



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juuso Viitasalo

Paalaamon simulointi

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Juuso Viitasalo

Työn nimi alaotsikoineen: Paalaamon simulointi

Ohjaaja: Toni Luomanmäki

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 28

Tämän opinnäytetyön aiheena oli paalaamon tuotantolinjojen simuloiminen. Toimeksiantaja on Metsä Board Kaskisten tehdas. Simuloinnin tavoitteena oli löytää linjojen maksimikapasiteetit, pullonkaulat ja pohtia, miten maksimikapasiteettia voitaisiin nostaa. Opinnäytetyö koostuu teoriaosiesta, työn toteutusosiesta sekä tulosten esittelyosiesta.

Teoriaosio toteutettiin pääosin verkko- ja kirjallisten lähteiden pohjalta. Teoriaosa sisältää tietoa paalaamosta, sekä teoriaa simuloinnista. Simuloinnin teoriassa käsitellään muun muassa simuloinnin yleistä teoriaa, sen etuja verrattuna muihin tapoihin esittää järjestelmiä sekä simulointiprojektin vaiheita.

Työn toteutusosiossa luotiin simulointimalli Metsä Board Kaskisten tehtaan paalaamosta Siemensin Tecnomatix Plant Simulation -ohjelmistolla, selvitettiin laitteiden kiertoaikoja, etsittiin pullonkauloja, määritettiin maksimikapasiteetti sekä pohdittiin miten kiertoajat vaikuttavat kapasiteettiin.

¹ Asiasanat: simulointi, prosessiteollisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Juuso Viitasalo

Title of thesis: Simulation of baling department

Supervisor: Toni Luomanmäki

Year: 2024

Number of pages: 28

The purpose of the thesis was the simulation of a baling department. The thesis was commissioned by the pulp mill of Metsä Board located in Kaskinen, Finland. The goal of the simulation was to find the maximum capacity of a production line, identify bottlenecks, and consider how to increase the maximum capacity of the baling department.

The theoretical part was mainly based on web and literary sources. The theory contained information about the baling department and simulation. The simulation theory consisted of general theory about simulation, and its advantages compared to other methods used to present the systems and the stages of simulation projects.

In the implementation part of the thesis the production lines of the baling department were simulated using Siemens Tecnomatix Plant Simulation software. This involved identifying the cycle lengths of the equipment, determining bottlenecks, defining maximum capacity and considering how different factors affect capacity.

¹ Keywords: simulation, process industry

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	8
1.4 Yritysesittely	8
1.4.1 Metsä Board Kaskinen.....	9
1.4.2 Metsä Board.....	9
2 PAALAAMO	10
2.1 Paalaus	10
2.2 Paalaamo	10
3 SIMULOINTI	11
3.1 Simuloinnista yleisesti	11
3.2 Simuloinnin edut ja haitat	12
3.3 Simuloinnin vaiheet	13
3.3.1 Ongelmien tunnistaminen	14
3.3.2 Simulointikelpoisuuden testaus.....	14
3.3.3 Tavoitteiden muotoilu	14
3.3.4 Tiedonkeruu	15
3.3.5 Mallintaminen.....	16
3.3.6 Simulointiajojen suorittaminen	16
3.3.7 Tulosten analysointi ja tulkitseminen.....	16
3.3.8 Dokumentointi	17
3.4 Simuloinnin validointi.....	17

3.5	Tecnomatix Plant Simulation	17
4	TOTEUTUS	18
4.1	Tietojen keruu.....	18
4.2	Paalaamon layout ja toiminta	18
4.3	Simulointimallin luominen.....	19
4.4	Testiajot.....	22
4.5	Maksimikapasiteetin nostaminen.....	23
5	TULOKSET.....	26
6	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	27
	LÄHTEET	28

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Paalaamon simulointimalli.	20
Kuva 2. Kiertoaikojen syöttäminen malliin, kuvassa puristimen 1 kiertoaika.....	21
Kuva 3. Tulokset kahden sekunnin pitoajoilla.	25
Kuvio 1. Simuloinnin tavoitteet.....	12
Kuvio 2. Laitteiden käyttöasteet tuotannolla 1400 tonnia vuorokaudessa.....	22
Kuvio 3. Laitteiden käyttöasteet maksimikapasiteetilla.	23
Kuvio 4. Laitteiden käyttöasteet pitoajoilla 3 sekuntia ja 2 sekuntia.....	24
Taulukko 1. Esimerkkejä tiedoista simulointitutkimusta varten.	15
Taulukko 2. Laitteiden kiertoaikoja.....	20

Käytetyt termit ja lyhenteet

BCTMP	Bleached chemi-thermomechanical pulp eli valkaistu kemihierremassa.
Käärekone	Paalaamossa oleva laite, joka päällystää paalin kääreellä.
Layout	Laitteiden sijoittelu pohjapiirustukseen
Leimalaite	Paalaamossa oleva laite, joka leimaa paalin kääreen.
Paalaamo	BCTMP-massan valmistusprosessin viimeinen prosessin osa, jossa massasta luodaan paali ja tehdään siitä kuljetus- ja varastointikelpoinen.
Pinoaja	Paalaamossa oleva laite, joka pinoaa paalit kolmen tai neljän paalin pinoihin.
Puristin	Paalaamossa oleva laite, joka puristaa paalin ilmatii- viiksi.
Siemens Plant Simulation	Siemens Tecnomatix -tuoteperheen simulointiohjelmisto, jolla voidaan rakentaa simulointimalleja erilaisista järjestelmistä.
Validointi	Prosessi, jossa tarkastetaan, että prosessin kohde täyttää sille asetetut kriteerit.
Viikkauslaite	Paalaamossa oleva laite, joka viikkaa paalin kääreen päät hyvin sidontaa varten.
Yksikkösitoja	Paalaamossa oleva laite, joka sitoo paaliyksikön eli kaksi paalipinoa yhteen teräslangalla.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän työn toimeksiantaja on Kaskisissa sijaitseva BCTMP-laitos Metsä Board Kaskinen. Kaskisten laitoksella valmistetaan massaa neljässä eri laadussa, super, hyper, tensile ja BULK, joissa kuusen, haavan ja koivun suhteet vaihtelevat. Tämä tutkimus päätettiin rajata hyper-laatuun. Massojen välillä on paljon eroja ja ne vaikuttavat myös paalaamon työskentelyperiaatteisiin. Työn taustana oli paalaamon ajotapojen muutokset liittyen uuden taivekartonkitehtaan investointiin, mutta investointi peruuntui korkeiden kustannusten takia opinnäytetyön aikana.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoite on simulointimallin avulla määrittää sekä koko paalaamon että yksittäisten tuotantolinjojen kapasiteetti, löytää niistä pullonkauloja sekä kiinnittää huomiota niiden ohittamiseen.

1.3 Työn rakenne

Tämän työn ensimmäisessä luvussa käydään läpi työn tausta, tavoite ja toimeksiantaja. Luvut kaksi ja kolme ovat työn teoriaosa, joista luvussa kaksi käsitellään paalaamon teoriaa. Luvussa kolme kerrotaan teoriaa simuloinnista sekä simulaatiomallien tekemisestä.

