

Leo Karhu

CLT-tehtaan tuotannon mallinnus ja simulointi Quest-ohjelmistolla

Opinnäytetyö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Kevät 2014



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä Leo Karhu	
Työn nimi CLT-tehtaan mallinnus ja simulointi Quest-ohjelmistolla	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Virtuaalituotanto Tuotannon johtaminen	Toimeksiantaja OY CrossLam Kuhmo Ltd.
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 52
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli luoda OY CrossLam Kuhmo Ltd. -yritykselle kolmiulotteinen simulaatiomalli tulevasta CLT-tehtaasta. Tarkoituksena oli mallin avulla tutkia tuotannon pullonkauloja ja mahdollisia ongelmatilanteita. Lisäksi työssä oli tarkoitus tutkia, miten pullonkaulat ja ongelmat voitaisiin korjata.</p> <p>Lähtötietoina mallinnukseen oli käytössä tehtaan layout-piirustukset, joidenkin koneiden piirustukset sekä joitain tutkittuja koneiden työstöaikoja. Koneiden ja tehtaan seinien 3D-mallit luotiin SolidWorks 2013-ohjelmistolla, ja itse malli luotiin Quest-tuotannonsimulointiohjelmalla. Lisäksi monimutkaista materiaa- livia yksinkertaistettiin mallinnusta varten, kuitenkin säilyttäen mahdollisimman paljon tarkkuutta. Lopulta valmistui yksi mallipohja tehtaasta, josta luotiin erilaisia versioita erilaisille materiaaleille ja tuotannoille.</p> <p>Tämä työ keskittyy mallin luomiseen ja simulointiin. Simulaatioiden tuloksista kerrotaan vain yleisesti. Tässä työssä tutustutaan myös Quest- ja Solidworks-ohjelmistoihin, CLT-levyihin, OY CrossLam Kuhmo Ltd. ja yhteistyökumppani Woodpolikseen. Simulaation tarkemmat tulokset on annettu raportina toimeksiantajalle, ja ne ovat salaista tietoa.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Tuotannon mallinnus, simulointi, Quest
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author Leo Karhu	
Title Modeling and simulation of CLT-manufacturing plant with QUEST software	
Optional Professional Studies Virtual Production Operations Management	Commissioned by CrossLam Kuhmo Ltd.
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 52
<p>The purpose of this thesis was to create 3D-simulation model of a CLT-manufacturing plant for CrossLam Kuhmo Ltd. and to study the problems and “bottlenecks” of production using the model. Additionally the model was utilized to try to find solutions for the problems that were found.</p> <p>The base data of the model included a layout drawing, which had all the machines in place, and working times for some machines. CrossLam Kuhmo gave technical drawings and pictures of the machines for 3D-modelling. 3D-models of the machines and walls of the factory were made with SolidWorks 2013 3D-modeling software and the production was created with Quest.</p> <p>This work contains information about CrossLam Kuhmo Ltd., CLT also known as Cross Laminated Timber, the project partner Woodpolis, 3D-modeling program SolidWorks and manufacturing and production simulation program Quest. In addition, it describes how the model was made and what kind of simulations were run with it. The results and analysis of the simulations were given to commissioner in a separate report.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords Modeling, Production Simulation, Quest	
Deposited at <input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences	

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 OY CROSSLAM KUHMO LTD JA WOODPOLIS	2
2.1 Oy CrossLam Kuhmo Ltd.	2
2.2 Woodpolis	3
2.2.1 Optimoiva katkaisusaha Dimter Opticut S90 XL	4
2.2.2 Spanevello LGC 300	4
2.2.3 Weinig Powermat 1000	5
2.2.4 Uniteam EXTRA BM3	5
3 CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)	7
4 MALLINNUSTYÖKALUT	8
4.1 Quest	8
4.2 SolidWorks 2013	9
5 TYÖN TOTEUTUS	11
5.1 Quest-ohjelman käyttöönotto	11
5.2 Elementtien luominen	12
5.2.1 SolidWorks-mallit	12
5.2.2 SolidWorks-mallin tuominen Quest-malliin.	13
5.2.3 Esimerkki: Seinien tuominen Questiin	17
5.2.4 Source ja Sink	18
5.2.5 Osat eli partit	20
5.2.6 Kuljettimet	20
5.2.7 Bufferit eli välivarastot	25
5.2.8 Koneet	27

5.2.9 Työntekijät	29
5.3 Cycle-, Unload-, Load- ja Setup-prosessit	33
5.4 Koneiden järjestys mallissa	34
5.5 Materiaalivirran mallinnus	38
5.6 Materiaalivirran mallinnuksen ongelmat ja ratkaisut	38
5.7 Työajat	41
5.8 Rakennusvaiheen simuloinnit	43
5.9 Kaaviot	44
6 SIMULAATIOMALLIT JA NIIDEN EROT	47
6.1 Simulaatiomallien väliset erot	48
6.2 Visuaalinen malli	49
7 TYÖN TULOKSET	50
8 YHTEENVETO	51
LÄHTEET	52

TERMIT

Bufferi:	Välivarasto, varasto ennen konetta
CAD:	Computer-aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
Class:	Luokka. Esimerkiksi jos on kolme samanlaista konetta, mutta eri paikoissa luodaan yksi koneluokka, jota muuttamalla muokataan kaikkia kolmea konetta erikseen.
CLT:	Cross Laminated Timber, ristiin liimattuja lautakerroksia
Elementti:	Quest-mallissa oleva yksittäinen kone, välivarasto, työmies jne. Käsittää lähinnä kaikki näkyvillä olevat eri asiat.
Imuohjattu:	Imuohjatussa tuotannossa tuotantolinjan päätöspiste ”tilaa” kappaleita muilta koneilta.
Paikointuspiste:	Elementin oma piste, jossa tapahtuu eri asioita, riippuen paikointuspisteen laadusta.
Pullonkaula:	Prosessissa pullonkaula tarkoittaa konetta tai vaihetta tuotannossa, joka toimii hitaammin kuin muut osat, aiheuttaen ylimääräisiä odotusaikoja muille koneille.
Rot:	Rotate, pyöritetään elementtejä ja koordinaatistoja jonkin akselin ympäri
Sink, ”viemäri”:	Quest-ohjelmassa elementti, jonne valmis tuote kulkeutuu.
SJ, Sormijatkettu lauta:	Kaksi lautaa on yhdistetty toisiinsa sormijatkosliitoksella.
Source, ”lähde”:	Quest-ohjelmassa elementti, joka luo raaka-aineita.
Trn:	Translate, käytetään elementtien ja koordinaatistojen liikuttamiseen XYZ suunnassa

Työntöohjattu: Työntöohjatussa tuotannossa materiaalivirta puskee koko ajan eteenpäin. Kun työ on tehty, laitetaan tuote eteenpäin ja haetaan heti lisää materiaalia omaa työtä varten.

VRML: Virtual Reality Modeling language, on Questin ymmärtämä 3D-tiedostomuoto.

1 JOHDANTO

Tämän insinööri työn tarkoituksena on tietokonesimulaation avulla tutkia OY CrossLam Kuhmo Ltd:n CLT-tehtaan toimintakapasiteettia erilaisilla raakamateriaalin mitoilla. Simulaation avulla on myös tarkoitus tutkia, kuinka suuria välivarastoja täytyy olla ja mitkä koneet ovat tuotantoa hidastavia pullonkauloja. Etukäteen toteutetut simuloinnit ja tutkinnat auttavat ennakoimaan erilaisien materiaalien pituuksien ja leveyksien aiheuttamia ajan muutoksia. Tehdas valmistaa CLT-levyjä jotka ovat 3-, 5-, 7- tai 11-kerroksisia. Tässä työssä luodaan simulaatiomallit yleisimpien tuotteiden valmistuksesta.

Työn alkaessa tehdas on vielä rakenteilla, joten tässä vaiheessa mahdollisiin ongelmakohtiin voi puuttua helposti. Tehtaan malli on luotu Dassault Systèmesin Quest-ohjelmalla, ja laitteiden 3D-mallit SolidWorks 2013 -ohjelmistolla. Onnistunut simulointi ja analyysi antavat varmuutta tehtaan käynnistämiseen, toimintaan ja ohjaukseen, kun osataan ennustaa levyn valmistumisaikoja. Simulaatiolla voidaan tutkia myös työntekijöiden lisätarvetta. Tarvittaessa työntekijät tekevät ylimääräisessä vuorossa välivarastoon materiaalia, jos jokin kone on tuotannossa pullonkaulana.

Tässä työssä käsitellään SolidWorks-tiedostojen tuomista Quest-malliin sekä Quest-mallin luomista. Lisäksi kerrotaan hieman tehtaassa valmistettavasta CLT-levystä, työn tilaajasta OY CrossLam Kuhmo Ltd.:stä sekä yhteistyökumppanista Woodpoliksesta.

2 OY CROSSLAM KUHMO LTD JA WOODPOLIS

2.1 Oy CrossLam Kuhmo Ltd.

Oy CrossLam Kuhmo Ltd. on kuhmolainen yritys, joka valmistaa 3-, 5-, 7 ja 11-kerroksisia ristiliimattuja levyjä kotimaisesta mänty- ja kuusilaudasta [1]. Yritys aloittaa valmistuksen vuoden 2014 aikana, ja kesällä tehtaan on tarkoitus tuottaa jo levyjä. Yritys tähtää kotimaisille markkinoille, mutta myös ulkomaille vientiä voi olla Pohjoismaihin ja Iso-Britanniaan. CrossLam vuokraa Kuhmon kaupungilta laitteita ja tiloja, ja se tekee yhteistyötä Kuhmon kaupungin alaisuudessa olevan Woodpoliksen kanssa. Kuvassa 1 on CLT-levystä valmistettu varusteltu seinäelementti.



Kuva 1. CLT-levystä valmistettu seinäelementti. [1]

Suurin yksittäinen laite yrityksellä on Ledinek X-press puristin. Kuvassa 2 on samanlainen puristin, mutta vain 8 m mittainen. Laite koostuu puristinmoduuleista, joita kuvan esimerkkikoneessa on neljä. CrossLamin laitteessa on kaksi moduulia enemmän. Yksi moduuli pystyy puristamaan 2 m pitkiä kappaleita, joten kuusi kappaletta moduuleja sisältävä laite kykenee puristamaan siis koko 12 m pitkän CLT-levyn kerralla. Laitteeseen kuuluu myös siirtopöytä, joka siirtää kappaleen puristimelle ja pois, sekä kuvassakin näkyvä liimauslaite. Liimauslaite liimaa puolet levyn pinta-alasta kerralla, joten yhden puristimen sisällä käymisen jälkeen koko pinta on liimattu ja valmis uutta kerrosta varten.



Kuva 2. Ledinek X-press-laite, jossa on neljä puristinmoduulia ja liiman levitin suuaukon edessä. [2]

2.2 Woodpolis

Woodpolis on Kuhmon kaupungin omistama organisaatio. Sen tehtävänä on kehittää puurakentamista ja puurakentamisen koulutusta. Woodpolis tekee yhteistyötä yritysten, Aalto-yliopiston ja Kainuun ammattiopiston kanssa pyrkiessään kehittämään ja ylläpitämään puuosaimista. Oy CrossLam Ltd. ja Woodpolis tekevät läheistä yhteistyötä. CrossLam vuokraa koneita Woodpolikselta, ja käyttää niitä omassa tuotannossaan. Tämä helpottaa tehtaan käyntiajaoja.

CLT-tehtaassa on suunniteltu olevan Woodpoliksen laitteita ainakin sormijatkoskone Spanevello LGC 300, optimoiva katkaisusaha Dimter Opticut S90 XL, höylälinja Weinig Powermat 1000 sekä automaattinen työstökeskus Uniteam EXTRA BM3.

2.2.1 Optimoiva katkaisusaha Dimter Opticut S90 XL

Optimoiva katkaisusaha Dimter Opticut S90 XL tunnistaa liitumerkillä merkatut rajat ja sahaa niiden mukaan. Lauta tarkastetaan ensin silmämääräisesti. Jos laudassa on kohta, joka halutaan pois, se merkataan liidulla yhdeltä lappeelta virheellisen kohdan molemmin puolin. Sen jälkeen lauta menee sahalle. Saha tasoittaa laudan pään, työntää sitä eteenpäin, kunnes havaitsee mahdollisen kynän jäljen. Saha sahaa siitä poikki ja työntää jälleen eteenpäin, kunnes tulee uusi kynänjälki. Saha irrottaa näin merkatus huonon kohdan pois laudasta, ja tasoittaa vielä loppupään viimeiseksi. Irtonaiset kappaleet putoavat välistä pois. Taulukossa 1 on katkaisusahan teknisiä tietoja.

Taulukko 1. Optimoivan katkaisusahan Dimter Opticut S90 XL:n tiedot

Sahanterä	Ø 500 mm
Terän pyörimisnopeus	max 3600 1/min
Puun leveydet	Min./Max. N. 40 - 300 mm
Puun paksuudet	Min./Max. N. 15 - 125 mm
Työntimen nopeus	Max 240 m/min
Max asemointitarkkuus	± 0,5 mm

2.2.2 Spanevello LGC 300

Sormijatkoskone liittää kaksi puukappaletta toisiinsa jyräsi molempiin sormimaiset vastakkaiset urat, laittamalla liiman pintaan ja puristamalla kappaleet yhteen. Sormijatkoskone tekee niin pitkää kappaletta kuin halutaan. Kun haluttu mitta on saatu täyteen, sormijatkoskone katkaisee kappaleen oikeasta kohdasta ja aloittaa seuraavan kappaleen valmistuksen edellisen kappaleen

ylijääneestä osasta. Spanevello LGC 300 kykenee jatkamaan 100 x 32 mm – 225 x 125 mm kappaleita ja tekemään 1000–12000 mm pitkiä kappaleita. Kuvassa 3 sormijatkoskone on liittäessä kahta lautaa yhteen. Laite jyrsii sormijatkoskursoilla molempien lautojen vastakkaiset pinnat yhtä aikaa, ja levittää liiman heti perään.



Kuva 3. Sormijatkoskone jyrsii ja liimaa yhteen liitettävät pinnat yhtä aikaa.

2.2.3 Weinig Powermat 1000

Höylässä on seitsemän teräyksikköä, PowerCom-ohjaus sekä PowerLock-terätekniikka. Höylän työleveys on 20–230 mm ja työstöpaksuus 8–160 mm. Höylällä voi tehdä mitallistuksia, paneeleja, listoja, hirsii ja liima-aihioita.

2.2.4 Uniteam EXTRA BM3

Kuvassa 4 oleva Uniteam EXTRA BM3 on numeerisesti ohjattu työstökeskus puulle. Tämä tarkoittaa sitä, että kun puuaihio on asetettu koneeseen, ohjelma koneella hoitaa koko työstön. Työstöohjelma tulee koneelle CAD(computer-aided design)-ohjelmasta. Työstöön kuuluu teränvaihtoja, erilaisia reikiä ja muotoja, päätysahauksia jne. Laitteen työalue on 3200 x 12000

mm, ja työvahvuus on 350 mm. Suuren työalueensa ja monipuoleisien työkalujen ansiosta kone käy hyvin CLT-levyjien työstämiseen asiakkaan tarpeiden mukaan. [3]

CNC-työstön hyviä puolia on ohjelmallinen työratojen suunnittelu. Eli tietokoneella voidaan etukäteen määrittää tarvittavat työkalut ja reitit. Tällä tavalla huomataan mahdolliset ongelmatilanteet ennen kuin puutavaraan on edes kosketettu. Samalla säästetään huomattavasti materiaalikuluissa, kun prototyyppien ja virheellisten kappaleiden määrä vähenee.



Kuva 4. Woodpoliksen Uniteam Extra BM3 puuntyöstökeskus.

3 CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

CLT on lyhenne sanoista Cross Laminated Timber, joka tarkoittaa ristiin laminoitua puutavaraa. Nimensä mukaisesti CLT-levy valmistetaan siten, että liimataan lautoja yksi kerros poikittain ja toinen kerros pitkittäin. Kerroksia CLT-levyssä on useita, vähintään kolme. Ristikkäisyys antaa levyille jäykkyyttä painoonsa nähden. Levyjä voidaan käyttää rakentamisessa kantavina ja jäykistävinä rakenteina. Puun muotoilun helppous antaa mahdollisuuden käyttää levyjä vapaasti [4, s. 1].

CLT kilpailee betonin kanssa rakennusmateriaalimarkkinoilla. CLT:n ominaisuuksia on sen keveys, rakentamisnopeus ja lämmöneristävyys. CLT-levyn lämmönjohtavuus on noin $0.11 \text{ W}/(\text{mK})$ [5, s. 5] ja betonin on noin $2 \text{ W}/(\text{mK})$ [6, s. 358]. CLT on kevyempää kuin teräsbetoni, joten se on siis nopeampi ja helpompi liikutella. CLT-levyistä on myös nopeampi rakentaa, koska toisin kuin betonin, CLT:n ei tarvitse odottaa kuivamista.

