia voi helposti kehittää yksinkertaisesta yksityiskohtaisemmaksi samaa ohjelmaa käyttäen. Tämän ominaisuuden vuoksi se sopii apuvälineeksi suunnittelun eri vaiheissa. [12]

Mallin rakentaminen QUEST :lla koostuu elementtien (esim. kone, robotti, kuljetin jne.) luomisesta, niiden sijoittamisesta virtuaalimaailmaan hiirellä klikkaamalla sekä niiden ominaisuuksien määrittelemisestä. Elementille annetaan parametrit jotka määrittävät sen geometrian ja käyttäytymisen. Nämä parametrit annetaan enimmäkseen valikoiden kautta. Tällainen valikko työvaiheen parametrien määrittämiseksi on esitetty Kuvassa 14. Jokainen elementti luodaan elementtiluokkaan, joten usean samanlaisen elementin luominen onnistuu näin helpommin antamalla vain luokkaan kuuluvien elementtien määrä. [12]

*Kuva 14. QUEST :ssa mallinnus tapahtuu pitkälti valikoiden kautta. Kuvassa näkyvä valikko on työvaiheen parametrien määrittelyä varten.*

QUEST sisältää muun muassa seuraavat elementtiluokat:

- |                |  |
|----------------|--|
| Accessories    | - lisägeometriaa jolla mallin maailman saa näyttämään aidommalta ja graafisesti hienommalta          |
| AGV            | - voidaan käyttää monentyyppisten kuljetusvälineiden mallintamiseen esim. trukki, nosturi, vihivaunu |
| Buffer         | - varasto, välivarasto   |
| Conveyor       | - kuljetin, jatkuva lineaarinen osien siirto   |
| Failure/Repair | - vikaantumisen/korjauksen määrittely  |
| Labor          | - työntekijä, voi siirtää tuotteita tai työskennellä koneella  |
| Machine        | - työvaiheiden mallinnus   |



Part	- tuotteet, osat, työkalut, materiaalit
Power and Free	- fixed interval carrier-based transportation
Process	- prosessien (lataus-, purku-, työ-, kokoonpanoprosessit) mallinnus
Sink	- viemäri, jonka kautta tuotteet poistuvat mallista
Source	- osien luominen malliin
[12]	

Materiaalin ja osien reitit tehdään kahdessa vaiheessa. Ensiksi luodaan kaikki mahdolliset reitit, ts. ne reitit joita pitkin kyseisessä mallissa liikkuu ylipäätään mitään. Toinen vaihe on yksittäisten yhteyksien toimintalogiikan määrittely, eli se mikä osa mitäkin yhteyttä pitkin menee ja millaisten ehtojen toteutuessa. Tämä tapahtuu, samoin kuin elementtien kohdalla, enimmäkseen valikoista klikkailemalla. [12]

Kaikki ne säännöt, joiden mukaan edellä mainitut elementit ja niiden väliset yhteydet toimivat, ovat itse asiassa kirjoitettu SCL :lla (Simulation Control Language). Eli valikoiden kautta itse asiassa haetaan kirjastosta pieni SCL :lla kirjoitettu ohjelmanpätkä hoitamaan halutunlainen toiminta. Näitä ohjelmia saa vapaasti muokata myös itse, tai vaikka kirjoittaa puhtaalta pöydältä lisää omia niin paljon kuin haluaa. Tässä mielessä QUEST :in avoimuus mahdollistaa periaatteessa vaikka kuinka monimutkaisten mallien rakentamisen, kunhan ammattitaito vain riittää. [12]

## 7 RAKENNETUN SIMULOINTIMALLIN DOKUMENTOINTI

Mallin dokumentoinnin osalta on katsottuärkevimmäksi dokumentoida kyseessä olevan tuotantolinjan mallin perusversio, johon ominaisuuksia lisäämällä voidaan tutkia erilaisia asioita. Kyseinen tuotantoprosessi on jo sen verran monivaiheinen ja monia välituotteita sisältävä, että kaiken mahdollisen tiedon sisällyttäminen yhteen malliin saisi aikaan vain täydellisen kaaoksen. (Jos ette usko, tulkaa kysymään minulta).

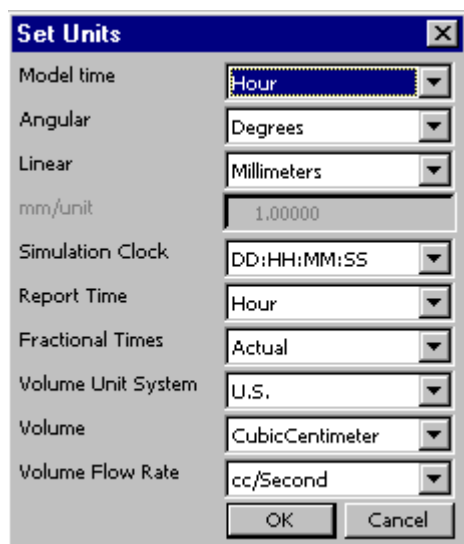
Tässä dokumentoituun perusversioon voidaan lisätä esimerkiksi työvoimaresurssit, tuotantolinjalla kappaleiden siirtoon käytettävät siltanosturit jne. Lisäksi työvaiheiden T-arvot voidaan pilkkoa paljon pienemmiksi palasiksi, esimerkiksi kappaleen lataus- ja purkuajat työpisteeseen, kahvi- ja ruokatauot jne. Myös työntekijöiden siirtymisiin kuluva aika työpäivän aikana voidaan mallintaa kävelynopeuden avulla.