Luku neljä on itse työosa, jossa käydään läpi paalaamon simulointimallin luomista. Luvussa viisi esitellään työosasta saadut tulokset. Kuudennessa luvussa on yhteenveto ja pohdintaa työstä.

1.4 Yritysesittely

Metsä Board on osa Metsä Group -konsernia (Metsä Group, i.a.-a). Konserniin kuuluvat kartonkia tuottavan Boardin lisäksi puunhankinnasta ja metsäpalveluista huolehtiva Metsä Forest, puutuotteita valmistava Metsä Wood, sellua ja sahatavaraa valmistava Metsä Fibre

sekä pehmo- ja tiivispapereita valmistava Metsä Tissue. Koko tuotantoketjun puun ostosta aina valmiin tuotteen, kuten kartongin tai sahatavaran myyntiin pystytään siis hoitamaan konsernin tytäryhtiöillä. Koko konsernilla on 9500 työntekijää 28 maassa. Metsä Groupin liikevaihto on 6,1 miljardia euroa.

1.4.1 Metsä Board Kaskinen

Metsä Board Kaskinen on vuonna 2005 perustettu tehdas, joka valmistaa BCTMP-massaa (Metsä Group, i.a.-b). Kaskisten tehdas tuottamaa massaa käytetään esimerkiksi kartongin runkomateriaaliksi. Tehtaan lähellä sijaitsevan Kaskisten sataman kautta lähes kaikki tehtaan tuotanto toimitetaan asiakkaille laivoilla. Metsä Board Kaskisissa työskentelee 80 henkilöä. Tehdasalueella sijaitseva voimalaitos tuottaa kaiken tehtaan tarvitseman lämmön sekä höyryn. Tehtaan vuosittainen tuotanto on 390 000 tonnia BCTMP-massaa.

1.4.2 Metsä Board

Metsä Board on yksi Euroopan suurimmista taivekartongin valmistajista (Metsä Board, 2024). Metsä Boardin valmistamaa kartonkia käytetään pääasiassa kuluttajapakkauksiin kuten lääke- ja tarjoilupakkauksiin. Yhtiön tavoitteisiin kuuluvat investoinnit, joilla parannetaan tehtaiden resurssitehokkuutta ja pienennetään hiilijalanjälkeä. Metsä Boardilla on kahdeksan tuotantolaitosta Suomessa ja Ruotsissa, joiden kartonkikapasiteetti on yhteensä 2,3 miljoonaa tonnia vuodessa. Metsä Board työllistää 2300 ihmistä.

2 PAALAAMO

2.1 Paalaus

Paalaus on prosessi, jossa tiivistämisen kautta saavutetaan materiaalin parempi käsiteltävyys ja kuljetustilan optimointi (Hogland ym, 1999, s. 203–204). Paperiteollisuuden lisäksi paalausta käytetään myös viljelyssä, rautateollisuudessa ja kierrätyksessä. Paalauksessa saavutetaan useita hyötyjä:

- Energian varastointi tulevaisuutta varten
- Syttymisen riski pienenee
- Varastoinnin aikainen vakaumus paranee
- Minimaalinen energia- ja massahäviö

2.2 Paalaamo

Paalaamossa paali kulkee useiden laitteiden läpi, jotka tekevät erinäisiä asioita paalille (E. Ristiluoma, henkilökohtainen tiedonanto, 13.4.2024):

- Puristimet puristavat paalin ilmatiiviiksi kappaletavaraksi, jonka avulla pystytään säätelemään paali- ja pinokorkeuksia. Puristaminen myös vakauttaa yksikköjä varastoinnin ja kuljetuksen aikana, mikä lisää turvallisuutta.
- Käärekone päällystää paalin kääreellä, jonka tarkoitus on suojata paalia epäpuhtauksilta kuljetuksen ja varastoinnin aikana.
- Leimasinlaitteet leimaavat paalin kääreeseen eränumeron, josta käy ilmi tuotteen laatu ja eräkohtaiset laatutiedot, tämän avulla pystytään hyvin tarkasti määrittämään koska kyseinen paali on valmistettu.
- Pinoajat pinoavat paalit kolmen tai neljän paalin pinoihin.
- Hyper-laadulla yksikkösiteja sitoo paaliyksikön teräslangalla, mikä helpottaa paalien varastointia ja kuljetusta.

3 SIMULOINTI

3.1 Simuloinnista yleisesti

Tuotannon simuloinnilla tarkoitetaan todellisten tai suunniteltavien tehdasjärjestelmien toiminnan mallintamista ajassa (Delfoi, i.a.). Tämän avulla saadaan selville teknisiä ja taloudellisia tietoja, jotka ovat hyödyllisiä tehdasjärjestelmien kehittämisessä sekä investointien suunnittelussa. Simulointi on hyvä työkalu päätöksenteossa, erityisesti tilanteissa, joissa kapasiteetin varmistaminen ja pullonkaulojen ratkaiseminen ovat kriittisiä investointipäätöksiä tehtäessä.

Simulaatio on prosessi, jossa suunnitellaan järjestelmän malli ja suoritetaan koeajoja (Shannon, 1998, s. 7). Tarkoituksena on ymmärtää järjestelmän käyttäytymistä ja arvioida erilaisia strategioita järjestelmän toiminnan kannalta. Mallin suunnittelussa on kriittistä varmistaa, että malli jäljittelee todellisen järjestelmän käyttäytymistä tapahtumiin, joita esiintyy simuloinnin aikana.