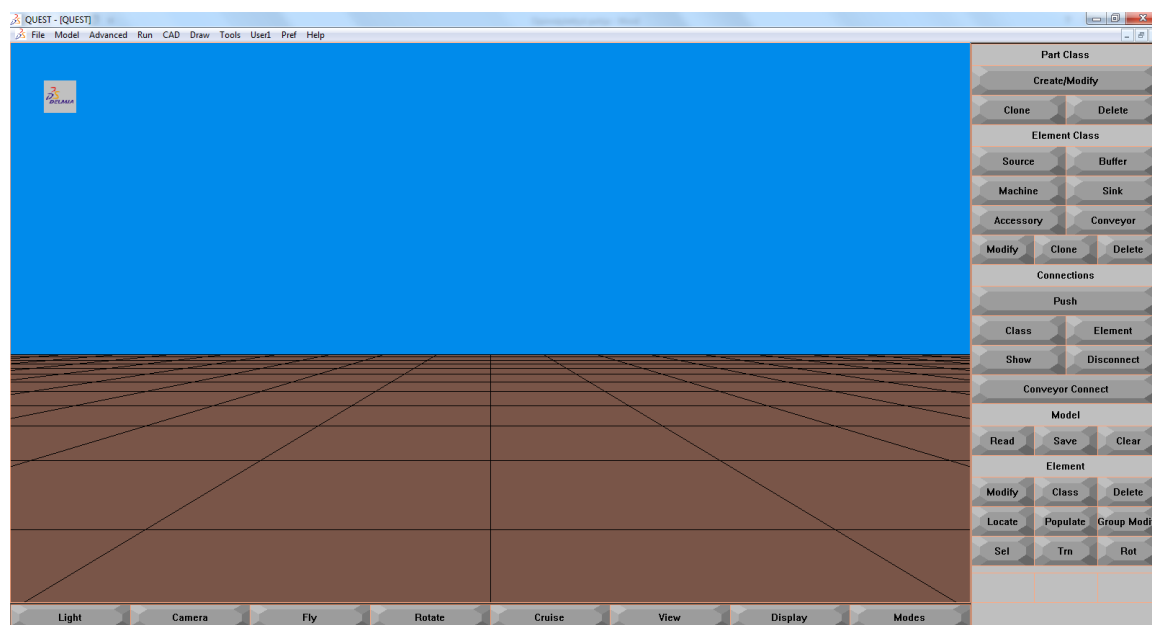
Voisi luulla, että CLT palaa helposti, koska se on puuta. Toisaalta yhtenäisen puupinnan sytyttäminen on vaikeampaa kuin pienien säleiden. Kanadassa on tehty tutkimus CLT-materiaalin tulenkestävyydestä. Tutkimuksissa levyille oli asetettu rasi- ja lämpöä. Tulenkestävyyteen vaikuttavat pinnoite, levyn paksuus eli kerroksien määrä, kulmien tyyppi, suojausmenetelmät ja CLT-levyn valmistuksessa käytetyn liiman tyyppi. Tutkimuksissa päästiin 57–178 minuutin aikoihin, ennen kuin tapahtui testin keskeyttävä hajoaminen. [7]

4 MALLINNUSTYÖKALUT

4.1 Quest

Quest on tuotannon mallinnusohjelma. Quest tulee sanoista Queuing Event Simulation Tool [8, 1-1]. Ohjelmaa käytetään tehtaiden ja prosessien mallintamiseen. Tavoitteena on saada kustannustehokas suunnitelma, tunnistus ja ymmärrys prosessin ongelmista ja saada helposti arvio prosessiin tulevista muutoksista [9, s. 1]. Tässä työssä on käytetty Questin 3D-mallinnusta. 3D-malli antaa tarkan kuvan tehtaan toiminnasta, ja siitä on helpompi havaita virheitä.

Mallin luominen yksinkertaisimmillaan on vain sourcen, sinkin ja koneiden asettamista malliin ja yhdistämistä toisiinsa. Koneille voi asettaa työaikoja Cycle Process -osiossa, ja prosesseja voi olla yhdellä koneella useita. Kuvassa 5 on suurin osa mallinnuksessa käytettävistä ominaisuuksista. Siellä luodaan tuotettavat osat, koneet, linjastot, lisävarusteet ja välivarastot sekä myös kaikkien elementtien väliset yhteydet. Myös elementtien liikutteluominaisuudet ovat samalla sivulla.



Kuva 5. Quest-ohjelma aukeaa tällaiseen ikkunaan. Suurin osa työstä tehdään tässä näkymässä. Tähän valikkoon päästään valitsemalla Model → Build.

Kun ohjelmassa on laitteet ja materiaalivirta asetettu, voi mallista ajaa simulaation. Simulaatiosta voidaan tutkia esimerkiksi koneiden käyttöasteita, odotusaikoja ja tuotantomääriä. Mallin voi luoda joko työntävästi tai imuohjautuvasti. Imuohjautuvassa simulaatiossa saadaan myös aika, kuinka kauan meni lopullisen tuotteen valmistuksessa. Työntävässä mallissa saadaan lähinnä tieto, miten monta kappaletta valmistui simuloidussa ajassa.

Mallissa voidaan luoda myös työajat ja rikkoontumisia. Työajat voidaan määrittää taukoineen ja vaikka viikon päivälle eri työajat. Myös laitteiston rikkoontumisia voidaan simuloida laittamalla ne tapahtumaan säännöllisin aikaväleihin tai vaikka normaalijakauman mukaan. Myös korjausajat eri koneille voidaan määrittää. Näillä ominaisuuksilla pystyy luomaan suhteellisen tarkan simulaatiomallin tuotannosta. Myös videokuvan tallentaminen simulaatiosta on mahdollista.

Quest-ohjelmassa on itsessään CAD mahdollisuudet, mutta tässä työssä on käytetty helpompaa ja yleisempää SolidWorks-ohjelmaa. CAD-osion avulla tosin tuodaan SolidWorks-tiedostot malliin.

Kaikki Quest-elementtien prosessit ja ominaisuudet ovat ohjelmoitu SCL-kielellä. SCL tulee sanoista Simulation Control Language. Koneille voi luoda uusia SCL-ohjelmia, jos koneen täytyy tehdä jotain erikoista. Esimerkiksi perustyökaluilla ei voida huomioida toisilla koneilla tehtäviä prosesseja, mutta SCL-ohjelmoinnilla se on mahdollista.

4.2 SolidWorks 2013

SolidWorks on monipuolinen 3D-mallinnusohjelma, jolla voidaan mallintaa esimerkiksi normaaleja esineitä, ohutlevykappaleita, monimutkaisia kokoonpanoja ja pintamalleja. SolidWorksin mallinnusydin on Parasolid, joka on yksi yleisimmistä ytimistä. Eri 3D-mallinnusohjelmien eri ytimet eivät ole yhteensopivia keskenään, joten kaikki ohjelmat eivät ymmärrä toistensa tuotoksia.[10]

SolidWorksillä perusmallintaminen perustuu solideihin ja niiden muokkaamiseen. Alussa piirretään jokin 2d-muoto, jonka läpi ”pursotetaan” materiaalia halutun verran. Myös leikkaaminen tapahtuu samaan tyyliin piirtämällä muoto jollekin tasolle ja leikataan sen muotoista koloa jo pursotetusta osasta. Parasolid-ytimellä mallintaminen perustuu työjärjestykseen. Mallissa voi

”kelata” taaksepäin työvaiheita ja muokata aikaisempaa vaihetta, joka voi vaikuttaa myöhempiin vaiheisiin suoraan.

Malleja voidaan simuloida eri olosuhteissa, kuten jonkin paineen alaisuudessa tai lämpötilassa. Myös virtausmallien luominen onnistuu. Simuloinneista SolidWorks osaa luoda oman raporttinsa. Mallinnetuista osista voi helposti luoda tekniset piirustukset oman työkalun avulla, johon voi tuoda omia kuvakulmia osasta ja valmiit mitoitusmitat, joita on käytetty osia luodessa.

SolidWorksin kokoonpanon tiedostot ovat yhteydessä koko ajan niihin osatiedostoihin, joita on kokoonpanossa käytetty. Jos muokkaa yhtä osatiedostoa erikseen, se muuttuu myös kokoonpanossa, ellei tallenna sitä eri paikkaan.

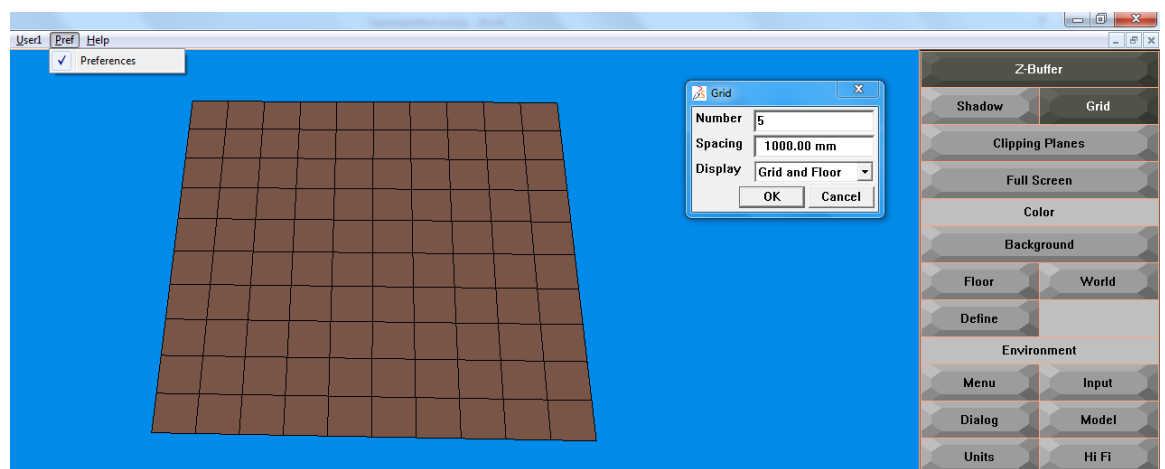
Työhön SolidWorks 3D-mallinnusohjelma on hyvä helppoutensa ansiosta. Myös tallennuskyky VRML-tiedostomuotoon oli tärkeä, koska siinä muodossa Quest osaa käsitellä osia.

5 TYÖN TOTEUTUS

5.1 Quest-ohjelman käyttöönotto

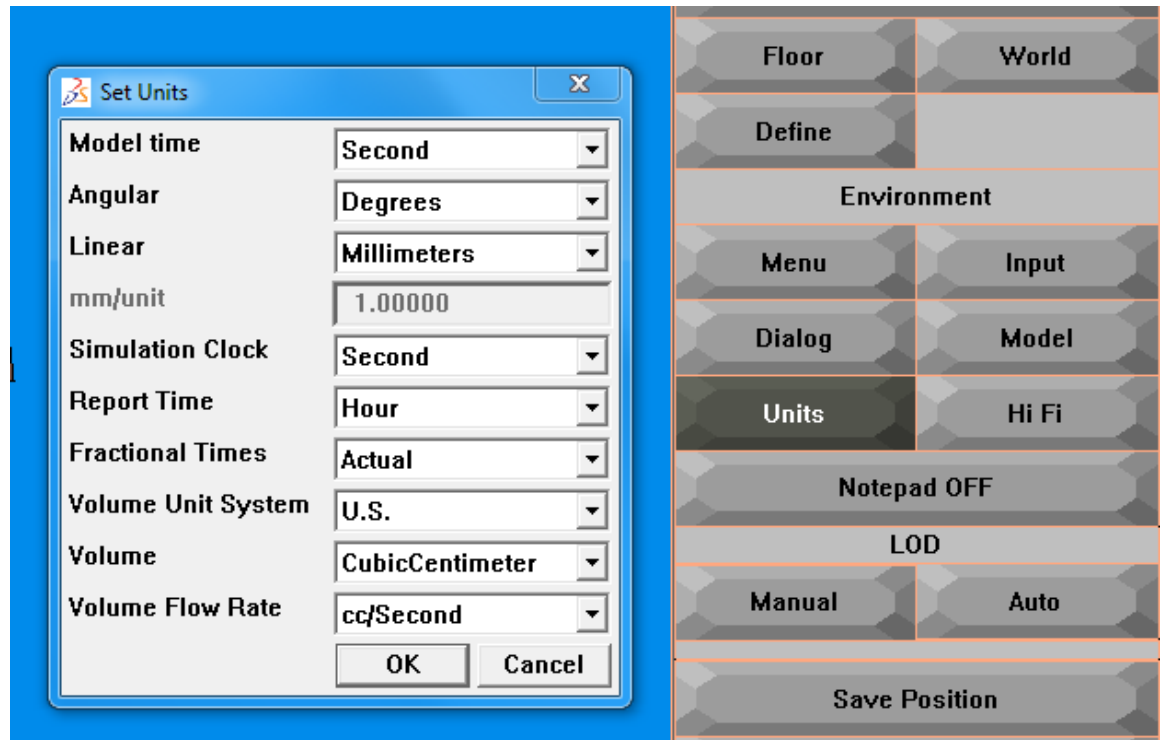
Quest-mallia luodessa kannattaa ensimmäisellä kerralla luoda oma työkansio Make Lib -osiossa. Siellä valitaan, haluaako luoda oletuskansiorakenteen vai muokata oman. Kansiorakenteisiin kuuluu kansiot eri asioille, kuten part-tiedostoille, VRML-tiedostoille, mallitiedostoille jne. Oma työkansio valitaan aina ohjelman käynnistyksen jälkeen Append Config File -kohdasta. Työkansio täytyy luoda jokaiselle työpisteelle erikseen.

Kun työkansio on määritetty, kannattaa mallin perusasetukset säätää kohdilleen. Kuvassa 6 on Pref→Preferences-osio valittu. Siellä voidaan kuvan mukaisesti säätää Grid-osiossa lattian ruudukon parametrit. Siinä määrätään, kuinka monta ruutua yhteen koordinaatiston neljännekseseen tulee. Eli esimerkkinä kuvassa on asetettu määräksi 5 ja ruudun etäisyydeksi 1000 mm. Tämä luo lattiaruudukon 10x10, jossa yhden neliön sivun pituus on 1 metri.



Kuva 6. Quest-mallin pohjaa muokataan Pref → Preferences → Grid-osiossa.

Preferences-osiossa muokataan heti alkuun myös mittayksiköt. Tämä tehdään Units-osiossa (kuva 7). Tässä työssä käytettiin kuvan osoittamia mittayksiköitä. Tilavuusmitoilla (volume) ei tässä työssä ollut merkitystä.



Kuva 7. Mittayksiköt määritetään Pref → Preferences → Units-osiossa.

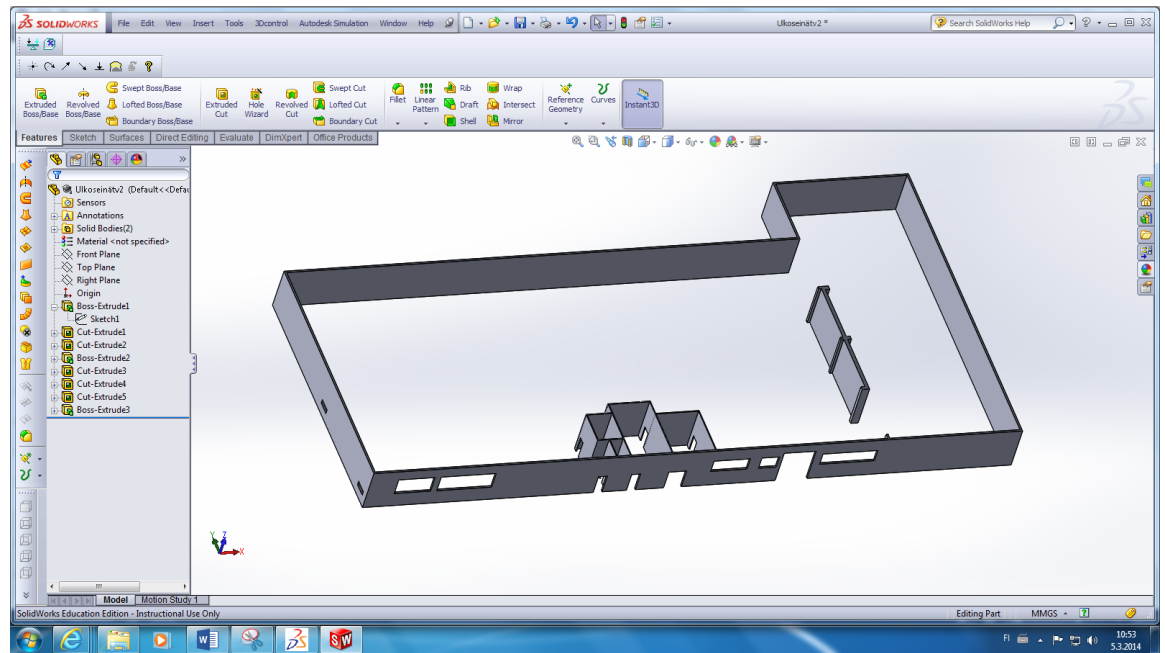
5.2 Elementtien luominen

5.2.1 SolidWorks-mallit

Quest-malliin luotiin ensimmäisenä tehtaan seinät, jotta koneiden ja kuljettimien asettaminen malliin järkevästi on mahdollista. Tehtaan layout-piirustuksesta saa mitat SolidWorks-mallia varten. Layout oli toimitettu AutoCAD-tiedostona, josta sai mitat suoraan ohjelman mittatyökalulla. Seinien tarkoilla mitoilla ei ole mallin simulaation tarkkuuden kannalta suurta merkitystä, mutta se vaikuttaa simulaation visuaaliseen ilmeeseen.

SolidWorks-ohjelman etutasolle piirrettäessä koordinaatisto asettuu järkevästi siirrettäessä Questiin. Etutasolle piirretty seinien muoto pursotetaan sopivalle korkeudelle. Mallissa seinien korkeus on määritetty viiteen metriin. Kuvassa 8 on mallinnettu ulkoseinät, huoneet sekä väliseinät. Merkittävimmät ovet ja ikkunat on mallinnettu myös auttamaan sijoittelussa ja ulkoon vuoksi. Vasemmalla kuvan seinässä olevista aukoista raakamateriaali tulee prosessiin.

Woodpoliksen piirustusten avulla pystyi luomaan koneiden näköiskappaleet SolidWorksilla. Ulkonäön tarkkuuteen ei ole panostettu työssä kovin paljoa, kunhan ulkomitat ovat oikein ja suhteellisen oikean näköisiä. Joistain koneista piirustuksia ei ollut, joten ne täytyi mallintaa valokuvien perusteella. Kuljettimien kohdalla mallinnusta ei tarvita, vaan Questin mukana tulee kuljettimille omat ulkonäöt.

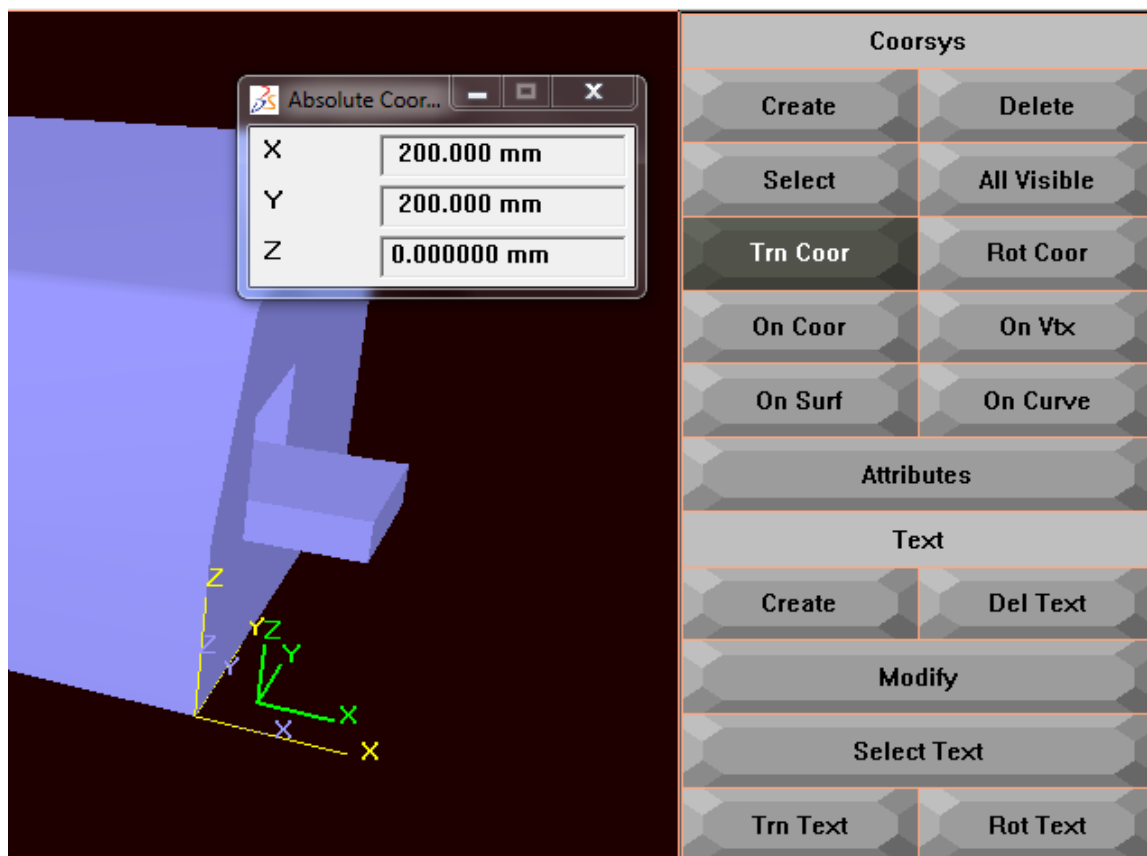


Kuva 8. SolidWorks-ohjelmistolla mallinnettu tehdusrakennus.

