



Kartonkikoneen jälkikäsittelyn suorituskykyanalyysi

Metsä Board Äänekosken yksikön pituusleikkaus ja rullanpakkauslinja

Saara Johansson

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2020

Biotuote- ja prosessitekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka

JOHANSSON, SAARA:

Kartonkikoneen jälkikäsittelyn suorituskykyanalyysi
Pituusleikkaus ja rullanpakkaus Metsä Board Ääneskoski

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Marraskuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa Ääneskosken Metsä Boardin kartonginvalmistuslinjan jälkikäsittelyn suorituskykyä, kerätä dataa prosessin läpäisyajasta eri tilauslajeilla ja kartoittaa suorituskyvyn vaikutusta koko prosessin tuotantotehokkuuteen.

Työn mittausmenetelmänä käytettiin pituusleikkauksen, pituusleikkurin rullapihan ja rullanpakkauslinjaston vaiheikojen mittausta. Arvot taulukoitiin kullekin aseteelle annettujen rullamäärien perusteella, ja niistä laskettiin kunkin prosessinvaiheen keskimääräiset läpäisyajat. Läpäisyajoille laskettiin lisäksi häiriökertoimet, jotka määriteltiin häiriöiden ilmenemistäajuuden ja niistä jälkikäsittelyn tuotannolle aiheutuneiden viiveiden perusteella.

Tuloksista selvisi, että pullonkaulatilanteita aiheuttavat erityisesti sellaiset aseteteet, joilla kustakin muutosta leikataan vähintään neljä asiakasrullaa, ja joiden halkaisija on tehtaalla valmistettavista ko'ista pienin. Pullonkaulan merkittävä tekijä on myös asetteen pituus, eli kuinka monta muuttoa pullonkaulaa herkästi aiheuttavaa asetetta on suunniteltu tuotettavan.

Jälkikäsittelylinjan päivityskustannusten takia pohdinnassa keskityttiin toimintatapojen kehittämiseen jälkikäsittelyn suorituskyvyn näkökulmasta. Harkitulla tuotannosuunnittelulla ja pitkien asetteiden jakamisella pystytään suurin osa kartonkikoneen tuotantoa rajoittavista pullonkaulatilanteista välttämään.

Työn tärkeimpänä tuloksena teetettiin laskentataulukko, joka simuloi jälkikäsittelyn tuotannon tilaa eri lajeja ja asetteita ajettaessa. Laskentataulukon tarkoitus on toimia tuotannon tukena asetteiden ajajärjestystä suunnitellessa ja jälkikäsittelyn pullonkauloja ennakoimassa.

Asiasanat: kartonki, jälkikäsittely, suorituskyky, pituusleikkaus, rullanpakkaus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bio Product and Process Technology

JOHANSSON, SAARA:
Performance Analysis on Paper Board Finishing Line
Winding and packing at Metsä Board Äänekoski

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 2 pages
November 2020

The purpose of this thesis is to examine the performance of winding and packing at the paper board production line of Metsä Board Äänekoski. Data of the lead times on the finishing line was collected to evaluate the differences between product types and their effect on the capacity of the whole production line.

The method of measurement utilized was time point measurement in winding, roll field and packaging line. The values were collected in a table by the number of rolls in each pre-planned pattern, and out of each one a mean cycle time was calculated. A disturbance coefficient was calculated for each partial process on the grounds of manifestation frequency and time delays caused on the finishing line.

The results conclude that situations where bottlenecks of the finishing line were likely to occur are triggered especially by production patterns of at least four parallel rolls and a smaller diameter of the options offered to customers. The size of the order that the rolls are allocated to also plays a big role in whether a bottleneck forms on the finishing line.

Due to the cost of updates on the finishing line, production methods and customs were the target of focus in the discussion. Most of the bottleneck situations can be avoided by thoughtful production planning and dividing of pre-planned patterns.

The most important product of the thesis is a spreadsheet which simulates the environment of the finishing line on different production patterns. The purpose of the spreadsheet is to serve as operational support while planning while arranging production patterns and predicting potential bottlenecks.