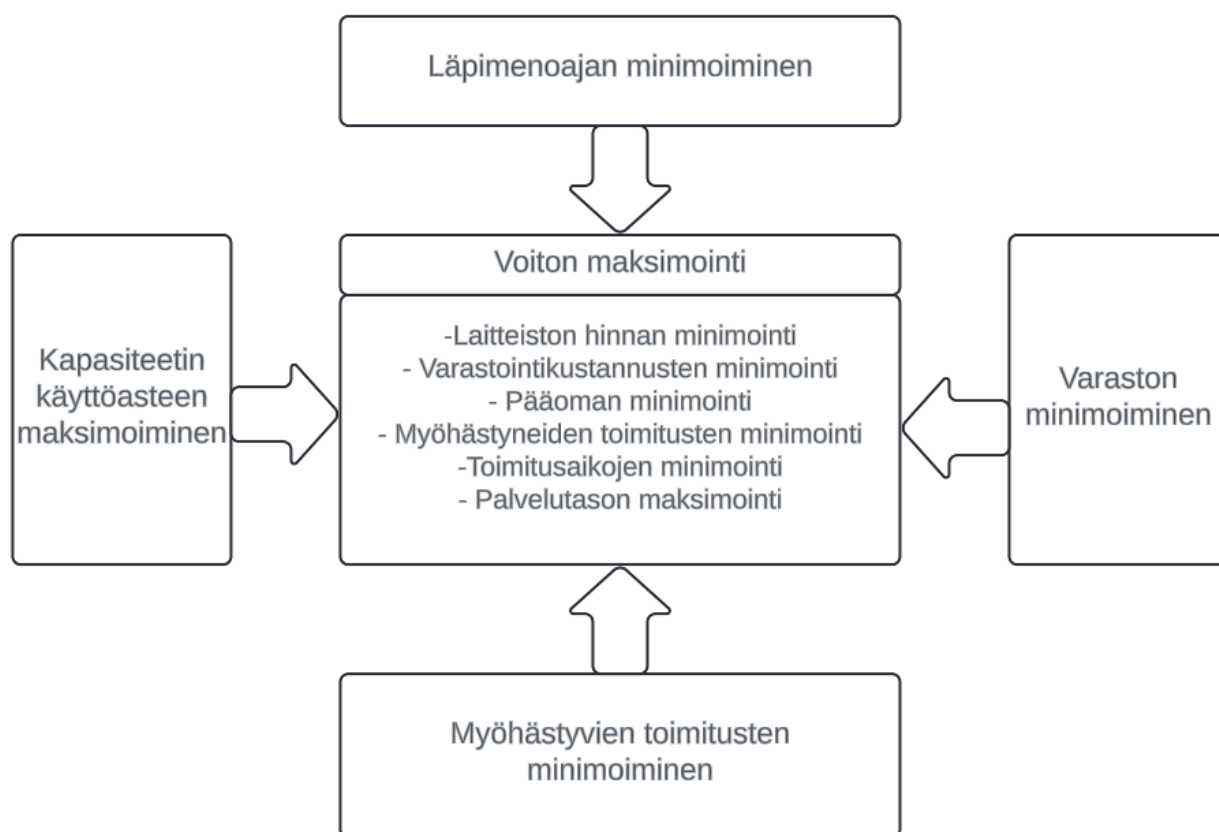
Simulointimallilla tutkitaan tunnettujen objektien virtaamista järjestelmän läpi (Shannon, 1998, s. 7). Nämä objektit voivat olla mikä tahansa kappale, joka tulee sisään järjestelmään, kulkee prosessin läpi ja lopulta poistuu järjestelmästä. Näillä objekteilla voi olla yksilöllisiä ominaisuuksia, joita kutsutaan attribuuteiksi. Nämä attribuutit voivat olla esimerkiksi: prioriteetti, tilausnumero tai nimi.

Objektin kulkiessa prosessin läpi, siihen kohdistetaan sarja resursseja (Shannon, 1998, s. 7–8). Resursseilla tarkoitetaan järjestelmän työvaiheita, joita objekti tarvitsee tullakseen prosessoiduksi. Resurssit voivat olla esimerkiksi varastointitila, trukki, korjaaja tai materiaalinkäsittelylaite. Prosessissa objektiin kohdistetut resurssit ovat usein luonteeltaan todennäköisyyksiin perustuvaa ja sattumanvaraista. Tästä syystä parametrien syöttäminen ja simulointimallin luominen on usein vaikeaa.

Simulaatiomalli on siis tietokoneohjelma, joka esittää järjestelmän toimintaa objektien saapuessa järjestelmään attribuutteineen, niihin kohdistetaan niiden tarvitsemat resurssit minkä jälkeen ne poistuvat järjestelmästä (Shannon, 1998, s. 8). Lisäksi tietokoneohjelma

seuraa aikaa sekä pitää kirjaa resurssien käytöstä, jonotusajoista, järjestelmän käsittelyajasta ja muista käyttäjän haluamista tilastoista.

Simuloinnin tavoite on tukea tuotantoprosessien suunnittelua tai parantaa olemassa olevia prosesseja analysoimalla prosessin kannalta tärkeitä mittareita, kuten kiertoaikoja tai koko laitteiston tehokkuutta (Kopec ym., 2023, s. 9). Tavoitteena on optimoida nämä resurssit ja tunnistaa kehitysalueet. Tämän tyyppinen simulointi on tärkeää tehokkuuden ja tuottavuuden parantamiseksi tuotannon eri vaiheissa. Kuviossa yksi kuvattu resurssien optimointi voiton maksimoimiseksi.



Kuvio 1. Simuloinnin tavoitteet (perustuu Kopec ym., 2023, s. 9).

3.2 Simuloinnin edut ja haitat

Simuloinnilla on useita etuja verrattuna analyttisiin tai matemaattisiin malleihin (Shannon, 1998, s. 7–8). Simulaatiomalli voi olla uskottavampi ja helpommin ymmärrettävä koska sen

käyttäytyminen on verrattavissa todellisen järjestelmän käyttäytymiseen. Simuloinnin etuja ovat:

- Uusien suunnitelmien kokeileminen sitomatta niihin resursseja.
- Uusia tapoja ja suunnitelmia pystytään kokeilemaan häiritsemättä käynnissä olevaa prosessia.
- Simulointi mahdollistaa pullonkaulojen tunnistamisen materiaalivirroissa sekä mahdollistaa vaihtoehtoisten menetelmien kokeilemisen virtausten nopeuttamiseksi.
- Simulointimallilla pystytään etsimään vastauksia, kuinka tai miksi tietyt ilmiöt tapahtuvat järjestelmässä.
- Simulointi mahdollistaa ajan hallinnan. Näin ollen viikkojen tai kuukausien simulointi onnistuu muutamassa sekunnissa, mikä mahdollistaa pitkien aikavälien tarkastelun. Myös ilmiöiden hidastaminen onnistuu tarkempia tutkimuksia tehdessä.
- Sen avulla saa paremman käsityksen siitä, kuinka mallinnettu järjestelmä todella toimii ja ymmärtää, mitkä muuttujat vaikuttavat järjestelmän suorituskykyyn.
- Simuloinnin suuri vahvuus on uusien ja tuntemattomien tilanteiden kokeilu.

Simuloinnin etujen lisäksi siinä on myös haittoja (Shannon, 1998, s. 7–8):

- Simulointimallinnus vaatii koulutusta sekä taitoa, tästä syystä käytännön taitotasot vaihtelevat suuresti. Simuloinnin hyödyllisyys riippuu mallin laadusta sekä mallintajan taidoista.
- Luotettavan tiedon kerääminen simulaatiomallia varten voi olla aikaa vievää, ja saatu tieto saattaa joskus olla valheellista. Simulointimalli ei korvaa riittämätöntä tietoa tai huonoja johtopäätöksiä.
- Simulointimallit tuottavat todennäköisimmän tuloksen niillä arvoilla, jotka malliin syötetään. Ne eivät siis tuota optimaalisia vastauksia tai ratkaisuja, vaan toimivat työkaluina järjestelmän käyttäytymisen analysointiin käyttäjän määrittelemien tietojen ja olosuhteiden perusteella.