5.2.2 SolidWorks-mallin tuominen Quest-malliin.

Kun malli on valmis, se täytyy tallentaa erikseen VRML-tiedostomuotona itse luodun kansiorakenteen VRML-kansioon. VRML-tiedosto avataan Questin CAD → Data → VRML → Input-polusta. Tässä muodossa osaa voidaan muokata Questin omilla työkaluilla. Yleisin muutos on koordinaatiston siirtäminen oikeaan kohtaan viimeistään tässä vaiheessa. Kaikki uuden osatiedoston paikoituspaikat Questiin tuotaessa ovat sen kappaleen origossa eli koordinaatiston keskipisteessä.

Koordinaatiston muutos tehdään polussa CAD → AUX. Koordinaatisto luodaan valitsemalla kuvassa näkyvästä Coorsys-kohdasta Create ja valitaan malli, jolle koordinaatisto halutaan luoda. Tämän jälkeen Trn Coor- ja Rot Coor -valintojen avulla juuri luotua koordinaatistoa voidaan liikutella joko absoluuttisesti (abs) CAD-maailman koordinaatiston mukaan, tai Relatiivisesti (Rel) sen hetkiseen paikkaan nähden. Kuvassa 9 on esimerkki, jossa luotua koordinaatistoa, vihreä, on siirretty absoluuttisesti 200 millimetriä X- ja Y-suuntaan.



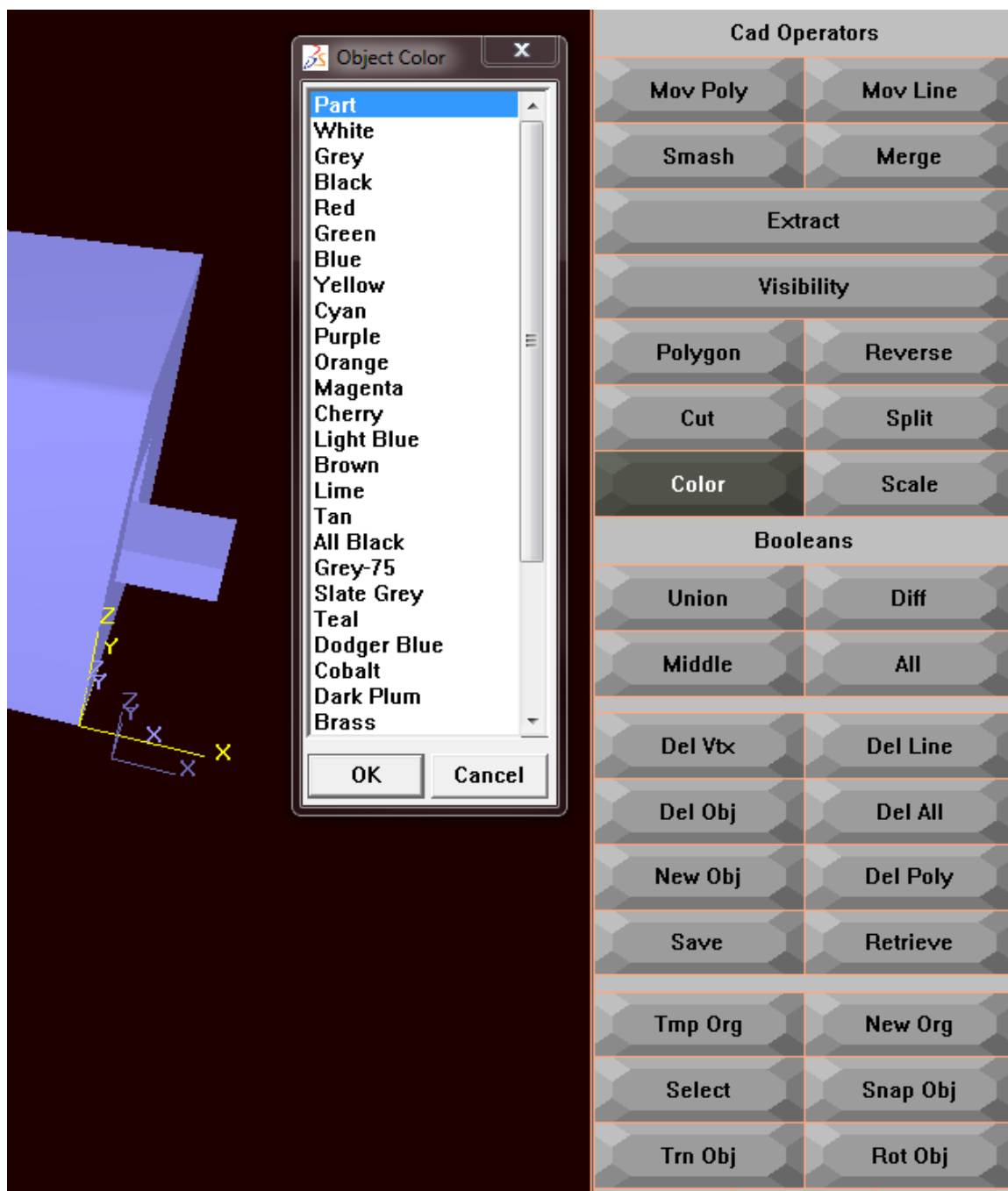
Kuva 9. Höylän koordinaatistoa on siirretty 200 mm X- ja Y-akselin suuntaisesti.

Kun liikuttaa koordinaatistoa relatiivisesti eli suhteellisesti, akselien suunnat menevät vielä alkuperäisen koordinaatiston mukaan. Relatiivisessa siirrossa siirrytään vain yhtä akselia pitkin kerrallaan. Akseli valitaan hiiren napeilla: vasen nappi on X-akseli, rullan nappi on Y-akseli ja hiiren oikea nappi on Z-akseli. Jos kuvan 9 koordinaatistoa liikuttaa relatiivisesti -400 mm Y-akselia pitkin, muuttuu Y-akselin arvo -200 mm kohdalle. Akselia voi myös pyörittää jonkin akselin ympäri. Siinä valitaan vain akseli, jonka ympäri pyöritetään, sekä pyörittävän asteluvun määrä.

Kun koordinaatisto on saatu siirrettyä oikealle kohdalle, se täytyy määrittää kappaleen uudeksi pääkoordinaatistiksi. Se tehdään CAD → Modify-osiossa New Org -komennolla. New Org -

komennon valinnan jälkeen täytyy valita kappale, jolle uusi pääkoordinaatisto määritetään, sekä koordinaatisto, joka muuttuu uudeksi pääkoordinaatistiksi. Kun koordinaatisto on määritetty, täytyy kappale kääntää CAD-maailman koordinaatiston kanssa samansuuntaiseksi. Tämä saadaan aikaan Trn Obj- ja Rot Obj -komentojen avulla asettamalla kaikki arvot nolllaksi.

Kappaleesta riippuen mallin väriä täytyy muuttaa tarvittaessa. Usein Questilla mallinnetussa tuotannossa kappaleet vaihtavat väriä kulkiessaan prosessista toiseen, jos itse kappaleen ulkonäkö ei muuten muutu. Väri vaihdetaan CAD → Modify-tilassa, joka näkyy kuvassa 10. Kuvassa näkyy tilanne, jossa Color-painike ja kappale, jonka väri halutaan vaihtaa, on valittu. Valittaessa Part -värivaihtoehto kappale vaihtaa väriä Quest-mallin määrityksien mukaan.

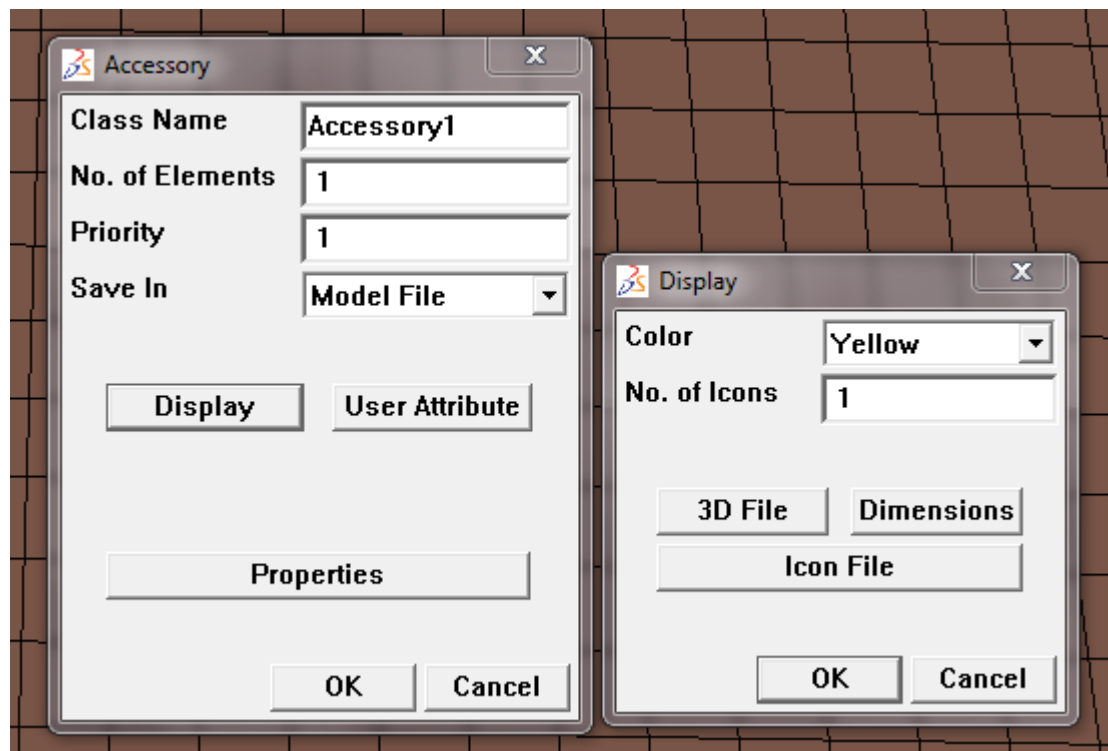


Kuva 10. Kappaleen väriä vaihdetaan CAD → Modify → Color-ominaisuuden avulla. Part-vaihtoehto vaihtaa kappaleen väriä Quest-mallista riippuen.

Kun tarvittavat muutokset on tehty, tallennetaan osa CAD→Modify→Save-napilla. Tallennus tehdään Questin omaksi Part-tiedostoksi, ja se tallentuu omaan luotuun työkansiorakenteesseen Part-kansioon.

5.2.3 Esimerkki: Seinien tuominen Questiin

Kun mallin pohjatiedot ja seinät ovat valmiina, on aika tuoda seinä mallin sisälle. Koska seinät eivät ole mikään kone tai kuljetin, ei se vaadi mitään prosesseja. Tällaiset kappaleet voi tuoda mallin sisälle accessorynä eli lisävarusteena. Seinät tuodaan malliin kohdasta Model→Build→Element Class→Accessory. Accessoryn ulkonäköä muokataan aukeavan laatikon display -kohdasta (kuva 11). Oman luodun ulkonäön voi tuoda 3D file -kohdasta. Kappaleen väriä voi vaihtaa display-kohdasta vain, jos kappaletta luodessa oli väriksi määrittänyt Part.



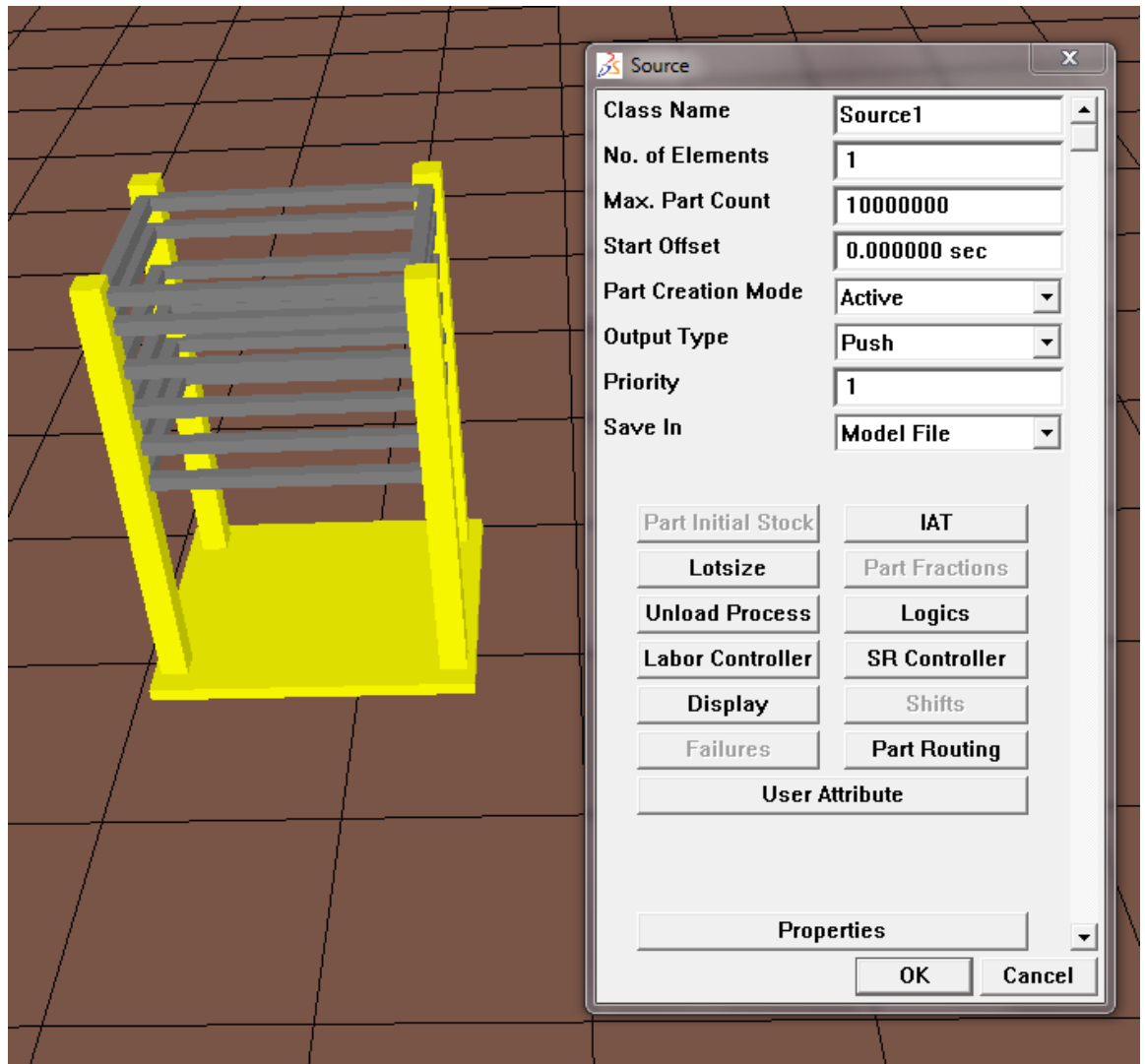
Kuva 11. Malliin voi tuoda lisävarusteita, jotka toimivat lähinnä visuaalisena apuna. 3D File -kohdasta pääsee hakemaan kappaleelle sopivan ulkonäön.

Kun accessoryn tiedot ovat oikein, tässä tapauksessa seinien, hyväksytään kaikki OK:lla ja asetetaan kappale hiiren vasemman napin napsautuksella malliin sisälle. Tarvittaessa kaikkea luotua voi siirtää Model→Build→Element-osiossa Sel-, Trn- ja Rot-komentojen avulla. Sel-komennolla valitaan liikuteltava elementti, Trn ja Rot liikuttavat elementtiä samalla tavalla kuin koordinaatistoa koordinaatiston luomisvaiheessa.

5.2.4 Source ja Sink

Source luo joko ennalta määrättyä materiaalia, tai imuohjautuvassa tuotannossa se luo tilattua materiaalia. Sink taas toimii esimerkiksi lähetysalueena, jonne valmiit kappaleet menevät, tai imuohjautuvassa tuotannossa sink tilaa valmiita kappaleita määrätyin väliajoin. Kuvassa 12 on source ja sen tietoikkuna. Tärkeimpiä tähän työhön vaikuttavia arvoja ovat:

- Nimi (Class Name)
- Osien luontityyli (Part Creation Mode)
 - Active luo tavaroita aktiivisesti ja passive luo tavaroita vain tilauksesta.
- Output tyyppi (Output type)
 - Push tai Pull
- Osien luomisaika (IAT) IAT aktivoituu silloin kun tuotanto on työntävää.
- Luontimäärä (Lotsize)
- Luotavien osien jakautuma (Part Fractions)
- Logiikat (Logics)
 - Reittilogiikat (Route Logic)



Kuva 12. Source ja sen tietoikkuna oletusarvoilla.

Kun valinnat on tehty, hyväksytään ikkunat OK-napilla ja napsautetaan hiiren vasemmalla napilla Source haluttuun kohtaan grafiikassa. Tässä työssä käytetään kahta sourcea. Toinen luo 4 m lautapaketteja työntävästi ja toinen luo 3 m lautapaketteja imuohjautuvasti. Tämä on tehty sen vuoksi, ettei epärealistisia materiaalikasoja tulisi koneille. Esimerkiksi tässä työssä 4 m lautapaketin saapuessa purkupaikalle purkupaikan kone suorittaa työnsä heti. Tästä johtuen koneelle ilmestyy monta riviä lautoja. Mutta jos yhden prosessin lautamäärä ei riitä täyttämään tilausta, se hankkii heti toisen paketin itsellensä ja purkaa senkin. Siitä seuraa epärealistisen suuri materiaalikasa yhdelle koneelle, varsinkin jos seuraava kone ei ehdi käsitellä niin montaa tavaraa. Tästä johtuen 4 m lautapakettijonon alussa työntävä, ja myös reitityksen yksinkertaistamisen vuoksi kaksi sourcea on parempi.

