

Sami Salonen

Sellutehtaan paalauslinjojen pullonkaulojen vähentäminen

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Robottiikan ja tekoälyn koulutus

2025



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Sami Salonen
Työn nimi	Sellutehtaan paalauslinjojen pullonkaulojen vähentäminen
Toimeksiantaja	UPM-Kymmene Oyj
Vuosi	2025
Sivut	43 sivua, liitteitä 4 sivua
Työn ohjaaja(t)	Teemu Jokela, Matias Puranen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on analysoida ja kehittää UPM Kymin sellutehtaan paalauslinjojen toimintaa tuotannon tehokkuuden parantamiseksi. Paalauslinjat muodostavat tällä hetkellä pullonkaulan, joka rajoittaa tehtaan tuotantokapasiteettia ja heikentää läpimenoaikoja sekä tehokkuutta. Työssä keskitytään nykytilan analysointiin, kapasiteettia rajoittavien tekijöiden tunnistamiseen sekä teknisten ja toiminnallisten ratkaisujen kehittämiseen pullonkaulojen poistamiseksi.

Tutkimusmenetelminä hyödynnetään prosessinhallinnan havaintoja, haastatteluja, reaaliaikaisia mittauksia sekä automaatiojärjestelmien tuottamaa dataa. Työssä tarkastellaan paalauslinjojen keskeisiä prosessivaiheita ja laitteita arkikileikkurilta varastoon asti. Tutkimuksessa selvitetään, mitkä ovat merkittävimmät pullonkaulat ja millaisia ratkaisuja niiden poistamiseen voidaan hyödyntää. Lisäksi arvioidaan ratkaisujen vaikutuksia linjojen käyttöasteeseen, häiriöiden määrään ja tuotannon tehokkuuteen.

Työssä sovelletaan Lean-ajattelua ja prosessianalyysiä ja kehitysehdotukset esitetään käytännön toteutettavuuden näkökulmasta. Automaatiojärjestelmien ohjelmallisia muutoksia tarkastellaan osana ratkaisuvaihtoehtoja. Uusien laitteiden hankintaa tai investointisuunnittelua ei käsitellä, mutta niiden tarpeellisuus voi ilmetä tutkimuksen tuloksissa. Työn tuloksena koottiin toteuttamiskelpoisia ohjelmallisia ja mekaanisia kehitysehdotuksia paalauslinjan toiminnan tehostamiseksi ja kapasiteetin kasvattamiseksi. Niitä ehdotettiin muun muassa kuljetinjärjestelmiin sekä laitteistojen tehokkuuden ja toimintavarmuuden parantamiseksi.

Asiasanat: sellutehdas, paalauslinja, pullonkaulat, läpimenoaika, käytettävyys, tuotantotehokkuus, arvovirtakuvaus, prosessinkehitys, käynnissäpito, tuotantolinjan optimointi, automaatio, teollisuusprosessit

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Sami Salonen
Thesis title	Reducing bottlenecks in pulp mill baling lines
Commissioned by	UPM-Kymmene Oyj
Time	2025
Pages	43 pages, 4 pages of appendices
Supervisor	Teemu Jokela, Matias Puranen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to analyse and develop the operation of the baling lines at the UPM Kymi pulp mill to improve production efficiency. Currently, the baling lines form a bottleneck that limits the plant's production capacity and negatively affects throughput times and efficiency. This study focuses on analysing the current state, identifying factors restricting capacity, and developing technical and operational solutions to eliminate bottlenecks.

The research methods included observations of process control, interviews, real-time measurements, and data from automation systems. The study examined the key process stages and equipment of the baling lines, from the sheet cutter to storage. It aimed to identify the most significant bottlenecks and explore potential solutions for their elimination. Additionally, the effects of these solutions on process utilization rates, the number of disturbances, and production efficiency were assessed.

The study applied Lean thinking and process analysis, with development proposals presented from the perspective of practical feasibility. Software modifications to automation systems were considered as part of the solution alternatives. The study does not address the procurement of new equipment or investment planning, but their necessity may emerge from the research findings. As a result of the study, feasible software-based and mechanical improvement proposals were compiled to enhance the efficiency of the baling line and increase its capacity. Improvement proposals were made, for example, for conveyor systems and for enhancing the efficiency and reliability of the equipment.

Keywords: pulp mill, baling line, bottlenecks, throughput time, availability, production efficiency, value stream mapping, process development, maintenance, production line optimization, automation, industrial processes

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tausta.....	6
1.2	Tavoitteet.....	6
1.3	Rajaukset.....	7
2	UPM KYMI.....	7
2.1	Kuivaamo.....	7
2.2	Sellutehtaan paalauslinjat.....	8
3	PULLONKAULAT JA LEAN.....	9
3.1	Pullonkaulojen teoria ja niiden vaikutus tuotantoon.....	9
3.2	Lean-periaatteet ja prosessitehokkuuden parantamiskeinot.....	9
3.3	Lean-ajattelu ja Six Sigma.....	10
4	PAALAUSSLINJAN VAIHEET.....	11
4.1	Arkkileikkuri.....	11
4.2	Paalipuristin.....	11
4.3	Käärekone.....	12
4.4	Viikkaaja.....	13
4.5	Sitomakone.....	14
4.6	RFID-leimasinrobotti.....	16
4.7	Tunnisteen tulostin.....	17
4.8	Pinoaja.....	18
4.9	Suurpaalisitoja.....	18
4.10	Yksiköintisitoja.....	19
4.11	Paalien kuljetus ja siirto.....	20
5	NYKYTILAN KARTOITUS.....	22
5.1	Käytettävyys ja kapasiteettivaatimukset.....	23
5.2	Toistuvat häiriöt paalauslinjalla.....	24
5.3	Tunnistetut pullonkaulat ja hidasteet.....	24

5.4	Mittaukset ja havainnot	25
6	HUOLTOJEN VAIKUTUS KAPASITEETTEIHIN	28
6.1	Säännölliset huollot ja niiden kestot.....	28
6.2	Puskurin ja kapasiteetin riittävyys katkoksiin	29
7	ANALYYSI JA KEHITYSKOHTEIDEN TUNNISTAMINEN	31
7.1	Tunnistettujen pullonkaulojen vaikutukset	31
7.2	Kehityskohteiden priorisointi ja ratkaisut.....	32
7.2.1	Paalihissin kapasiteetti- ja rakenteelliset haasteet.....	32
7.2.2	Siirtovaunun kapasiteetti ja toiminnalliset rajoitteet.....	35
7.2.3	Käärekoneen suorituskyky ja häiriöherkkyys	36
7.2.4	Paalipuristimen optimointi	38
7.2.5	Muut pullonkaulat, hidasteet tai ongelmat.....	39
8	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET.....	43

LIITTEET

Liite 1. Kääreellisen paalin nykytilan arvovirtakuvaus

Liite 2. Kääreellisen paalin muutosten arvovirtakuvaus

Liite 3. Kääreettömän paalin nykytilan arvovirtakuvaus

Liite 4. Kääreettömän paalin muutosten arvovirtakuvaus

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on analysoida ja kehittää UPM Kymin sellu-
tehtaan paalauslinjojen toimintaa tuotannon tehokkuuden parantamiseksi.
Paalauslinjat ovat keskeinen osa tehtaan tuotantoprosessia, sillä ne viimeiste-
levät sellun myyntivalmiiksi tuotteiksi. Nykytilanteessa paalauslinjat muodosta-
vat pullonkaulan, joka rajoittaa tehtaan tuotantokapasiteettia ja vaikuttaa ne-
gatiivisesti läpimenoaikoihin sekä tehokkuuteen. Opinnäytetyössä analysoi-
daan tuotantoprosessia hyödyntäen sekä laadullisia että määrällisiä tutkimus-
menetelmiä, kuten prosessinhallinnan havaintoja, haastatteluja, reaaliaikaisia
mittauksia ja automaatiojärjestelmän tuottamaa dataa, joita analysoimalla sel-
vitetään mahdollisia konkreettisia ratkaisuja tunnistettuihin pullonkauloihin ja
ongelmiin.

1.2 Tavoitteet

Tavoitteena on esittää toteutettavissa olevia ratkaisuja, jotka poistavat tunnis-
tetut pullonkaulat, parantavat linjojen käyttöastetta ja vähentävät häiriöitä.
Opinnäytetyön päätavoitteena on parantaa paalauslinjojen toimintaa tunnistam-
alla ja poistamalla tuotannon pullonkauloja. Kehittämällä linjojen tehokkuutta
pyritään lisäämään niiden käyttöastetta, jolloin varmistetaan tuotantoprosessin
sujuvuus ja kilpailukyky. Tavoitteena tehdä raportti, josta nämä asiat selviävät.

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä ovat paalauslinjojen keskeisimmät pullonkaulat ja miten ne vai-
kuttavat tuotannon tehokkuuteen?
- Millaisia teknisiä tai toiminnallisia ratkaisuja voidaan käyttää pullon-
kaulojen poistamiseen?
- Kuinka paljon linjojen käyttöastetta ja tuotantotehokkuutta voidaan pa-
rantaa ehdotetuilla toimenpiteillä?
- Voidaanko paalauslinjan toimintaa tehostaa pelkästään ohjelmallisilla
muutoksilla?

Tavoitteen saavuttamiseksi työssä keskitytään paalauslinjojen nykytilan analy-
sointiin ja kapasiteettia rajoittavien tekijöiden tunnistamiseen, teknisten ja toi-

minnallisten ratkaisujen kehittämiseen pullonkaulojen poistamiseksi sekä ratkaisujen toteutettavuuden ja vaikutusten arviointiin erityisesti linjojen käyttöasteeseen, häiriöiden määrään ja tuotannon tehokkuuteen.

1.3 Rajaukset

Tarkastelun kohteena ovat paalauslinjojen keskeiset prosessivaiheet ja laitteet, kuten paalipuristimet, käärekoneet, sitojat, leimaimet ja erilaiset kuljettimet. Muita sellun tuotannon osa-alueita, kuten kuitulinjaa, ei käsitellä tarkemmin. Työssä hyödynnetään automaatiojärjestelmien dataa sekä havaintoja ja haastatteluja paalauslinjojen operaattoreilta ja käynnissäpitohenkilöstöltä. Uusien laitteiden hankintaa tai laajamittaista investointisuunnittelua ei käsitellä, mutta niiden tarpeellisuus saattaa nousta esiin tuloksissa. Ratkaisuissa huomioidaan tekninen toteutettavuus ja taloudellinen kannattavuus. Näillä rajoituksilla varmistetaan, että työ keskittyy paalauslinjojen keskeisiin kehityskohteisiin ja tuottaa toteuttamiskelpoisia ratkaisuja tehtaan tarpeisiin.

2 UPM KYMI

UPM Kymin sellutehdas sijaitsee Kuusankoskella, Kouvolassa, ja se on yksi UPM:n merkittävistä sellutuotantolaitoksista Suomessa. Tehtaan vuotuinen selluntuotantokapasiteetti on noin 870 000 tonnia sellua, mikä tekee siitä UPM:n suurimman Suomen sellun tuotantolaitoksen. Tehdas on erikoistunut korkealaatuisen havu- ja koivusellun valmistukseen, joita käytetään monipuolisesti erilaisissa loppukäyttökohteissa, kuten paperin, kartongin ja pehmopaperin raaka-aineena. Kymin tehdas toimii osana suurempaa teollista kokonaisuutta, joka sisältää myös paperitehtaan. Tämä integraatio mahdollistaa resurssien tehokkaan käytön, kuten energian ja veden kierrätyksen, sekä tuotannon sivuvirtojen hyödyntämisen. (UPM Pulp 2025.)

2.1 Kuivaamo

Kymin sellutehtaalla on yksi kuivauskone, KK3 (kuivauskone 3). Kuivaamo on keskeinen osa tuotantoprosessia ennen paalauslinjaa, sillä sen tehtävänä on poistaa liiallinen kosteus sellumassasta ja varmistaa, että valmiista sellusta

saadaan oikea laatu ja kuivapaino. Kuivaamo toimii sellutehtaan jälkikäsitteilyvaiheessa, jonka jälkeen sellu on valmis paalauslinjoille siirrettäväksi myyntivalmiiksi tuotteiksi. (KnowPulp 2024.)

Kuivausprosessin aikana sellumassasta poistetaan suuri osa kosteudesta, mutta säilytetään kuitenkin sellun ominaisuudet, kuten kuitujen laatu ja tuotteen jäykkyys. Prosessissa on tärkeää saavuttaa optimaalinen kuivausaste, sillä liiallinen kuivaus voi heikentää sellun laatua, kun taas liian korkea kosteus voi vaikuttaa paalausprosessiin ja sen tehokkuuteen. (KnowPulp 2024.)

2.2 Sellutehtaan paalauslinjat

Kymin sellutehtaalla on kaksi paalauslinjaa, jotka vastaavat valmistetun sellun viimeistelystä myyntivalmiiksi tuotteiksi. Paalauslinjojen tehtävänä on käsitellä kuivatut selluarkit paaleiksi ja pakata ne kuljetusta varten. Nämä linjat ovat keskeinen osa tehtaan tuotantoprosessia, sillä niiden kapasiteetti ja toimintavarmuus vaikuttavat suoraan tehtaan sellupaalien läpimenoaikoihin ja tuotantotehokkuuteen. Kymin sellutehtaan kuivaamo ja paalauslinjat ovat valmistuneet vuonna 2015 Kymi-700-projektissa (UPM 2015). Kymin paalauslinjojen kokonaiskapasiteetti on käyttöönotossa laskettu olevan 2 350 tonnia päivässä (t/d).