3.3 Simuloinnin vaiheet

Simulointiprojektin vaiheet ovat seuraavat (Bangsow, 2015, s. 20):

- Ongelmien tunnistaminen

- Simulointikelpoisuuden testaus
- Tavoitteiden muotoilu
- Tiedonkeruu
- Mallintaminen
- Simulointiajojen suorittaminen
- Tulosten analysointi ja tulkinta
- Dokumentointi

3.3.1 Ongelmien tunnistaminen

Simuloinnin suorittajan on toimeksiantajan kanssa muotoiltava vaatimukset simuloinnille. Vaatimusten löydyttyä osapuolten tulisi tehdä kirjallinen sopimus, joka sisältää konkreettisen ongelman, jota simulaatiolla halutaan tutkia. (Bangsow, 2015, s. 21)

3.3.2 Simulointikelpoisuuden testaus

Simulointikelpoisuuden varmistamiseksi voi tarkastella esimerkiksi (Bangsow, 2015, s. 21):

- Simulointimallin ennustettavuus: analyttisten matemaattisten mallien puuttuminen, tai liian monia muuttujia
- Järjestelmän monimutkaisuus: löytyykö järjestelmästä liian monta huomioon otettavaa tekijää.
- Tietojen tarkkuutta
- Järjestelmän tutkimista asteittain

3.3.3 Tavoitteiden muotoilu

Järjestelmän tavoite koostuu yleensä yhdestä päämäärästä (kuten kannattavuudesta), joka jakautuu monenlaisiin alatavoitteisiin, jotka ovat vuorovaikutuksissa toistensa kanssa (Bangsow, 2015, s. 21). Yleisiä simuloinnille asetettuja tavoitteita ovat:

- Prosessiajan minimointi
- Käyttöasteen maksimointi
- Varaston minimointi
- Toimitusten aikataulussa pysyminen ja sen parantaminen

Kaikki määritellyt tavoitteet on kerättävä ja analysoitava tilastollisesti simulaatiomalleista saatujen tietojen perusteella. Tavoitteet siis määrittelevät simulointitutkimuksen laajuuden.

3.3.4 Tiedonkeruu

Simulointitutkimusta varten tarvittavat tiedot voidaan jakaa järjestelmän kuormitustietoihin, organisatorisiin tietoihin ja teknisiin tietoihin (Bangsow, 2015, s. 21–22). Taulukossa yksi esimerkkejä tarvituista tiedoista.

Taulukko 1. Esimerkkejä tiedoista simulointitutkimusta varten (perustuu Bangsow, 2015, s. 21–22).

Järjestelmän kuormitustiedot	
Tuotetiedot	Työsuunnitelmat
	Materiaalilistat
Työtiedot	Volyymit
	Päivämäärät
	Tilaukset
Organisatoriset tiedot	
Resurssien jakaminen	Työntekijät
	Laitteet
	Kuljettimet
Työajat	Työtauot
	Työaikajärjestelmä
Tekniset tiedot	
Tehtaan rakenteelliset tiedot	Tehtaan pohjapiirros
	Tuotantovälineet
	Kuljetusreitit
Valmistustiedot	Käyttöaika
	Suorituskyky
	Kapasiteetti
Materiaalivirran tiedot	Kuljettimet
	Kapasiteetit

3.3.5 Mallintaminen

Mallinnusvaihe sisältää simulointimallin rakentamisen ja testaamisen (Bangsow, 2015, s. 22). Mallinnus koostuu yleensä kahdesta vaiheesta, käsitteellisen mallin luomisesta ja mallin siirtämisestä ohjelmistomalliksi.

Ensimmäisessä vaiheessa simulointimallin rakentajalla täytyy olla yleinen käsitys simuloitavasta järjestelmästä (Bangsow, 2015, s. 22–23). Järjestelmän analysoinnin avulla järjestelmän monimutkaisuutta pyritään vähentämään tarkoituksenmukaisella tavalla. Järjestelmän attribuutteja pyritään vähentämään niin paljon kuin on mahdollista säilyttäen järjestelmän oikeellisuus. Tyypillisiä tapoja vähentää attribuutteja on tarpeettomien yksityiskohtien poistaminen ja oleellisten yksityiskohtien yksinkertaistaminen.

Toisessa vaiheessa malli rakennetaan ja testataan (Bangsow, 2015, s. 23). Mallin luominen täytyy dokumentoida, jotta on mahdollista tehdä muutoksia simulointimalliin myöhemmin. Dokumentointia usein laiminlyödään, mikä johtaa simulointimallin käyttökelvottomuuteen, jos muutoksia on syytä tehdä myöhemmin.

3.3.6 Simulointiajojen suorittaminen

Simulointiajot suunnitellaan simulaation, kokemukseen perustuvan tiedon, tavoitteiden ja odotusten perusteella (Bangsow, 2015, s. 23). Toistuvat simulointiajot on syytä suorittaa, jotta saadaan kattavaa määrää tietoa simulointimallista. Joissain tapauksissa voi olla hyödyllistä tarkastella yksittäisiä lohkoja erillisinä toisistaan. Parametrit sekä tulokset on dokumentoitava jokaiselle simulointiajolle.

3.3.7 Tulosten analysointi ja tulkitseminen

Simuloinnin tulosten oikea tulkinta on merkittävä tekijä simulointitutkimuksen onnistumiselle (Bangsow, 2015, s. 23). Jos tulokset ovat ristiriidassa tehtyjen oletusten kanssa, on tutkittava, mitkä tekijät tai parametrit vaikuttivat tuloksiin. On syytä myös huomioida, että monimutkaisilla järjestelmillä on ylösajoaika, ennen kuin tuotanto on täydessä vauhdissa. Tämä vaihe saattaa toimia eri tavalla todellisuudessa ja simulaatiossa. Tästä syystä ylösajon aikana saatuja tietoja ei yleensä käytetä simuloinnissa.

3.3.8 Dokumentointi

Simulointitutkimuksen dokumentointiin suositellaan raporttimaista muotoa (Bangsow, 2015, s. 24). Dokumentaation tulisi sisältää yleiskuva tutkimuksen aikataulusta ja kirjauksen tehdystä työstä. Raportin ytimenä tulisi olla tulosten esittely toimeksiantajan vaatimusten pohjalta. Simulointimallin rakenteen ja toiminnallisuuden kuvaaminen on suotavaa.

3.4 Simuloinnin validointi

Mallin toimiminen ja numeroiden tuottaminen ei takaa sen oikeellisuutta tai sitä, että tuotetut numerot edustavat mallinnettavaa järjestelmää (Shannon, 1998, s. 11–12). Tästä syystä simulointimallille on suoritettava validointi. Validointi pyrkii osoittamaan, että simulointimalli toimii odotetusti ja tarkoitetulla tavalla. Validointiprosessin aikana pyritään löytämään ja poistamaan tahattomat virheet mallin logiikassa. Myös tarkoituksella malliin tehtyjen yksinkertaistuksien ja yksityiskohtien poisjättämisen vaikutukset tuloksiin täytyy varmistaa.

3.5 Tecnomatix Plant Simulation

Plant Simulation on Siemensin Tecnomatix-tuoteperheen simulointiohjelmisto (Siemens, i.a.). Plant Simulation -ohjelmalla on mahdollista luoda mallinnuksia tuotantolaitoksista, -linjoista ja -operaatioista. Simulointiympäristössä on mahdollista tehdä tarkkoja mallinnuksia järjestelmistä 2D- ja 3D-mallina. Ohjelmistossa on monia sisäänrakennettuja työkaluja tuotantojärjestelmän suorituskyvyn arvioimiseen, kuten automaattinen pullonkaulojen tunnistus, materiaalivirran analyysi ja resurssien käyttöasteen analyysi.