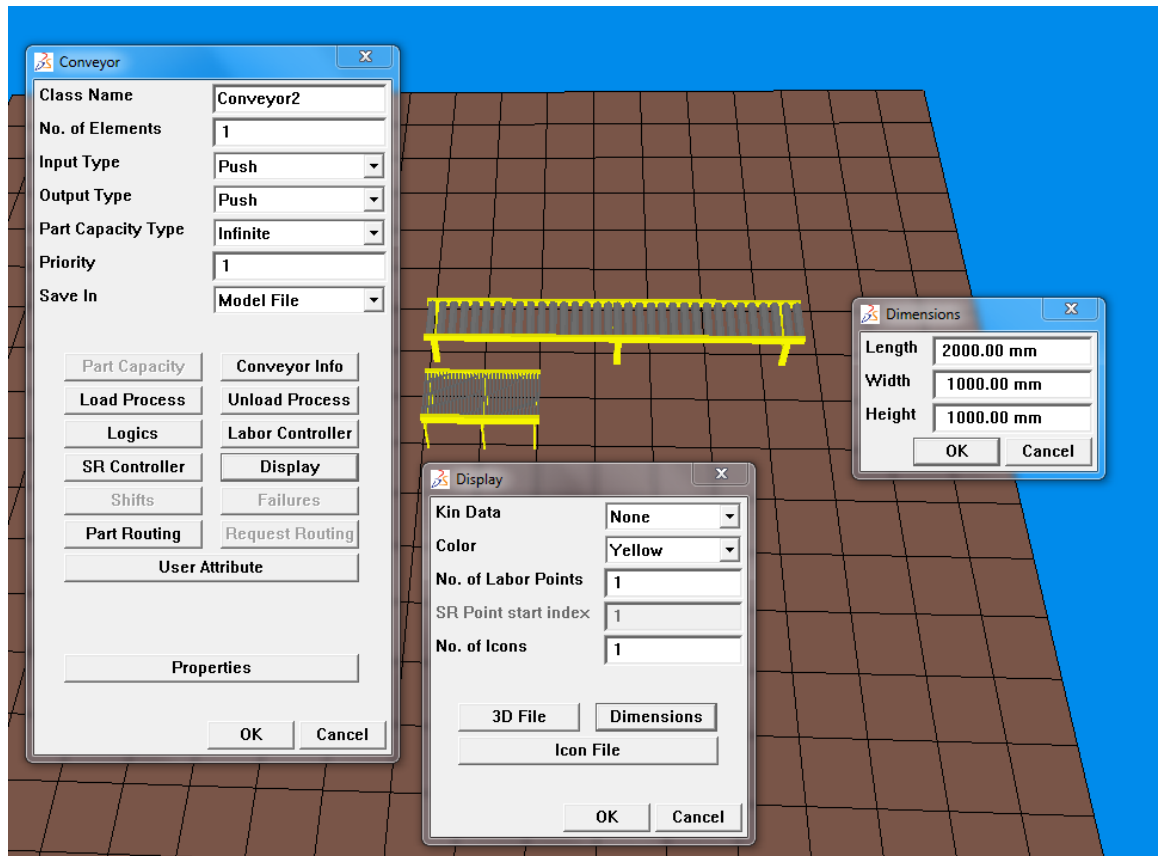
Tuotantolinjalla syntyy vain yhtä tuotetta ja on vain yksi lähetyspaikka. Tämän vuoksi tuotannolle riittäisi yksi sink. Mallissa kuitenkin syntyy tuotannon järjestyksen avustuksessa myös apuosia, jotka ohjataan ylimääräiseen sinkiin. Simulaation yksinkertaistamisen ja edellä mainitun materiaalin kasaantumisen vuoksi tuotantolinja toimii työntävästi höylälle menevien kappaleiden välivarastojen jälkeen. Tästä johtuen oletusarvoilla oleva sink toimii hyvin. Imuohjatussa tuotannossa sinkille määritetään IRT eli aika, jonka välein sink tilaa kappaleen. Request Lotsize määrittää, kuinka monta kappaletta tilataan kerralla, ja Request Part Fractions määrittää, missä suhteessa kappaleita tilataan.

5.2.5 Osat eli partit

Quest-mallia tehdessä alkuvaiheessa luodaan Part Classit eli materiaaliluokat. Ne luodaan Model → Build → Part Class → Create/Modify-napilla. Tärkeimmät asiat määrittää osia luodessa on niiden ulkonäkö, väri, eri ulkonäköjen määrä ja tarvitseeko kappale työntekijää liikutukseen. Ulkonäköä muutetaan Display -osiossa. Jos määrittää useita eri ulkonäköjä, täytyy Display index -kohdassa jokaisen eri mallin kohdalla käydä asettamassa omat ulkonäöt. Ulkonäköä voi muuttaa joko hakemalla 3d File- tai Attributes -kohdasta esimerkiksi väriä vaihtamalla.

5.2.6 Kuljettimet

Quest-mallissa on käytetty kuljettimen ulkonäkönä Questin mukana tulevaa roll.long-ulkonäköä. Ulkonäköä voi muokata asettamalla kuvan 13 mukaisesti. Kuvassa lyhempää kuljetinta on muokattu 2 m pituiseksi, 1 m levyiseksi ja 1 m korkuiseksi. Kuljetin luodaan Model → Build → Element Class → Conveyer-kohdassa, josta aukeaa kuvassa näkyvä conveyer-ikkuna.



Kuva 13. Esimerkki rullakuljettimia roll.long-grafiikalla. Lyhemmän kuljettimen mittoja on muokattu kuvan osoittamalla tavalla.

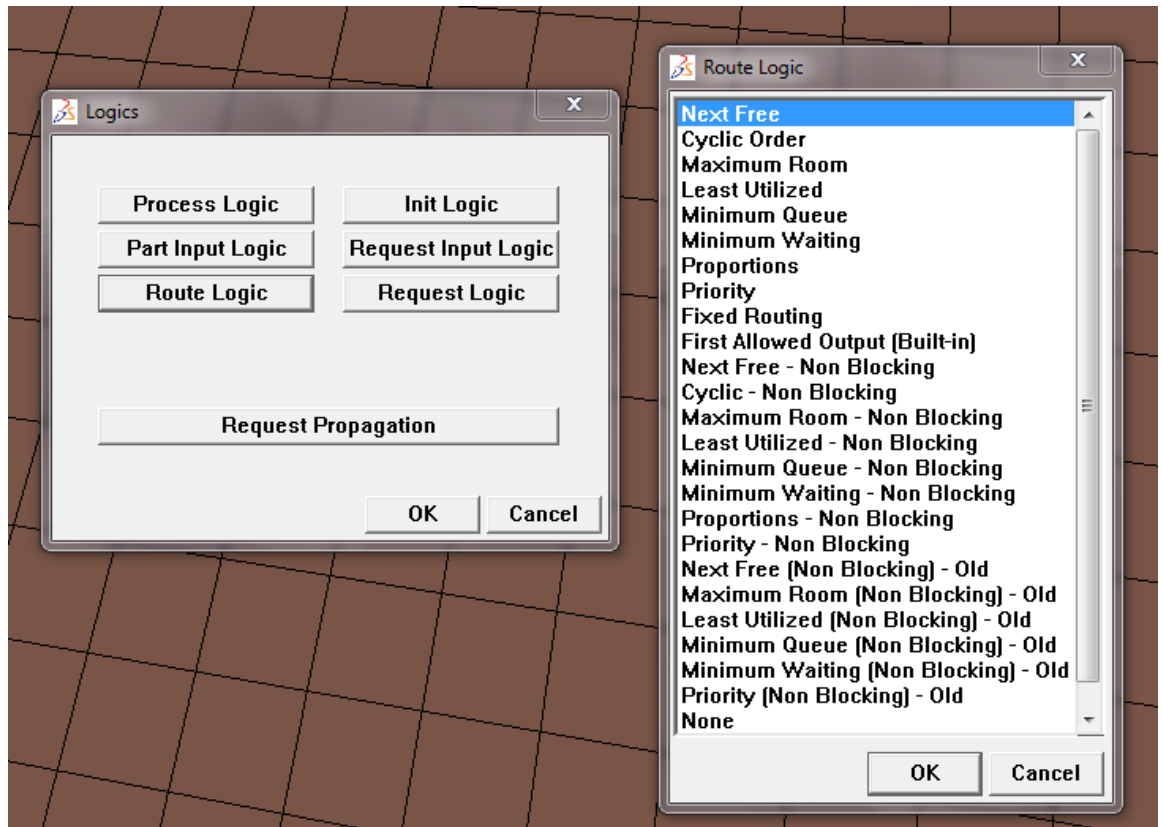
Tärkeimpiä kuljettimelle asetettavia arvoja ovat:

- Nimi (Class Name)
- Elementtien määrä (No. of elements)
- Input- ja output-tyyppi (Input type ja Output type)
- Lastaus- ja purkuprosessi (Load process ja Unload process)
- Logiikka (Logic)
 - Osien vastaanottologiikka (Part Input logic)
 - Reittilogiikka (Route logic)
 - Tilausten eteneminen (Request Propagation)

- Kuljettimen perustiedot (Conveyor info)
 - Kuljettimen tyyppi (Conveyor type), eli onko kuljetin keräävä vai ei
 - Kuljettimen nopeus (Speed)
- Osien reititys (Part Routing)
- Tilausten reititys (Request Routing)

Input- ja output-tyyppi määrittää, toimiiko kuljetin imuohjautuvasti (Pull) vai työntävästi (Push). Lastaus- ja purkuprosesseihin voidaan yksinkertaisimmillaan määrittää vain aika, mikä menee tavaran asettamiseen kuljettimelle tai poistamiseen kuljettimelta.

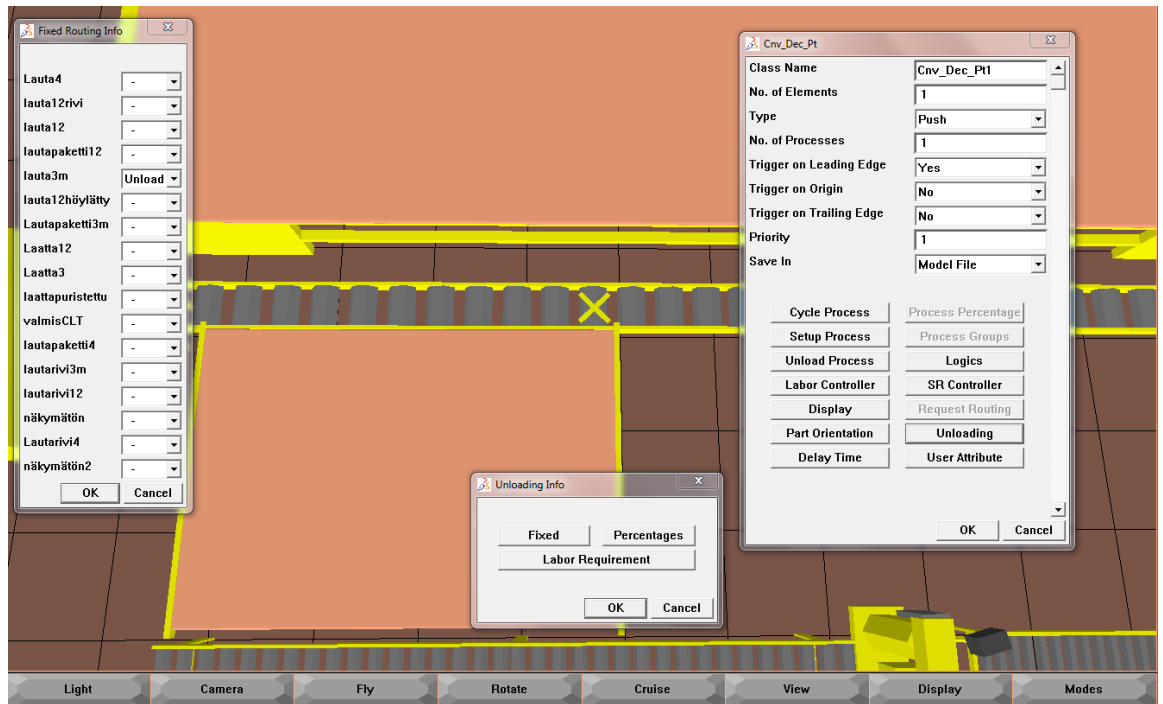
Logiikoissa on osien vastaanottologiikoita, joilla voi määrittää eri tapoja, joilla tavara tulee linjastolle tai koneelle. Yleisimpiä on First Free ja Cyclic. First Freeessä ensimmäinen, joka voi liikkua, liikkuu, ja Cyclic vastaanottaa materiaalia aina järjestyksessä eri yhteyksistä. Reittilogiikka, siis materiaalivirta koneelta eteenpäin, vaihtelee riippuen siitä, onko laite imuohjattu vai ei. Imuohjatussa on vain oletusreittivaihtoehto, mutta työntöohjatussa voi määrittää monella eri tavalla, kuva 14. Yleisimmin käytettyjä reittivaihtoehtoja ovat Cyclic order, Fixed Routing ja Proportions. Cyclic order laittaa materiaalia eteenpäin jokaiseen ulospäin menevään yhteyteensä. Fixed Routing vaatii Part routing→Restriction-kohdassa rajoitukset eri yhteyksille ja materiaaleille. Proportions taas vaatii, että Part routing→Proportions-kohtaan määritetään prosentuaaliset osuudet kappalejaolle.



Kuva 14. Työntöohjatussa tuotannossa koneelta eteenpäin menevä reittilogiikka antaa monia vaihtoehtoja.

Mallissa on kerääviä (accumulating), ei kerääviä (non-accumulating), rulla- ja hihnakuiljettimii. Tehtaaseen tulee ketjukuljettimii, mutta ne ovat mallissa rulla- tai hihnakuiljettimen näköisiä. Kuljettimet on mitoitettu layout -piirustusten mukaan, mutta sijoittelu on silmämääräistä. Koska tavara ”hyppää” elementiltä toiselle, ei sijainnilla ole niin suurta merkitystä. Kuljettimien pituus ja nopeus, elementtien load- ja unload-prosessit kuvaavat materiaalin lastaamiseen ja purkamiseen kuluvaä aikaa. Vaikka kaikki kuljettimet asetettaisiin päällekkäin, aika pysyisi samana. Ainut tarkka kohta, jossa sijainnilla on merkitystä, on siirtopöydän ja puristimen alue, jossa kappaletta liikuttaa vihivaunu.

Kuljettimelle voi asettaa myös päätöspisteitä, Dec pointeja. Päätöspiste kuljettimelle luodaan kohdassa Model→Layout→Dec Point→Conv. Kuvassa 15 on höyläältä lähtevällä kuljettimella oleva päätöspiste. Kuvan päätöspisteeseen on asetettu käsky purkaa lauta3m -niminen kappale. Purkaminen tapahtuu päätöspisteeseen liitetyn yhteyden kautta. Kaikki muut kappaleet jatkavat matkaa ohi.



Kuva 15. Keltainen X kuljettimella on päätöspiste, jossa tehdään päätös riippuen pisteen asetuksista.

Trigger on Leading Edge, Trigger on Origin ja Trigger on Trailing edge määrittävät missä vaiheessa osan grafiikkaa piste aktivoituu. Leading edge tarkoittaa, että kun ensimmäinen osan kohta saapuu pisteelle, piste aktivoituu. Origin-vaihtoehto taas aiheuttaa pisteen aktivoitumisen silloin, kun osan origo kulkee pisteen kautta. Kappaleen origo kulkee aina kuljetinta pitkin. Trailing edge aktivoituu siinä vaiheessa, kun kappale on mennyt pisteestä jo ohi.

Tässä työssä luodut kuljettimet ovat:

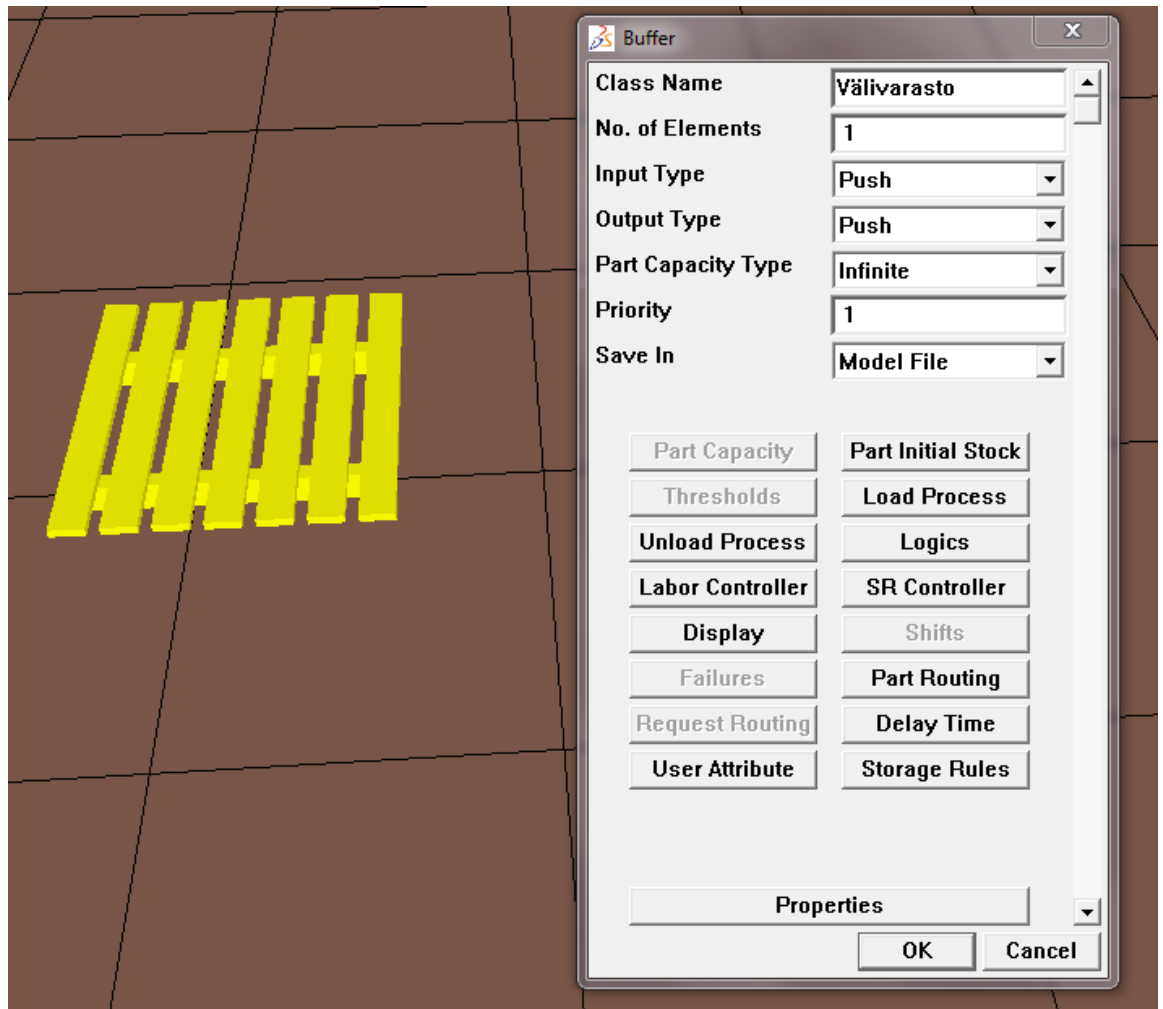
- 4 m pakettien varastolta tuova kuljetin
- Optimointisahalta sormijatkos koneelle, kaksi kuljetinta
- Kuljetin sormijatkoskoneelta pois
- Kuljettimet 3 m varastolta höylälle, kolme kuljetinta
- Höylän jälkeinen kuljetin
- Höylän jälkeen 3 m tavaran tasaukselle menevät kaksi kuljetinta.
- 3 m tavaran tasauksen jälkeiset kaksi kuljetinta

- Yhden kerroksen materiaalin keräämisen jälkeen olevat kuljettimet apuvarastolle, kaksi kappaletta
- Siirtopöydältä CNC-koneelle kuljetin.