Kaikki nämä yksityiskohdat eivät siis kuitenkaan ole aina tarpeellisia. Mallia muokatessa kannattaakin siekailematta jättää pois tarpeettomia ominaisuuksia ja lisätä siihen vain tutkittavan asian kannalta tarpeelliset. Ts. muokattaessa olemassa olevaa mallia eri ongelman tutkimiseen sopivaksi, kannattaa siitä jopa poistaa aiemmin lisättyjä yksityiskohtia mikäli ne ovat tarpeettomia. Kannattaa aina muistaa mallin perimmäinen tehtävä, todellisen systeemin ymmärtämisen helpottaminen yksinkertaistamalla sitä sopivasti.

### 7.1 Perusasetukset

”Tehtaan lattia” eli koordinaatiston  $Z = 0$  –taso määriteltiin olemaan 24 ruudun kokoinen. QUEST piirtää tällöin näkyviin 24 X 24 ruudun kokoisen ruudukon koordinaatiston jokaiseen neljännekseen, eli ruudulle ilmestyy 48 X 48 ruudun kokoinen taso. Lisäksi yhden ruudun koko määriteltiin olemaan 10 x 10 m. kun koko tuotantolinja siis on suunnilleen tuon 240 m:n mittainen, mahtuu malli kokonaan ensimmäiseen neljännekseen, eli positiiviseen X ja Y –akselien suun-

taan. Tämän etuna on se, että mittojen ja etäisyyksien syöttäminen voidaan tehdä syöttämällä absoluuttinen numeroarvo ilman turhaa manuaalista laskelua. Käytetyt aika- mittayksiköt määriteltiin eurooppalaisen käytännön mukaisiksi. Nämä näkyvät kuvasta 15.



*Kuva 15. Käytetyt aika- ja mittayksiköt*

## 7.2 Työpisteiden ja koneiden geometria

Kaikki koneet, työpisteet ja puskurivarastot on mallinnettu yksinkertaisesti ”laatikoiksi” niiden summittaisten ulkomittojen perusteella. Havainnollisuutta on pyritty parantamaan edes hieman käyttämällä eri värejä eri osakokonaisuuksien työpisteissä ja puskurivarastoissa seuraavasti:

Alusta = Sininen

Katto = Vaaleansininen

Seinä = Oranssi

Päätyalueiden komponentit = Punainen

Korin kokoonpano ja sen jälkeiset vaiheet = Vihreä

”Yleiskoneet” = keltainen

### 7.3 Tuotteet ja välituotteet

Jokaiselle komponentille nimettiin tarpeellinen määrä välivaiheita, toisin sanoen niiden nimi vaihtuu jokaisen työvaiheen jälkeen. Tämä uudelleen nimeäminen on välttämätöntä järjestyksen säilyttämiseksi, koska muuten mallin imusysteemi sekoittaisi toiminnan täysin, kokoonpanohan voisi tilata tarvitsemansa komponentit suoraan materiaalivarastosta tai ainakin joitain työvaiheita jäisi väliin simulaatiota ajettaessa. Seuraavaan listaan on koottu kaikkien komponenttien välituotteet niillä nimillä kuin ne ovat simulaatiossa. Välituotteet on lueteltu valmistusjärjestyksessä.

#### Alusta

alusta_osat	näistä hitsataan alustan 1. vaihe
alusta_hits1	
alusta_jyrs1	
alusta_hits2	hitsaukset automaatti 2:lla
alusta_hits3	edelliseen liittyvät käsihitsaukset
alusta_jyrs2	
alusta_varusteltu	

#### Seinä

seinaprofiili	alapuolen profiilin raaka-aineet
alapuolen_profiili_oik	HUOM! mallissa seinät ovat identtiset
seinaosat	muut seinän kokoonpanoon tulevat osat
pienosat	seinän pienosat
seina_koottu	
seina_varusteltu	
seina_koneistettu	

#### Katto

kattoprofiili	osat katon 1. hitsausvaiheeseen
katto_hits1	
katto_koottu	
katto_valmis	

### Päätyalueet

paatyalueet	Vaunun päätyalueiden komponentit ovat
paatyalueet_hits	mallissa vain automaatti 1:n ja portaalijyrsimen
paatyalueet_koneistettu	kuorman huomioimiseksi.