Key words: paper board, finishing, performance, winding, packing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Metsä Board Äänekoski	7
1.2	Opinnäytetyön aihe ja tarkoitus	8
2	JÄLKIKÄSITTELYN TOIMINTA	10
2.1	Suorituskyvyn mittarit kartonkikoneen jälkikäsitelyssä	10
2.2	Äänekosken Metsä Boardin jälkikäsitelyyn prosessinkulku	10
2.3	Pituusleikkaus	12
2.3.1	Pituusleikkurin rakenne ja prosessinkulku	14
2.4	Rullanpakkaus.....	18
2.4.1	Rullanpakkaimen rakenne ja prosessinkulku.....	19
2.4.2	Pituusleikkurin ja rullanpakkaimen ohjausjärjestelmät ja - laitteet	22
2.5	Jälkikäsitelyyn lisälaitteistot.....	24
2.5.1	Hylsysaha, tulppaaja ja pölynkeräyslaitteet	24
2.5.2	Arkittamon kuljetuslinja.....	27
3	JÄLKIKÄSITTELYN TOIMINTAHÄIRIÖT	28
3.1	Jälkikäsitelyyn häiriötekijät ja niiden toistumistaajuudet.....	28
3.2	Jälkikäsitelylinjan tuotantohäiriöiden riskiä lisäävät tekijät.....	30
4	KÄYTETYT MITTAUSMENETELMÄT	32
4.1	Mittausten lähtökohdat	32
4.2	Jälkikäsitelyyn vaiheajojen mittaaminen.....	33
4.3	Mittauspöytäkirjat	35
5	TYÖN TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	38
5.1	Prosessivaiheiden ulossyöttö- ja läpäisyajojen laskeminen.....	38
5.1.1	Muutenvaihto, konerullan saumaus ja asetteenvaihto	39
5.1.2	Pituusleikkurin ulossyöttö- ja läpäisyajat	40
5.1.3	Rullapihan ulossyöttö- ja läpäisyajat.....	41
5.1.4	Rullanpakkauslinjan ulossyöttö- ja läpäisyajat.....	42
5.1.5	Tulosten virhemarginaalit ja häiriöajojen määrittäminen ...	43
5.2	Jälkikäsitelyyn suorituskyvyn laskentataulukko.....	43
5.3	Jälkikäsitelyyn vaikutus konelinjan tuotantotehoon.....	46
6	POHDINTA	48
6.1	Jälkikäsitelyyn suorituskyvyn riittävyys suhteessa kartonkikoneen tuotantotehoon	48
6.2	Jälkikäsitelyyn suorituskyvyn parantaminen.....	50
	LÄHTEET	52

LIITTEET..... 55

ERITYISSANASTO

konerulla/tampuuri	kuljetusrauta, jonka ympärille kartonki rullataan sen valmistuessa, voidaan viitata myös sekä rautaan että sen ympärille rullattuun kartonkiin
arkittamo	jälkikäsitteilyn osasto, jossa kartonkirullat leikataan arkeiksi arkkileikkurilla
trimmi/asete	tuotannosuunnittelun valmisteleva järjestys, jonka mukaan kartonki leikataan asiakkaan toivomaan kokoon
raina	kartonkikoneen täysleveä, leikkaamaton tuote
rynkky	paperin tai kartongin rullavika, jossa liian löysä raina muodostaa mytyn kiinnirullauksessa
ajo	aika lajinvaihtojen välillä paperi- tai kartonkikoneella
reunanauha/reunahylky	paperi- tai kartonkikoneen rainanleveyden ja pituusleikkauksen leikkausleveyden erotus
hoitopuoli	paperi- tai kartonkikoneen tai pituusleikkurin se puoli, jolta tuotteen ajamiseen liittyvät tehtävät hoidetaan (Äänekosken Metsä Boardilla konesuuntaan nähden konelinjan vasen puoli)
käyttöpuoli	paperi- tai kartonkikoneen tai pituusleikkurin se puoli, jolla koneiden käytöt tyypillisesti sijaitsevat (Äänekosken Metsä Boardilla konesuuntaan nähden konelinjan oikea puoli)
hylky	paperi- tai kartonkikoneella tuotettu materiaali, joka ei päädy valmiiseen tuotteeseen

1 JOHDANTO

1.1 Metsä Board Äänekoski

Metsä Board on Metsä Groupin eli Metsäliitto Osuuskunnan, Metsä Woodin ja Metsä Forestin muodostaman konsernin tytäryhtiö (Metsä Group 2019). Metsä Boardilla on kahdeksan tuotantoyksikköä, joissa valmistetaan taive- ja tarjoilupakkauskartonkia sekä valkoista kraftlaineria (Metsä Board 2019).

Äänekosken tuotantoyksikössä valmistetaan valkaistua ja päällystettyä taivekartonkia, joka sopii pakkauksiin ja graafisiin loppukäyttökohteisiin. Äänekoskella on yksi kartonkikone, yksi pituusleikkuri ja rullanpakkauslinja sekä kolme arkkileikkuria. Metsä Board Äänekoski kuuluu osaksi Äänekosken tehdasintegraattia, johon kuuluu kartonkitehtaan lisäksi Metsä Fibren, Metsä Woodin, Specialty Minerals Nordic Oy Ab:n, Äänevoiman ja Nouryon Chemicals Finland Oy:n toimipisteet (Metsä Fibre 2018; Metsä Board 2019; Metsä Fibre n.d.; Nouryon Chemicals Finland Oy 2020).

Äänekosken ensimmäinen kartonkitehdas sai alkunsa vuonna 1898. Nykyinen kartonkikone (KK1) rakennettiin vuosina 1964–1966 vanhan kartonkitehtaan tilalle. Koneen silloinen tuotantokapasiteetti oli noin 50 000 tonnia vuodessa, eli alle viidesosa nykyisestä tuotantomäärästä. Nykyinen tuotantokapasiteetti on noin 255 000 tonnia vuodessa. Koneen toimitti Wärtsilä-yhtymä. (Auer & Soininen 1996, 167; Metsä Board 2018)