5.2.7 Bufferit eli välivarastot

Tuotannossa koneet eivät aina pyöri tasan samaan tahtiin. Koneelle voi tulla odotusaikoja, kun kappaletta ei voi siirtää eteenpäin tai kappaletta ei tule edellisiltä koneilta. Odotusaikojen pienentämiseen tällaisissa tapauksissa auttavat välivarastot. Questissa bufferi luodaan Model→Build→Element Class→Buffer-kohdassa, kuva 16. Kuten muissakin elementeissä, buffereissa täytyy määrittää onko sen sisään ja ulostuleva tavara imuohjautuvaa vai työntävää. Bufferille voidaan määrittää, kuinka paljon kappaleita sille mahtuu. Jos kyseessä on vielä imuohjautuva tuotanto, sille voidaan määrittää raja-arvot, jolloin se tilaa lisää tavaraa varastoon. Part Capacity määrittää tavaroiden määrän ja Thresholds määrittää ylä- ja alarajan tilauksille. Muuten logiikat ja reititykset toimivat samalla tavalla kuin muutkin laitteet.

Työssä buffereita on sormijatketun tavaran kasaamisen jälkeen, ennen höylälle siirtävää alipainostinta, ja kaksi bufferia, jotka ovat apuna rytmittämässä tuotantoa näkymättömien osien avulla.



Kuva 16. Välivarastot auttavat tuotannon tasapainotuksessa.

Tässä työssä luodut välivarastot ovat:

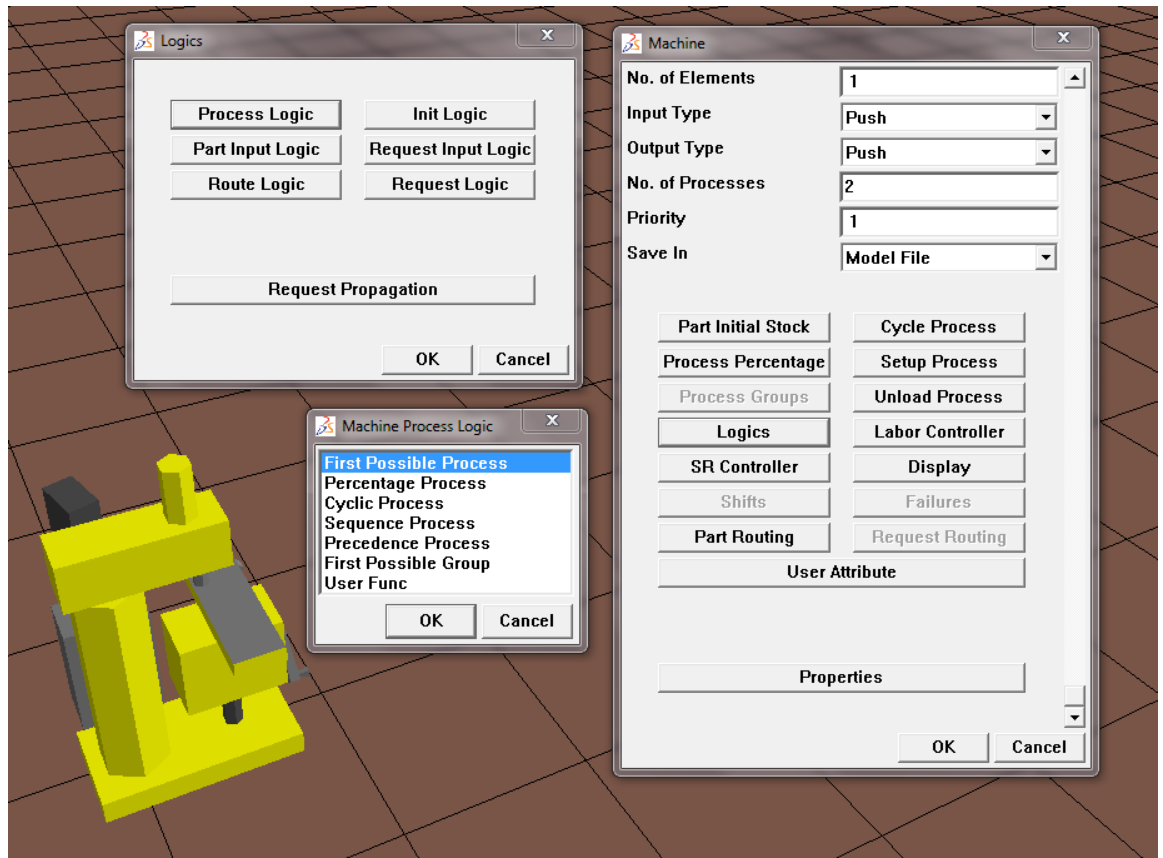
- CNC-koneen välivarasto.
- Sormijatketun tavaran välivarasto.
- Optimointisahalle menevän tavaran välivarasto.
- Sormijatketuista laudoista koostuvien kerrosten apuvarasto.
- 3 m kappaleista koostuvien kerrosten apuvarasto.
- Höylän syöttöpöydälle vievän alipainenostimen välivarastot, sormijatketut ja 3 m.

5.2.8 Koneet

Koneet tekevät raaka-aineesta lopullisia tuotteita. Koneita luodaan Model→Build→Element Class→Machine-kohdassa. Koneiden perustarkoitus on muokata jokin osa joksikin toiseksi osaksi. Koneiden ulkonäköä voidaan muokata samalla tavoin, kuten kaikkia muitakin elementtejä.

Tosin kuin muut elementit, koneilla on enemmän prosessimahdollisuuksia. Koneilla on kolme eri perusprosessityyppiä: Cycle Process, Setup Process sekä Unload Process. Unload Process on ”tuotteiden poistaminen koneelta”-prosessi. Cycle Process on työprosessi, jonka kone suorittaa saatuaan sopivat materiaalit. Yhdellä koneella voi olla useita työprosesseja, jotka vaativat eri materiaaleja ja tuottavat eri tuotteita. Setup Process taas on asetus aika, joka sisältää mahdolliset terän vaihdot sekä paletilta purkamiset.

Kuvassa 17 on esimerkki koneesta, jolla on kaksi eri työprosessia. Kuvassa on myös Process Logic -osio, jossa koneelle määritetään logiikka eli säännöt miten se suorittaa prosessit. Yleisimpiä prosessilogiikoita on kolme ylimmäistä, First Possible Process, Percentage Process sekä Cyclic Process. Ensimmäinen suorittaa minkä tahansa prosessin heti kuin mahdollista. Percentage Process taas vaatii prosentuaalisen määrityksen prosesseille, ja Cyclic Process tekee prosesseja järjestyksessä.



Kuva 17. Koneella on kaksi työprosessia, jotka se suorittaa, kun saa sopivan materiaalin.

Koneita mallissa on useita. Suunnitelman mukaan työstöä tekeviä koneita ovat optimointisaha, sormijatkoskone, höylä, katkaisusaha 3 m tavarán tasoitukseen, siirtopöytä, puristin sekä CNC-kone. Suurin osa koneista on mallinnettu Solidworksin avulla, mutta kaikesta ei ollut piirustuksia. Sellaiset laitteet korvattiin Questin omalla sopivalla grafiikalla.

Koneiksi luotiin myös varastot ja laitteet, minne tavara meni pakettina ja lähti osina eteenpäin. Esimerkkinä tästä on 4 m paketin purkajalaite. Periaatteessa siinä on vain kuljetin, josta alipainostaja nostaa aina yhden rivin puuta kerrallaan seuraavalle koneelle, mutta mallin kannalta oli helpompaa käsitellä se yhtenä ainoana koneena.

Tässä työssä luodut koneet ovat:

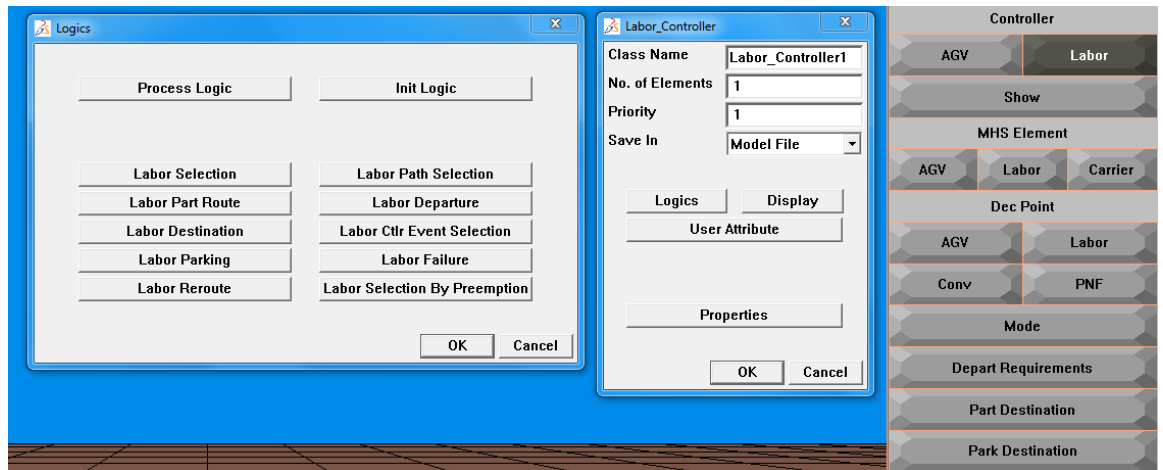
- 12 m laudoista koostuvan kerroksen kasaaja
- 3 m lautojen tasaajasaha
- 4 m paketin purkajalta tulevan kerroksen purkaja

- 4 m paketin purkaja
- Alipainenostaja höylän syöttöpöydälle
- CNC-kone
- Höylä
- Höylän syöttöpöytä
- 3 m laudoista koostuvan kerroksen kasaaja
- Optimointisaha
- Puristin
- Siirtopöytä
- Sormijatketusta materiaalista paketin luova kone.
- Sormijatkoskone

5.2.9 Työntekijät

Työntekijät, labor, voivat olla esimerkiksi henkilöitä, vihivaunuja ja trukkeja. Työntekijät vaativat itselleen ”johtajan”, labor controllerin. Johtajalla on alaisinaan työntekijöitä, joiden toimintoja se johtaa logiikoiden avulla.

Työntekijän mallintaminen tuotantoon alkaa työntekijän ”johtajan” mallintamisella. Johtaja luodaan polussa Model→MHS→Controller→Labor. Controlleriin määrätään johtajan alaisuuteen tulevien työntekijöiden käyttäytymiset Logics-osiossa, joka näkyy kuvassa 18.

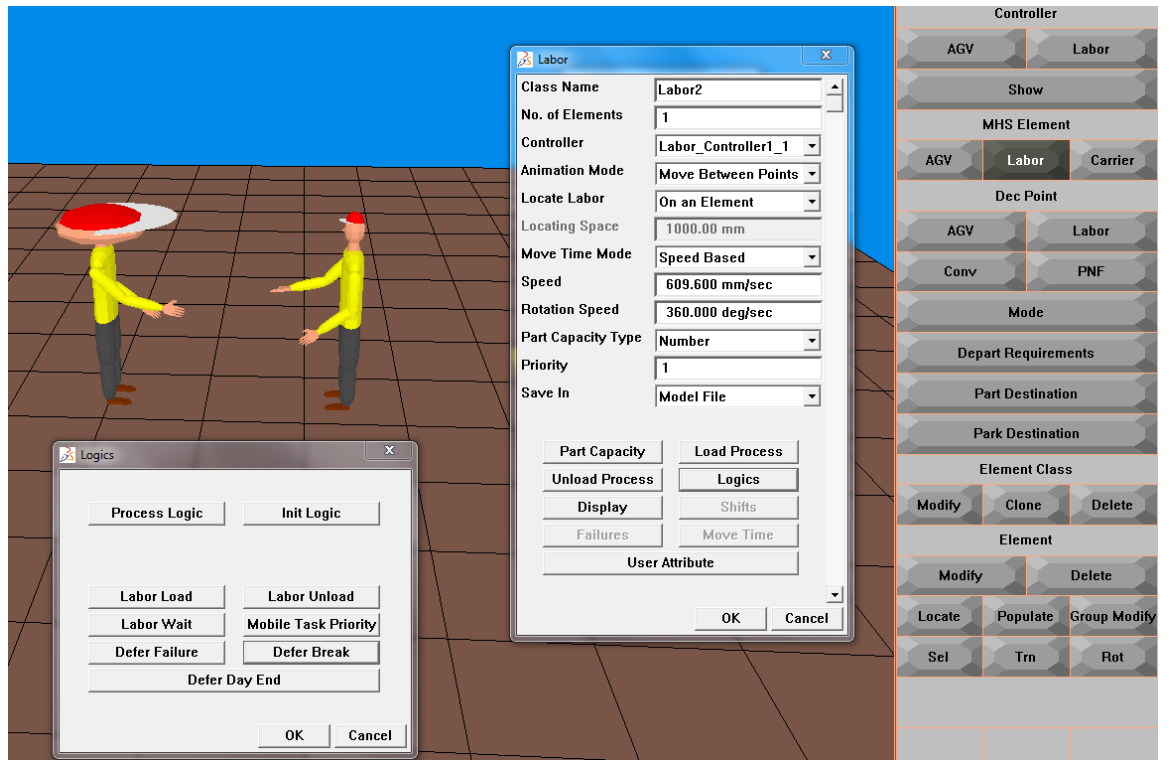


Kuva 18. Labor Controller1 -luominen käynnissä. Logiikoilla määritetään johtajan alaisuudessa olevien työntekijöiden käyttäytymistä

Tärkeimpiä logiikoita:

- Labor Selection: Työntekijän valinta. Kun jokin kone vaatii työntekijää, johtaja määrää kyseisen logiikan perusteella, kuka menee. Vaihtoehtoja esimerkiksi lähimmäinen, lähin työtä tekemätön ja ensimmäinen vapaa työntekijä.
- Labor Parking: Tässä voidaan määrittää, mihin työntekijä menee, kun työtehtävät loppuvat. Esimerkkejä: Sen hetkinen sijainti, syklinen sijainti, määrätty sijainti ja prosentuaalinen sijainti.
- Labor Path: Työntekijän reittiä voidaan määrittää Labor Path -kohdasta. Tämä kuitenkin vaatii SCL-ohjelmointitaitoja, koska ainut muu reittivaihtoehto on lyhin mahdollinen reitti.

Kun työnjohtajan tiedot ovat valmiit, asetetaan se johonkin grafiikkaa napsauttamalla. Työnjohtajan sijainnilla ei ole merkitystä. Tämän jälkeen voidaan luoda itse työntekijä. Se luodaan kohdasta Model→Build→MHS→MHS Element→Labor, tästä esimerkki kuvassa 19.



Kuva 19. Työntekijän luonti- ja logiikkaikkunat. Kuvassa isopäisempi on Controller ja pienipäisempi on Labor. Työmiehet ovat Questin oletusgrafiikkaa.

Työntekijöitä luodessa tärkeitä muuttujia on:

- Class Name: Nimi
- No. of Elements: Kuinka monta samanlaista työntekijää luodaan.
- Controller: Kenen johtajan alaisuuteen työntekijä kuuluu.
- Animation mode: Liikkuuko työntekijä koneelta toiselle liikkuen vai hypäten.
- Locate Labor: Asetetaanko työntekijä elementille, työntekijä pisteelle koneella vai työntekijää varten luodulle radalle.
- Speed: Nopeus. Tässä tapauksessa nopeus on annettu muodossa kuinka monta millimetriä sekunnissa.
- Rotation Speed: kääntymisnopeus. Kuinka monta astetta sekunnissa työntekijä kääntyy.

- Part Capacity type: Osien kantamisen määrittely. Eli kantaako työntekijä kuinka monta kappaletta (number), loputtomasti (infinite) vai taulukkoon asetettavat eri mahdollisuudet (table). Viimeistä käytetään esimerkiksi silloin, jos tuotannossa on pieniä ja suuria kappaleita. Työntekijä voi kantaa useita pieniä kappaleita, mutta vain yhden ison.[10, s. 270.]
- Part Capacity: Jos number on valittu Part Capacity Type -kohdassa, tähän määritetään kappalemäärä. Eli mikä tahansa kappalesekoitus käy. Jos tyyppi on Table, määritetään tässä kohdassa yhdistelmät, miten paljon työntekijä voi kantaa.
- Defer Break: Logiikkaosiossa Defer Break viivästyttää halutulla tavalla taukoja. Eli esimerkiksi voidaan määrittää työntekijä tekemään työnsä loppuun, ennen kuin lähtee tauolle. Myös mahdollisuus aloittaa heti tauko on olemassa, No Defer.
- Display: 3d-File -osiosta voidaan etsiä Questin mukana tulleet vaihtoehtoiset ulkonäöt. Jos työntekijällä mallinnetaan trukkia, ei välttämättä ihmismalli ole järkevän näköinen. Vaihtamalla väriä Attributes-kohdasta voidaan vaihtaa työntekijän paidan väriä. Tällä tavoin eri työntekijätyypit voidaan erottaa toisistaan.