Paalauslinjat tuottavat 250 kg:n kääreellisiä pienpaaleja, joista kootaan 2 000 kg:n painoisia vientyksiköitä ja tämän lisäksi 1 000 kg:n kääreettömiä suurpaaleja. Kääreelliset paalin prosessissa on enemmän vaiheita verrattuna yksinkertaisempaan kääreettömään paaliin. Paalauslinjan laitteisto ja kuivauskone ovat Andritzin laitteistoa.

Paalauslinjojen pääkomponentteja ovat arkkileikkuri, paalipuristimet, käärekooneet, RFID-leimaisimet, automaattiset kuljettimet ja sitoijat. Prosessissa jokainen vaihe on suunniteltu toimimaan saumattomasti yhdessä, mutta mahdolliset häiriöt missä tahansa osassa linjaa voivat aiheuttaa tuotantokatkoksia tai hidastaa toimintaa. Linjojen valvonta ja ohjaus tapahtuu keskitetysti automaatiojärjestelmien avulla, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen seurannan ja nopean reagoinnin ongelmatilanteisiin. Vaikka molemmat linjat on suunniteltu toimi-

maan tehokkaasti ja yhdenmukaisesti, niiden käyttöaste ja kapasiteetti asettavat haasteita erityisesti huipputuotannon aikana. Linjat ovat identtisiä paalipuristimelta kääreettömien suurpaalien sitoajalle asti, jonka jälkeen ne yhdistyvät yksiköintiin asti, josta jatkavat samaa kuljetinta varastoon.

3 PULLONKAULAT JA LEAN

3.1 Pullonkaulojen teoria ja niiden vaikutus tuotantoon

Pullonkaula on prosessin kohta, jossa kapasiteetti tai suorituskyky on rajoitettu tai estää koko järjestelmän tai prosessin sujuvan toiminnan. Pullonkaulat voivat ilmetä monilla eri alueilla tuotantoprosessissa, ja ne voivat johtua teknisistä rajoitteista, laitteiston ongelmista, työvoiman puutteesta, materiaalivirran häiriöistä tai huonosti suunnitelluista työprosesseista. Pullonkaulan vaikutuksesta prosessissa syntyy hidasteita, jotka johtavat tuotannon viivästymisiin, resurssien tehoittomaan käyttöön ja jopa kokonaiskapasiteetin alenemiseen. (Harju 2021, 6.)

Pullonkaulan tunnistaminen ja sen poistaminen on tärkeää, sillä se parantaa prosessin kokonaistulosta ja kapasiteettia (Harju 2021, 3). Ilman pullonkaulan ratkaisemista tuotannon kokonaistehokkuus jää alhaiseksi, ja yritys ei voi saavuttaa täyttä tuotantopotentiaaliaan. Esimerkiksi teollisessa tuotannossa, kuten sellutehtaan paalauslinjoilla, pullonkaula voi olla esimerkiksi kriittinen vaihe, joka estää tuotteen valmistumista odotetussa aikarajassa, esimerkiksi ylimääräisten liikkeiden tai viiveiden myötä.

3.2 Lean-periaatteet ja prosessitehokkuuden parantamiskeinot

Lean-ajattelu on toimintamalli, joka keskittyy prosessien virtaviivaistamiseen, hukkan vähentämiseen ja resurssien tehokkaaseen hyödyntämiseen. Sen tavoitteena on lisätä arvoa asiakkaalle ja vähentää tuotannossa esiintyviä ei-arvoa tuottavia toimintoja. (Pazek 2021, 13.) Lean-menetelmien soveltaminen prosessiteollisuudessa, kuten sellutehtaiden paalauslinjoilla, mahdollistaa tuotannon sujuvoittamisen ja tehokkuuden parantamisen tunnistamalla ja poistamalla tuotannon pullonkauloja.

Arvovirtakartoituksessa prosessista tunnistetaan kaikki lisäarvoa tuottavat ja ei-tuottavat toiminnot. Sen avulla voidaan havainnollistaa materiaali- ja energiavirrat, odotusajat ja työn eteneminen. Kun pullonkaulat on tunnistettu, voidaan niiden poistamiseen käyttää erilaisia Lean-työkaluja, kuten Six Sigma, 5S-menetelmää, Kanban-järjestelmää ja jatkuvan parantamisen (Kaizen) periaatteita. (Pazek 2021, 16, 50–56). Tarkalleen ottaen sovelletaan tässä työssä Six Sigman DMAIC-menetelmää (define, measure, analyze, improve and control), joka on rakenteellinen prosessinparannusmalli. Six Sigma on datalähtöinen menetelmä, joka pyrkii minimoimaan prosessivaihtelut ja parantamaan laatua. Sen avulla voidaan tunnistaa ja eliminoida virhelähteitä, mikä parantaa tuotannon luotettavuutta ja tehokkuutta. (Pereira 2024, 11).

3.3 Lean-ajattelu ja Six Sigma

Six Sigman DMAIC-menetelmä on järjestelmällinen lähestymistapa prosessin kehittämiseen, joka jakautuu viiteen vaiheeseen: Define, Measure, Analyze, Improve ja Control. Ensimmäisessä vaiheessa (Define) kartoitin sellutehtaan paalauslinjan mahdollisia pullonkauloja ja hidasteita haastattelujen ja havaintojen avulla. Seuraavassa vaiheessa (Measure) suoritin sovelletun arvovirtakartoituksen (Value Stream Mapping), joka auttoi paikantamaan kriittisimmät kohdat ja ohjasi tarkempaan analyysiin. Analyysi-vaiheessa (Analyze) tutkittiin kerättyä dataa ja tunnistettiin ne pullonkaulat, jotka vaikuttivat merkittävimmin tuotannon tehokkuuteen. Parannusvaiheessa (Improve) kehitin ja arvioin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja ongelmakohtien poistamiseksi sekä laskin muutosten vaikutukset prosessiin. Lopuksi valvontavaiheessa (Control) määritetään, miten muutosten vaikutuksia seurataan jatkossa ja varmistetaan, että parannukset vakiintuvat osaksi tuotantoprosessia.

Lean-ajattelussa hukka (Muda) määritellään kaikeksi toiminnaksi, joka ei lisää arvoa asiakkaalle. Hukka voi ilmetä esimerkiksi ylimääräisinä varastoina, tarpeettomina kuljetuksina, tuotannon odotusaikoina tai ylimääräisenä käsittelyinä. Sellutehtaan paalausprosessissa hukkan vähentäminen voi tarkoittaa esimerkiksi materiaalin käsittelyprosessin optimointia, laitteiden käyttöasteen parantamista ja tuotantovirheiden vähentämistä. (Pazek 2021, 45.)

Muutokset paalausprosessiin voivat olla joko ohjelmallisia tai mekaanisia. Ohjelmallisiin muutoksiin kuuluu esimerkiksi työprosessien optimointi Lean- ja Six Sigma -menetelmiä hyödyntäen. Mekaaniset muutokset voivat tarkoittaa uusien laitteiden hankintaa, nykyisten laitteiden optimointia tai tuotantolinjan fyysistä uudelleenjärjestelyä, jotta materiaalivirrat ja työvaiheet saadaan sujuvammiksi.

4 PAALAUSSLINJAN VAIHEET

Tässä osiossa esitellään paalauslinjan vaiheet ja niiden toimintaperiaatteet virtausjärjestyksessä alusta loppuun. Näitä kaikkia vaiheita analysoidaan tuloksissa, kun etsitään ja tulkitaan paalauslinjojen pullonkauloja.

4.1 Arkkileikkuri

Arkkileikkuri on sellutehtaan paalauslinjan keskeinen laite, joka leikkaa sellumatosta halutun kokoisia arkkeja ennen niiden jatkokäsittelyä. Prosessi alkaa, kun sellumatto kulkee kuivauksen ja tasoituksen jälkeen arkkileikkuriin kuljetinhihnojen tai telojen avulla. Leikkurissa käytetään nopeita ja tarkasti säädettyjä teriä, jotka leikkaavat sellumatosta tasalaatuisia ja mittatarkkoja arkkeja. (KnowPulp 2024.)

Leikkausmekanismi voi perustua joko mekaanisiin teriin tai pyöriviin leikkausjärjestelmiin, jotka takaavat tehokkaan ja tarkan toiminnan. Aluksi sellumatto leikataan pituussuunnassa, jonka jälkeen se leikataan vaakasuunnassa. Leikkauksen jälkeen arkit tippuvat paalipöydälle, jossa ne pinoavat siististi tuotantovaatimusten mukaisesti. (KnowPulp 2024.) Arkkien leveys on 700 mm ja pituus 850 mm. Paalipöydälle syntyy yhdeksän pinoa arkkeja kerrallaan, joiden paino on 250 kg. Valmiit pinot siirretään kuljettimien avulla seuraavaan vaiheeseen, eli paalipuristimelle. Arkkileikkurin tuotantonopeus määräytyy suhteessa kuivauskoneen nopeuteen.

4.2 Paalipuristin

Paalipuristin on sellutehtaan paalauslinjan keskeinen osa, joka tiivistää selluarkkipinoja tiiviiksi paaleiksi helpottaen niiden käsittelyä, varastointia ja kuljetusta (kuva 1). Sen toiminta alkaa, kun valmiiksi leikatut ja pinotut selluarkit

syötetään puristimeen kuljettimen avulla. Paalipuristin käyttää voimakasta hydraulista painetta puristaakseen arkkipinon tiiviiksi paaliksi, jolloin tilantarve pienenee merkittävästi ja paali saadaan helposti kuljetettavaksi. Puristusprosessin aikana varmistetaan, että paalin muodot ja mitat vastaavat standardivaatimuksia.

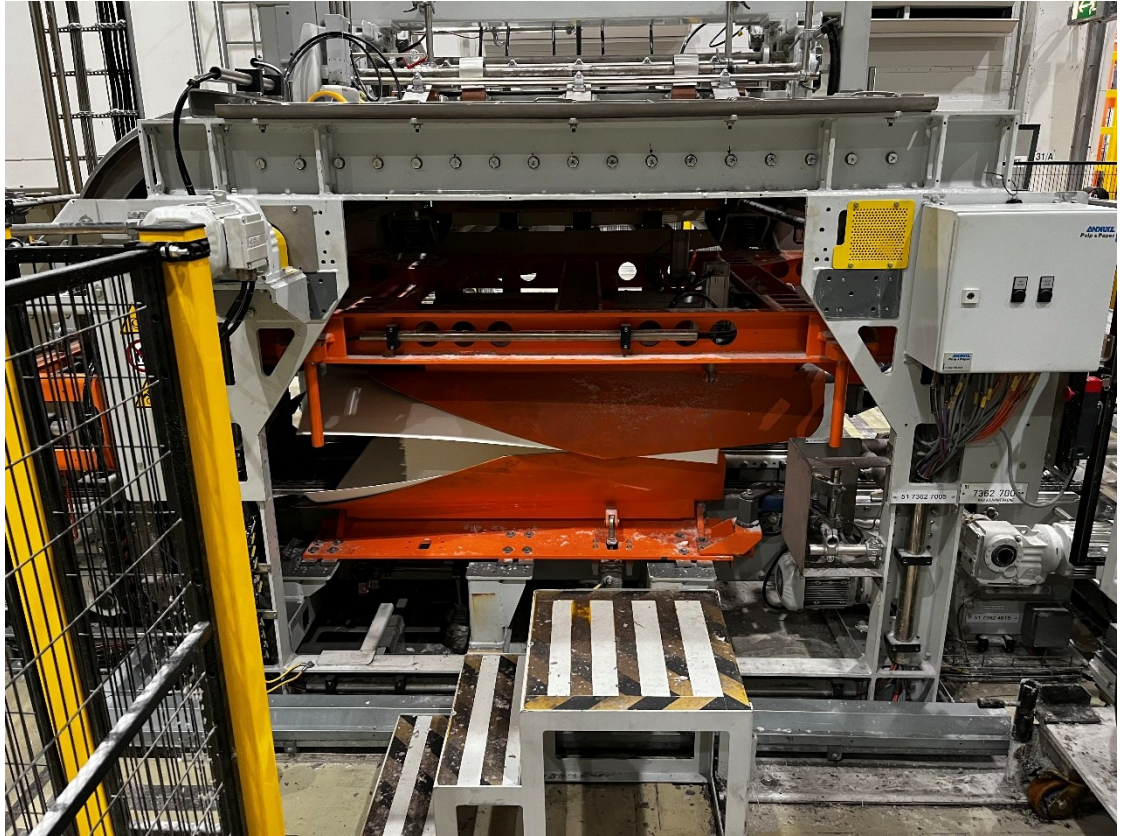


Kuva 1. Paalipuristin ja sen puristama paali UPM logolla.

Paalit puristetaan puristimessa ennalta asetettuun korkeuteen, joka on 420–450 mm:n välillä. Materiaalin puristusasteen säätämiseen käytetään säädettävää paineenrajoituslaitetta. Mikäli ennalta asetettu maksimipaine saavutetaan, yläpuristuslevy pysähtyy kyseiseen kohtaan. (Gronostay 2014, 12.)

4.3 Käärekone

Duowrap, eli käärekone on olennainen osa sellutehtaan paalauslinjaa, ja sen tehtävänä on suojata valmiit paalit ympäristöltä ja helpottaa niiden käsittelyä kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Sellukääre on myös kosmeettinen osa paaleja. Käärekoneen toiminta alkaa, kun paalipuristimelta saapuva paali siirtyy käärekoneeseen kuljettimen avulla. Kone asettaa paalin ympärille suojamateriaalin, eli sellukääreen, varmistaen tiiviin ja kestäväen suojan (kuva 2).



Kuva 2. Sellukääre taitumassa paalin ympärille käärekoneessa ohjureiden avulla.