KK1:llä valmistettiin ensin tapettikartonkia, ja sen tuotanto kattoi 1970-luvun alussa jopa 70 % maailmanmarkkinoista. Vuonna 1978 koneella otettiin käyttöön uusi päällystysasema ja laatua säätelevä tietokoneohjaus. Vuoden 1984 päivitysten avulla kapasiteetti nousi 60 000–70 000 tonniin. Tällöin tehtaalle hankittiin myös uusi pituusleikkuri. Vuonna 1988 uusittiin tehtaan rullan- ja arkinpakkauslinjat sekä arkkileikkuri. Saman projektin yhteydessä konelinjan tuotantokapasiteettia nostettiin 100 000 tonniin. Koneen nykyinen päätuote on taivekartonki. (Auer & Soininen 1996, 216–217, 243,263–267; Metsä Board 2018)

Äänekosken tuotantoyksikön jälkikäsitteilyosastoon kuuluvat pituusleikkuri, rullapakkkaus, pulpperiasema, jätevedenpuhdistamo sekä kartonkijalan yhteydessä olevat rullavarastot (Metsä Board Äänekoski 2014). Lisäksi tehdasintegraattiin kuuluu arkittamo, joka toimii omana osastonaan sijaintinsa vuoksi. Arkittamon toiminta on aloitettu vuonna 2012 entisen paperitehtaan tiloissa Äänejärvestä Kuhnmoon laskevan virran toisella puolella kartonkitehtaaseen nähden (kuva 1). Tehtaan arkituksen kapasiteetti on noin puolet kartonkikoneen tuotantokapasiteetista. (Metsä Board Äänekoski 2020)



KUVA 1. Ilmakuva Äänekosken tehdasintegraatista: vasemmassa laidassa höyrypilven kohdalla sijaitsee tehtaan kartonkikonelinja ja virran oikealla puolella, rakennusten oikeassa laidassa tehdas arkittamo.

1.2 Opinnäytetyön aihe ja tarkoitus

Opinnäytetyön aihe on kartonkikoneen jälkikäsitteilylinjan suorituskykyanalyysi. Työssä kartoitetaan kartonkikone KK1:n tuotantolinjan pituusleikkurin ja rullapakkauslinjan suorituskykyä suhteessa kartonkikoneeseen. Tavoitteena on kartoittaa mahdollisia pullonkaulatilanteita ja arvioida, millaisilla asetteilla niitä esiintyy.

Työn tarkoitus on selvittää jälkikäsitteilylinjan suorituskyky suhteessa kartonkikoneen tuotantomäärään. Kartoituksen pohjalta selvitetään rulla-asetteiden vaiku-

tusta konelinjan kokonaissuorituskykyyn sekä eri asetteiden kannattavuutta konelinjan tuotantomääriin nähden. Tuotannonsuunnittelu korostuu työssä siten, että eri asetteet kuormittavat jälkikäsittelylinjastoa eri tavoin, ja harkituilla muutoksilla ajojärjestyksiin voidaan mahdollisesti hallita jälkikäsittelyn kuormitusta ja estää siten osa pullonkaulatilanteista.

Äänekosken Metsä Boardin kartonkikonelinjan viimeisimpien päivitysten seurauksena kartonkikoneen kapasiteetti on kasvanut. Jälkikäsittelylinja on siten muodostunut yhdeksi prosessin merkittävistä pullonkauloista. Tulevien kehitystöiden ja mahdollisten investointien perusteena on oltava ajankohtaista tietoa jälkikäsittelylinjan tämänhetkisestä suorituskyvystä.

Kartonkirullat ja -arkit myydään tuotteiden massan perusteella eli kartonkikoneella tuotetut nettotonnit määrittävät konelinjan taloudellisen tuottavuuden. Tuotannonsuunnittelun tekemät aseteositukset eli trimmit määrittävät pituusleikkurilla leikattavien rullien leveyden, halkaisijan ja lukumäärän kussakin asetteessa. Pituusleikkauksesta lähtien kartonkia käsitellään kappaletavarana, joten asetteet, joissa rullien lukumäärä on suuri, kuormittavat jälkikäsittelyä enemmän kuin vähemmän rullia sisältävät asetteet. Rullien leveydet ja halkaisijat määrittävät myös jälkikäsittelyn läpimenoaikaa. Näin ollen asetteilla on suuri merkitys koko kartonkikonelinjan taloudelliseen tuottavuuteen niissä tilanteissa, joissa linjan tuotanto on jälkikäsittelyn kapasiteetin ylärajoilla.

Jotta myyntirullien taloudellinen merkitys saadaan selville aseteosituksen aiheuttamissa pullonkaulatilanteissa, tarvitaan tietoa jälkikäsittelyn suorituskyvystä suhteessa jälkikäsittelyssä ajettaviin asetteisiin. Jälkikäsittelyprosessin läpimenoaikoihin suhteutettuna voidaan arvioida, kuinka paljon kunkin pituusleikkurin asetteen tuottaminen aiheuttaa lisäkustannuksia, kun kartonkikoneen käyntiä joudutaan suhteuttamaan jälkikäsittelyssä tietyn asetteen aiheuttamaan pullonkaulaan.