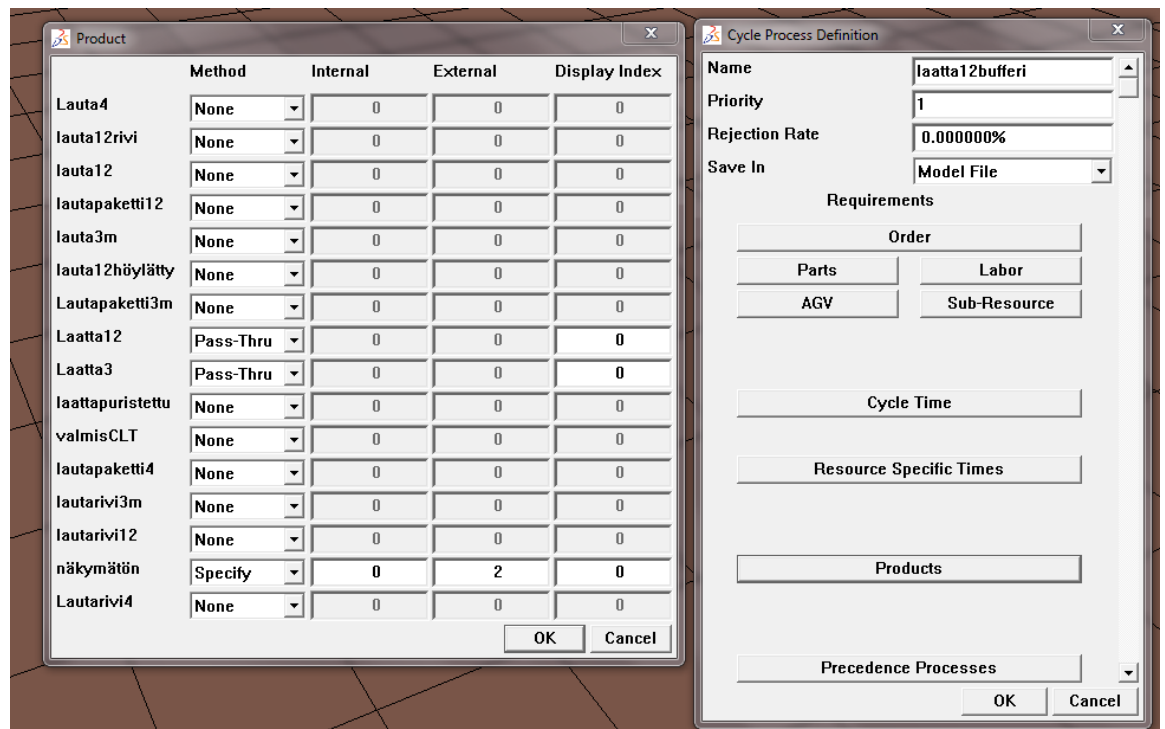
Kun työntekijän tiedot ovat oikein, hyväksytään ikkunat ja napsautetaan hiirellä työntekijät grafiikkaan Locate Labor -kohdassa määritetylle paikalle. Työntekijöiden paikka voidaan vaihtaa painamalla Element→Locate-nappia, valitsemalla työntekijän ja valitsemalla uuden kohteen.

Työntekijöille voidaan määrätä kuljettavat reitit Model→layout-kohdasta. Siellä täytyy ensin luoda polun tiedot Create System→Labor-kohdasta. Tärkeimpiä muokattavia tietoja polulle: onko se yksisuuntainen vai kaksisuuntainen ja maksiminopeus. Sen jälkeen polku voidaan luoda Layout -kohdan alla olevilla napeilla. Line tekee viivan, arc tekee kaaren ja L<→A tekee molempia vuoron perään. Reitille voidaan määrittää työntekijälle omat päätöspisteet eri prosesseja varten.

5.3 Cycle-, Unload-, Load- ja Setup-prosessit

Prosesseja voi muokata suoraan elementeistä, joihin ne ovat kytköksissä, tai Model→Process-kohdasta. Load- ja Unload-prosessit ovat yksinkertaisimpia. Niissä tarvitsee määrittää vain tarvittavien osien määrä sekä aika, joka kuluu prosessin suorittamiseen. Tarvittaessa myös työntekijän voi asettaa prosessin vaatimukseksi.

Cycle Process on hieman monimutkaisempi, kun siihen määritetään tarvittavat osat, työntekijät, aika sekä valmiit tuotteet. Kuvassa 20 on yhden koneen tuotteiden määritykset. Pass Through antaa kappaleen mennä sellaisenaan läpi. Specify luo tuotteita halutun verran halutulla ulkonäöllä joko menemään ulos koneelta tai sisäiseksi tuotteeksi. None ei päästä läpi, eikä luo yhtään kyseistä osaa.



Kuva 20. Laatta 12 ja laatta 3 pääsevät sellaisenaan koneelta läpi, mutta prosessi samalla luo kaksi näkymätön -kappaletta.

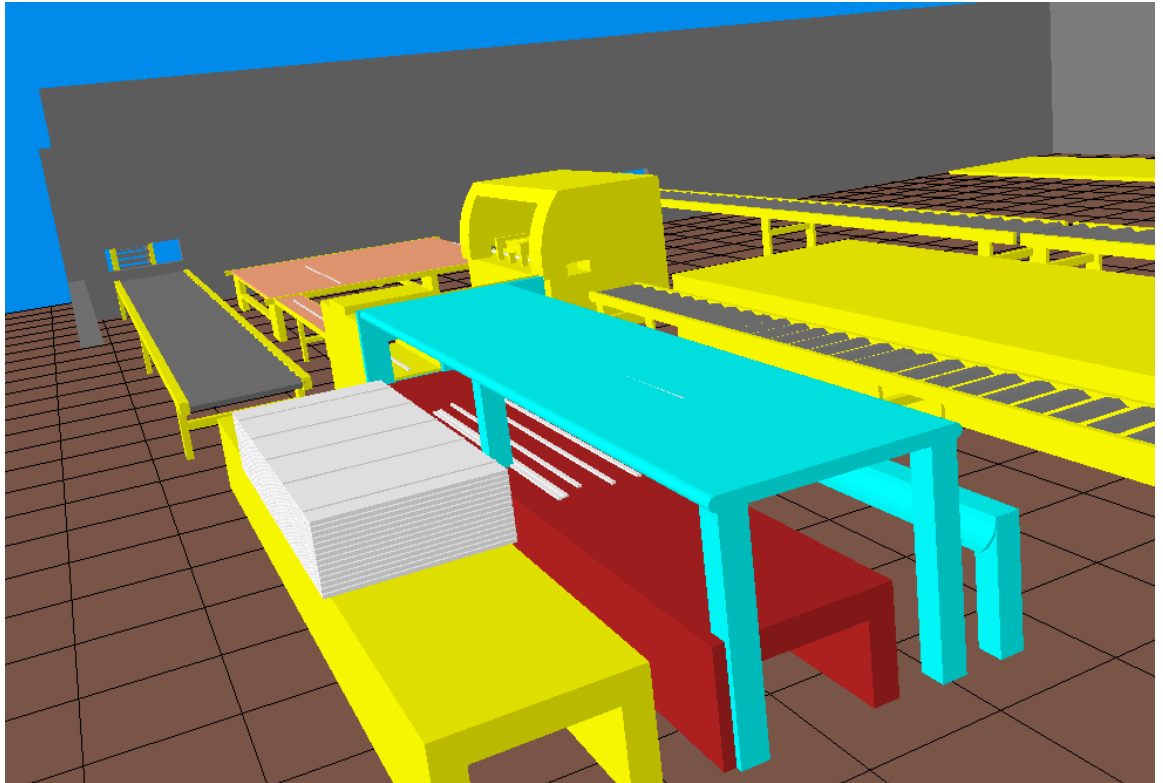
Setup Process on monimutkaisin. Ei siksi, että sen luominen olisi vaikeampaa, vaan koska jos koneella on useita prosesseja Setup Processin voi joutua määrittämään jokaiselle siirtymiselle prosessista toiseen. Eli jos koneella on 2 Cycle-prosessia, voi joutua tekemään 4 Setup Process-määrittystä, pahimmassa tapauksessa neljä eri prosessia. Määrittäykset tulisivat siis väleille P1→P2, P1→P1, P2→P2 ja P2→P1. Kuten Cycle-prosessissa, setup-prosessissa voi joutua

määrittämään prosessissa syntyvät tuotteet. Tämä kuvastaa lähinnä sitä, jos paletti saapuu koneelle, ja se täytyy purkaa eri osiksi työvaiheita varten. Kaikkien näiden prosessien aika voidaan määrittää monella tavalla. Yleisimmät ovat constant eli pysyvä ja normal eli normaalijakauman mukaan menevä aika. Normaalijakaumassa pitää määrittää keskiarvo ja keskihajonta ajalle.

5.4 Koneiden järjestys mallissa

Tehtaan mallinnusta tehtiin materiaalivirran mukaisessa järjestyksessä. Ensimmäisenä oikeasti tuotantoon vaikuttavista elementeistä luodaan source eli materiaalilähde. Tuotannossa valmistettavat CLT-levyt ovat noin 3000x12000 mm pitkiä. Materiaali, joka tulee tuotantoon, on kuitenkin 3–4 m pitkiä. Yksi CLT-levyn kerroksista koostuu noin 3 m pitkistä laudoista jotka ovat vierekkäin, ja toinen tyyppi koostuu noin 12 m pitkistä laudoista. 4 m laudat käsitellään tuotannossa siis 12 m laudoiksi. Tähän käytetään sormijatkoskonetta. Tästä johtuen laitokseen virtaa materiaalia kahdesta eri alueelta. Noin 4 m laudat tulevat linjalta, joka kulkee sormijatkoskoneen kautta, ja noin 3 m laudat kulkevat suoraan höylälle. Mallinnusjärjestykseen tämä vaikuttaa siten, että 4 m laudat ovat ensimmäisenä työn alla.

Varastosta 4 m laudat tulevat pakettina, joka on 1x1x4 m ulkomitoiltaan. Laudat tulevat varastosta rullakuljettimella alipainenostajalle työntävästi. Alipainenostaja on mallissa mallinnettu koneena, joka näyttää pöydältä. Koneen prosessi purkaa paketin lautariveiksi. Kuvassa 21 paketti on saapunut keltaiselle pöydälle, joka on alipainenostaja. Alipainenostajakone on purkanut paketin osiin ja liikuttanut yhden lautarivin seuraavalle koneelle. Syaenin värinen kone kuvassa purkaa lautarivin yksittäisiksi laudoiksi, josta tarkastuksen jälkeen ne siirtyvät alhaalla olevalle punaiselle välivarastolle. Välivarasto jakaa sopivaan tahtiin optimoivalle katkaisusahalle tavaraa. Todellisuudessa Syaenin värisellä koneella on yksi työntekijä tarkastamassa lautoja ja merkitsemässä huonot kohdat. Malli on suunniteltu oletuksella, että tulevan materiaalin laatu on tarkastettu ennen tehtaalle tuloa, eikä tarvitse siis ylimääräisiä toimenpiteitä. Työntekijän mallintaminen siis ei ole tarpeellista tälle kohdalle.

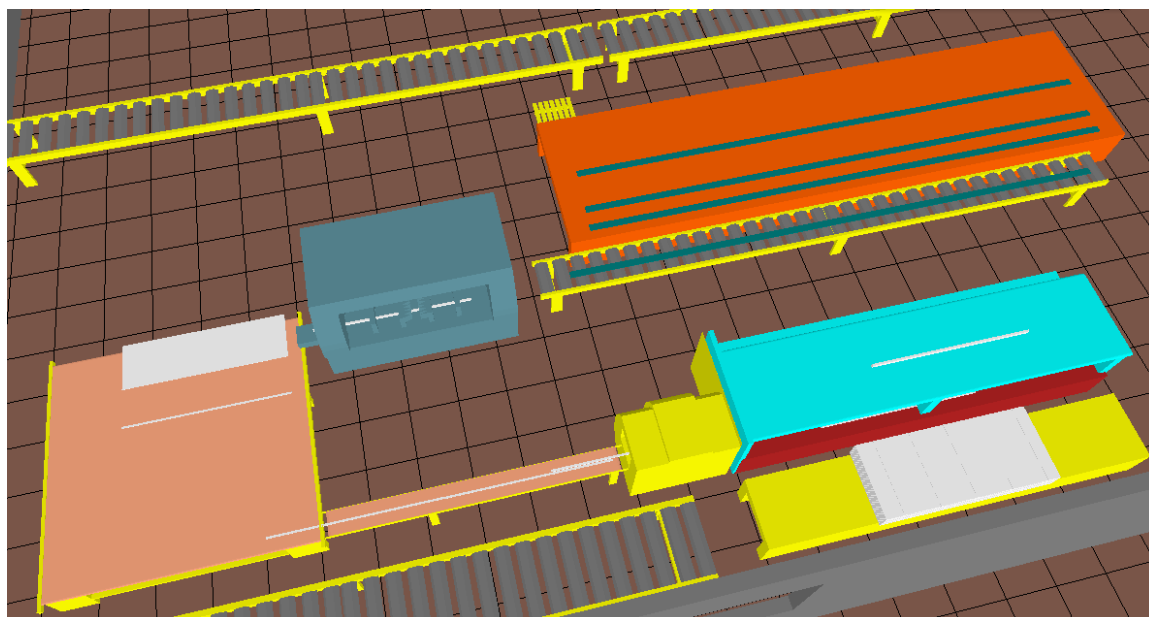


Kuva 21. Keltainen pöytä kuvan etualalla on purkanut paketin lautakerroksiksi.

Optimoimisahalta laudat menevät hihnakuljetinta pitkin ketjukuljettimelle. Ketjukuljetin on keräävä kuljetin, joka muuttaa prosessin tästä eteenpäin imuohjautuvaksi. Seuraavana linjassa oleva sormijatkoskone siis tilaa tarvittaessa tavaraa ketjukuljettimelta. Optimoiva katkaisusaha ja muut ennen ketjukuljetinta olevat koneet ja kuljettimet ovat nopeampia kuin sormijatkoskone, joten ketjukuljettimella on aina oikea määrä materiaalia jatkamista varten.

Kuvassa 22 prosessi on ollut päällä jo jonkin aikaa ja ketjukuljettimelle on kerääntynyt tavaraa. Sormijatkoskoneen työprosessi vaatii kolme kappaletta 4 m lautaa. Questin kone-elementit ottavat tietonsa vain siten, että pitää määrätä tarvittavien osien määrä ja työn aika. Tuotannossa kone ottaa koko ajan jatkuvalla syötöllä tavaraa sisään, jatkaa aina laudat edellisen perään ja katkaisee sitten, kun on oikean verran tavaraa jatkettu. Voi tulla siis tilanne, jossa yhdessä 12 m laudassa on useampaa kuin kolmea lautaa.

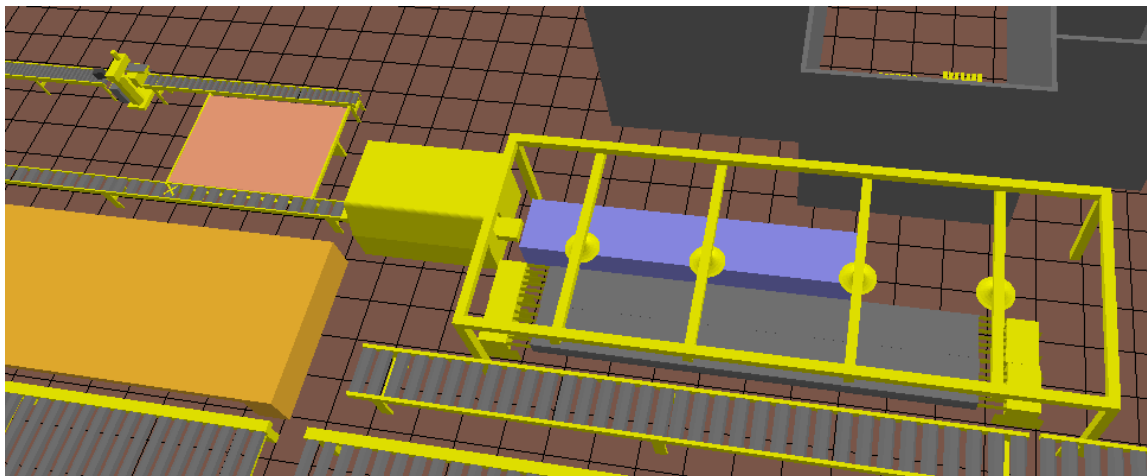
Kun sormijatkoskone on valmistanut yhden 12 m pitkän laudan, se siirtyy rullakuljetinta pitkin oranssille koneelle, joka kasaa 12 m pitkiä lautoja yhden CLT-levyn vaatimaksi kasaksi. Oranssin koneen vieressä on välivarasto, joka tilaa sormijatkoskoneelta itsellensä aina varastoon tavaraa.



Kuva 22. Sormijatkoskone, keskellä kuljettimien välissä, on ottanut kolme 4 m lautaa käsitte-
lyyn. Kuljettimella sormijatkoskoneen jälkeen on valmis 12 m lauta.

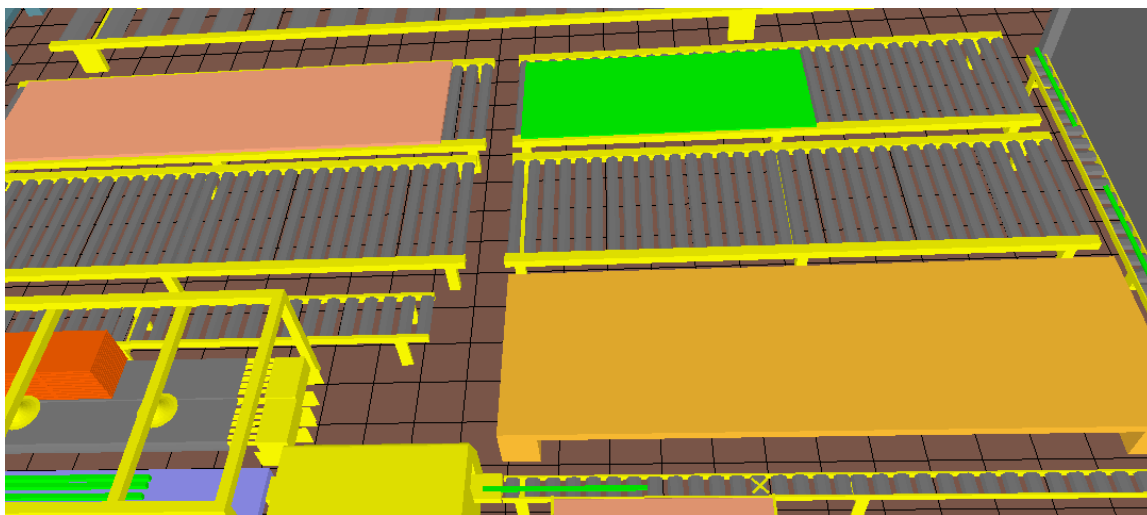
Tästä eteenpäin materiaalivirrat yhtyvät. Toiselta lähteeltä seuraavan kuljettimen päästä tulee 3 m lautapaketteja. Kuvassa 23 odottaa 3 m paketti välivarastolla toimenpiteitä. Vieressä oleva toinen välivarasto on 12 m paketille. Niiden tarkoitus on aina pitää materiaalia tarvittava määrä saatavilla. Alipainetarttuja siirtää aina yhtä materiaalia kerrallaan. Eli tarttujan jälkeisellä pöydällä on yhden CLT-levyn poikittaiset tai pitkittäiset ainekset.