### Kori

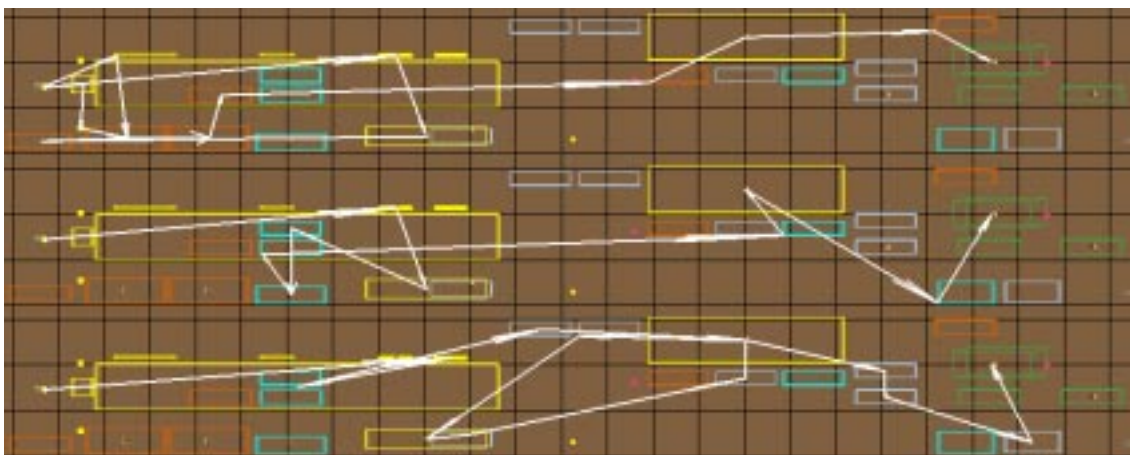
kori
kori_mitattu
kori_valmis

## 7.4 Reititykset

Reitti (route) on työpisteiden tai -koneiden välinen yhteys, jota pitkin tuote (part) voi siirtyä vaiheesta toiseen. Nämä täytyy erikseen luoda kaikkien niiden prosessin vaiheiden välille, missä materiaalin on tarkoitus kulkea. Yhteydet ovat yksisuuntaisia eli kaksisuuntaisuus täytyy tehdä luomalla yksisuuntainen yhteys molempiin suuntiin. Oikeastaan yhteyksiä määriteltäessä määritellään koneille ja työpisteille lisää sisään- ja ulostuloja sekä näiden välisiä yhteyksiä.

Malliin on siis määritelty vain nuo tarpeelliset yhteydet eri työvaiheiden ja väli-varastojen välillä. Kaikkiin yhteyksiin on määritelty samat toimintalogiikat, "Default pull route" ja "Default input logic". Jokaisen työpisteen sisään- ja ulostuloihin on määritelty, mitä osia niiden kautta voi kulkea. Poikkeuksia voi olla ainoastaan sellaisissa peräkkäin olevissa vaiheissa, joista ei ole yhteyksiä min-

nekään muualle. Kuvasta 16 nähdään kuinka työpisteiden väliset yhteydet on tehty QUEST :lla.



*Kuva 16. Työpisteiden ja koneiden väliset yhteydet simulaatiomallissa. Ylimmäisenä näkyy seinän, keskimmäisenä katon ja alimmaisena alustan valmistusprosessi.*

## 7.5 Prosessit

Työprosessit määriteltiin T-arvona, eli sen tarkempaa pilkkomista työkappaleiden lataus ja purkuaikoihin ei tehty. Myöskään taukoaikataulua ei näin ollen tarvinnut tehdä. Vaiheajat laskettiin T-arvoista yksinkertaisesti jakamalla se vaiheeseen sijoitettavien työntekijöiden määrällä. Robottihitsaus- ja koneistusvaiheet, joissa vaiheaika määräytyy koneen mukaan otettiin toki huomioon.

## 7.6 Opettelukäyrä

Mallista modifioitiin myös versio, jossa jokaisen työvaiheen vaiheaika noudatti niin sanottua opettelukäyrää, joka johtuu uusien työvaiheiden opettelemiseen kuluvasta ajasta. Opettelukäyrän toteuttamista varten saatiin Delfoilta SCL -

ohjelma, jota muokkaamalla saatiin Talgolla toteutuva opetteluvaihe mallinnettua. Opetteluvaihe mallinnettiin kokemusperäiseen tietoon perustuen.

## 7.7 Imuohjaus

Mallissa päädyttiin käyttämään imuohjausta eli siitä rakennettiin imusysteemi (pull system). Vaikka mallinnettu tuotantolinja ei tuotannonohjauksen kannalta varsinaisesti imuohjauksella toimikaan, vastannee tällä tavoin rakennetun simulointimallin toiminta paremmin linjan todellista toimintaa.

Imuohjaus tehdään yksinkertaisesti siten, että linjan loppupäässä oleva "viemäri" (sink) asetetaan aktiiviseksi ja sille asetetaan haluttu tilaustahti, jonka mukaan tuotteita linjalta tilataan. Lisäksi kaikkien työpisteiden ja koneiden input ja output täytyy asettaa imuohjaukselle (pull). Samoin tehdään myös väli-varastoille (buffer). Väli-varastoille asetetaan lisäksi ala- ja ylä- raja-arvot (thresholds), joiden mukaan väli-varastoon tilataan tavaraa.

Mallin imuohjaus toimii siten, että "viemäri" tilaa viimeisestä työvaiheesta haluamansa tuotteen (tässä tapauksessa vaununkorin). Mikäli koria ei juuri satu olemaan koria valmiina, sen valmistamiseen vaaditut komponentit tilataan sieltä mistä ne on saatavissa eli edeltävistä työvaiheista. Ne puolestaan toimivat samoin, eli tilaus välittyy työpisteiden välisiä yhteyksiä pitkin taaksepäin, raaka-ainevarastoon (source) asti mikäli tarve vaatii.