2 JÄLKIKÄSITTELYN TOIMINTA

2.1 Suorituskyvyn mittarit kartonkikoneen jälkikäsitelyssä

Kartonkikoneen jälkikäsitelyyn keskeinen, jatkuvasti seurattu tuotantoparametri on pakattujen rullien lukumäärä tuntia kohden. Tiedonhallintajärjestelmän minuuttidataa eli jatkuvasti päivittyvää tietoa jälkikäsitelystä on lisäksi konerullien määrä siirtokiskoilla ("kassat"). Jälkikäsitelyyn tiedoista esillä on lisäksi pituusleikkurin nopeuskäyrä, josta näkee nopeasti pituusleikkurin keskinopeuden ja pidemmät katkot. (TIPS OMS 2020)

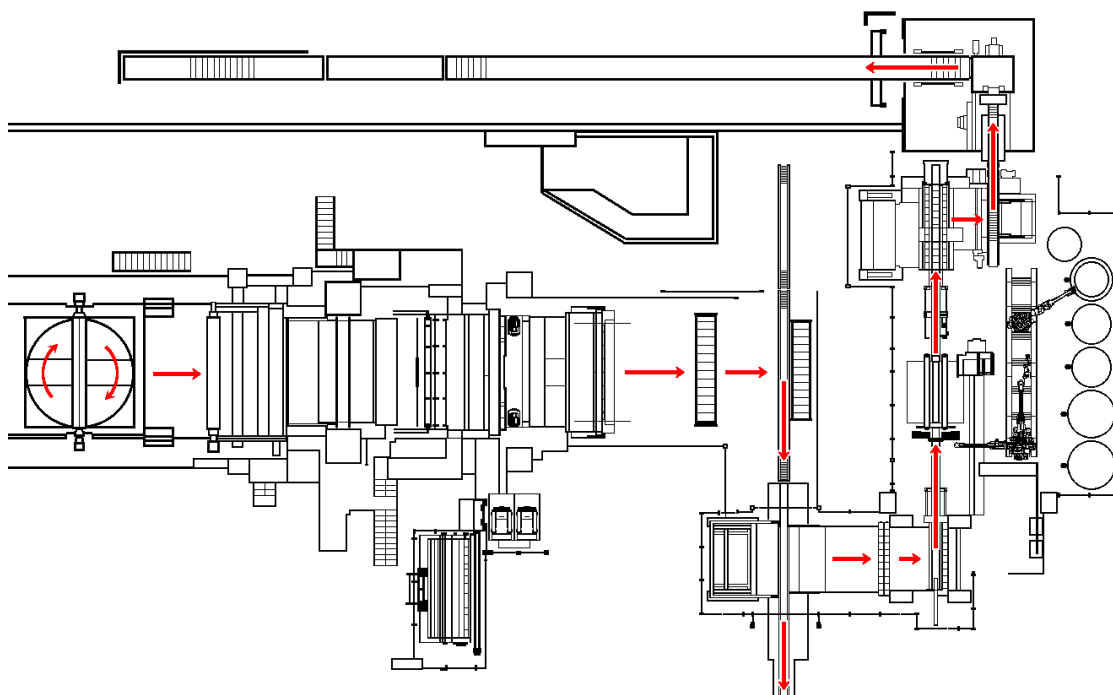
Pituusleikkurin ja rullanpakkauslinjan läpäisyä kuvaavat myös aikaleimat eri prosessinvaiheista. Osa aikaleimoista tallentuu tehtaan tiedonhallintajärjestelmään. Aikaleimojen mittausta voidaan käyttää hyväksi läpimenoaikojen (eng. cycle time) tarkasteluun. Läpimenoajalla tarkoitetaan teollisuudessa sitä aikaa, joka raaka-aineelta kuluu kulkea valmistus- tai jalostusprosessin läpi. (Repo 2020)

Tuotannon nopeutta eli tuotettuja metrejä suhteessa aikayksikköön mitataan kartonkikoneen kiinnirullaimelta ja pituusleikkurilta. Tiedot poikkeavat toisistaan siten, että kartonkikoneen nopeus pysyy samana häiriöttömässä tilanteessa, kun taas pituusleikkurin nopeutta seurataan pääasiassa kunkin muuton maksiminopeuden mukaan. Pituusleikkurin nopeus on ensin lineaarisesti kiihtyvää, kunnes maksiminopeus saavutetaan. Kun muutto on lähes valmis, vähenee pituusleikkurin nopeus taas lineaarisesti, kunnes pituusleikkuri on pysähtynyt. Poikkeuksena kiihdytyksen ja hidastuksen lineaarisuuteen ovat pääasiassa ohuilla lajeilla käytetyt kiihdytys- ja hidastusrampit, joilla vähennetään hetkellisesti kiihdytyksen tai hidastuksen nopeutta vähentäen siten ratakatkon riskiä. (TIPS OMS 2020)

2.2 Äänekosken Metsä Boardin jälkikäsitelyyn prosessinkulku

Äänekosken jälkikäsitelyosastoon kuuluu pituusleikkaus, rullapakkaus, varastointi sekä pulpperiaseman ja jätevedenpuhdistamon toiminnot (Peuranen 2019). Työssä keskitytään pituusleikkauksen ja rullanpakkauksen alueeseen.