4 TOTEUTUS

4.1 Tietojen keruu

Simulointimallia varten paalaamosta kerättiin jokaisen laitteen kiertoajat. Kierrosajat mitattiin sekuntikellolla mittaamalla, kauanko paali viettää aikaa yksittäisellä laitteella. Mittauksia suoritettiin viisi kertaa joka laitteelle, lopulliset kiertoajat saatiin saatujen kierrosaikojen keskiarvosta.

Näiden tietojen avulla pystyttiin luomaan Plant Simulation -ohjelmalla simulointimalli paalaamosta. Simulointimallin testiajoja suoritettiin nykytilan parametreilla sekä muutetuilla parametreilla, näiden avulla pystyttiin vertaamaan sitä nykytilanteeseen ja validoimaan mallin oikeellisuus sekä selvittämään nykyinen kapasiteetti sekä kapasiteetti muutetuilla parametreilla, kun käyttöasteet on maksimoitu. Testiajoja suoritettiin myös ilman häiriöitä sekä niiden kanssa, näistä saatiin tiedot paalaamon käyttöliittymästä. Käyttöliittymästä pystyttiin seuraamaan häiriöitä kolmen päivän ajalta. Häiriöt eroteltiin sekä rutiinitöihin eli kääre- ja teräslankarullan vaihtoon että sattumanvaraisiin häiriöihin, joita sattuu ajon aikana.

Ennakkotietojen perusteella tiedettiin, että tuotannolla 1400 tonnia vuorokaudessa paalaamosta ei ole löytynyt pullonkauloja, joten nykyinen maksimikapasiteetti ylittää tämän määrän. Oletus oli myös se, että tämän hetken maksimikapasiteetilla käyttöasteet eivät luultavasti ole optimaaliset. Pullonkaulana tuotannossa arveltiin olevan yksikkösitotaja tai puristimet.

4.2 Paalaamon layout ja toiminta

Paalaamo koostuu kahdesta paalauslinjasta, paalauslinjasta 1 ja paalauslinjasta 2. Linjat ovat hyvin samanlaiset, lukuun ottamatta laitteiden linjakohtaisia kiertoaikaeroja sekä kahden kuljettimen paikoitusta.

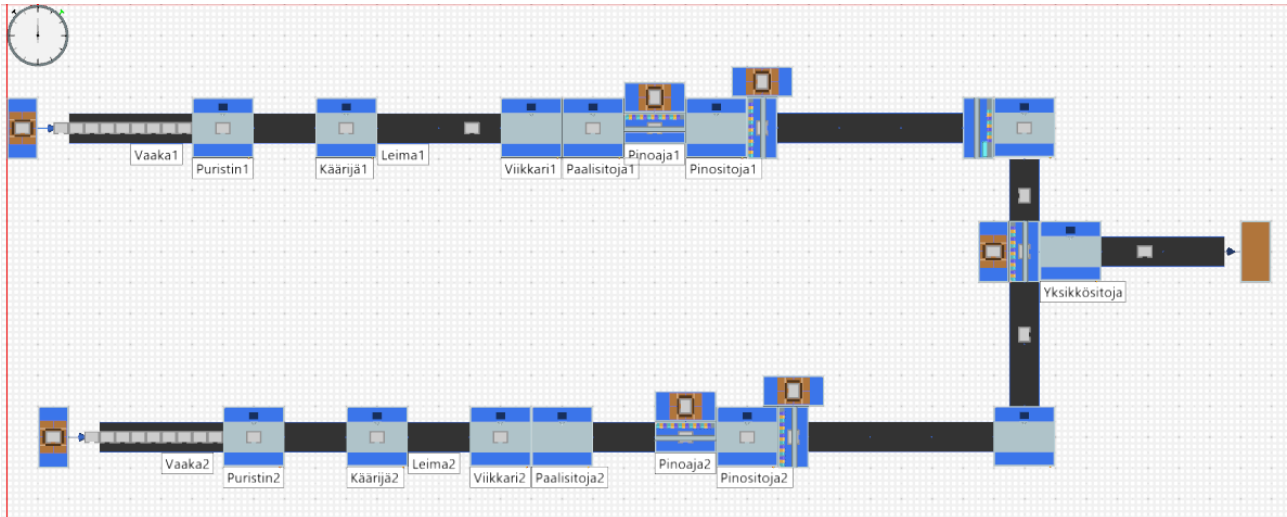
Paalauslinjojen toiminta:

1. Kummassakin paalauslinjassa kaksi kuljetinta kuljettavat paalit puristimelle. Jälkimmäisellä kuljettimella on vaaka, jossa paali punnitaan.

2. Punnituksen jälkeen paalit kulkevat puristimelle, joka puristaa paalit haluttuun paalikorkeuteen.
3. Puristuksesta paalit liikkuvat yhden kuljettimen kautta käärekoneelle, joka päällystää paalin kääreeseen.
4. Seuraavaksi paalit liikkuvat leimalaitteen läpi, joka leimaa paalin kääreen. Tässä kohdassa paalauslinjoja linjalla 1 on kaksi kuljetinta ja paalauslinjalla 2 on vain yksi kuljetin.
5. Kuljettimet vievät paalit viikkauslaitteille, jotka viikkaavat paalin kääreen päät hyvin, jotta ne peittävät paalin kokonaan.
6. Viikkauslaitteelta paalit kulkevat heti paalisitojille. Hyper-laadussa paaleja ei sidota, eli paalisitojat toimivat tässä mallissa pelkkinä kuljettimina.
7. Paalisitojan läpi tultuaan paalit kulkevat kohti pinoajia, linjalla 2 on yksi kuljetin välissä. Pinoajat pinoavat paaleista kolmen paalin pinot.
8. Pinoajan jälkeen pinot siirtyvät pinositojille, jotka myös toimivat kuljettimina, koska hyper-laadulla pinojakaan ei sidota.
9. Pinositojan jälkeiset kuljettimet keräävät pinoja ennen kuin ne lähtevät kuljettamaan niitä kohti yksikkösitojaa. Paalauslinjalla 1 pinoajan jälkeinen kuljetin kerää neljä pinoa, kun taas paalauslinjan 2 jälkeinen kuljetin kerää kaksi pinoa.
10. Pinojen keräämisen jälkeen linjat lähtevät kuljettamaan pinoja kohti yksikkösitojaa, linjalla 1 on kuusi kuljetinta pinositojan ja yksikkösitojan välillä, näistä neljäs on kääntyvä kuljetin. Kääntyville kuljettimelle mahtuu vain kaksi pinoa kerrallaan.
11. Linjalla 2 pinositojan ja yksikkösitojan välillä on seitsemän kuljetinta, joista neljäs on kääntyvä kuljetin. Linjojen viimeistä kuljetinta käyttävät molemmat linjat.
12. Viimeiseltä kuljettimelta kaksi pinoa siirtyy kohti yksikkösitojaa, joka sitoo kaksi pinoa yhdeksi yksiköksi. Yksikkösitojalta kuljettimet siirtävät yksiköt kohti varastoa.

4.3 Simulointimallin luominen

Simulointimallin luominen aloitettiin paalaamon nykytilanteen hahmottamisella simulointiohjelmistoon. Mitatut kiertoajat lisättiin ohjelmistoon kaikille tuotantolinjan laitteille, mukaan lukien kuljettimet. Kuvassa yksi näkyy simulointimallin rakenne.