## 8 KOEAJOJEN TULOKSIA

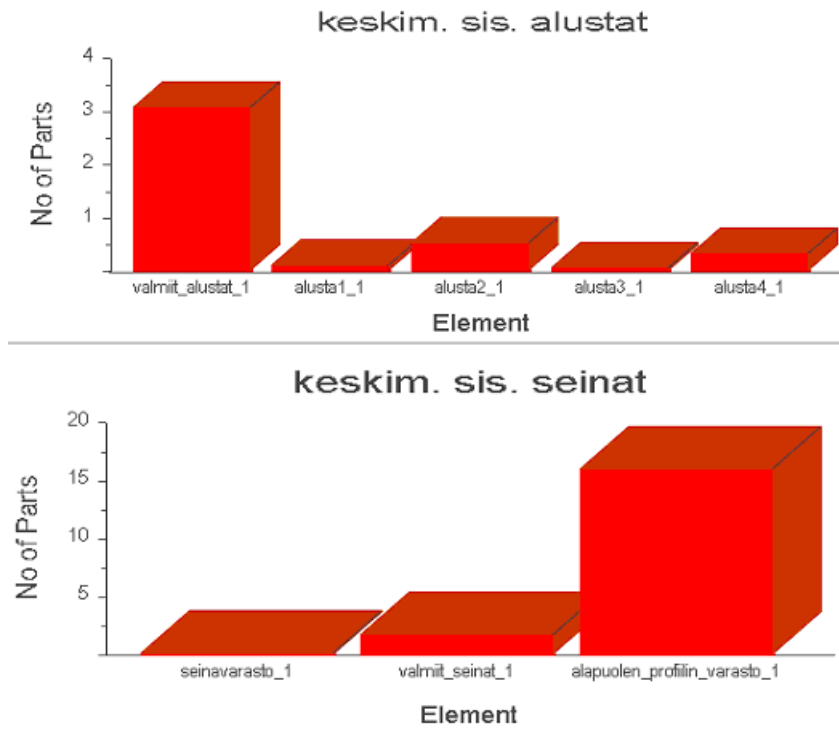
Mallilla ajettiin muutamia suuntaa antavia simulaatioajoja, joissa selvitettiin muutamia valmistusprosessin perusasioita, kuten työpisteiden kuormitusta, väli-varastojen tarpeellisuutta ja opetteluvaiheen aiheuttamaa viivästystä valmistuksen alussa. Tuloksien luotettavuutta on vaikea arvioida, koska mallille ei voitu suorittaa kovin järjestelmällistä verifiointia. Joka tapauksessa tuloksia voidaan pitää ainakin karkealla tasolla suuntaa antavina. Mikäli tuloksiin perustuen halutaan tehdä päätöksiä prosessin muuttamiseksi, tulee ne kuitenkin varmentaa myös muilla menetelmillä.

### Välivarastojen tarve

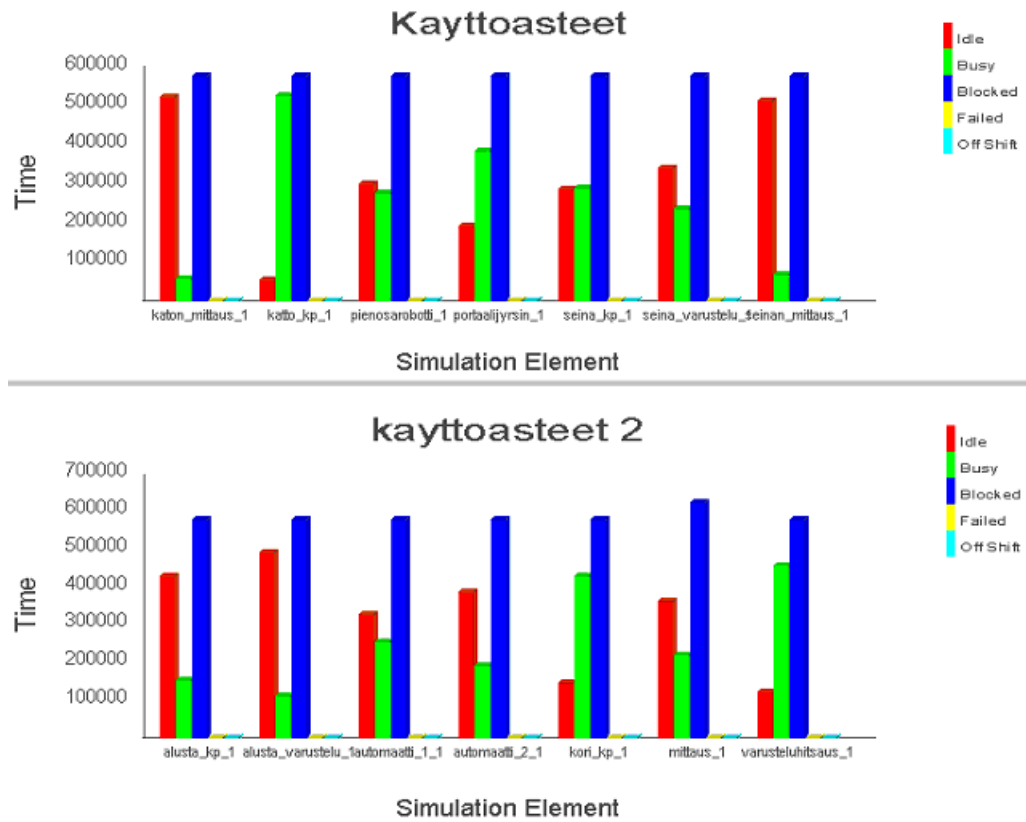
Välivarastojen tarpeellisuutta selvitettiin seuraamalla välivarastojen keskimäärin sisältämää tavaran määrää. Tällaiseen seurantaan löytyy QUEST :sta valmis työkalu, joka päivittää simulointiajon edetessä pylväsdiagrammia varastojen keskimääräisestä sisällöstä, tällainen kaavio on esitetty kuvassa 17. Kuvassa 18 puolestaan on kaavio, josta selviää eri työvaiheiden kuormitus.

Kuvia voidaan tulkita eri näkökannoilta. Ensiksikin voitaisiin päätellä käytännössä tyhjien varastojen olevan (täysin) tarpeettomia, toisaalta taas voitaisiin olettaa, että nimenomaan suurempien välivarastojen pitäminen pitäisi pullonkaulavaiheen paremmin kuormitettuna. Käytännössä prosessin suunnittelussa päädyttiin pyrkiä välttämään täysin alustan viimeistä edellisen välivaraston, alusta4\_1:n, pitämistä.