Pituusleikkuri leikkaa konerullat asiakaskokoon ja rullanpakkauslinjalla ne pakataan kuljetusta varten. Tuotantolinja jakautuu pituusleikkaukseen ja rullanpakkaukseen, jota ennen arkitettava tuotanto erotetaan omalle kuljetuslinjalleen, ja jatkaa siitä matkaansa tehtaan arkittamoon. Kuvassa 2 arkittamon kuljetuslinjan alku näkyy alalaidassa oikealla puolella. (Metsä Board Äänekoski 2014; Pesmel Oy 2011a; Pesmel Oy 2012)



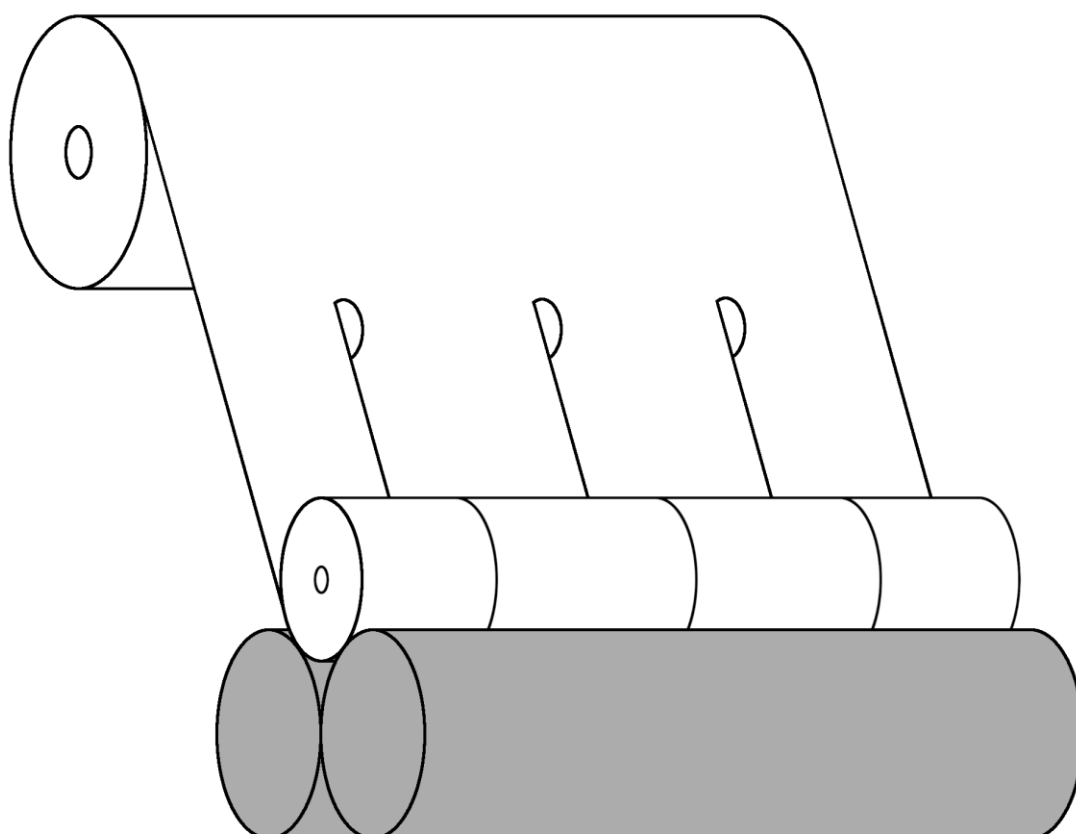
KUVA 2. Jälkikäsittelyprosessin rakenne konerullan kääntöpöydältä varastokuljettimelle ja arkittamon kuljetuslinjan alkuun kuvattuna ylhäältä

Rullanpakkauslinjan kuljettimien ja arkittamon kuljetuslinjan välillä on pieni väli-varasto esimerkiksi sellaisille rullille, joiden tunnistettavuus on jostain syystä vaarantunut. Tämä voi johtua esimerkiksi tehdastietojärjestelmän häiriöstä tai väärin rullamittoihin johtaneesta operaattori- tai laitteistovirheestä. (Hattara & Hämäläinen 2020)

Rulliksi pakattava kartonki, eli rullamuodossa asiakkaalle tai ulkopuoliselle arkittajalle lähetettävä tuote kuljetetaan pakkaamisen jälkeen tuotevarastoon. Tuotevaraston vieritse kulkee rautatiekiskosto. Varastoon päätyvät asiakasrullat liikkuvat eteenpäin joko rautateitse tai kuorma-autolla. Hylky- ja yliajorullat kuljetetaan pulpperiasemalle. (Toiminnanohjausjärjestelmä TIPS 2020)

2.3 Pituusleikkaus

Pituusleikkaus on jälkikäsitteilyyn luokiteltava prosessinvaihe, jossa täysi konerulla rullataan auki tampuurilta, leikataan pienempiin osiin pituus- ja poikkisuunnassa ja rullataan hylsykartongista valmistettujen hylsyjen ympärille, kuten kuvassa 3 (KnowPap 2020b). Konerulla leikataan pienempään kokoon, sillä ilman leikkausta konerullat ovat yleensä niin suuria, että niitä on mahdotonta toimittaa asiakkaalle järkevästi ja kustannustehokkaasti. Äänekosken kartonkilinjan kaikki tuotettu kartonki leikataan pituusleikkurilla ennen toimitusta (Peuranen, 2019). Pituusleikkaus on siis tuotteen kuljetettavuuden ja käytettävyyden kannalta oleellinen prosessinvaihe. (KnowPap 2020c)