Höylältä materiaali jatkaa matkaa kuljettimelle. Kuljettimelta 3 m höylätty tavara siirtyy sahalle päin päätyjen tasaukseen ja 12 m höylätty tavara jatkaa matkaa kohti laatan kasausta. Sahauksen jälkeen lauta menee kääntöpöydälle, jota ei mallissa ole mallinnettu. Kääntämisessä menevä aika otetaan huomioon kuljettimen Load process -ajassa. Kuljettimen valmistaja on luvannut, että paikasta ei tule pullonkaulaa. Lopulta 3 m kappaleita kerätään yhden kerroksen verran vierekkäin.



Kuva 23. Höylä, syöttöpöytä, saha, välivarastoja ja alipainetarttuja.

Kuvassa 24 yhden kerroksen verran 3 m lautoja on höylätty ja sahattu. Laatta on jo lähtenyt liikkeelle odottamaan kokoonpanoa. Samaan aikaan seuraavaa 3 m laudoista koostuvaa kerrosta kasataan. Kuvassa alapuolella on 12 m laudoista koostuvan kerroksen kasauspaikka. Yhden CLT-levyn kaikki kerrokset täytyy olla höylätty ja valmiina liimausta varten, ennen kuin liimaus aloitetaan. Ja tehtaan käynnistysvaiheessa uusien kappaleiden höyläys saa alkaa vasta, kun puristus on alkanut.



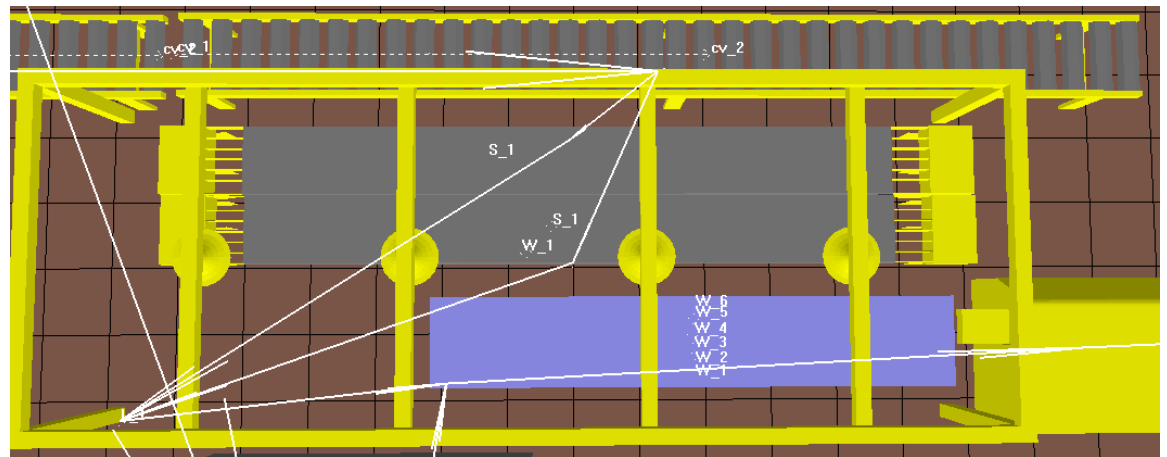
Kuva 24. Ruskea laatta linjalla on yksi CLT-levyn kerros, joka koostuu 3 m pitkistä laudoista. Seuraava kerros on kasautumassa vihreistä laudoista kasauspaikalla.

Kun kerrokset ovat valmiina, siirtää alipainenostaja yhden kerroksen kerrallaan siirtopöydälle, jossa siirtopöytä käyttää kerroksen puristimella, samalla liimaten kerroksen yläpinnan. Sen jälkeen siirretään toisenlainen kerros ensimmäisen päälle, ja uusi liimaus. Näin vuorotellaan, kun-

nes viimeinen kerros on laitettu. Silloin koko levy menee puristimeen puristettavaksi. Puristamisen jälkeen CLT-levy siirretään viimeiselle kuljettimelle. Siirtopöydän ja puristimen prosessijärjestys on yksinkertaistettu mallissa.

5.5 Materiaalivirran mallinnus

Materiaali liikkuu laitteiden välillä Connections-toiminnolla määritettyjä reittejä pitkin. Ominaisuus löytyy Moded→Build→Connections-kohdasta. Kuvassa 25 näkyy esimerkki kuljettimien, syöttöpöydän ja höylän väliset yhteydet.



Kuva 25. Valkoiset nuolet osoittavat materiaalin virran.

Yhteydet luodaan elementtien välille ylhäällä mainitusta polusta avautuvassa Connections→Element-napilla. Sen jälkeen valitaan elementti, josta materiaali lähtee, ja kohde-elementti, jonne materiaali kulkeutuu. Normaalisti elementistä voidaan luoda useita reittejä eri osia varten. Poikkeuksen tekee kuitenkin esimerkiksi kuljettimelle asetettava päätöspiste, Dec point. Päätöspisteelle voi asettaa vain yhden input ja yhden output -yhteyden.

5.6 Materiaalivirran mallinnuksen ongelmat ja ratkaisut

Ensimmäisissä versioissa malli pyrittiin tekemään mahdollisimman uskolliseksi oikean elämän prosessien kanssa. Siirtopöytä oli oma kone, joka antoi yhden kerroksen puristimelle liimatta-

vaksi. Puristin liimasi levyn ja palautti sen siirtopöydälle, jonka jälkeen siirtopöytä hankki toisen kerroksen päälle ja niin edelleen, kunnes kaikki kerrokset olivat päällekkäin. Puristin puristi määrätyn ajan levyjä ja antoi siirtopöydälle CLT-levyn, joka siirsi sen seuraavalle kuljettimelle.

Tästä tuli kuitenkin ongelma, koska siirtopöytä otti aina heti mahdollisen osan linjastolta. Koska kerroksia tehdään yhtä mallia kerrallaan, linjastolla on aina useita samanlaisia kappaleita peräjälkeen. Tästä johtuen aina kun siirtopöytä oli antanut puristimelle liimattavaksi menevän kappaleen, se otti samanlaisen kerroksen uudestaan itsellensä. Tämä aiheutti sen, että prosessi ei voinut jatkua, koska puristimella oli jo kappale, ja puristimelta oli tulossa kappale.

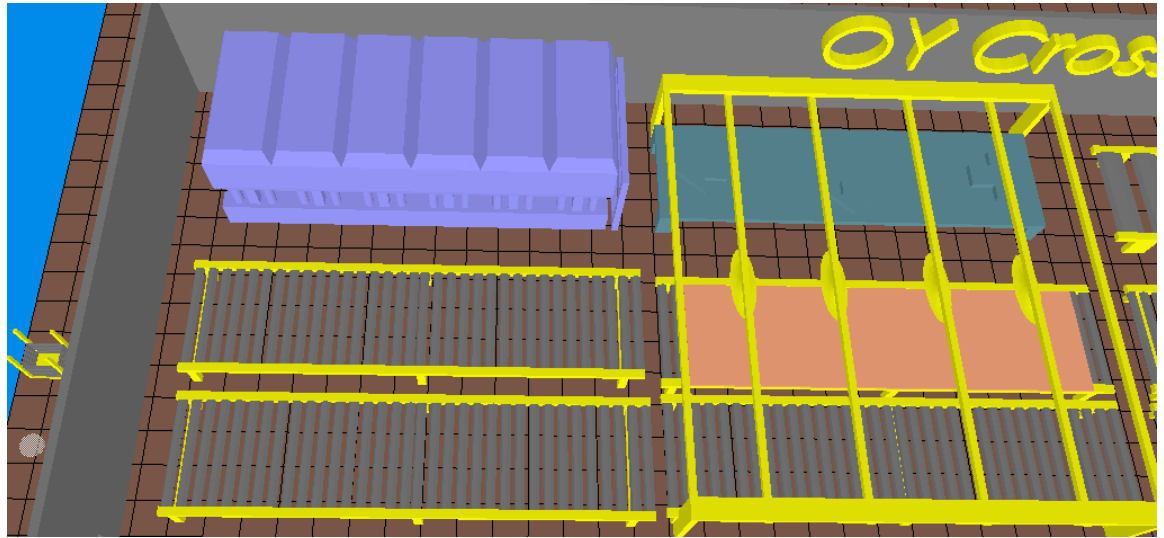
Ongelman ratkaisi lisäohje yritykseltä. Puristin ei saa aloittaa töitä ennen kuin kaikki materiaali on valmiina odottamassa. Käytännössä järjestyksellä, jossa kappaleet menevät siirtopöydälle ja puristimelle, ei ole suurta merkitystä mallinnuksen kannalta. Sama yhteen laskettu aika menee kuitenkin kappaleiden siirrossa. Siirtopöydän prosessit yhdistyivät vain yhdeksi. Myös puristimen toimintaa tämä yksinkertaisti, koska tarvitsi tehdä vain puristus.

Liimaamiseen ja liikutteluun menevä aika otetaan huomioon vihivaunun liikenopeudessa sekä siirtopöydän Unload-prosessissa. Yhden levyn liimoituksessa menee noin yksi minuutti. Vihi-vaunulla menee keskimäärin 7 sekuntia siirtää kappale linjastolta siirtopöydälle vauhdilla 1 m/s, joten siirtopöydän Unload-prosessiin täytyy asettaa yhden kappaleen purkuajaksi 53 sekuntia.

Ongelma oli myös höylän prosessi. Höylän pitää höylätä yhden CLT-levyn kaikki poikittaiset tai pitkittäiset kerrokset kerralla. Eli jos levyyn tulee kolme 12 m kappaleista koostuvaa kerrosta ja kaksi 3 m kappaleista koostuvaa kerrosta, niin höylän pitää höylätä joko kaikki 12 m kerrokset peräkkäin tai 3 m kerrokset peräkkäin. Lisäksi höylä ei saa aloittaa uuden levyn materiaalien höyläämistä, ennen kuin edellisen levyn kappaleet ovat puristuksessa.

Nämä ongelmat voisivat olla helposti ratkaistavissa SCL-ohjelmalla. Taidot SCL-ohjelmointiin eivät riittäneet, joten kyseiset ehdot täytyi luoda eri tavalla. Materiaalivirran ongelmien ratkaisuksi tulivat näkymättömät osat. Ne ovat osia, jotka eivät oikeasti ole tuotannossa, vaan apuosia jotka auttavat Quest-mallia toimimaan oikeassa järjestyksessä. Kuvassa 26 on välivarastossa yksi kerros joka on 3 m laudoista kasattu, sekä 12 m kerrosten välivarastossa on yksi läpinäkyvä osa. Kun 3 m laudoista koostuva kerros on kasattu, luodaan yksi näkymätön osa menemään 12 m laudoista koostuvan kerroksen linjalle, ja päinvastoin. Näkymättömät osat

aiheuttavat sen, että vaikka kaksi 3 m laudoista koostuvaa kerrosta on valmistettu, se ei purkaannu vielä siirtopöydälle. Ne odottavat, että kolme 12 m laudoista koostuvaa kerrosta valmistuu ja luo kolme näkymätöntä osaa toiselle linjalle. Kun molemmilla linjoilla on oikea määrä kerroksia ja näkymättömiä osia, Unload process antaa luvan purkaa kappaleet siirtopöydälle. Näkymättömät osat siirretään erilliseen sinkiin.



Kuva 26. Ruskea laatta kuvassa on 3 m laudoista tehty kerros. Vasemmalla tehdään ulkopuolella taas on saman prosessin synnyttämä ”näkymätön” pyöreä osa.

Höylän ehto taas on, että siirtopöydän prosessi luo kaksi näkymätöntä osaa, jotka menevät höylän syöttöpöydälle. Alipainenostaja ennen syöttöpöytää hakee välivarastoilta vuoron perään paketteja syöttöpöydälle, joten kaksi näkymätöntä osaa riittää kahteen purkamisprosessiin, jotka tuhoavat näkymättömät osat. Uusia näkymättömiä osia ei tule, ennen kuin siirtopöytä tekee uudet kaksi näkymätöntä osaa. Näkymättömät osat on asetettu ”hyppäämään” laitteelta toiselle, joten ylimääräistä aikaa niiden käsittelyyn ei kulu.

Tuotanto on sekaisin imuohjattua ja työntävää. Oikeasti tuotteita tehdään imuohjatusti, mutta päätöspisteet ja materiaalivirtojen erilaisuus aiheuttaa ongelmia ja epärealistisia kasoja materiaalia koneille. Tästä johtuen mallissa on osa alueista työntöohjattua ja osa imuohjattua.

5.7 Työajat

Oikeassa työelämässä ihmiset eivät tee 8 tunnin päiviä ilman taukoja. Vaikka mallissa ei ihmisiä ole, ihmiset ovat käyttämässä ja valvomassa koneita. Ilman valvontaa tuotanto ei pyöri. Lisäksi pullonkaulakoneita mahdollisesti joutuu käyttämään useammassa vuorossa kuin nopeampia koneita. Tästä johtuen täytyy malliin luoda työajat ja vuorot.

Quest-ohjelmassa työaikoihin päästään käsiksi Model→Aux→Shifts-kohdassa. Kuvassa 27 ovat luontityökalut tauoille (Shift Breaks), päiväaikatauluille (Daily Schedule) ja useiden päivien aikatauluille (Multi-Day Schedule). Multi-Day Schedulessa määritetään siis esimerkiksi viikon eri päville omat vuorot.



Kuva 27. Modify→Aux avaa kuvassa näkyvän sivuvalikon. Valikosta voi luoda alaresursseja, taukoja ja aikatauluja, rikkoontumisia sekä käyttäjän keskeytyksiä.

Ensiksi luodaan jokainen tauko erikseen, esimerkiksi kahvi- ja ruokatauot. Tauko luodaan napsauttamalla hiirellä Shifts→Shift Break, nimetään tauko, asetetaan haluttu aika ja lopuksi hyväksytään OK painikkeella. Tauolle voi myös asettaa käyttäytymismalli Behavior- ja Logics-kohdasta. Logics kohdasta määritetään yleensä Defer Break eli tauon viive. Eli esimerkiksi työntekijän voi asettaa tekemään oma työnsä loppuun, ennen kuin hän lähtee tauolle.

Kun tauot on luotu, luodaan mallille päiväaikataulut. Ne luodaan Daily Schedule -kohdasta. Päivän luominen voi olla myös yksinkertaista. Nimeää vain päivän, tarkastaa aloitus- ja lopetus ajan sekä asettaa mahdolliset viiveet, jos niille on tarvetta. Kun tauot on valmiiksi jo luotu, voidaan asettaa päivälle taukomäärä Number of Breaks -kohtaan. Tämän jälkeen Breaks-napista pääsee asettamaan päivälle tauot oikeaan kohtaan.

Multi-Day Schedule -kohdassa voidaan laittaa esimerkiksi viikon työt yhden aikataulun alle. Eli aikataulua luodessa täytyy määrittää päivien lukumäärä; oletuksena Questissa on yksi viikko. Days -kohdassa määritetään aikaisemmin määritettyjen päivien järjestys. Päivämalleja ja viikkomalleja voidaan luoda useita. Esimerkiksi jos jollakin koneella tehdään arkipäivisin 8 tunnin päivää, ja jollain koneella kahdessa vuorossa arkipäivisin, täytyy tehdä kaksi eri viikkomallia. Aikataulut määritetään koneille Assoc-napilla.

5.8 Rakennusvaiheen simuloinnit

Tuotantolinjan mallin rakennusvaiheessa kannattaa tarkastaa toimintojen toimivuutta simulatiolla. Tässä vaiheessa tapahtuvan simuloinnin ei ole tarkoitus pyrkiä saamaan dataa lopullisesta tuotannosta, vaan virheiden korjaus. Simulointi tapahtuu Questissa Run→Simulate -osiossa.. Simulate -osiossa tärkeimpiä tietoja on:

- Run, jolla käynnistetään simulaatio. Siinä rajataan simuloitava aika ja määritetään, pidetäänkö mahdolliset muuttujat samana simulaatiosta toiseen, vai ovatko ne sattumanvaraisia.
- Halt, pysäyttää simulaation
- Cont, jatkaa simulaatiota
- Interval, nuolet interval -napin molemmilla puolilla joko nopeuttavat tai hidastavat simulaatiota.
- Reset Stats, poistaa tiedot koneilta
- Reset Run, poistaa koko simulaation, tiedot ja kappaleet.

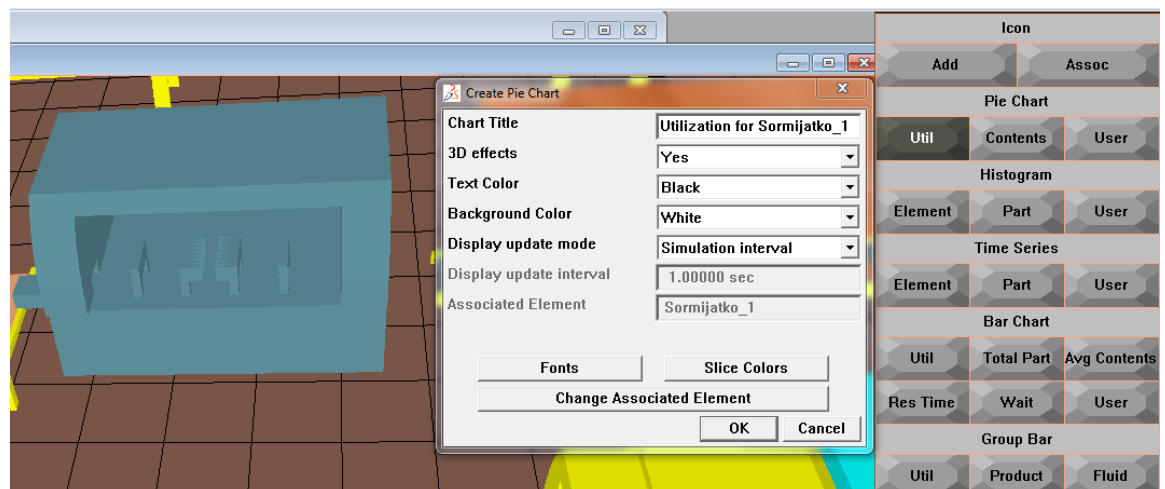
- Full Screen, poistaa napit näkyviltä ja simulaatiota voi seurata ilman ikkunoita. Jos Questiin on määritetty videon nauhoitus, Full Screen toiminnon avulla voi nauhoittaa mallin toimintaa.