Kuva 17. Vaunun alustojen ja seinien määrät mahdollisissa välivarastoissa



Kuva 18. Työvaiheiden kuormitus simulaatioajossa

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 9.1 Simuloinnin hyödyntämismahdollisuudet Talgolla

Talgolla selvästikin on runsaasti haluja pyrkiä uudistumaan ja ottaa käyttöön uusia tuotannosuunnittelun menetelmiä vanhojen tueksi ja niitä korvaamaan. Myös simuloinnista ollaan Talgolla oltu kiinnostuneita jo jonkin aikaa. Talgon simulointitarve on tällä hetkellä lähinnä eri tuotteiden valmistamiseen liittyvien pienehköjen, runsaslukuisten layout muutosten varmistaminen. Lisäksi mallinuksesta kaavaillaan apuvälinettä henkilöstön kouluttamiseen. Vaihtoehdot simuloinnin hyödyntämiseen ovat ohjelmiston hankinta ja tarpeellisen henkilöstön kouluttaminen sen käyttöön, simulointipalvelujen ostaminen tai jonkinlainen yhteistyökuvio Kajaanin ammattikorkeakoulun kanssa.

Simulointia harkittaessa on syytä varautua sen kalleuteen. Kustannukset eivät rajoitu vain jo sinänsä kalliisiin ohjelmiin, vaan lisäksi tulevat koulutus-, ylläpito- yms. Kustannukset. Usein myös unohtuvat kustannukset, jotka johtuvat muiden kuin varsinaisen mallintajan simulointiprojektiin tekemästä työpanoksesta. Esimerkiksi QUEST maksaa jo itsessään sen verran, ettei sitä tee mieli hankkia ilman varmuutta siitä, että sitä myös pystytään tehokkaasti hyödyntämään. Toisin sanoen on samalla varmistettava riittävän tietotaidon saatavuus kouluttamalla riittävä määrä henkilöstöä. Koulutuksiin hupenee helposti huomattava summa. Varsinkin ”puhtaalta pöydältä” lähdettäessä jo perustaitojen hankkiminen vaatii muutaman kalliin koulutuskerran. Edellä mainitun kaltaisten simulointitarpeiden kyseessä ollen myös ulkopuolisten ammattilaisten käyttäminen lienee turhan hintava vaihtoehto, he ovat varmasti paras ratkaisu suurissa ja kertaluontoisissa projekteissa.

Yhteistyö Kajaanin ammattikorkeakoulun kanssa riippuu siitä minkälainen osaamiskeskittymä simuloinnin ympärille on tarkoitus rakentaa ja missä aika-

taulussa. Jo yksi päätoimisesti simulointia tekevä henkilö pitäisi yllä alan osaamisen pysyvyyttä ja sitä kautta osaamiskeskittymän kehittymistä ja voimistumista. Mikäli Talgon puolella vielä olisi muutamia simulointiin ainakin jollain tasolla perehtyneitä henkilöitä, saataisiin pienet simulointityöt käyntiin nopeasti vaikkapa oppilastöinä. Tällä hetkellä Kajaanin ammattikorkeakoulussa on jo meneillään virtuaalituotannon suuntautumisvaihtoehto, jonka ensimmäiset opiskelijat ovat aloittaneet syksyllä 2001.

Tällainen yhteistyö voisi toimia ainakin kokemusta antavana siirtymävaiheena ennen oman simulointiohjelman hankintaa. Kun varmuutta alkaa olla siitä, että Talgolla alkaa olla riittävästi osaavaa henkilöstöä, on mahdollista rohkaistua oman simulointiohjelman hankkimiseen tai yksinkertaisesti panostaa tämä tietotaito tehostamaan yhteistyötä ammattikorkeakoulun kanssa.

## 9.2 Oman työn arviointi

Viimeisen opiskeluvuoden alkaessa ei minulla vielä ollut hajuakaan siitä, mistä voisin saada aiheen insinööriyöhöni. Siispä sitä etsiessäni en asettanut sille sen kummempia kriteereitä kuin että sen tulisi ainakin jollain tavalla sivuta niitä asioita joita koulussa kuluttamani neljän vuoden aikana oli käsitelty. Työn mahdollinen vaikeus ei myöskään paljon pelottanut, vaan asennoiduin työhön lähinnä uuden oppimisen kannalta.

Niinpä Talgon tarjoamiin insinööriyövaihtoehtoihin tutustuessani ei mieltä painanut lainkaan valita simulointiaiheinen työ. Simulointi ei ollut tullut tutuksi muuten kuin yhden QUEST :in peruskurssin yhteydessä. Ajattelin, että työ saattaisi olla vaikea ja suurin osa ajasta tulisi luultavasti tuhrautumaan simuloinnin perusteiden ja QUEST :in käyttämisen itseopiskeluun. Mutta ainakaan tuo oppi ei tulisi valumaan hukkaan, olisihan simulointi sentään tulevaisuuden työkalu.

Näin jälkepäin, huomaan noiden oletusten olleen kutakuinkin oikein. Aluksi aikaa kului runsaasti muistin virkistämiseen aivan QUEST :in perustoimintojen

osalta sekä muutamien uusien asioiden kanssa painimiseen. Sen jälkeen aikaa kului sopivan lähdeaineiston etsimiseen. Kun tätä lähdeaineistoa sitten alkoi lukemaan, huomasit töppäilleensä monessa kohtaa heti työn alusta pitäen.

Saavutuksiin voidaan siis lukea ainakin se, että itse opin työn aikana uusia asioita simuloinnista, samanlaisen työn osaisi nyt tehdä huomattavasti riuskemmassa tahdissa. Monet alan gurutkin sanovat kirjoituksissaan, että vaikka simulointi vaatii tietäntyyppistä koulupohjaa, kaikkein tärkeintä on tekemällä oppiminen. Työ herätti myös jonkinasteisen mielenkiinnon simulointia kohtaan.