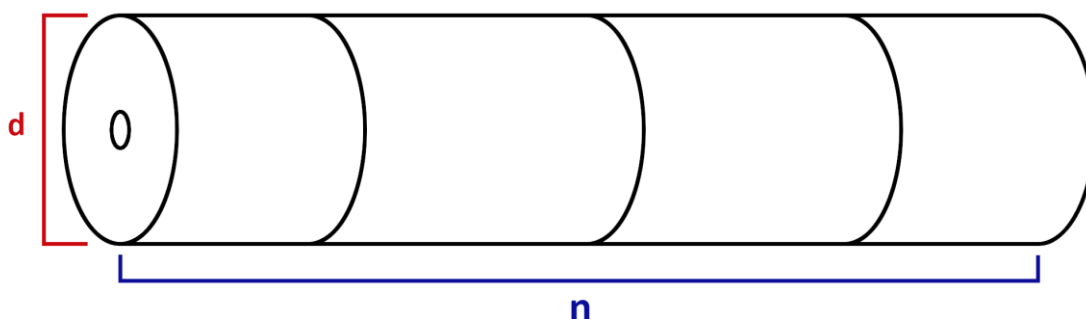
KUVA 3. Pituusleikkauksen toimintaperiaate

Pituusleikkauksen tavoitteena on leikata konerullista laatu- ja kokotavoitteita vastaavia asiakasrullia. Pituusleikkauksella voidaan vaikuttaa muun muassa rullien katkoihin tai liitoksiin, rynkkyjen olemassaoloon, kireysheittoihin ja radan sivuheittoihin. Pituusleikkauksessa testataan myös tuotteen ajettavuutta ja varmistetaan

siten, että rulla täyttää tarvittavat laatuvaatimukset, jotta se läpäisee myös arkki-leikkurin tai painokoneen jatkojalostuksessa. (KnowPap 2020c)

Pituusleikkausta ohjataan ajo-ohjeen perusteella. Asiakkaan esittämiä tilauksen määritteitä ovat esimerkiksi rullan leveys, rullan halkaisija, rullan sisähalkaisija, hylsyn ympärille käärityn kartonkirainan pituus metreinä sekä kartongin puoleisuus, eli se, rullataanko kartonki hylsulle pintapuoli hylsyyn päin vai ulospäin. Muun muassa näitä tilauksen tietoja seuraten operaattorit ohjaavat pituusleikkurin toimintaa ja kunkin konerullan leikkausta. (KnowPap 2020b; KnowPap 2020d)

Tilauksen ajojärjestyksestä ja tilaustietojen hallinnasta vastaa tuotannosuunnitteluosasto. Tuotannosuunnittelu on jaettu karkeasuunnitteluun ja hienosuunnitteluun: karkeasuunnitelma määrittää, mitä lajia kartonkikoneelta ajetaan kullakin aikavälillä, ja hienosuunnitelma sisältää tarkat ohjeet ajojen, asetteiden ja pituusleikkauksen operoinnille. Hienosuunnittelussa valitaan ajojaksolla ajettavat tilaukset ja luodaan ajo. Ajon luomista seuraa trimmitys eli kunkin tilauksen sovitaminen ajoon niin, että hukkamateriaalia syntyy mahdollisimman vähän. Trimmitys perustuu konerullan ja pituusleikattavien tilausrullien mittojen yhteensovittamiseen, jossa tarkastellaan erityisesti halkaisijaa (d) ja rainaleveyttä (n), kuten kuvassa 4 nähdään. Trimmityksessä kunkin tilauksen rullien mitat sovitetaan paperi- tai kartonkikoneelta ajettaviin konerullien mittoihin niin, että pituusleikkauksessa syntyy mahdollisimman vähän reunahylkyä tai ajoon valittujen tilauksen ulkopuolisia asiakasrullia. (KnowPap 2020d)



KUVA 4. Pituusleikkurin muuton rakenne

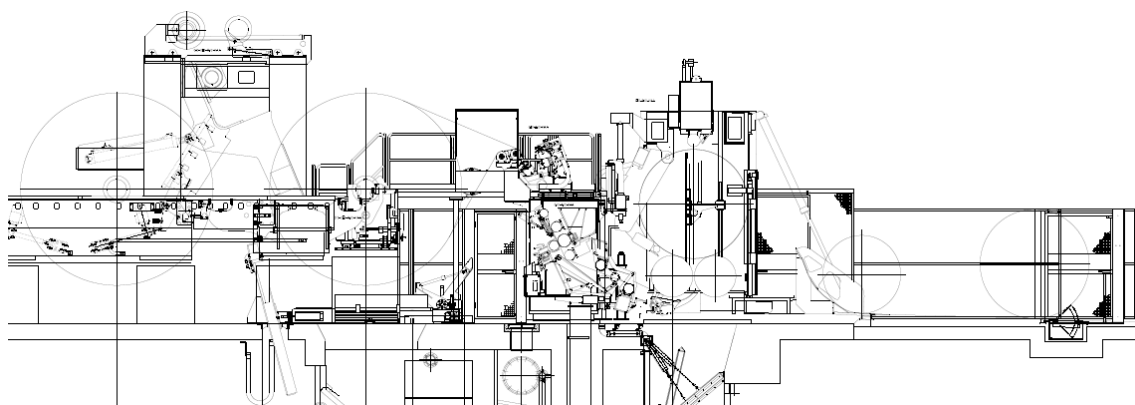
Trimmityksen lopputuote on aseteositus eli tilauksien asiakasrullien ajojärjestys. Asetteella tarkoitetaan pituusleikkauksen toimintaa määrävää järjestystä, jossa