Kotimaan paalit jätetään käärimättä ja menevät suoraan käärekoneen läpi RFID-leimaimelle ja tulostimelle, kun taas vientipaalit kääritään. Kääremateriaali asetetaan paalin ylä- ja alapuolelle samalla, kun paali siirtyy käärekoneen sisälle (Gronostay 2014, 33). Kun kääre on asetettu paalin ympärille, sidotaan se yhdellä teräslangalla ensimmäisen sitojan kohdalla. Kuljetin siirtää sen kääreenviikkaajalle, joka taittaa kääreen paalin ympärille.

4.4 Viikkaaja

Viikkaaja varmistaa, että käärekoneen asettama sellukääre taitetaan oikeaan muotoon ja kiinnittyy tiiviisti paalin ympärille. Viikkaajalle menevä paali on vain kääritty yhdeltä puolelta ympärille ja sidottu yhdellä teräslangalla (kuva 3). Sen tehtävänä on myös pitää kääre paikoillaan ennen paalin siirtymistä seuraavaan käsittelyvaiheeseen, eli sidontaan.



Kuva 3. Viikkaajan viikkaama sellukääre paalin ympärillä.

Viikkausmekanismi toimii erilaisilla taittajilla ja kahvoilla, jotka aktivoituvat pneumaattisesti. Sivutaittoelementit sijoittuvat ensin paalin reunoille ja painautuvat sitä vasten sylinterien ohjaamina. Alataittajat nousevat ja taittavat paalin alle, kun taas ylätaittajat laskeutuvat paalin päälle ja varmistavat kääreen pysyvyyden. Viimeistellyn viikkauksen jälkeen paali siirtyy kuljetusketjulla eteenpäin taitoksen pitäjä kuljettimelle, ja viikkausyksikön ylätaittajat pysyvät suljetuina estäen kääreen aukeamisen ennen sitojaa niin kauan, kun paali on poissa viikkaajalta. (Gronostay 2014, 52–67.)

4.5 Sitomakone

Sitomakone on olennainen osa sellutehtaan paalauslinjaa, ja sen tehtävänä on sitoa paalipuristimessa tiivistetyt ja sellukääreeseen käärityt sellupaalit pysyvästi kasaan. Sidonta varmistaa paalien muodon säilymisen kuljetuksen ja varastoinnin aikana.

Pienpaalien sitomakone käyttää 2.3 mm:n teräslankaa. Ensin paali sidotaan yhdellä langalla. Tämän jälkeen paali siirtyy kääntöpöydän kautta toiselle sitomakoneelle, jossa se sidotaan toiselta puolelta kahdella teräslangalla (kuva

4). Tämä prosessi sitoo siis paalin yhteensä kolmella teräslangalla. Tämä estää selluarkkien irtoamisen ja helpottaa paalien käsittelyä esimerkiksi trukilla tai kuljettimilla.



Kuva 4. Sellupaali sidottuna kolmella teräslangalla toisen sitojan kohdalla.

Sidontakoneen toiminta perustuu automaattiseen langansyöttöön ja solmimis- mekanismiin. Sidontaprosessi alkaa, kun langan syöttölaite ohjaa teräslangan paalin ympäri ja kiristää sen oikeaan jännitykseen. Langan päät kiinnitetään toisiinsa kiertämällä ne solmuksi twister-pyörän avulla. Ylimääräinen lanka katkaistaan tarkasti leikkausterillä. Langansyöttölaite varmistaa langan oikean asennon ja syötön sekä huolehtii langan varastoinnista ja annostelusta. Jät- teeksi jäänyt langanpätkä ohjataan automaattisesti romulangankerääjään, jossa se puristetaan kompaktiksi rullaksi jatkokäsittelyä varten. Lisäksi sitoma- koneen suojakotelointi varmistaa turvallisen käytön ja estää pääsyn liikkuviin osiin. (Gronostay 2014, 34–51.)

Sidotut paalit kasataan pinoajan avulla neljän paalin pinoihin. Yksittäisiä kää- rettömiä paaleja ei sidota, vaan ne siirtyvät suoraan paalipuristimelta RFID- leimasimelle tai tulostimelle. Kääreettömät paalit kasataan myös neljän paalin

pinoihin, mutta toisin kuin kääreelliset paalit, ne sidotaan vasta pinoamisen jälkeen erillisellä sitojalla.

4.6 RFID-leimasinrobotti

RFID-leimasinrobotti on keskeinen osa sellutehtaan paalauslinjaa, ja sen tehtävänä on lisätä RFID-tunnisteita valmiisiin paaleihin (kuva 5). RFID-tunnisteiden avulla paalien jäljitettävyys, tunnistaminen ja logistiikan automatisointi voidaan toteuttaa koko toimitusketjun ajan. Robotti toimii saumattomasti osana linjasta ja käynnistyy, kun paali siirtyy sitomakoneen jälkeen sen työalueelle.



Kuva 5. RFID-leimasinrobotti asettamassa tunnistetta sellupaalin päälle.

Ensin kääntöpöytä kääntää paalin robotin kohdalla 90 astetta. Robotti tunnistaa paalin sijainnin ja tarttuu RFID-tunnisteeseen tarkan tartuntamekanismin avulla. Tunniste kiinnitetään paalin pintaan määriteltyyn kohtaan liimauksen ja puristuksen avulla, joka varmistaa sen pysyvyyden. RFID-leima lisätään vain joka neljänteen paaliin, koska paalit kasataan myöhemmin neljän paalin pinoiksi. Kun tunniste on kiinnitetty, RFID-tutka varmistaa sen toimivuuden lukemalla sen tiedot varastoon siirron yhteydessä ja lähettämällä ne tuotannonhallintajärjestelmään.

4.7 Tunnisteen tulostin

RFID-leimasimen jälkeen jokainen sellupaali kulkee tulostimen läpi. Tulostimen kohdalla paalin ei tarvitse pysähtyä, sillä tietyllä kuljetinnopeudella saavutetaan halutun kokoinen ja selkeä tuloste. Tulostin maalaa yrityksen logon ja tunnistetiedot paalin kääreen päälle ympäri paalia, ja tulosteen väri, tunnisteesä sekä teksti ilmaisevat paalin sisältämän sellulaadun (kuva 6).



Kuva 6. Sellupaali tulossa ulos tulostimesta tunnisteteksteineen.

Tulostinyksikkö liikkuu kiskoilla ja sen asento säädetään pneumaattisesti. Ohjauslevy pitää tulostuslevyn paikoillaan ja varmistaa tasaisen tulostuksen. Mustesuihkutulostusjärjestelmä sisältää tulostuslevyn viidellä tulostuspäällä, mustepumppuaseman sekä mustesäiliön ja ohjausyksikön. Järjestelmä varmistaa, että jokainen paali saa selkeän ja laadukkaan tulosteen, mikä helpottaa tuotannon ja laadunvalvonnan prosesseja. (Gronostay 2014, 68–70.)

4.8 Pinoaja

Sellupaalien pinoaja toimii automaattisesti, järjestäen paalit neljän paalin pinoiksi (kuva 7). Prosessi alkaa siitä, kun yksittäiset paalit siirtyvät kuljettimella pinoajalle. Ensimmäinen paali nostetaan nostolaitteella, ja kun toinen paali saapuu sen alle, ensimmäinen paali asetetaan sen päälle. Sama toistetaan kolme kertaa ja pino on valmis.



Kuva 7. Pinoaja kokoamassa neljän sellupaalin pinoa.

Pinoaja toimii sähkömoottorilla, joka pyörittää ketjua nostaen paalit ilmaan. Paalien alle tulevat nostolevyt toimivat pneumaattisella sylinterillä tuoden sen paalin alle ja ottaen pois, kun paali on laskettu alas. Pinoamisen aikana keskitäjät pitävät paalipinot liikkumattomana ja kohdistettuna. (Gronostay 2014, 75–80.)

4.9 Suurpaalisitoja

Suurpaalisitoja kokoaa useita yksittäisiä sellupaaleja suuremmiksi yksiköiksi, mikä helpottaa niiden käsittelyä ja kuljetusta. Sidontaprosessissa käytetään

3.0 mm:n teräslankaa ja toimii samalla tavalla kuin pienpaalien sitoja. Kääreettömät paalit sidotaan suurpaaleiksi neljän paalin pinoamisen jälkeen (kuva 8). Kääreelliset paalipinot puolestaan ohittavat tämän vaiheen ja siirtyvät suoraan yksiköintiin.



Kuva 8. Suurpaalisitoja, eli kääreettömien pinojen sitoja

Tämä on viimeinen paalauslinjan vaihe ennen yksiköintiä, jossa kaksi linjaa yhdistyy yhdeksi linjaksi.

4.10 Yksiköintisitoja

Yksiköintisitoja sitoo valmiit kääreelliset suurpaalit yhdeksi logistiikkayksiköksi, mikä mahdollistaa tehokkaamman varastoinnin ja kuljetuksen (kuva 9). Yksiköintisitoja käyttää 3,0 mm:n teräslankaa. Yksiköintisitoja yhdistää kaksi suurpaalia seitsemällä teräslangalla, ja sen sidontamekanismi on sama kuin muilla sitoilla. Kääreettämiä paaleja ei yksiköinnissä enää sidota.



Kuva 9. Yksiköintisitoja sitomassa kahdeksaa sellupaalia yhteen.

Yksiköintisitoja kuljettaa suurpaalit tukirullilla, joissa sivupuristimet tiivistävät ne yhteen ja kohdistusvarret suoristavat paalit. Päällimmäinen puristin laskeutuu ja sidonta alkaa. Sidonta liikkeen aikana lanka varastoituu hetkeksi tasainvarastoon seuraavaa sidontaa varten.

HMI-paneelin asetuksista puristusvoimaa voidaan vähentää kolmannen tai neljännen sidontalenkin jälkeen, jolloin myöhemmät lenkit asettuvat tiiviimmin paalin ympärille. Väljemmät lenkit helpottavat myöhempää nostoa ja kuljetusta. (Gronostay 2014, 89.) Esimerkiksi satamassa paalit nostetaan kuljetukseen näistä sidontalangoista, jonka takia on tarkka vaatimus kuinka paljon sidontalankoja pitää käyttää.

4.11 Paalien kuljetus ja siirto

Paalit siirtyvät prosessin vaiheiden välillä kuljettimien, kääntöpöytien, siirtovaunujen ja hissien avulla. Jokaisella kuljettimella on määritetty tarkat nopeusasetukset. Joissakin kohdissa kuljetinnopeudet ovat erityisen kriittisiä, esimerkiksi silloin, kun sellupaalin tunniste tulostetaan, tai kun kuljettimen jarrutusmatkan on oltava tarkasti hallittu.

Kuljettimien välillä on kääntöpöytiä, jotka kääntävät paalit oikeaan asentoon, esimerkiksi kääreen viikkausta varten. Siirtymissä, joissa paalit ohjautuvat useaan kuljettimeen, käytetään siirtovaunuja (kuva 10). Joissakin kohdissa on käytössä hydrauliset työntäjät, jotka siirtävät suurpaalit rullien päältä toiselle kuljettimelle tehokkaasti kääntäen samalla menosuunnan.



Kuva 10. Siirtovaunu viemässä yksiköintisitoja 1 yksikköä tunnelille.

Eri tasojen välillä paalit kuljetetaan paalihissillä, joka liikkuu saumattomasti prosessin mukana. Prosessin lopussa kääreettömät paalit kaadetaan kyljelleen hydraulisella kippitasolla kuljetusta varten, kun taas kääreelliset paalit siirtyvät pystyasennossa.

Paalien kulkua prosessissa seurataan rajakytkimillä (kuva 11). Kuljettimien rajakytkimet ovat myös ohjaamassa logiikkaa antamalla liikelupakäskyjä seuraavalle paalille. Näiden liikelupien optimointi saattaisi auttaa suoraviivaisempaan materiaalivirtaukseen. Kääntyvissä kuljettimissa ja siirtovaunuissa on SICK S300-turvalaserskannereita havaitsemassa edessä olevia esteitä pysäyttääkseen kuljettimen vaaratilanteessa (kuva 11).



Kuva 11. Vasemmalla rajakytkin ja oikealla SICK-turvalaserskanneri

Näiden laitteiden avulla saadaan sellupaalien kuljetus toimimaan virtaustehokkaasti säilyttäen kuitenkin työturvallisuus alueella.

5 NYKYTILAN KARTOITUS

Paalauslinjan tiedossa olevien pullonkaulojen selvittämiseksi on tehty haastatteluja UPM Kymin sellutehtaan paalauslinjan keskeisten työntekijöiden kanssa ajalla 5.2.–6.3.2025. Haastatteluiden tavoitteena oli tarkentaa tuotannon nykytilan ongelmakohtia ja löytää mahdollisia kehityskohteita. Haastatteluihin valittiin useita henkilöitä sellutehtaan paalauslinjan eri keskeisistä rooleista: paalauslinjanhoitajia, kuivauskoneenhoitajia sekä käynnissäpitoinsinööri. Henkilövalinnassa painotettiin heidän käytännön kokemukstaan ja asiantuntemustaan prosessin toiminnasta, ongelmakohdista ja kehitystarpeista. Nämä henkilöt tuntevat paalauslinjan ja sen nykytilanteen parhaiten.

Jotta haastateltavien anonymiteetti säilyy, viitataan heihin tekstissä seuraavilla koodatuilla tunnuksilla: Insinööri, Kuivaus1, Kuivaus2, Paalaus1, Paalaus2 ja Paalaus3. Tämä mahdollistaa yksittäisten näkemysten erottelun säilyttäen samalla luottamuksellisuuden.