Omat taidot rajoittivat varsinaista mallinnustyötä siinä mielessä, että esimerkiksi ohjelmointitaitoa vaativat ominaisuudet täytyi mallista suosiolla unohtaa. Joidenkin muidenkin monimutkaisempien ominaisuuksien lisääminen osoittautui sen verran vaativaksi ja aikaa vieväksi, ettei niitä ehtinyt millään tekemään. Hyvät ja periaatteessa toimivat ideat saattavat nimittäin ottaa melkoisesti aikaa toteuttaa itselle oudolla simulointiohjelmalla, mikäli ne ovat sillä ensinkään mahdollisia.

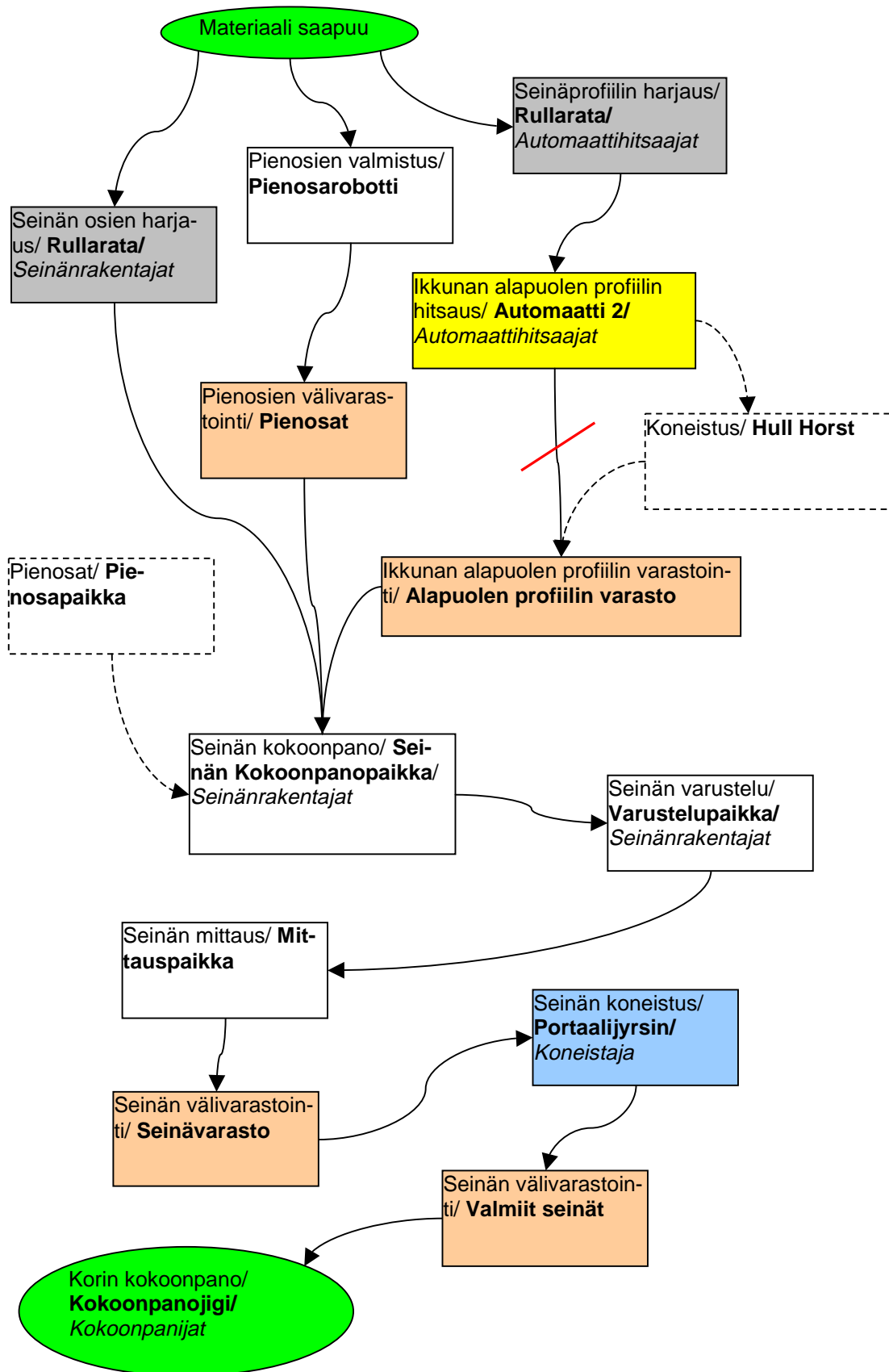
Varsinaisesta työn tuloksesta, simulointimallista, tuli loppujen lopuksi varsin yksinkertainen. Toki se on jo käyttökelpoinen, mutta "mitä jos?" -koeajojen suunnittelu ja toteuttaminen on myös oma, aikaa vievä työnsä. Lisäksi pitäisi myös arvioida tulosten luotettavuus. Tällaisenaan malli kelpaa ajoitus- ja tuotantotahtilaskelmien tueksi, havainnollistamisvälineenä sekä yksinkertaisten, suuntaa-antavien "mitä jos?" -kokeiden tekemiseen.