Simulointia seurattaessa virheitä havaitaan helposti. Jos materiaali ei liiku ollenkaan, siellä on virhe. Jos materiaali kasaantuu koneelle liikaa, siellä on virhe. Jos virheilmoitus tulee näytölle, siellä on vakava virhe. Vasta suunnitteluvaiheessa oleva tehdas hyötyy simulaatiosta paljon, kun voi katsoa suoraan mahdollisia ongelma-alueita.

5.9 Kaaviot

Questissa voidaan luoda kaavioita, jotka näyttävät simulaatiossa olevien koneiden tietoja. Kaaviot luodaan uuteen ikkunaan, joka täytyy luoda Tools→Windows→2D Window→Create-kohdassa. Siitä aukeaa ikkuna, jossa määritetään tulevan 2D-ikkunan parametrit, eli lähinnä nimi ja koko.

Kaavioiden luominen uuteen ikkunaan tapahtuu Model→Charts/2d-kohdassa. Tässä työssä käytetään piirakkakaaviota. Se antaa havainnollisen kuvan koneen käyttöasteesta. Piirakkakaavio tehdään Pie Chart→Util-kohdasta. Kuvassa 28 luodaan uutta kaaviota sormijatkoskoneesta. Tärkeitä asioita kaaviota luodessa on muuttaa Display Update Mode Time Interval-muodoksi, jolloin se päivittyy joka sekunti. Myös fontti kannattaa vaihtaa Fonts-osiosta sopivaksi.



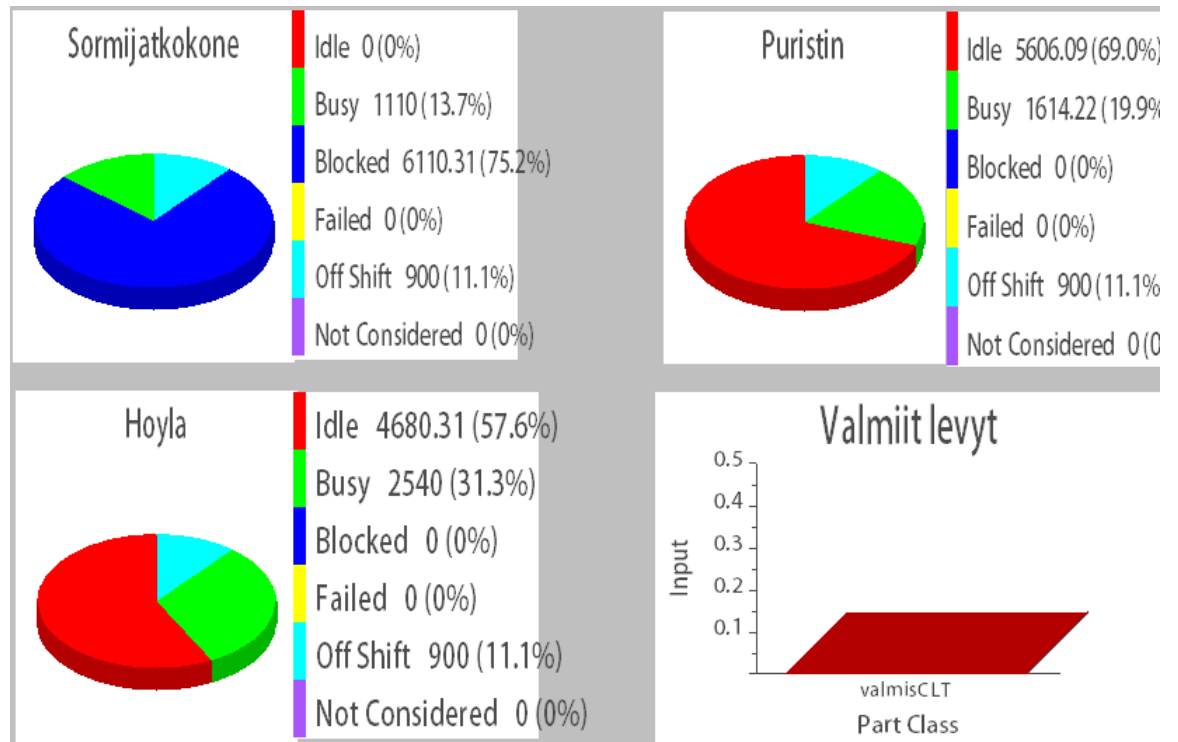
Kuva 28. Pie Chart -toiminnon avulla luodaan sormijatkoskoneesta piirakkakaavio.

Kun kaavion tiedot ovat valmiit, hyväksytään ikkuna OK -painikkeella. Tämän jälkeen Quest käskää asettamaan kaavio sopivalle kohdalle. Eli tässä vaiheessa täytyy mennä aikaisemmin luotuun 2D-ikkunaan ja napsauttaa hiirellä haluttuun kohtaan kaavion paikka sekä tietojen paikka. Kaavion ja tietoikkunan kokoa ja paikkaa voi muokata Resize- ja Move-napeilla. Modify-napilla voi palata muokkaamaan kaavion perustietoja.

Myös pylväsdiagrammeja voi luoda. Tässä työssä käytettiin pylväsdiagrammia ilmaisemaan, kuinka monta valmista kappaletta simulaation aikana valmistuu. Pylväsdiagrammi luodaan kohdasta Bar Chart → Total Part. Tämä pylväsdiagrammi laskee kaikki osat, jotka tulevat laitteeseen. Tässä työssä seurataan Sinkin tietoja, eli halutaan tietää, kuinka monta valmista kappaletta valmistuu tuotannosta.

Kuvassa 29 on esimerkki yhden simulaation kaavioista. Kuvassa on tärkeimpien koneiden ja sinkin käyttöasteet. Kuvassa näkyvät tiedot ovat:

- Idle = Koneella ei ole ollut töitä.
- Busy = Kone on tehnyt töitä.
- Blocked = Jokin on estänyt koneen toiminnan.
- Failed = Koneen rikkoutuminen.
- Off Shift = Ei työvuorossa.
- Not Considered = Muut.



Kuva 29. Erään keskeneräisen mallin kuvaajat. Kuvan tiedot eivät kuvasta tehtaan oikeata tuotantoa.

6 SIMULAATIOMALLIT JA NIIDEN EROT

Tuotantoon tuleva materiaali vaihtelee pakettikohtaisesti. Quest-ohjelmassa tulevan materiaalin pituutta, leveyttä ja korkeutta ei voi vaihtaa kesken simulaation ilman monimutkaisia ohjelmia. Tähän ratkaisuksi päätettiin, että tehdään useita eri malleja. Simuloidaan mallia, johon tulee kapeimpia lautoja ja viisi kerrosta, joista kolme on eniten aikaa vieviä kerroksia. Eniten aikaa vie sormijatkettu materiaali. Taulukossa 2 on eri simulaatiopohjien perustiedot. Laudan leveys on höylätyn laudan leveys. Tuotantoon tulevien lautojen leveys on suurempi.

Taulukko 2. Eri simulaatiopohjien perustiedot.

	Laudan leveys (mm)	Kerroksien määrä	SJ-kerrosten määrä	SJ-määrä/ker- ros	3 m laudat määrä/kerros
Simulaatio 1	95	5	3	32	126
Simulaatio 2	95	5	2	32	126
Simulaatio 3	95	3	2	32	126
Simulaatio 4	95	3	1	32	126
Simulaatio 5	120	5	3	25	100
Simulaatio 6	120	5	2	25	100
Simulaatio 7	120	7	4	25	100

6.1 Simulaatiomallien väliset erot

Simulointimalleissa erot vaikuttavat yhteen kerrokseen tarvittavien kappaleiden määrään, joka vaikuttaa suoraan prosessissa kuluvaan aikaan, koska kapeampia kappaleita tarvitsee jatkaa useampia. Myös höylällä menee kauemmin aikaa höylätä kerroksen verran tavaraa samasta syystä. Simulaatiomallissa muutetaan siis sormijatketun materiaalin kasauksessa yhden kasan vaatimaa kappalemäärää, ja sama kappalemäärä laitetaan höylän syöttöpöydän prosessiin yhden paketin purkuun.

3 m pituisella materiaalilla on liikkumavaraa kuljettimilla ja varastossa, joten sen mallinnus on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaisesti. Yhdestä paketista tulee yhden levyn materiaalit. Paketti muutetaan alipainenostin-koneella yhden rivin näköiseksi. Alipainenostimelta kappale siirtyy höylän syöttöpöydälle, jossa se muuntuu laudoiksi. Lautoja on yhden CLT-levyn verran. Lisäksi koneille, jotka kasaavat kerrokset yksittäisistä kappaleista, pitää laittaa oikeat määrät kappaleita tarvittaviksi osiksi.

Ennen puristimen siirtopöytää oleville välivarastoille täytyy laittaa Unload process-kohtaan tarvittaviin osatietoihin muutokset. Myös siirtopöydän ja puristimen työprosesseihin täytyy muuttaa tarvittavien materiaalien määrät oikeiksi. Lisäksi kerroksien kasaukoneille täytyy asettaa oikeat kappalemäärät tarvittaviin osiin.

Simulaatioita tehtiin yleensä yhdestä pohjasta kolmesta neljään kappaletta. Yksi niistä oli simulaatio, johon ei tehty mitään muutoksia. Tehdas lähti käyntiin tyhjänä ja työskenteli 8 tuntia. Simulaation kuvaajista, sekä simulaation visuaalisesta tarkistuksesta, pääteltiin pullonkaulakoneet. Toinen simulaatio yleensä oli laittaa kyseinen kone toimimaan kahdessa vuorossa. Kahden vuoron työskentely simuloitiin asettamalla sopivalle välivarastolle yhden vuoron aikana tehdyn materiaalin määrä. Esimerkiksi jos kone x tekee yhden vuoron aikana viisi kappaletta tuotetta, sen jälkeiselle välivarastolle asetetaan viisi kappaletta materiaalia Part Initial Stock-kohtaan. Tämä varasto kuvaa siis sitä, että kone x on ollut työskentelemässä yksin yhden vuoron verran.

Toinen simulaatio saa saman käsittelyn kuin ensimmäinen. Jos tuotannossa esiintyi vieläkin saman koneen kohdalla ongelmia, tehtiin kolmas simulaatio, jossa pullonkaulakone oli kolmessa vuorossa. Lisäksi vertailun vuoksi luotiin yksi ylimääräinen simulaatioversio, jossa pul-

lonkkauskone on kahdennettu. Kahdentaminen tehtiin siten, että puolitettiin koneen prosessiaika. Prosessiajan puolittaminen kuvastaa sitä, että 2 samanlaista konetta toimisi limittäin. 3, 5 ja 7 kerroksisten levyjen eri simulaatioista valittiin esimerkki mallit, joista luotiin vielä erikseen yhden työviikon mittainen simulaatio. Simulaation tarkoitus oli selvittää keskeneräisen tuotannon vaikutusta kappalemäärään pidemmällä aikavälillä.

6.2 Visuaalinen malli

Työntilajalle luotiin vielä yksi erilainen malli, jossa työntekijät tekevät töitä koneilla. Työntekijöiden ja taukojen mallinnus on ongelmallista ilman SCL-ohjelmointia. Työntekijät eivät joko lähteneet tauolle, tai jättivät prosessin kesken ja lähtivät tauolle. Myös koneet alkoivat toimimaan väärällä tavalla silloin kun joutui asettamaan tauolle lähtö viiveet prosessin päättymiseen asti. Valmis kappale ei lähtenyt koneelta eteenpäin, vaan jäi koneelle. Tauon loppuessa kone otti uudet tavarat työkentelyyn, mutta ei poistanut valmista kappaletta itseltänsä.

Työntekijät lopulta mallinnettiin kuljettamaan näkymätöntä kappaletta väliavarastolta toiselle, käyttäen polkuja, Labor Path, sekä päätöspisteitä, Dec Point. Työntekijä kulkee polkua pitkin, saapuu päätöspisteelle ja tekee siihen määritetyt toimenpiteet. Toinen väliavarasto halusi itsellensä imuohjatusti kaksi kappaletta materiaalia, mutta työntävästi siirtää kappaleen eteenpäin seuraavalle väliavarastolle. Jälkimmäinen väliavarasto taas vie kappaleen työntävästi päätöspisteelle, jossa työntekijä vie sen toisen päätöspisteen kautta ensimmäiselle väliavarastolle. Kun asettaa polun ja päätöspisteet jonkin koneen eteen sopivasti, näyttää siltä kuin työntekijät kulkevat koneen edessä edestakaisin. Tauolle työntekijän saa lähtemään oikeaan aikaan, kun asettaa väliavarastolle näkymättömän osan tuovalle pisteelle Element→Modify-kohdan avulla labor parking-paikan polun toisessa päässä olevalle kolmannelle päätöspisteelle.

7 TYÖN TULOKSET

Työssä saatiin valmiiksi toimiva CLT-tehtaan malli. Mallin materiaalivirran kulku ei ole visuaalisesti täysin samanlainen oikean tehtaan kanssa, mutta käytännössä tärkeimmät toimenpiteet on otettu huomioon.

Eri simulaatiopohjia luotiin seitsemän kappaletta. Jokaisesta pohjasta luotiin kolmesta neljään erilaista simulaatiota, joissa tutkitaan tuotannon pullonkaulojen eri ratkaisuja. Näistä simulaatioista luotiin raportti, joka luovutettiin simulaatiotiedostojen kanssa työn tilaajalle. Mallista luotiin vielä yksi erillinen versio, johon lisättiin työntekijät. Mallissa työntekijät näyttävät työskentelevän koneen äärellä, kunnes tulee tauon aika ja he lähtevät merkitylle taukopaikalle. Ylimääräisen simulaation on tarkoitus olla vain visuaalinen apu, ja mahdollisesti esityksissä käytettävä esimerkki tuotannosta.

Epätarkkuutta simulaatiossa aiheuttaa tuntemattomat kuljettimien nopeudet ja materiaalin siirtoajat. Varsinkin höylän jälkeen olevien kuljettimien tarkkoja nopeuksia ei ollut saatavilla. Ainut tieto nopeuksista oli se, että laitetoimittaja lupasi että niistä ei tule pullonkaulaa. Lisäksi oikeassa tuotannossa liiman avoin aika voi vaihdella, mikä vaikuttaa puristus aikaan. Mallissa on käytetty liiman maksimiaikoja.

Mallissa ei myöskään ole simuloitu mahdollisten virhetilanteiden aiheuttamia viiveitä. Tuotannossa niitä voi syntyä helposti, esimerkiksi jos höylä höylää liikaa lautoja. Luoduissa malleissa ei onnistu esimerkiksi yhden 3 m mittaisen laudan lisääminen tuotantoon keskeyttämättä muuta tuotantoa, tai ylimääräisten valmistettujen sormijatkettujen lautojen huomiointi.

Raportti ja simulaatiot voivat olla tukena tulevaisuuden investointeja tutkiessa. Simulaatio tiedostoja voidaan käyttää jatkosimulointeihin ja lisätutkimuksiin. Tulevaisuudessa työstä voi jatkaa projektina, tai insinööritöinä, käyttäen simulaatiomalleja pohjana. Varsinkin SCL-ohjelmoinnilla voi mallia parantaa tarkemmaksi ja hienommaksi.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä on käsitelty Oy CrossLam Kuhmo Ltd:n CLT-levyn tuotannon mallintamista. Lisäksi on tutustuttu CLT-levyihin, työntilaaaja yritykseen ja projektin yhteistyökumppaniin Woodpolikseen. Työssä on suurimmalta osin keskitytty mallin luomiseen ja simuloimiseen.

Työssä käsiteltiin, miten luodaan SolidWorks -ohjelmiston avulla 3D-malli, ja kuinka se tuodaan Quest -ohjemaan. Lisäksi työssä käsiteltiin Quest -mallintamista, johon kuuluu osa-alueet:

- Quest -mallin pohja
- Erilaiset elementit kuten koneet, sinkit, kuljettimet, välivarastot ja työntekijät
- Työajat
- Prosessit
- Materiaalivirta
- Raportit ja kuvaajat

Simulaatioita valmiista mallista täytyi luoda useita tuotantoon tulevien materiaalien vaihtelun ja erilaisien valmistettavien levyjen vuoksi. Simulaatiomallin avulla tuotannon tutkimisen aikana huomattuja pullonkauloja yritettiin ratkaista lisäämällä työvuoroja ja kahdentamalla koneita. Näistä luotiin omat mallit jokaisesta eri versiosta.

Työn tilaajayritys saa työstä tukea tuotannon aloitukseen ja pullonkaulojen ennakoimiseen. Lisäksi työtä voi käyttää apuna suunnitellessa uusia investointeja, esimerkiksi kannattaako jokin kone kahdentaa vai onko parempi tehdä kahdessa vuorossa.

LÄHTEET

- 1 Toivanen, Timo.
- 2 Mariocon OY.
- 3 Woodpolis. Koulutustehdas. Laitekanta [WWW-dokumentti]
<http://www.woodpolis.fi/fi/koulutustehdas/>
- 4 Puuinfo. CLT Ristiinliimattu massiivipuulevy (cross laminated timber). Tek-
 ninen tiedote. Päivitetty 18.04.2011. [WWW- dokumentti].
[http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitte-
 luohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipu-u-cross-laminated-timber/clt.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitte-

 luohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipu-u-cross-laminated-timber/clt.pdf)
- 5 Stora Enso. Building solutions. Technical Folder. 4/2012.[WWW-doku-
 mentti].
http://issuu.com/storaenso/docs/01_technical_folder_-_stora_ensobu/5?e=7939336/4103509
- 6 Valtanen, Esko. Tekniikan taulukkokirja 2010
- 7 National Research Council Canada. Full-scale fire resistance tests on cross-
 laminated timber. [WWW-dokumentti]
<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ci-ic/article/v17n4-4>
- 8 Deneb Robotics Inc. Quest V5 User Manual. 1999
- 9 Barnes, Martin R. An Introduction to Quest. [WWW-dokumentti].
<http://www.informs-sim.org/wsc97papers/0619.PDF>
- 10 Räsänen, Sami. Imported Geometry. Luettu 5.3.2014.
- 11 Delmia Corporation. Quest user manual version 5.3. 2000