Paalauslinjanhoitaja vastaa ensisijaisesti paalauslinjan päivittäisestä toiminnasta ja tuntee sen käytännön haasteet. Kuivauskoneenhoitaja vastaa kuivauskoneesta, mutta osallistuu myös paalauslinjan toimintaan ja on näin tärkeässä roolissa kokonaisuuden kannalta. Käynnissäpitoinsinööri vastaa laitteiden toimintakunnosta ja häiriöiden korjaamisesta käynnissäpitoitiiminsä kanssa, joten hänellä on kokonaisnäkemystä linjan teknisestä suorituskyvystä.

Haastatteluiden kautta haluttiin saada työntekijöiden näkemyksiä nykyisistä ongelmakohtista, tuotannon häiriöistä, prosessin sujuvuudesta sekä mahdollisista kehitysehdotuksista. Tarkoituksena oli tunnistaa sekä toistuvat häiriöt että niihin liittyvät juurisyyt. Haastatteluiden lisäksi tehtiin kapasiteettimittauksia, joiden perusteella laadittiin arvovirtakuvaus. Sen avulla saatiin näkyviin prosessin eri vaiheiden kuormitustilanne ja tunnistettiin konkreettiset pullonkaulat. Yhdistämällä nämä tiedonlähteet muodostettiin luotettava kokonaiskuva paalauslinjojen nykytilasta.

5.1 Käytettävyys ja kapasiteettivaatimukset

Paalauslinjojen kapasiteetiksi on määritetty 2 350 t/d vuonna 2015 käyttöönotossa. Kun kuivauskoneen nopeutta kasvatetaan, paalauslinjalta vaaditaan suurempaa kapasiteettia, sillä paalipöydän täyttö nopeus täytyy olla verrannollinen kuivauskoneen nopeuteen. Nopeutta saadaan säädettyä koneen syöttönopeutta tai neliöpainoa kasvattamalla, jolloin arkin paino nousee ja paalipöydän painoraja (2 250 kg) täyttyy nopeammin. Erityisesti tilanteissa, joissa paperitehdas ei vastaanota sellua, kuivauskone joutuu toimimaan suuremmalla teholla. Tällöin paalauslinjan kapasiteetti ei riitä, mikä johtaa pullonkauloihin linjalla ja häiriöiden lisääntymiseen.

Arkkileikkurin aika yhden yksikön valmistukseen paalipöydälle voidaan määrittää yhtälöstä 1.

$$t = \frac{m \cdot l}{\rho A \cdot A \cdot v} \quad (1)$$

jossa	t	yksikön läpimenoaika	[s]
	m	paalin massa	[kg]
	l	selluarkin pituus	[mm]
	ρA	pinta-ala massa	[g/m ²]
	A	selluarkin pinta-ala	[mm ²]
	v	arkkileikkurin syöttönopeus	[m/min]

Arkkileikkurin kapasiteetti voidaan selvittää tämän ajan avulla yhtälöstä 2,

josta sain tulokseksi 2 430 t/d. Laskennassa käytettiin syöttönopeutta 214 m/min ja arkin pinta-ala massana 1 250 g/m², jotka on todettu koeajossa suuremmalla kapasiteetilla.

5.2 Toistuvat häiriöt paalauslinjalla

Paalauslinjan tuotantoprosessissa esiintyy toistuvia häiriöitä, jotka heikentävät tuotannon sujuvuutta ja kapasiteetin hyödyntämistä. Käärintä- ja sidontavaihe aiheuttaa erityisesti maksimikapasiteetilla ajettaessa häiriöitä. Lisäksi robottien paikoitusongelmat hidastavat prosessia ja lisäävät tuotannon epävarmuutta. (Paalaus1 2025; Paalaus2 2025.) Nämä ongelmat voivat johtua joko sellukääreen heikoista ominaisuuksista tai robotin ja kuljetuslinjan ohjelmoinnillisista tekijöistä.

5.3 Tunnistetut pullonkaulat ja hidasteet

Kääreetöntä paalia ajaessa ensimmäisellä sitoijalla on havaittu tarpeettomia käännöksiä kääreettömiä paaleja ajettaessa. Tämä aiheuttaa ylimääräistä liikehdintää ja hidastaa prosessia ilman lisäarvoa tuotannolle. Sama ongelma esiintyy molemmilla paalauslinjoilla. (Insinööri 2025; Paalaus1 2025; Paalaus2 2025.)

Haastattelujen perusteella käärekone aiheuttaa usein linjan pysähdyksiä. Ongelmia ovat erityisesti sellukääreen jumiutuminen ja taittumisongelmat, jotka johtuvat huonoista taitoksista tai sellukääreen epätasalaatuisuudesta. (Paalaus1 2025; Paalaus2 2025; Paalaus3 2025.)

Paalauslinjojen 1 ja 2 yhdistyessä pinoajan ja suurpaalisitojan jälkeen on havaittu synkronointiongelmia. Linjan ruuhkaantuessa ensimmäinen linja ajaa ensisijaisesti suurpaaleja yksiköintiin, jolloin toinen linja joutuu odottamaan. (Insinööri 2025; Kuivaus1 2025.) Tämä ongelma on ratkaistavissa ohjelmallisilla muutoksilla. Tehokkain ratkaisu olisi ajaa linjoja siten, että aina ensimmäisenä valmiiksi tullut linja jatkaa ensin. Linjat kohtaavat kohdassa, jossa on 90 astetta kääntyvä kuljetin. Toimintaa voisi muuttaa niin, että se linja, joka saavuttaa kuljettimen ensin, pääsee jatkamaan. Tämä edellyttää laskuria tai vastaavaa mekanismia, joka varmistaa, ettei jompikumpi linja saa jatkuvaa etuajo-oikeutta.

Paalihissien jälkeisillä kuljettimilla yksiköt eivät kulje virtaustehokkaasti. Tässä kuljetinyhdistelmässä on kolme kuljetinta, joihin jokaiseen mahtuu kolme yksikköä, jolloin ne kulkevat kolmen rypänä, eli 48 paalia kerrallaan eteenpäin. Kun trukkikuski purkaa kolme yksikköä, jää sen jälkeen kuljetin pyörittämään tyhjää kierrosta jonkun aikaa. Hetken kuluttua, kun kuljetin on pysähtynyt, lähtee uusi kolmen rypäs tulemaan purkupaikalle. Tämä hidastaa purkua. Purkaessa aktiivisesti tämä ei aiheuta ruuhkaa. (Kuivaus2 2025.)

Haastateltujen mukaan automaation optimointi ja kuljettimien synkronointi ovat keskeisiä kehityskohteita. Lisäksi suuremmat investoinnit ja rakenteelliset muutokset voisivat auttaa ratkaisemaan nykyisiä ongelmia ja pullonkauloja. (Insinööri 2025; Paalaus1 2025.) Haastattelujen tuloksia analysoidaan tarkemmin ja hyödynnetään paalauslinjan tehokkuuden jatkokehityksessä arvovirtakartoituksen jälkeen.

5.4 Mittaukset ja havainnot

Suoritin paalauslinjalla prosessin läpimenoaikojen mittauksia. Mittausten aikana linjaa ajettiin kapasiteetin sallimissa rajoissa, ja samalla havainnoin prosessin kulkua. Näillä arkkileikkurin nopeuksilla linjastossa ei syntynyt merkittäviä ruuhkia tai pullonkauloja.

Sellupaalien yksiköinnissä esiintyy hidasteita normaalilla tuotantonopeudella, koska yksiköt ohjautuvat ensisijaisesti ensimmäiselle yksiköintisitojalle, mikä aiheuttaa ruuhkautumista ja epätasaista materiaalivirtausta. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa yksi paaliyksikkö odottaa sidontaa ensimmäisellä yksiköintisitojalla, vaikka toinen sitoja voisi olla käytössä samanaikaisesti. Ohjelmallisella muutoksella kuljettimien vuorottelua voisi optimoida ja sujuvoittaa materiaalivirtausta. Tosin ongelma ei vaikuta kovemmalla ajolla, kun ensimmäinen sitoja on ruuhkaantunut, niin prosessi alkaa ajamaan samaa tahtia toiselle sitojalle yksiköitä.

Tutkin myös kääreettömien paalien prosessia ja havaitsin, että molemmilla paalauslinjoilla esiintyy turhia pysähdyksiä ja hidastuksia, mikä tuli esiin myös haastatteluissa (luku 5.3). Kun paali ohittaa käärekkoneen, se pysähtelee eri

kohdissa hetkellisesti, eikä liike ole johdonmukaista. Lisäksi huomasi, että paali käännetään ensin 90 astetta yhdellä kääntöpöydällä ja seuraavalla pöydällä jälleen 90 astetta, jolloin se päättyy samaan asentoon kuin alun perin. Kuljettimella ei ole estettä, joka vaatisi tämän käännön, joten toimintaa voisi tehostaa poistamalla turhat kääntöliikkeet.

Heti arkkileikkurin ja paalipöydän jälkeen kääntyvällä kuljettimella toisella paalauslinjalla on Valmetin selluarkkien roska- ja vaaleusanalysointilaite Valmet DCD, joka analysoi arkkia kahden kameran järjestelmällä, joka luokittelee roskan koon ja muodon, sekä sinisellä LED-valolla, joka varmistaa tarkan vaaleusmittauksen (Valmet 2025). Tämä laite ottaa imukuppitarttujalla yhden selluarkin analysoitavaksi, jolloin kääntyvä kuljetin pysähtyy odottamaan analysointilaiteen tarttujaa. Näytteitä otetaan noin 10 minuutin välein, mutta tämä ei merkittävästi hidasta kapasiteettia, sillä kuljetin on riittävän tehokas kapasiteetiltaan.

Mittasin paalauslinjan jokaisen prosessivaiheen läpimenoajat arkkileikkurin jälkeen ja laskin niiden perusteella suurimman mahdollisen kapasiteetin yksikössä tonnia päivässä (t/d) kullekin vaiheelle.

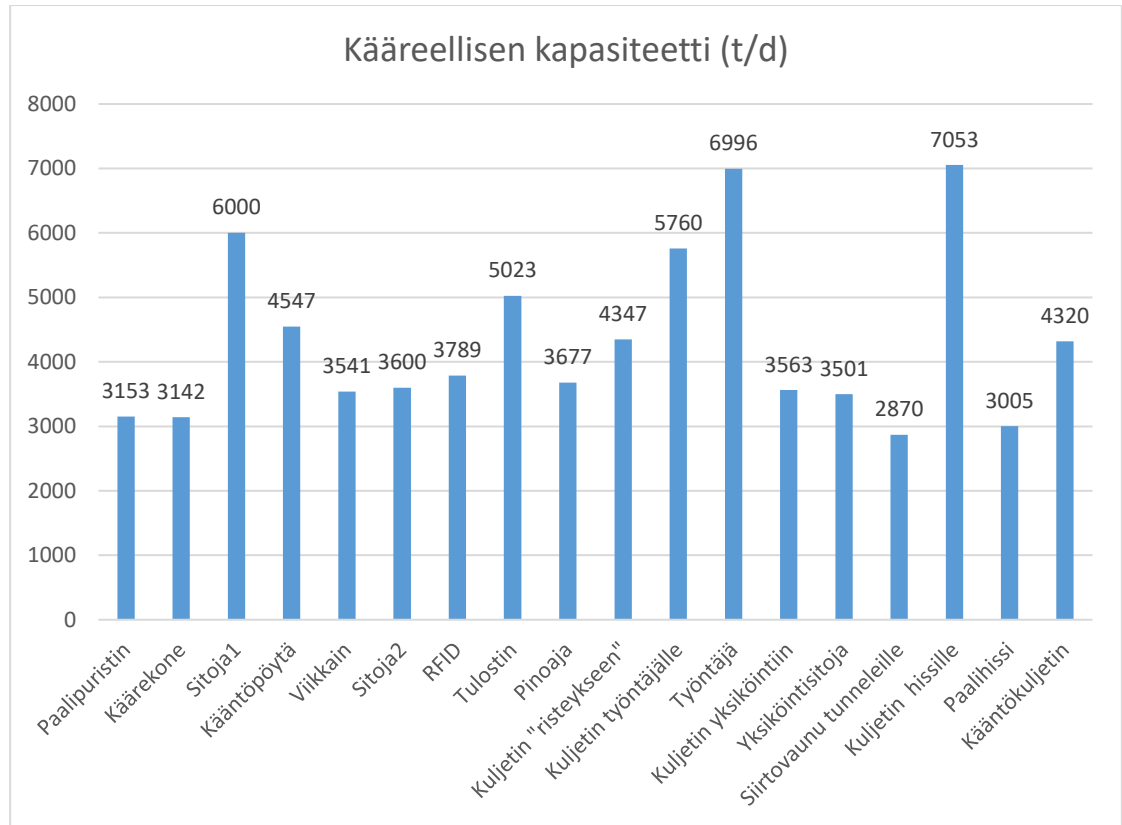
Paalauslinjan vaiheiden maksimikapasiteetti (t/d) voidaan määrittää yhtälöstä 2.