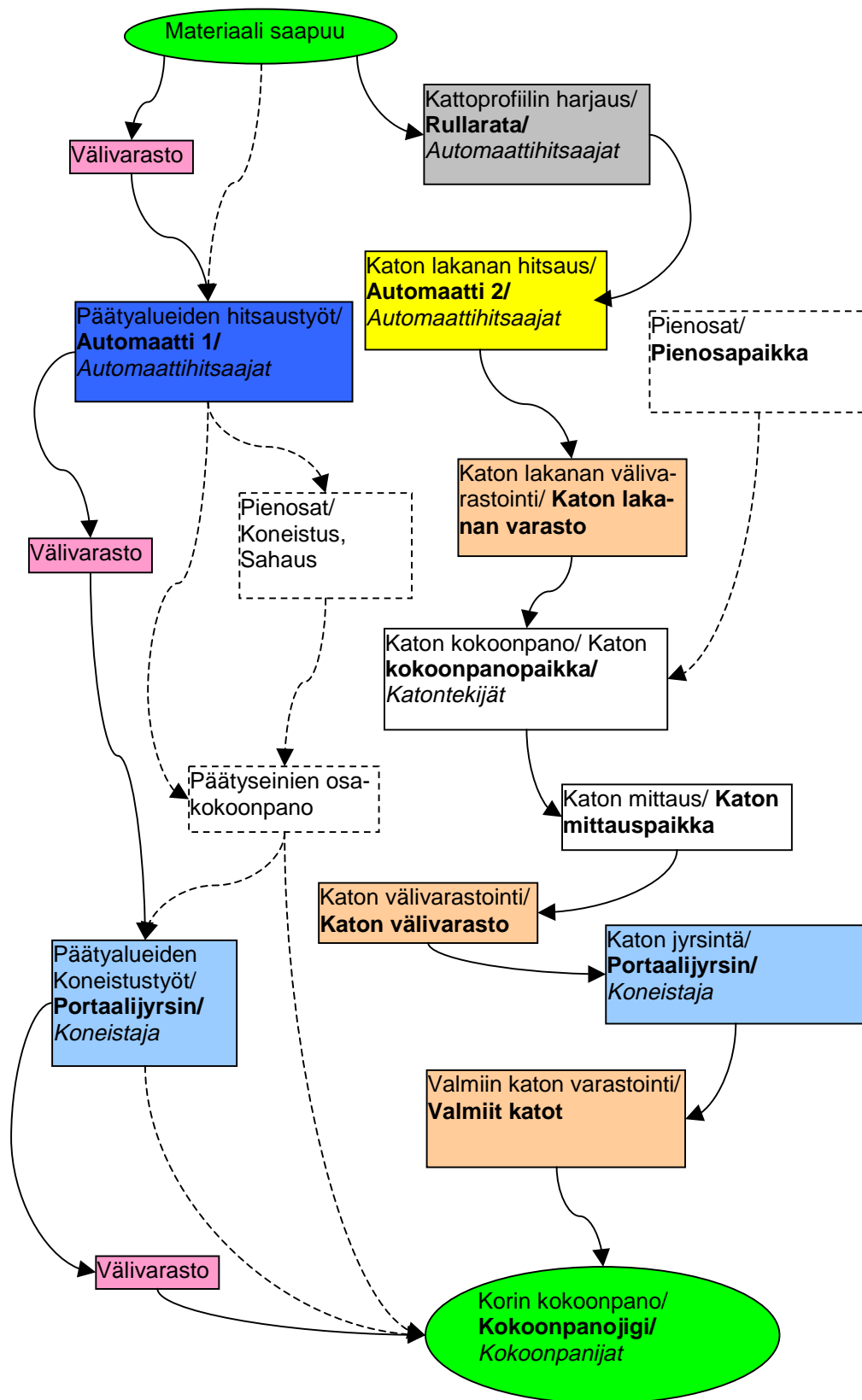
## LÄHDELUETTELO

- 1 Talgo Oy, Laatukäsikirja, 10.10.2001.
- 2 <[www.talgo.fi](http://www.talgo.fi)>
- 3 Huhtala, V., Harju, A., Valpio, J., Kilpeläinen, T. Tuotanto-suunnitteluinsinööri, Valtion painatuskeskus.
- 4 Salomäki, R. Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC. Jyväskylä, Metalliteollisuuden kustannus Oy, 1999.
- 5 Happonen, J. Tuotannonohjaus, 24.8.2001.
- 6 Bellinger, G. [WWW-dokumentti]. <[www.outsights.com/systems/simulation](http://www.outsights.com/systems/simulation)>. (luettu 23.1.2002.)
- 7 <[www.ida.liu.se/~TDEI52/forelasningantecknigar/forelasninganteckningar.html](http://www.ida.liu.se/~TDEI52/forelasningantecknigar/forelasninganteckningar.html)>. [WWW-dokumentti]. Yhteenveto simuloinnin eduista ja sudenkuopista.
- 8 PMC. Simulation: Methodology. [WWW-dokumentti]. <[www.pmc.com/sim\\_methodology.html](http://www.pmc.com/sim_methodology.html)>. (luettu 29.1.2002.)
- 9 Haataja, J. Mallit tuovat maailman työpöydälle. MikroPC Nro 2/2002.
- 10 OR/MS Today – February 2001 – Simulation Software Survey. [WWW-dokumentti]. Simulointiohjelmien pääpiirteittäinen vertailu. <[www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/](http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/)>. (luettu 25.2.2002.)
- 11 Swain, James J. Power tools for Visualization and Decision-Making. [WWW-dokumentti]. Edelliseen vertailuun liittyvä artikkeli samassa