on esitetty leikattavien rullien halkaisijat ja leveydet järjestyksessä pituusleikkurin leikkausleveydellä. Muutoksi kutsutaan yhtä valmistuvaa rullaerää. Kartonkikoneella muutto on valmistuva konerulla, kun taas pituusleikkurilla muutto on konerullan pituussuunnassa samalta pituudelta leikattujen asiakasrullien summa. Pituusleikkauksessa kukin asete koostuu muutoista. Asetteenvaihdolla tarkoitetaan rullaleveydestä, halkaisijasta, hylsyn koosta tai neliöpainosta yhden tai useamman muuttamista. (KnowPap 2020d; KnowPap 2020e)

2.3.1 Pituusleikkurin rakenne ja prosessinkulku

Äänekosken pituusleikkuri WinDrum C on otettu käyttöön vuonna 2012 Metso Paper Oy:n (nykyinen Valmet) toimittamana (Metso Paper Oy 2012b). Kantotela-leikkurien kiinnirullaus perustuu rulliin kohdistettuun viivakuormaan eli rullien sylinterinmuotoiseen vaippaan leveyssuunnassa viivan muotoisesti kohdistuvaan voimaan. Pintavetorullaukseksi kutsutun rullaustavan edellytyksenä on, että ajettava kartonkilaji kestää kohtalaista pintakuormitusta. Kiinnirullauksen kuormaa säädellään painoteloilla ja hylsyä pidetään paikallaan rullausakselin päihin kiinnitettävillä hylsylukoilla. (KnowPap 2020a)

Pituusleikkuri (kuva 5) voidaan jakaa rakenteen mukaan seuraaviin alueisiin: siirtokiskot ja aukirullausalue, pulpperi, leikkausosa, leikkausosaan liittyvät jaokset, kiinnirullausosa ja rullapiha (Peuranen 2019). Siirtokiskot siirtävät kartonkikoneelta valmistuneen konerullan pituusleikkurille ja asiakasrullien puoleisuuden mukaan kääntää tarvittaessa konerullan 180° ympäri. Aukirullausalueella konerulla rullataan auki. Leikkausosalla leikkausterät leikkaavat konerullan osiin pituussuunnassa. Leikkausosan jaokset vastaavat pituusleikkurin automatisoiduista tukiprosesseista, kuten hylsyjen siirrosta ja teippauksesta, osarainojen kiinnityksestä hylsulle kiinnirullauksen alussa ja lopussa sekä konerullan saumauksesta eli seuraavan konerullan kiinnityksestä pituusleikkurille saapuvaan, seuraavaan konerullaan. Rullapihalla pituusleikkauksesta valmistuneita asiakasrullia siirretään eteenpäin joko rullanpakkaukseen tai arkitukseen. Pituusleikkurin pulpperiin ohjataan hylky eli asiakasrullista pois jäänyt kartonki. (Metso Paper Oy 2012a, 29–110)



KUVA 5. Pituusleikkurin ja rullapihan poikkileikkaus aukirullaimelta muutonpy-
säyttimille kuvattuna pituusleikkurin käyttöpuolelta (Metsä Board Äänekoski)

Siirtokiskoihin ja aukirullausalueeseen kuuluvat konerullan luovutusasema, kone-
rullan siirtolaitteet, konerullan kääntölaite, konerullan pyörityslaite, konerullan
vaihtolaite (AutoReel), aukirullauspukki sekä aukirullain (Peuranen 2019). Kar-
tonkikoneen konerullan valmistuessa konerullan luovutusasema luovuttaa kone-
rullan siirtokiskostolle. Siirtokiskot liikuttavat konerullan ensin kääntölaitteelle ja
siitä aukirullaimelle. Kääntölaitteella konerulla voidaan kääntää 180° ympäri mi-
käli ajo-ohjelman mukainen asiakasrullien puoleisuus niin määrittää. Aukirullaus-
pukki pitää konerullan paikoillaan pyöriksen aikana ja sen avulla konerulla kes-
kitetään suhteessa pituusleikkurin leikkausalueeseen. Aukirullain ylläpitää rainan
haluttua kireyttä pituusleikkauksessa. Sen suorittamiin sekvensseihin kuuluvat
konerullan saumaus ja päänvienti. Konerullan pyörityslaite mahdollistaa konerul-
lien valmistelun päänvientiin sekä konerullan pintakerroksen ja tampusuuren pohja-
hylvyn eli leikkauksesta ylijääneen kartongin poistamisen. Konerullan vaihtolait-
teella suoritetaan konerullanvaihto eli vaihdetaan tyhjäksi ajettu tampusuuri täyteen
konerullaan. (Metso Paper Oy 2012a, 41–53)