$$w = \frac{86400 \cdot m \cdot t}{1000}$$

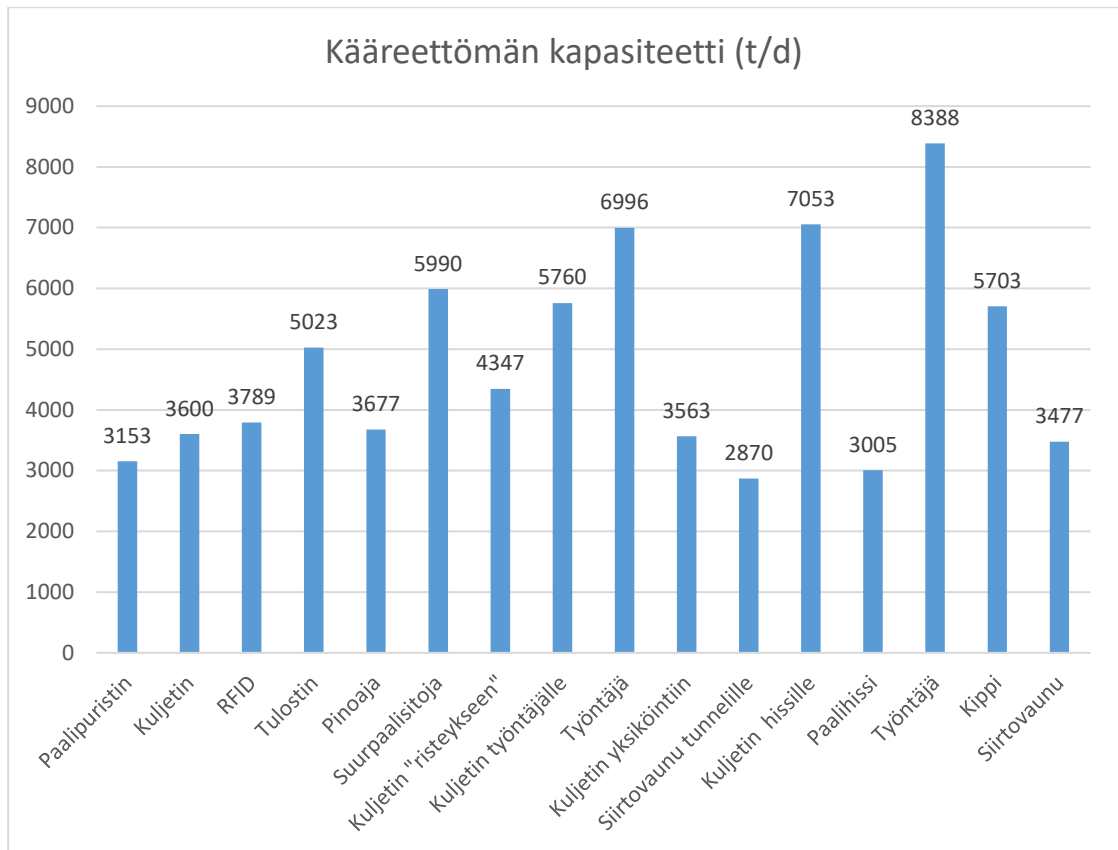
jossa	w	kapasiteetti	[t/d]
	m	massa	[kg]
	t	yksikön läpimenoaika	[s]

Näiden arvojen pohjalta laadin Excel-tilin ja arvovirtakartituksen, joiden avulla voidaan tunnistaa ja analysoida linjan merkittävimpiä pullonkauloja (kuvat 12–13; liitteet 1–4). Tulosten perusteella suurin pullonkaula on yksiköiden

kuljetus varastoon heti yksiköinnin jälkeen. Tämän vaiheen yksittäiset pullonkaulat keskittyvät siirtovaunuun ja paalihissiin. Seuraavaksi merkittävimmät pullonkaulat ovat paalipuristin ja käärekone.



Kuva 12. Paalauslinjan vaiheiden kapasiteetit kääreelliselle paalille



Kuva 13. Paalauslinjan vaiheiden kapasiteetit kääreettömälle paalille

Taulukoista poistettu erittäin suuren kapasiteetin omaavia vaiheita, kuten kuljettimet ennen paalipuristinta, jotta saadaan selkeä kuvaaja.

6 HUOLTOJEN VAIKUTUS KAPASITEETTEIHIN

Haastattelin paalauslinjan henkilöstöä säännöllisistä huolloista ja niiden vaikutuksista linjan toimintaan. Näiden haastattelujen pohjalta kokosin listan huolto-toimenpiteistä sekä niiden aiheuttamista prosessikatkoksisista ja niiden kestosta. Ihannetilanteessa katkoksen ajaksi olisi käytettävissä riittävästi puskurikapasiteettia, jotta paalit voitaisiin ajaa varastoon, tai vaihtoehtoisesti riittävästi kapasiteettia toisella linjalla, jotta sellua ei tarvitsisi ohjata hylkyluokkuun.

6.1 Säännölliset huollot ja niiden kestot

Haastattelin paalauslinjanhoitajaa säännöllisistä huolloista, jotka edellyttävät linjan pysäyttämistä. Alla on listattuna huoltojen keskimääräiset kestot. Vikatilanteista johtuvia huoltoja, kuten sitojan kehän vaihtoa, ei ole otettu huomioon.

Säännölliset huollot ja niiden keskimääräiset kestot:

- RFID-tarrarullan vaihto – 5 minuuttia
- Pienpaalisitoja lankojen vaihto – 5 minuuttia
- Suurpaali- ja yksiköintisitoja lankojen vaihto – 8 minuuttia
- Tulostinvärin vaihto – 4 minuuttia

Huoltotöiden sujuvoittamiseksi vaihdettavat tarvikkeet pyritään sijoittamaan valmiiksi paikoilleen jo ennen niiden loppumista, mikä mahdollistaa nopeamman vaihtotyön (Paalaus3 2025).

6.2 Puskurin ja kapasiteetin riittävyys katkoksiin

Koko paalauslinjan yhteenlaskettu puskuri paalipöydältä varastoon on 557 paalia joko kääreellisellä tai kääreettömällä, joka tekee melkein 140 tonnia sellua. Tämä tarkoittaa käytännössä, että tyhjän paalauslinjan täyttäminen purkamatta mitään kestäisi 2 400 t/d tuotantonopeudella 83 minuuttia. Linjalla olevat pitkät kuljettimet ovat hyviä puskurin keräämiseen. Vika- tai huoltotilanteissa, jos kapasiteetti ei riitä ajamaan paaleja varastolle, voidaan puskureihin kerätä paaleja ja ajaa ne eteenpäin prosessin jatkuttua.

Laskin puskurien riittävyyden tuotantonopeudella 2 400 t/d, joka tarkoittaa 81 sekunnin välein 2 250 kg:n sellupaaleja paalipöydältä eteenpäin vuorotellen molemmille linjoille ja tein taulukon, josta selviää paljonko mahdollista ajoaikaa vajaalla kapasiteetilla jää puskurin täyttymisen jälkeen. Toisin sanoen yksiköintisijalle tulee 81 sekunnin välein 2 250 kg paaleja ja kaikille muille 162 sekunnin välein 2 250 kg paaleja, koska ne sijaitsevat eri linjoilla.

Paalauslinjan ajoaika vajaalla kapasiteetilla (s) voidaan määrittää yhtälöstä 3.

$$t = t1 - \frac{m}{m1} \cdot t2 \quad (2)$$

jossa	t	ajokaika vajaalla kapasiteetillä	[s]
	$t1$	huoltoaika	[s]
	m	puskurin massa	[kg]
	$m1$	erän massa	[kg]
	$t2$	erän valmistusaika	[s]

Taulukosta 1 selviää, jos pysähtyneelle linjalle ajettaisiin vuorotellen paalipöydältä sen puskuri täyteen paaleja, kuinka paljon ajoaika jäisi toiselle linjalle ajaa vajaalla kapasiteetilla verrattuna arkkileikkuriin.

Taulukko 1. Huoltojen vaikutus ajoaikaan vajaalla kapasiteetilla puskurin täyttymisen jälkeen, jos täytetään pysähtyneen linjan puskuria.

Huollot	Ajoaika, kun pysähtyneen puskuri täynnä (s)
RFID-tarrarullan vaihto	-186
Pienpaalisitojan lankojen vaihto	-186
Suurpaalisitojan lankojen vaihto	-6
Tulostinväriin vaihto	-246
Yksiköintisitojan lankojen vaihto	-123

Tulosten perusteella kaikki säännölliset, linjan pysäyttävät huoltotoimenpiteet voidaan toteuttaa ilman, että linja pysähtyy kokonaan. Nykyisillä tuotantopeuksilla puskurit riittävät, eikä pysähtyneen linjan puskuri ehdi täyttymään.

Lisäksi tarkastelin tilannetta, jossa pysähtyneelle linjalle ei ajettaisi mitään huollon ajan ja puskuria kerättäisiin sitä mukaan, kun jokin linjan osa ei pysty käsittelemään materiaalia pienemmän kapasiteettinsa vuoksi. Laskelmat tehtiin huoltojen vaikutuksesta pienimmän kapasiteetin mukaan, eli käärekoneen (1 554 t/d) ja arkkileikkurin (2 400 t/d) erolla. Puskuriin kertyvä kapasiteetti selviää yhtälöstä 2 näiden erotuksen perusteella. Kertomalla huollon keston kapasiteetilla (kg/s), laadin taulukon 2, josta näkyy puskurin massa ja kuinka paljon puskuria kertyy tietyllä katkosaikavälillä.

Taulukko 2. Huoltojen vaikutus puskuuriin, jos ajetaan vain yhtä linjaa huollon ajan.

Huollot	Puskurin massa (kg)	Massa, joka jää huoltokatkoksen aikana puskuuriin
RFID-tarrarullan vaihto	6750	3813
Pienpaalisitojan lankojen vaihto	6750	3813
Suurpaalisitojan lankojen vaihto	6750	2050
Tulostinväriin vaihto	6750	4400
Yksiköintisitojan lankojen vaihto	16750	12050

Tuloksista selviää, ettei lyhyillä huoltokatkoksilla ehdi puskuri täyttymään, vaikka toinen linja olisi kokonaan pysähtynyt, sillä puskuria on riittävästi.

Koska huollot tulevat vastaan epäsäännöllisin väliajoin tuotantonopeuden mukaan, saattavat huollot tulla eteen samanaikaisesti, jolloin linja saattaa ruuhkaantua ja joudutaan ajamaan sellua hylkyluukusta. Täten mahdollisuuksien mukaan kannattaa ennakoida tulevia huoltoja.

7 ANALYYSI JA KEHITYSKOHTTEIDEN TUNNISTAMINEN

Analysointivaiheessa hyödynsin sekä määrällisiä että laadullisia analysointimenetelmiä. Näiden yhdistäminen mahdollisti paalauslinjan suorituskyvyn kattavan tarkastelun ja kehityskohteiden perustellun priorisoinnin. Analyysissa käytetyt menetelmät voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan: haastatteluaineiston laadullinen analyysi, prosessin mittausdataan perustuva määrällinen analyysi sekä havainnointiin perustuva toiminnallinen tarkastelu.

Analysoin haastatteluaineiston sisällönanalyysillä, jossa korostui pullonkaulojen toistuva esiintyminen eri rooleista riippumatta. Haastatteluissa esiin nousseet kriittisimmät prosessivaiheet toimivat pohjana tarkemmalle mittaus- ja havainnointianalyysille.

Osallistuin paikan päällä tuotantolinjan toimintaan, jonka aikana havainnoin prosessin eri vaiheiden toimivuutta ja aikaviiveitä. Havainnot täydensivät mittaustuloksia, erityisesti sellaisissa kohteissa, joissa laitteiston fyysinen rakenne tai toimintalogiikka vaikutti tuotantoon. Tämä menetelmä oli erityisen hyödyllinen siirtovaunun ja paalihissin tapauksessa, joissa rakenteelliset tai ohjaukselliset tekijät rajoittivat suorituskykyä.

7.1 Tunnistettujen pullonkaulojen vaikutukset

Suurimmat pullonkaulat keskittyvät prosessin loppupäähän, mikä vaikuttaa edeltävien vaiheiden odotusaikoihin. Prosessin alkuvaiheiden kapasiteettien mittaaminen osoitti kuitenkin, että nekin rajoittavat paalauslinjan tehokkuutta heti loppupään jälkeen. Jos keskitytään ainoastaan merkittävimpiin pullonkauloihin, optimoinnin jälkeen esiin nousee uusia rajoitteita. Näin ollen muutosten vaikuttavuus jäisi rajalliseksi. On kuitenkin tärkeää huomioida, ettei paalauslinjalle kannata suunnitella liian laajoja muutoksia, vaan optimointi on sovitettava arkkileikkurin maksimaaliseen kapasiteettiin (2 430 t/d). Arkkileikkuria suurempi kapasiteetti tosin helpottaa vikatilanteista aiheutuneita ruuhkia.

Kun puskuria ja kapasiteettia löytyy tarpeeksi, vika- ja häiriötilanteissa ei tarvitse ajaa sellua hylkyyn, vaan saadaan ajettua joko varastoon tai puskureihin. Tavoite maksimikapasiteetti 3 400 t/d nostaisi arkkileikkurin jälkeisen linjan kokonaiskapasiteettia varastoon asti noin 530 t/d.