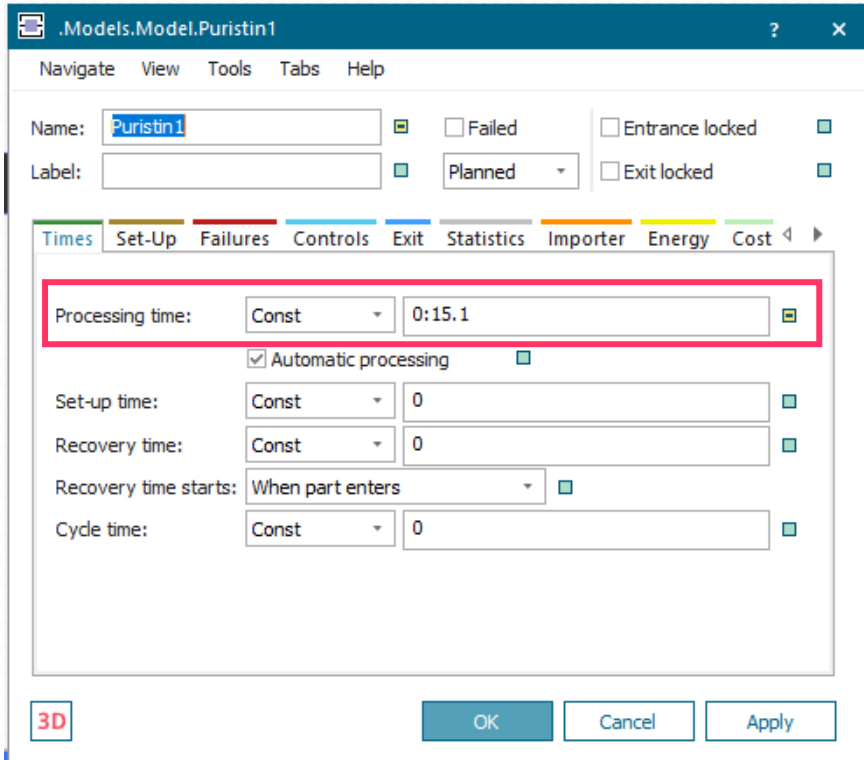
Kuva 1. Paalaamon simulointimalli.

Simulointimallissa käytetyt kiertoajat saatiin mitattujen kiertoaikojen keskiarvoista. Taulukossa kaksi näkyy simulaation laitemalleissa käytettyjä kiertoaikoja.

Taulukko 2. Laitteiden kiertoaikoja.

Puristin 1	Käärekone 1	Leima 1	Viikkauslaite 1	Pinoaja 1	Yksikkösitoja
15,1 s	12,5 s	6,7 s	12,3 s	10,1 s	
Puristin 2	Käärekone 2	Leima 2	Viikkauslaite 2	Pinoaja 2	38,1 s
14,375 s	12,1 s	3,25 s	12,1 s	11 s	

Paalaamossa olevat kuljettimet ovat erimittaisia, joten niille kaikille piti myös mitata aika, ja käyttää keskiarvoa saaduista ajoista mallissa. Kuvassa 2 näkyy, miten prosessiajat syötetään simulointimalliin.

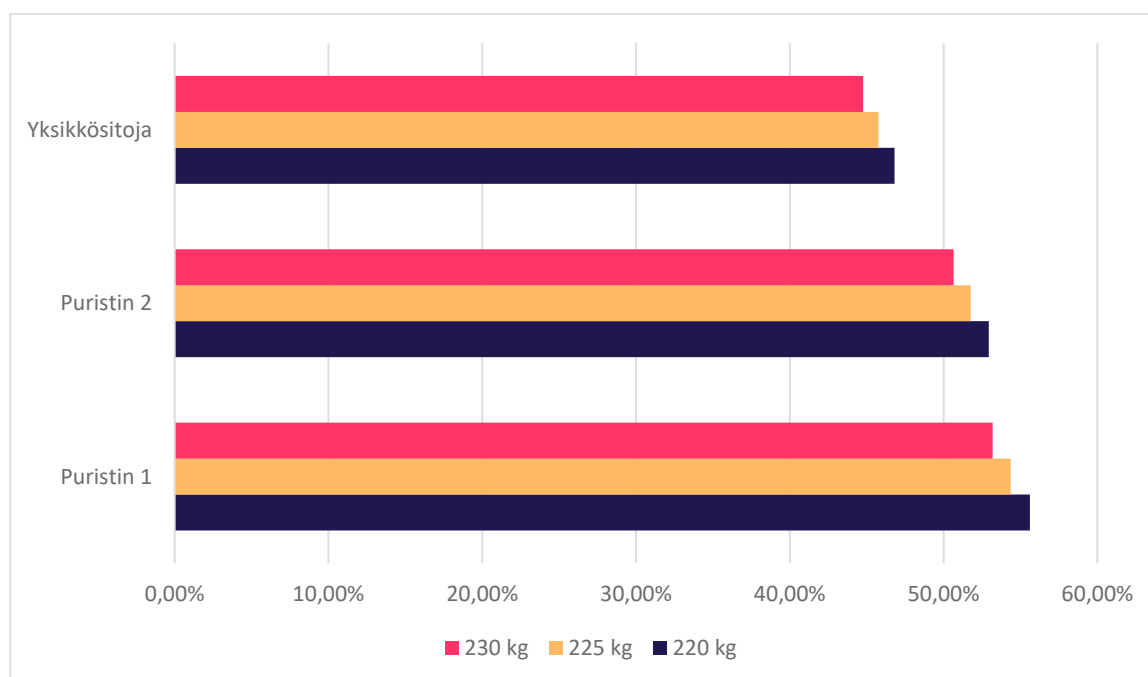


Kuva 2. Kiertoaikojen syöttäminen malliin, kuvassa puristimen 1 kiertoaika.

Koska paalaamossa osa kuljettimista kerää tietyn määrän pinoja kuljettimelle ennen kuin se lähtee kuljettamaan niitä eteenpäin, täytyi tiettyihin kohtiin mallia laittaa ylimääräinen kokoonpanoasema mallin oikeellisen toiminnan varmistamiseksi. Ylimääräiset kokoonpanoasemat keräävät tietyn määrän pinoja ennen kuin ne päästetään kuljettimelle. Nämä asemat löytyvät mallista molempien pinositojen jälkeen, sekä ennen linjan 1 kääntyvää kuljetinta. Pinositojan 1 jälkeinen kokoonpanoasema kerää neljä pinoa ilman kiertoaikaa, eli heti kun neljäs pino saapuu asemaan, päästää se ne seuraavalle kuljettimelle. Pinositojan 2 jälkeinen kokoonpanoasema tekee saman operaation, mutta kahdella pinolla. Koska kääntyville kuljettimille mahtuu vain kaksi pinoa, täytyi linjalle 1 laittaa purkamisasema. Tämä asema päästää kääntyvälle kuljettimelle vain kaksi pinoa kerrallaan ja pitää kahta muuta pinoa niin kauan paikallaan, kunnes edeltävät pinot ovat kulkeneet kääntyvän kuljettimen läpi.