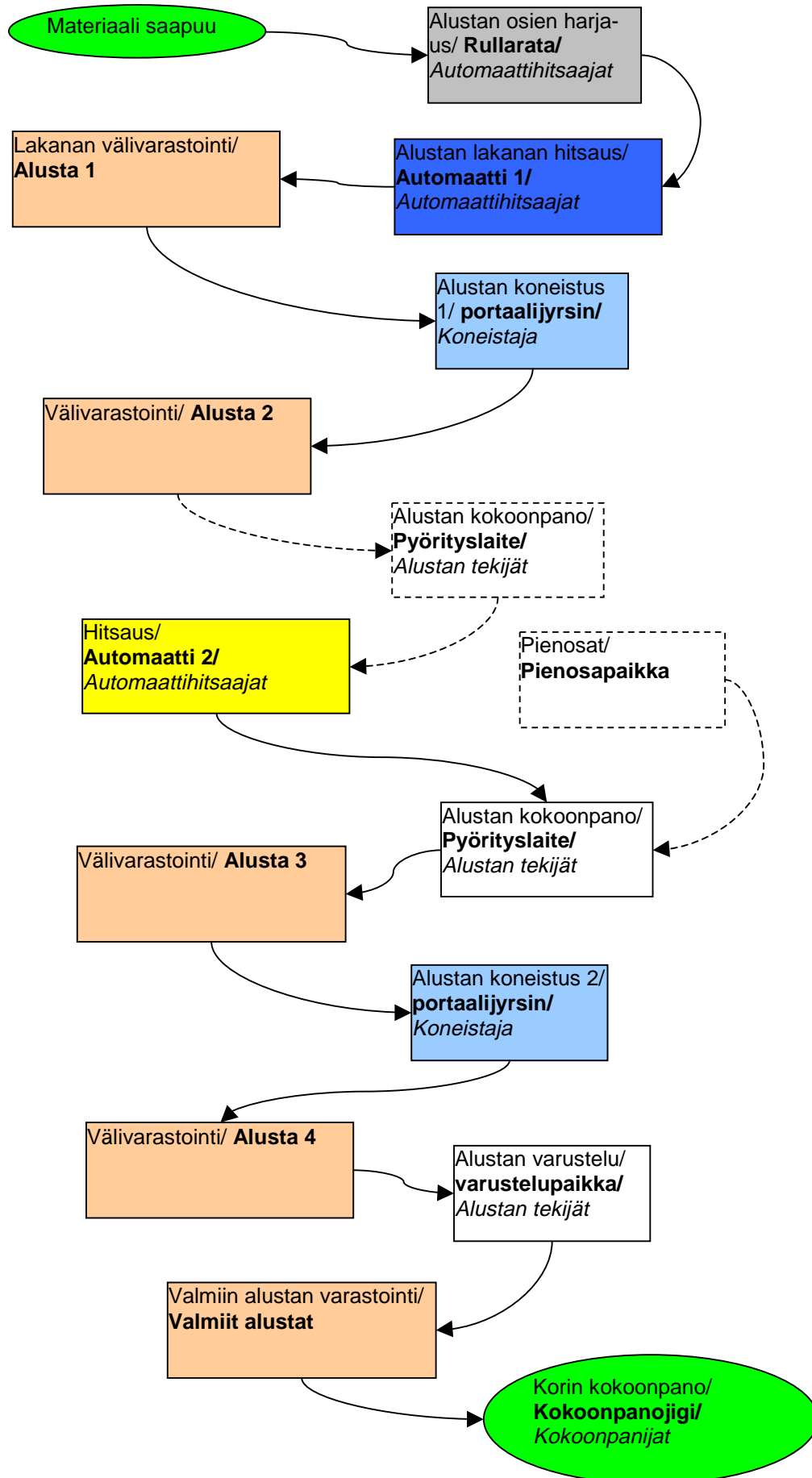
lehdessä. <[www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-01/simulation.html](http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-01/simulation.html)>.  
(luettu 26.2.2002.)

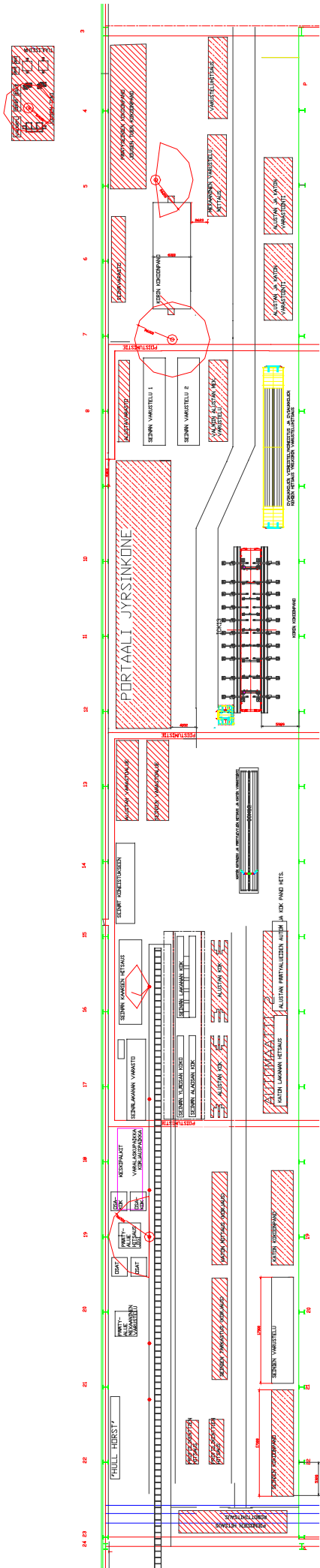
- 12 Barnes, Martin R. An Introduction to Quest. [WWW-dokumentti].  
[www.informs-cs.org/wsc97papers/0619.PDF](http://www.informs-cs.org/wsc97papers/0619.PDF).
- 13 Fishwick, P. Computer Simulation: The Art and Science of Digital  
World Construction. [WWW-dokumentti].  
<[www0.cise.ufl.edu/~fishwick/introsim](http://www0.cise.ufl.edu/~fishwick/introsim)>. (luettu 23.1.2002.)
- 14 <[www.delmia.com](http://www.delmia.com)>











LIITE B/1