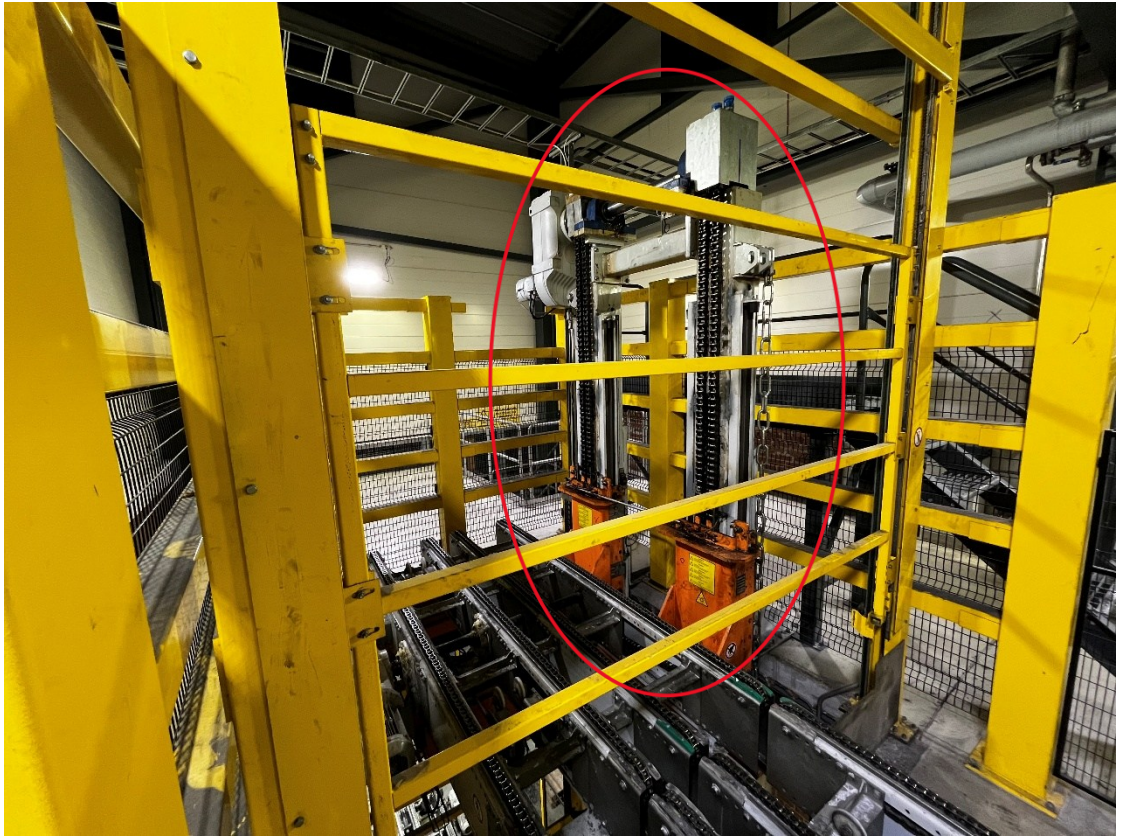
7.2 Kehityskohteiden priorisointi ja ratkaisut

Tässä osiossa esitellään kaikki kehityskohteet tärkeysjärjestyksessä. Ensimmäisenä suurin pullonkaula tai ongelma. Tämä osio on tehty prosessin pullonkaulojen ja ongelmien yhteenvedoksi ja ratkaisuiden esittelyksi. Kehityskohteiden muutokset löytyvät kuvattuna arvovirtakuvauksesta liitteistä 1–4.

7.2.1 Paalihissin kapasiteetti- ja rakenteelliset haasteet

Paalihissin kapasiteetti ja rakenteelliset haasteet ovat merkittävä pullonkaula tuotannon sujuvuudelle. Nykyisen paalihissin laskennallinen maksimikapasiteetti on 3 005 t/d, mutta tavoiteltuun kapasiteettiin pääseminen edellyttäisi, että hissin läpimenoaika olisi 13,4 sekuntia nopeampi 4 000 kg:n yksikköä kohden. Tämä kapasiteettiongelma vaikeuttaa tuotannon tehokkuutta ja aiheuttaa tarpeetonta viivettä prosessissa.

Lisäksi paalihissin rakenne on ongelmallinen. Nykyinen hissi on vain kaksitolppainen, ja molemmat tolpat sijaitsevat samalla puolella, eivätkä edes symmetrisesti (kuva 14). Tämä epätasapainoinen rakenne aiheuttaa merkittävää rasitusta laakereille ja muulle rakenteelle, jotka kuluvat nopeammin kuin olisi optimaalisesti toivottavaa. Rakenteellinen kestävyys on kriittinen tekijä laitteiston eliniän ja huoltotarpeen kannalta, ja sen takia että se on ainoa paalihissi varastoon, joten sen vikaantuessa koko paalauslinja seisoo. Nykyinen ratkaisu ei tue pitkäaikaista käyttöä ilman merkittäviä käynnissäpitotoimenpiteitä.



Kuva 14. Nykyinen kaksitolppainen paalihissi

Mahdollinen ratkaisu tähän ongelmaan voisi olla nelitolppainen paalihissi, joka jakaisi kuorman tasaisemmin ja vähentäisi laakerien kulumista. Nelitolppaisen rakenteen ansiosta paalihissin vakaus paranisi, mikä voisi myös mahdollistaa nopeamman ja tehokkaamman toiminnan. Tämä kehitysaskel olisi merkittävä parannus sekä kapasiteetin että kestävyysnäkökulmasta.

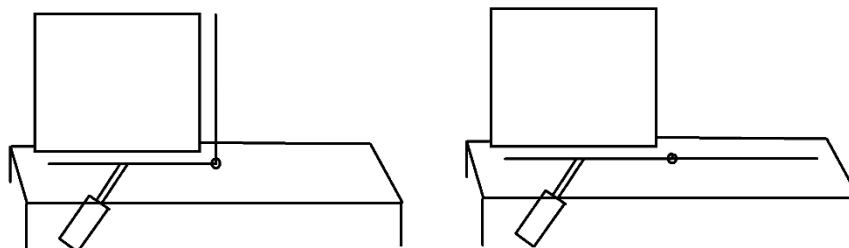
Toinen mahdollinen ratkaisu paalihissin kapasiteettiongelmaan olisi toisen hissin lisääminen rinnalle. Tämä toimenpide kasvattaisi hissin kapasiteetin vähintään kaksinkertaiseksi ja samalla vähentäisi yksittäisen hissin kuormitusta, mikä pidentäisi laitteiston käyttöikää ja vähentäisi huoltotarvetta. Toisen hissin asentaminen ei kuitenkaan ole yksinkertainen ratkaisu, vaan se edellyttää myös muutoksia kuljetinjärjestelmään.

Nykyisin yksiköinnistä paalihissille johtaa yksi pitkä kuljetin, jolle siirtovaunu tuo yksiköt molemmilta yksiköintisitojilta. Tämä kuljetin sijaitsee tunnelissa, jossa olisi tilaa myös toiselle kuljettimelle ja tälle uudelle mahdolliselle hissille. Tässä yhteydessä olisi järkevä miettiä ratkaisuja myös paalitunneliin tulevalle siirtovaunulle, jota analysoidaan kohdassa 6.2.2.

Toisen paalihissin asentaminen vaikuttaisi myös paalivaraston ja purkauspaikan toimintaan. Tällä hetkellä kääreelliset paalit siirretään kääntyvän ja normaalien kuljettimien avulla, kun taas kotimaan paalit kuljetetaan erillisen järjestelmän kautta, johon kuuluvat työntäjä, kippi ja siirtovaunu. Purkauspaikan kuljetin on kuitenkin molemmilla linjoilla yhteinen. Mikäli toinen paalihissi otettaisiin käyttöön, voisi olla mahdollista hyödyntää molempia puolia linjasta tehokkaammin siirtovaunun avulla, sillä tälläkin hetkellä kääreelliset paalit kulkevat sen läpi.

Kääreettömille paaleille tarvittaisiin toinen kippi nykyiselle kääreellisten paalien linjalle, jotta yksiköt voidaan kaataa oikeaan kuljetusmuotoon. Nykyinen kippi on L-muotoinen ja toimii hydraulisylinterillä. Sen merkittävä heikkous on, että sen läpi ei voi ajaa yksikköä kippaamatta sitä, mikä aiheuttaa joustamattomuutta prosessissa.

Ratkaisuna voisi olla uudentyypinen kippi, jossa kippihaarukka voidaan laskea kokonaan kuljettimen sisään, jolloin yksiköt voivat kulkea sen läpi ilman kippausta (kuva 15). Mikäli molemmilla linjoilla olisi oma kuljettimen sisään taittuva kippi, kahden hissien kapasiteetti voitaisiin hyödyntää täysimääräisesti ja yksiköt voitaisiin ohjata suoraan purkauspaikalle ilman pullonkauloja. Tämä muutos kasvattaisi paalivaraston enimmäiskapasiteetin nykyisestä 3 477 tonnista päivässä 5 789 tonniin päivässä.



Kuva 15. Vasemmalla nykyinen kippiratkaisu havainnollistettuna ja oikealla kehitysehdotus, jossa kippin haarukan saisi laskettua kuljettimen sisään.

Kaiken kaikkiaan paalihissin kapasiteetti- ja rakenteelliset haasteet vaikuttavat merkittävästi tuotantoprosessin tehokkuuteen. Mahdollisia ratkaisuja ongelmaan ovat nelitolppaisen hissien käyttöönotto, toisen hissien lisääminen rinnalle, kuljetinjärjestelmän kehittäminen ja nykyaikaisemman kipin käyttöönotto. Näillä toimenpiteillä voidaan parantaa tuotannon sujuvuutta, vähentää laitteiden kulumista ja pidentää huoltovälejä, mikä puolestaan lisää koko tuotantolaitoksen tehokkuutta ja kustannustehokkuutta.

7.2.2 Siirtovaunun kapasiteetti ja toiminnalliset rajoitteet

Siirtovaunu paalitunnelille on keskeinen osa tuotantoprosessia, sillä se kuljettaa sellupaali yksiköt (kahdeksan paalia) ensimmäiseltä ja toiselta yksiköintisitojalta paalitunnelille, josta ne siirtyvät kuljetinta pitkin paalihissille. Aiemmin siirtovaunu toimi yhtenä pullonkaulana tuotantolinjalla, sillä se priorisoi ensimmäisellä yksiköintisitojalla olevat valmiit yksiköt eikä hakenut toisen yksiköintisitojan paaleja ennen kuin ensimmäinen oli tyhjä. Tämä seurauksena toinen sitoja seisoj ja tuotanto viivästyi. Ongelma on kuitenkin ratkaistu ohjelmamuuksella, joka paransi siirtovaunun toimivuutta. (Insinööri 2025; Kuivaus2 2025.)

Nykyisin siirtovaunun maksimikapasiteetti on 2 870 t/d, joka on laskettu kahden yksikön (16 paalin) läpimenoajoilla, kun paalit haetaan vuorotellen molemmilta yksiköintisitojilta. Tämä kapasiteetti ei kuitenkaan saavuta tavoitetta, ja tavoitteeseen pääsemiseksi vaadittaisiin 18,8 sekunnin nopeampaa läpimenoaikaa tälle kierrolle.

Siirtovaunun toiminta on osittain sidoksissa linjaston jakoon, mutta siihen liittyy myös eräs poikkeus. Tullessa yksiköintiin siirtovaunu vie paalipinot toiselle yksiköintisitojalle, mutta ensimmäiselle yksiköintisitojalle kuljetus tapahtuu suoraa kuljetinta pitkin siirtovaunun läpi, eikä siirtovaunu siirrä paalipinoja samalla tavalla kuin yksiköinniltä lähtiessä (kuva 16). Tämä nykyinen järjestely ei ole optimaalisin.



Kuva 16. Betonipilari, jonka takia yksiköinti 2 siirretty sivumpaan, vaikka todellisuudessa olisi mahtunut sen viereen ja saada kuljettimien linja suoraksi.

Jos toiselta yksiköinniltä kulkisi suora linja paalitunnelille, läpimenoaika parantaisi merkittävästi. Tällä hetkellä ensimmäinen yksiköintisitoja kuljettaa paalipilot paalitunnelille ja palaa takaisin 76,6 sekunnissa. Jos toiselta yksiköinniltä menee suora kuljetus siirtovaunun läpi paalitunnelille, läpimenoaika nopeutuisi noin 30 sekuntia, sillä kuljetus siirtovaunun läpi kestäisi vain noin 15 sekuntia. Tämä muutos nostaisi siirtovaunun laskennallisen maksimikapasiteetin 3 773 t/d.

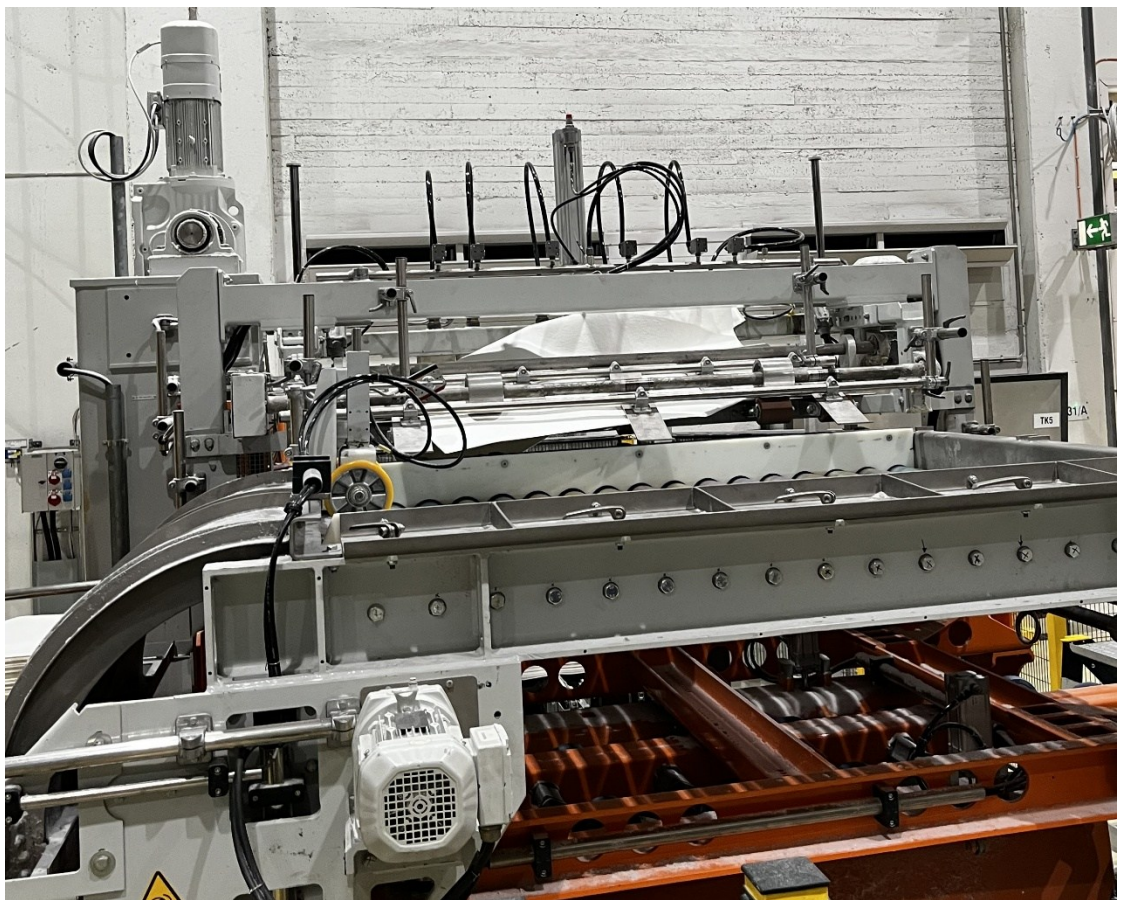
Toinen mahdollinen ratkaisu olisi hyödyntää kahta erillistä siirtovaunua molemmilta yksiköintisitojilta. Tämä voisi mahdollistaa paalien siirron nopeammin ja tasaisemmin, mikä parantaisi kapasiteettia entisestään, noin 5 263 t/d.