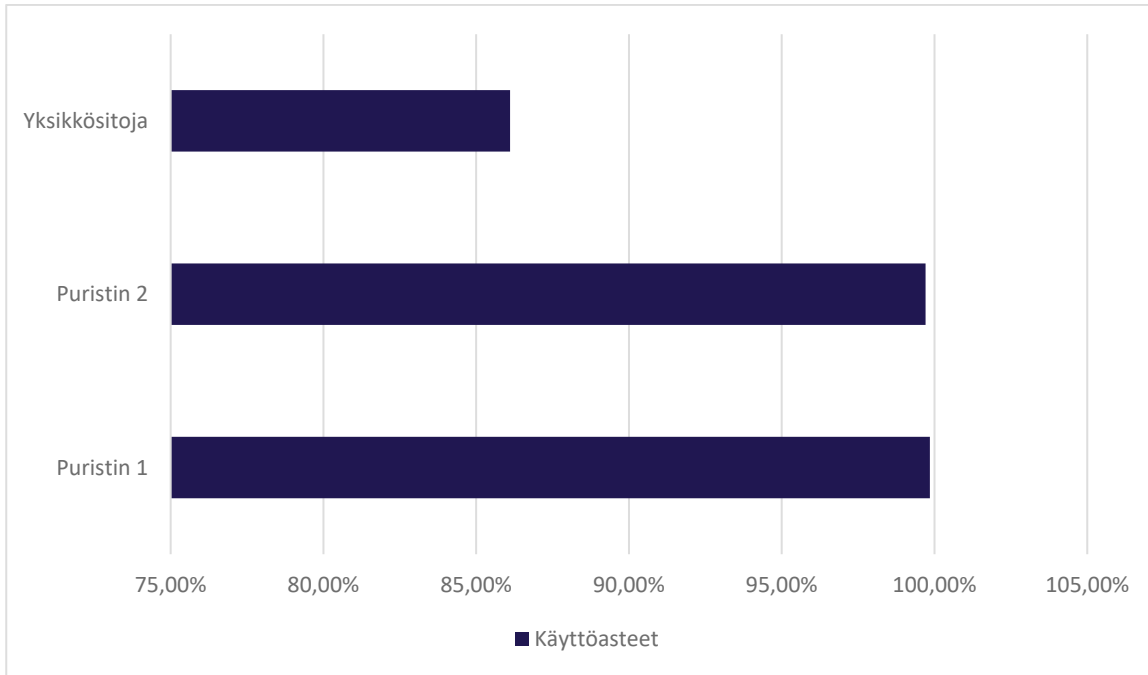
4.4 Testiajot

Kun malli oli valmis ja toiminta todettu oikeelliseksi, voitiin aloittaa testiajojen tekeminen. Ensimmäinen testiajo suoritettiin tuotannolla 1400 tonnia päivässä. Paalipainot vaihtelevat hyper-laadulla 220–230 kg, joten käyttöasteet otettiin ylös kolmesta eri painosta. Painojen vaihtelut eivät vaikuta laitteiden kiertoaikoihin. Puristimen 1 käyttöaste oli 55,61 %, joka oli kaikista laitteista korkein, joten tiedettiin, että maksimikapasiteetti oli reilusti yli ajetun 1400 tonnia vuorokaudessa. Puristimien sekä yksikkösitojan käyttöasteet olivat selvästi muita korkeammalla, kuviossa 2 näkyy puristimien sekä yksikkösitojan käyttöasteet paalipainoilla 220–230 kg.



Kuvio 2. Laitteiden käyttöasteet tuotannolla 1400 tonnia vuorokaudessa.

Tämän testiajon jälkeen selvitettiin paalauslinjojen maksimikapasiteettia sekä laitteiden käyttöasteita maksimituotannolla, eli paaleja laitettiin jatkuvasti kulkemaan linjaa pitkin, jotta paalauslinjojen pullonkaula löytyisi. Maksimikapasiteetti molemmille linjoille yhdessä oli 1950 yksikköä vuorokaudessa eli noin 2574–2691 tonnia vuorokaudessa. Kuvio kolme näyttää käyttöasteet tällä tuotannolla. Kuvion kolme tietojen perusteella pystyttiin varmistamaan, että pullonkaulana ovat puristimet, eikä yksikkösitoja. Puristimien käyttöasteet eivät olleet tasan 100 %, koska laitteiden häiriöt vaikuttivat niihin.



Kuvio 3. Laitteiden käyttöasteet maksimikapasiteetilla.

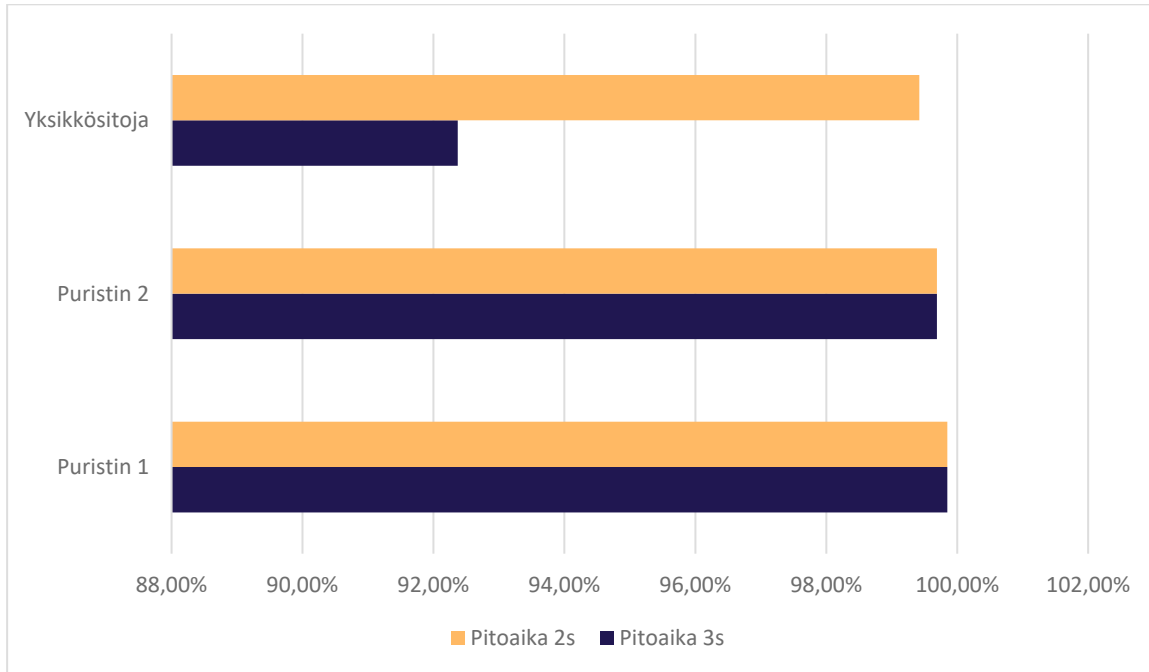
Toimeksiantaja halusi myös molempien yksittäisten paalauslinjojen maksimikapasiteetit, joten seuraavat koeajot suoritettiin siten, että vuorotellen pelkästään toiseen linjaan syötettiin paaleja. Yksittäisten linjojen maksimikapasiteetiksi saatiin:

- Linja 1: 951 yksikköä vuorokaudessa eli noin 1255,3–1312,4 tonnia vuorokaudessa paalipainoilla 220–230 kg.
- Linja 2: 998 yksikköä vuorokaudessa eli noin 1317,3–1377,2 tonnia vuorokaudessa paalipainoilla 220–230 kg.