7.2.3 Käärekoneen suorituskyky ja häiriöherkkyys

Käärekoneen suorituskyky vaatii optimointia, jotta se voisi saavuttaa tavoitellun kapasiteetin. Nykyisessä tilanteessa kahden käärekoneen yhteenlaskettu laskennallinen maksimikapasiteetti on 3 142 t/d. Tavoitteeseen pääsemiseksi

käärekoneiden keskiarvollista läpimenoaikaa yhdellä paalilla tulisi nopeuttaa 1,05 sekunnilla kummallakin linjalla.

Kapasiteetin lisäksi käärekoneella esiintyy myös teknisiä ongelmia, jotka vaikuttavat sen toimintavarmuuteen. Yksi merkittävimmistä ongelmista on sellukääreiden jumiutuminen ja väärin taittuminen (kuva 17). Käärekone käyttää imukuppeja tarttuakseen sellukääreeseen ja nostaakseen sen telarullien väliin, mistä se siirtyy odottamaan paalia sen ylä- ja alapuolelle. Joissain tapauksissa sellukääreet juuttuvat rullien väliin ja katkaisevat tuotantolinjan.



Kuva 17. Sellukääre jumissa käärekoneessa.

Sellukääreen jumiutumiseen voi olla useita syitä. Ensinnäkin ajatun selluarkin paksuus voi vaikuttaa sellukääreen käyttäytymiseen. Kun tuotantoa ajetaan suuremmalla nopeudella, selluarkin neliöpainoa nostetaan eli selluarkki voi olla paksumpaa, mikä tekee myös sellukääreestä jäykempää. Tämä voi estää sen kunnollisen taittumisen telarullien välissä.

Toinen mahdollinen ongelman aiheuttaja on arkkileikkurin terän kunto. Jos terä on huonosti säädetty tai kulunut, se voi vaikuttaa sellukääreen tasaisuuteen ja lisätä riskiä kääreen juuttumiselle. Terän säännöllinen huolto ja tarkka säätö ovat keskeisiä keinoja tämän ongelman minimoimiseksi.

Kolmas mahdollinen syy sellukääreen jumiutumiseen liittyy käärekoneen imukuppitarttujaan. Mikäli tarttujan imu on heikko, se ei pidä käärettä kunnolla paikoillaan, jolloin kääre voi pudota ennen aikojaan. Imukuppeja vaihdetaan näiden ongelmien ilmetessä, mutta niiden kuntoa ja toimintaa tulisi seurata tarkasti, jotta mahdolliset ongelmat voidaan havaita ajoissa.

Koska käärekone on jo optimoitu toimimaan suhteellisen tehokkaasti ilman merkittäviä odotuksia, sen toimintaa on haastavaa nopeuttaa ilman kielteisiä seurauksia. Tällä hetkellä ainoa merkittävä viive syntyy, kun kääre kulkee imukuppitarttujalta käärekoneen "katolle" rullien päälle ennen kuin se siirtyä alas odottamaan paalia. Tämän vaiheen nopeuttaminen voisi teoriassa parantaa kapasiteettia, mutta käytännössä se saattaisi lisätä kääreen jumiutumisen riskiä, mikä heikentäisi prosessin luotettavuutta ja laskisi käytettävyyttä.

Näin ollen käärekoneen optimoinnissa tulisi keskittyä ensisijaisesti häiriöiden vähentämiseen ja toimintavarmuuden parantamiseen sen sijaan, että tavoiteltaisiin pelkästään nopeampaa läpimenoaikaa. Tämä voisi tarkoittaa parempia säätöjä imukuppitarttujille, arkkileikkurin terien tarkempaa huoltoa sekä sellukääreen rakenteen optimointia. Näillä keinoilla voidaan parantaa käärekoneen suorituskykyä ilman, että lisääntyvä nopeus johtaisi uusiin häiriöihin tuotantoprosessissa.

7.2.4 Paalipuristimen optimointi

Paalipuristimen suorituskyky vaatii optimointia, jotta se voisi saavuttaa tavoitellun kapasiteetin. Nykyisessä tilanteessa kahden paalipuristimen yhteenlaskettu laskennallinen maksimikapasiteetti yhdellä paalilla on 3 142 t/d. Tavoitteeseen pääsemiseksi molempien linjojen keskiarvollista läpimenoaikaa tulisi nopeuttaa 1,05 sekunnilla per paali. Andritz lupaillee tuotesivuillaan paalipuristimelleen kapasiteetiksi jopa 300 paalia tunnissa, joka tekisi kahden puristimen kapasiteetiksi yhteensä 3 600 t/d (Andritz 2025).

Paalipuristinta on jo aiemmin optimoitu siten, että se ei enää nouse tarpeettoman korkealle yläasentoon, mikä on vähentänyt odotusaikoja. Tämän muutoksen myötä laitteen toimintaa on jo saatu tehostettua. Tutkittaessa paalipuristimen toimintaa nykytilassa se toimii täysin saumattomasti ilman merkittäviä viiveitä.

Ainoa tekijä, joka vaikuttaa paalipuristimen toiminta-aikaan, on se, kuinka kauan sillä kestää puristaa paali kasaan. Tämä tarkoittaa, että kapasiteetin kasvattamiseksi ainoa mahdollinen optimointikeino liittyy hydraulikkajärjestelmän tehostamiseen.

Hydrauliikan tehostaminen edellyttäisi järjestelmän kokonaisvaltaista päivitystä, joka mm. sisältäisi:

- Suuremman hydraulipumpun, jotta öljyn virtauskapasiteetti kasvaisi ja sylinterit voisivat liikkua nopeammin.
- Suurempitehoisen sähkömoottorin, joka pystyisi tuottamaan tarvittavan tehon ilman suorituskyvyn heikkenemistä.
- Tehokkaamman jäähdytysjärjestelmän, joka varmistaisi, että öljyn lämpötila pysyy optimaalisena myös suuremmilla virtausnopeuksilla.

Näiden muutosten toteuttaminen mahdollistaisi nopeamman puristusvaiheen, mutta samalla järjestelmän kestävyys olisi huomioitava. Suuremmat pumput ja moottorit tuottavat enemmän lämpöenergiaa, joten järjestelmän jäähdytyksen pitäisi olla riittävä estämään komponenttien ylikuumentuminen ja ennenaikainen kuluminen.

Kokonaisuudessaan paalipuristimen optimointi vaatii huolellisen arvioinnin hydraulikkajärjestelmän tehostamisesta, sillä nykyiset ohjaukselliset optimoinnit on jo tehty. Investointi tehokkaampaan hydraulikkaan voisi tuoda tarvittavan kapasiteettilisäyksen, mutta sen toteutuksessa on huomioitava myös kustannukset ja laitteiston pitkäikäisyys.

7.2.5 Muut pullonkaulat, hidasteet tai ongelmat

Kääreettömän paalin ajossa esiintyy useita ohjelmamuutoksia ja optimointitarpeita, jotka voivat parantaa linjan virtaustehokkuutta. Nykyisin paalipuristimen

ja pinoajan välillä on monia tarpeettomia pysähdyksiä, jotka aiheuttavat epätaisaista virtausta. Paali pysähtyy hetkeksi aikaa viikkaajan ja toisen sitojan kohdalla, mikä johtaa tuotantovirran katkeamiseen. Tämän ongelman voisi ratkaista ohjelmamuutoksella, jossa kuljettimet asetetaan toimimaan yhtenäisenä kokonaisuutena koko matkan ajan, ottaen huomioon rajat ja kuljettimien väliset siirtymät.

Kuljetinmatkalla on myös kaksi kääntöpöytää, jotka on suunniteltu kääreellisen paalin kääntämistä varten, kun paalin kääre viikataan. Kääreetön paali ei kuitenkaan tarvitse tätä kääntämistä, koska se palautetaan lopulta alkuperäiseen asentoon. Tämän on tarpeettoman hidasteen voisi poistaa ja säästettäisiin aikaa reilusti kääreettömän paalin ajossa.

Paalivarastolla paalihissin jälkeiset kuljettimet yksiköiden purkupaikalle eivät kulje virtaustehokkaasti, mikä johtaa turhaan odotusaikaan. Tässä kohdassa on kolme eri kuljetinta, joihin jokaiseen mahtuu kolme yksikköä. Yksiköt kulkevat siis kolmen joukkoina. Kun joukko on viimeisellä kuljettimella, puretaan ne yksi kerrallaan ajaen yksikkö päätyyn, josta trukkikuski poimii sen. Viimeisen yksikön purettua on viive, jonka jälkeen seuraava kuljetin alkaa vasta tuomaan uutta kolmen joukkoa purkauspaikalle. Tämä viive saattaa näkyä aiempien vaiheiden seisomisena, jos kuljettimella on ruuhkaa. Aktiivisella trukkikuskin purkamisella ruuhkaa ei synny.

Kuitenkaan kuski ei voi koko ajan olla purkamassa, joten ruuhkaa kerääntyy tasaisin väliajoin. Kuljettimien kuljettaessa virtaustehokkaasti ajaen koko ajan peräkkäin purkauspaikalle yksiköitä, ruuhkan aiheuttamat pysähdyksen voisi välttää. Tämä kuitenkin vaatisi yhdeksää erillistä kuljetinta jokaiselle yksikölle tälle matkalle, ellei synkronoisi paaleja kulkemaan yhtenä yhdeksän yksikön jonona, joka vaatisi myös näitä ennen olevan siirtovaunun synkronoimista mukaan, joka muodostaisi odotusaikoja tälle siirtovaunulle mm. purkamisen odottamisesta. Ehdotuksena en tekisi muutoksia tähän kuljettimeen tai sen toimintaan, vaan mahdollisuuksien mukaan aktiivisempaa purkamista, koska kapasiteettia kuljettimella riittää.

Toisessa vaiheessa, kun paalipinot kuljetetaan yhdistetyillä linjoilla ”risteykseen” siirtovaunulla ja kääntyvillä kuljettimilla, esiintyy synkronointiongelmia.

Tällä hetkellä prosessin ruuhkaantuessa linjasto priorisoi ensimmäistä linjaa, joka kulkee siirtovaunulla, jolloin toinen linja odottaa pääsyä kääntyvälle kuljettimelle, joka yhdistää linjat yhdeksi. Tämä odotus aiheuttaa toisen paalauslinjan pysähdymisen, mikä hidastaa koko prosessia. Tämä synkronointiongelma voitaisiin ratkaista ohjelmamuutoksilla, jotka varmistavat linjojen sujuvan yhteyden ilman, että toisen linjan täytyy odottaa pääsyä kuljettimelle.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli esittää toteutettavissa olevia ratkaisuja, jotka poistavat tunnistetut pullonkaulat, parantavat linjojen käyttöastetta ja vähentävät häiriöitä. Työssä analysoitiin paalauslinjojen nykytilaa, tunnistettiin kapasiteettia rajoittavia tekijöitä ja kehitettiin teknisiä sekä toiminnallisia ratkaisuja tuotannon sujuvoittamiseksi.

Tutkimuksen tuloksena tunnistettiin paalauslinjojen merkittävimmät pullonkaulat ja arvioitiin niiden vaikutukset tuotannon tehokkuuteen. Esitetyt ratkaisut osoittautuivat toteutuskelpoisiksi, ja niiden avulla linjojen käyttöasteen parantaminen sekä häiriöiden vähentäminen on mahdollista. Työ osoitti, että paalauslinjan toimintaa voidaan tehostaa paitsi teknisin ja rakenteellisin muutoksilla, myös ohjelmallisia optimointeja hyödyntämällä. Näin ollen tutkimuksessa asetetut tavoitteet saavutettiin, ja työ tarjoaa konkreettisia keinoja paalauslinjojen suorituskyvyn parantamiseen.

Analyysin perusteella suurimmat pullonkaulat ja ongelmakohdat löytyvät paalihissistä ja sitä edeltävästä siirtovaunusta. Paalihissin vikaantuessa tuotanto keskeytyy täysin, sillä tällä hetkellä ei ole vaihtoehtoisia tapoja siirtää paaleja varastoon. Lisäksi paalihissi on merkittävä hidaste koko prosessille. Siirtovaunu on kapasiteetiltaan tällä hetkellä suurin rajoittava tekijä, ja sen nopeuttamiseksi on useita vaihtoehtoja. Kaikki nämä ratkaisut vaativat kuitenkin mekaanisia muutoksia ja investointeja paalauslinjalle.