4.5 Maksimikapasiteetin nostaminen

Puristimet puristavat paalin ilmatiiviiksi ja pitävät sitä muutamia sekunteja puristettuna, tätä aikaa kutsutaan pitoajaksi. Tällä hetkellä paalauslinjojen puristimien pitoaika on neljä sekuntia. Helpoin tapa nopeuttaa puristimien kiertoaika, on laskea puristimien pitoaikoja. Pitoaikojen laskeminen kuitenkin vaikuttaa paalikorkeuksiin, mikä voi nostaa logistiikkakustannuksia. Simulointimallilla kuitenkin suoritettiin testiajoja laskemalla puristimien

pitoaikoja, eli vähentämällä puristimien kiertoaikoja. Kuvion kolme kiertoaajat ovat neljän sekunnin pitoajoilla. Kuviossa neljä näkyy käyttöasteet kolmen ja kahden sekunnin pitoajoilla.



Kuvio 4. Laitteiden käyttöasteet pitoajoilla 3 sekuntia ja 2 sekuntia.

Laskemalla puristimien pitoaikoja kahdella sekunnilla saatiin yksikkösitijan käyttöaste nousemaan 99,42 %:iin, josta 0,56 % yksikkösitojalla oli häiriö. Eli yksikkösitijan odotusaste saatiin melkein 0 %:iin. Maksimikapasiteetti paalaamolle nousi 2252 yksikköön vuorokaudessa eli noin 2972,6–3025,0 tonniin vuorokaudessa. Kuvassa 3 on simuloinnin tulokset kahden sekunnin pitoajoilla.

The screenshot shows the 'Type Statistics' tab in the .Models.Model.Drain software. The 'Type dependent statistics' checkbox is checked. The 'Detailed Statistics Table' displays the following data:

Working:	73.40%	Average lifespan:	2:04.7160
Setting-up:	0.00%	Average exit interval:	38.3563
Waiting:	26.43%	Total throughput:	31528
Stopped:	0.00%	Throughput per minute:	1.56
Failed:	0.17%	Throughput per hour:	93.83
Paused:	0.00%	Throughput per day:	2252.00

At the bottom of the window, there are buttons for '3D', 'OK', 'Cancel', and 'Apply'.

Kuva 3. Tulokset kahden sekunnin pitoajoilla.

5 TULOKSET

Simulointimallin avulla saatiin selville tämän hetken maksimikapasiteetit molemmille linjoille erikseen sekä yhteiskapasiteetti. Saatiin myös selvitettyä tämän hetken pullonkaulat, jotka olivat puristimet. Simulointimallilla pystyi myös testaamaan paljonko maksimikapasiteetti nousisi, jos puristimien kiertoaikaa pystyttäisiin laskemaan kahdella sekunnilla.

Maksimikapasiteetit olivat:

- Linja 1: 951 yksikköä vuorokaudessa eli noin 1255,3–1312,0 tonnia vuorokaudessa.
- Linja 2: 998 yksikköä vuorokaudessa eli noin 1317,4–1377,2 tonnia vuorokaudessa.
- Molemmat linjat: 1950 yksikköä vuorokaudessa eli noin 2574,0–2691,0 tonnia vuorokaudessa.
- Kapasiteetti kahden sekunnin pitoajoilla: 2252 yksikköä vuorokaudessa eli noin 2972,6–3025,0 tonnia vuorokaudessa.

Pitoaikoja laskemalla pystyttäisiin nostamaan kapasiteettia noin 15,5 %. Pitoaikojen vaikutusta paalikorkeuksiin ei kuitenkaan opinnäytetyön aikana pystytty testaamaan laitoksen seisokkien takia.

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Projekti oli vaatimustasoltaan kohtuullinen. Projektin edetessä opittiin, miten simulointimalli rakennetaan, millaisia tietoja tarvitaan ja miten se tutkitaan oikeelliseksi. Työn tekeminen oli luontevaa ja aikaisempi kokemus Kaskisten tehtaasta oli hyödyllistä. Simulointimallin avulla saatiin selvitettyä määritellyt tavoitteet.

Mallin rakentamisessa haasteita toi kuljettimien toimiminen laskureilla, joten tiettyihin kuljettimiin piti saada tietty määrä paaleja kerralla, jotta malli olisi oikeellinen. Kierro- sekä häiriöaikojen kerääminen oli myös aikaa vievää työtä. Osa työn tavoitteista oli sidottu uuteen kartonkitehdashankintaan, joka peruuntui kesken opinnäytetyön tekoa.

Jatkoa ajatellen simulointimallia voisi käyttää myös muiden laatuojen kanssa luomalla muutamia metodeja tietyille laitteille. Esimerkiksi sitoajat ja pinoajat saataisiin ymmärtämään automaattisesti tuotettavan laadun mukaan, tarvitseeko paaleja tai pinoja sitoa ja kuinka monen paalin pinoaja pinoajat tekevät.

Opinnäytetyöhön sisältyi tiedonkeruun ja simulointimallin rakentamisen lisäksi myös henkilökunnan kanssa toimimista ja kommunikointia.

LÄHTEET

- Bangsow S. (2015). *Tecnomatix plant simulation : modelling and programming by means of examples*. Springer International Publishing.
- Delfoi (i.a.). *Tuotanto- ja logistiikkajärjestelmien suunnittelua ja optimointia simuloimalla*. <https://delfoi.com/fi/teollisuus/consulting/tuotannon-ja-logistiikan-simulointi/>
- Hogland W., Marques M., & Grover V. (1999). *Baling storage method: past, present and Swedish experience*. <https://doi.org/10.15626/Eco-Tech.1999.022>
- Kopec J., Pekarcikova M., Mizerak M., & Trojan J. (2023). *Use of production simulation as a verification tool*. https://www.actasimulatio.eu/issues/2023/I_2023_02_Kopec_Pekarcikova_Mizerak_Trojan.pdf
- Metsä Board. (2024). *Vuosikertomus 2023*. <https://www.metsagroup.com/globalassets/metsa-board/documents/investors/annual-report/2023/metsa-board-vuosikatsaus-2023.pdf>
- Metsä Group. (i.a.-a). *Yritysrakenne*. <https://www.metsagroup.com/fi/tietoa-metsa-groupista/tietoa-meista/yritysrakenne/>
- Metsä Group. (i.a.-b). *Kaskisten BCTMP-tehdas*. <https://www.metsagroup.com/fi/metsaboard/metsa-board/tuotantoyksikot/Kaskisten-BCTMP-tehdas/>
- Shannon, R. (1998). *Introduction to the art and science of simulation*. Texas A&M University.
- Siemens. (i.a.). *Plant Simulation*. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/products/plant-simulation-software/>