Vaikka siirtovaunun ja paalihissin optimointi toisi parannuksia, ne eivät yksinään riitä kapasiteetin merkittävään nostamiseen, sillä seuraavat pullonkaulat löytyvät paalipuristimelta ja käärekoneelta. Molemmat ovat kapasiteetiltaan

melko tasavertaisia ja jo aiemmin optimoitu toimimaan saumattomasti. Käärekoneen viiveiden vähentäminen lisää merkittävästi vikojen määrää, erityisesti kääreiden jumiutumisen osalta, mikä jo nykyisellään aiheuttaa ongelmia. Siksi näihin kohdistuvat muutokset edellyttäisivät suurempia investointeja ja huolellista suunnittelua.

Kääreettömän paalin ajo ei ole yhtä virtaustehokasta kuin kääreellisen, koska sen ajossa on hyödynnetty samaa ohjelmaa. Tämän vuoksi linjaan on jäänyt turhia pysähdyksiä ja käännöksiä, jotka eivät palvele kääreetöntä paalia. Pie-nillä ohjelmallisilla muutoksilla paalin läpimenoaika nopeutuisi noin 13 sekunnilla matkalla paalipuristimelta pinoajalle, mikä parantaisi prosessin sujuvuutta.

Lisäksi linjojen yhdistymis- ja jakautumiskohdissa on havaittavissa pieniä synkronointiongelmia, joiden korjaaminen parantaisi virtaustehokkuutta. Nämä ongelmat liittyvät lähinnä ohjelmalliseen vuorotteluun: nykytilanteessa linja priorisoi aina ensimmäistä linjaa, eikä siirry toiselle linjalle ennen kuin ensimmäinen on käsitelty tai ruuhkautunut. Tämä asettelu hidastaa tuotantoa ja aiheuttaa tarpeettomia viiveitä.

Kokonaisuudessaan paalauslinjan kapasiteetin parantamiseksi on tunnistettu useita kehityskohteita, joista osa vaatii investointeja ja mekaanisia muutoksia, kun taas osa voidaan toteuttaa ohjelmallisilla optimoinneilla, jotka parantavat virtaustehokkuutta ilman suuria rakenteellisia muutoksia.

LÄHTEET

Andritz. 2025. ANDRITZ pulp finishing – baling lines for market pulp. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.andritz.com/products-en/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/pulp-drying-finishing/baling-line-pulp-finishing?pk_source=google&pk_medium=cpc&pk_campaign=22068100949&pk_content=&pk_keyword=&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAt4C-BhBcEiwA8Kp0CQizdrXjc3NaLNj_HhoOVil-aSy-UDN8V7YzV0P25jF5e6yliyaj4XBoCRO4QAvD_BwE [Viitattu 28.2.2025].

Canva. 2025. Graafisen suunnittelun verkkotyökalu. Saatavissa: <https://www.canva.com/> [viitattu 6.3.2025].

Gronostay, J. 2014. Training UPM Kymi700. Andritz. Baling line. PDF-dokumentti. [Viitattu: 19.2.2025].

Harju, K. 2021. Tuotantoprosessin pullonkaulojen tunnistaminen ja niiden ratkaisumenetelmät. Kemianteikka. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021042211332> [Viitattu: 5.2.2025]

KnowPulp. 2024. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Versio 23.0. Saatavissa: <https://www.knowpulp.com/> [Viitattu 7.2.2025].

Pazek, K. 2021. Lean Manufacturing. Lontoo: IntechOpen. E-kirja. Saatavissa: https://kaakkuri.finna.fi/Record/nelli29_mamk.540000000042369?sid=4943722433 [Viitattu: 26.2.2025].

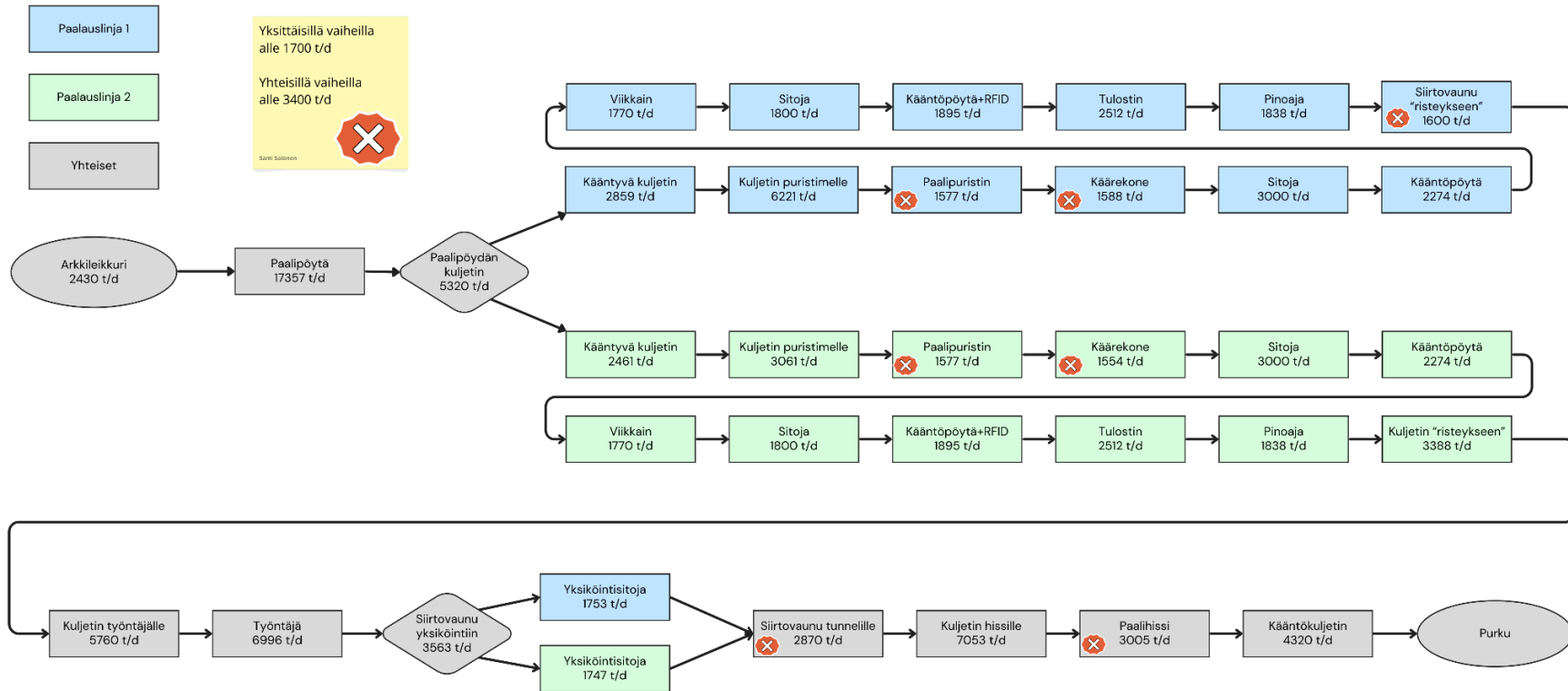
Pereira, P. 2024. Six Sigma and Quality Management. Lontoo: IntechOpen. E-kirja. Saatavissa: https://kaakkuri.finna.fi/Record/nelli29_mamk.5590000001327357?sid=4943770841 [Viitattu: 26.2.2025].

UPM. 2015. Kymin sellutehtaan uusi kuorimo käynnissä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/medialle/tiedotteet/2015/06/kymin-sellutehtaan-uusi-kuorimo-kaynnissa/> [viitattu 18.2.2025].

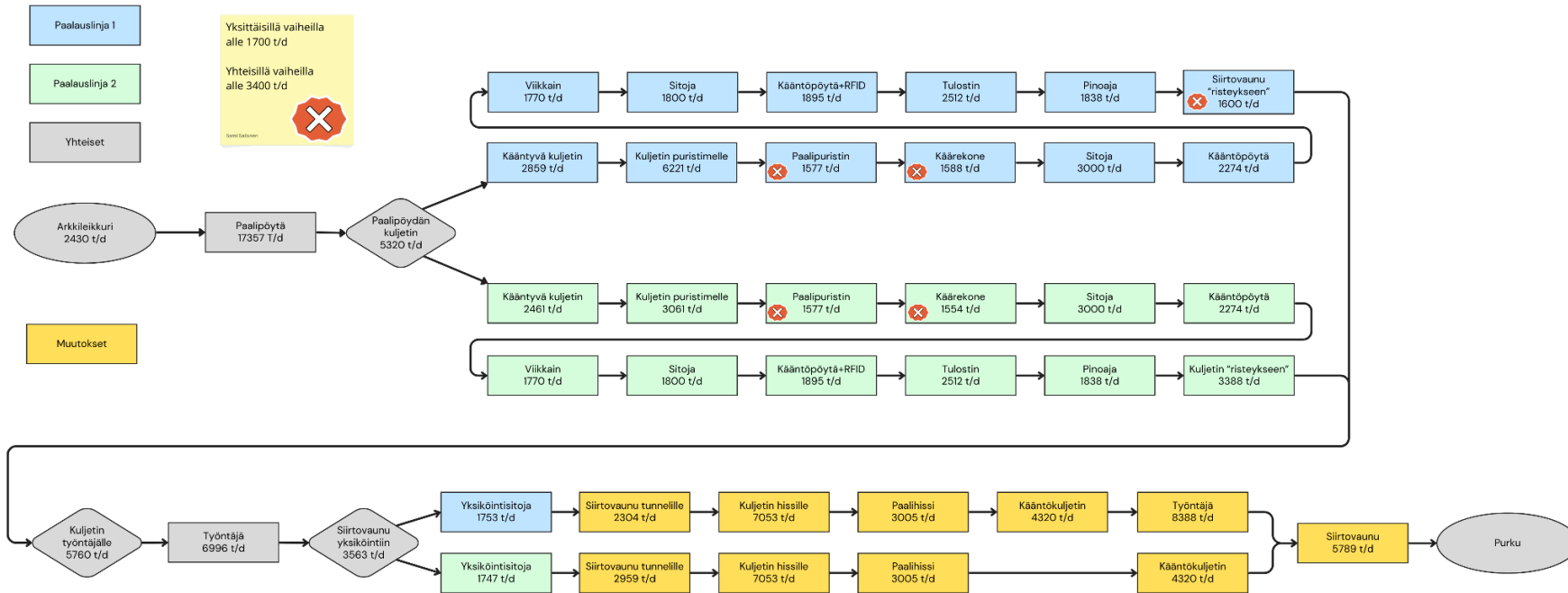
UPM Pulp. 2025. UPM Kymi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upmpulp.com/fi/upm-kymi/> [viitattu 31.1.2025].

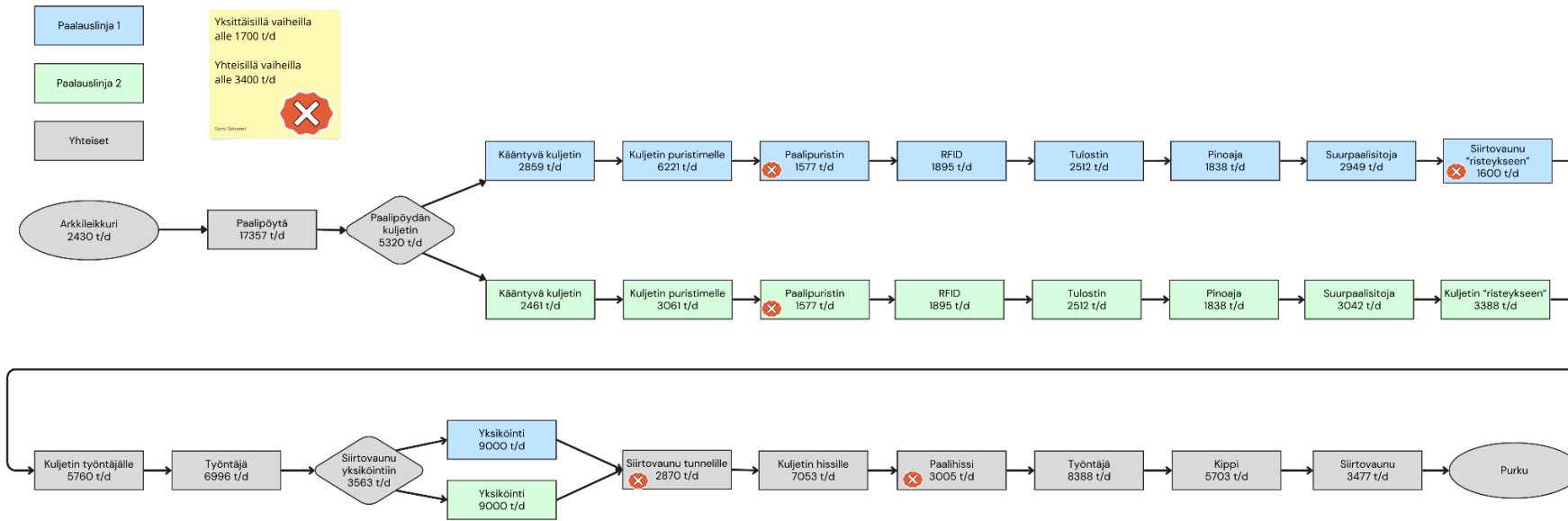
Valmet. 2025. Valmet Dirt Count Analyzer - Valmet DCD. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/automation/analyzers-measurements/analyzers/dirt-count-analyzer/> [viitattu 20.2.2025].

Kääreellisen paalin nykytilan arvovirtakuvaus (Canva 2025).



Kääreellisen paalin muutosten arvovirtakuvaus (Canva 2025).





Kääreettömän paalin muutosten arvovirtakuvaus (Canva 2025).