Pulpperin alueeseen kuuluvat pulpperin amme, roottoriyksikkö, käyttölaitteet
(vaihte, kytkin ja moottori), suihkuputket, kansi ja lisälaidat. Pulperoitava kar-
tonki ohjataan joko pulpperin luukusta tai reunanauhasuuttimia pitkin pulpperin
alipaineistettuun ammeeseen, jossa se hajotetaan ja sekoitetaan lämpimään ve-
teen. Pulpperin roottoriyksikkö ja sitä tukevat käyttölaitteet sekoittavat pulpperin
sisällä olevaa massaa. Suihkuputket syöttävät vettä pulpperin yläosasta ja hel-
pottavat siten kartongin syöttämistä pulperiin ja mahdollistavat kartongin pulp-

peroimisen hylkymassaksi. Pulpperin lisälaidat ja kansi auttavat kartongin ohjauksesta pulpperiin ja estävät ylimääräisten esineiden kulkeutumisen prosessiin. (Peuranen 2019; Metso Paper Oy 2012a, 39)

Leikkausosaan kuuluvat päänvientilaitteet, ohjauspätkätelat, ylempi teräpöytä-tela, alempi teräpöytä-tela, ylemmät ja alemmat leikkausterät sekä rainojenerotin. Päänvientilaitteilla konerullan raina viedään pituusleikkurin ja leikkausterien läpi kiinnirullauspuolelle. Ohjauspätkätelat ovat uritettuja metalliteloja, joilla ohjataan rainan kulkua. Ylempi teräpöytä-tela on kaareva, poikkisuunnassa pätkiin jaettu tela, joka levittää rainaa ajon aikana muotonsa avulla. Alemmassa teräpöytä-telassa on kireysmittausantureita, joilla mitataan rainan pituussuuntaista kireyttä ja poikkisuuntaista kireysprofiilia. Pituusleikkurissa on kymmenen teräparia, joita siirrellään pneumaattisella teriensiirtolaitteistolla. Alaterien pyörimistä ohjaavat teräkohtaiset moottorit. Rainojenerotin erottaa osarainat toisistaan, jotta muoton rullat eivät rullaudu kiinni limittäin. Rainojenerotin koostuu kahdesta pätkätelasta: osarainat kulkevat pätkätela 1:n yli ja pätkätela 2:n ali. Ensimmäinen pätkätela levittää osarainoja irti toisistaan muotonsa ansiosta. Toinen pätkätela suoristaa kaarellaan osarainat kulkemaan samansuuntaisesti. (Metso Paper Oy 2012a, 58–2; Peuranen 2019)

Leikkausosiin liittyviin jaoksiin kuuluvat reunanauhasuuttimet, pusku-saumaus-laitte, hylsynsyöttölaitteet, hylsynteippauslaitteisto sekä loppuliimauslaitteisto. Hylsynsyöttölaitteisto ja hylsynteippauslaitteisto on käsitelty kohdassa 2.5.1 Hyl-sysaha, tulppaaja ja pölynkeräyslaitteet. Reunanauhasuuttimet ohjaavat reuna-nauhat eli reunaterien leikkauksesta ylijäävän reunahylyn pulpperiin. Pusku-saumauslaitteella tehdään konerullan saumaus sekä päänvientiä varten. Sau-maussekvenssiä käytetään silloin, kun seuraava konerulla on suoraan saatavilla pituusleikkurille, eli käytännössä normaalin ja häiriöttömän tuotannon aikana. Jos rata katkeaa pituusleikkurilla, ei saumausta voi tehdä. Sama tilanne syntyy kat-kojen ja seisokkien jälkeen, jolloin valmistuneen konerullan rainan loppu ei ole käytettävissä, eikä uuden konerullan rainaa siten voida saumata siihen kiinni. Loppuliimauslaite liimaa rullan hännän kiinni rullan pintaan kuumaliimalla. (Metso Paper Oy 2012a, 98–110; Peuranen 2019)

Kiinnirullausosaan sisältyy painotela, hylsylukot, kantotelat, katkaisulaite, rullantyönnin, hylsynlaitin, kitasuojat sekä rullien poistolaite. Hylsynlaitin nostaa hylsyt imukuppien avulla pituusleikkurin hylsykourusta kantotelojen väliin. Hylsyt kiinnitetään rullausta varten paikalleen hylsylukoilla pituusleikkurin käyttö- ja hoitopuolelta. Pituusleikkurin kaksi kantotelaa ovat muita teloja halkaisijaltaan suurempia, polymeeripinnoitettuja teloja, joiden päällä hylsyt pyörivät rullausvaiheessa ja joiden välistä osarainat ohjataan hylsulle. Painotelalla säädellään hylsyyn ja rullaan kohdistuvaa viivakuormaa, mikä parantaa sekä rullan vakautta rullausvaiheessa että rullan kireyttä. Katkaisulaite katkaisee osarainat, kun asiakasrullat sisältävät pituussuunnassa halutun määrän kartonkia. Rullantyönnin työntää valmiit asiakasrullat pois kantotelojen päältä yläasennossa olevaan rullanpoistolaitteeseen. Pituusleikkurin kitasuojat on ajon ajaksi pituusleikkurin kiinnirullausalueen eteen laskeutuva metalliverkko, joka estää ratakatkon tilanteessa kartonginpalasten lentämisen rullapihalle ja mahdollistaa operaattoreille kiinnirullausalueen editse kulkemisen ajon aikana. Rullien poistolaite poistaa valmistuneet rullat pituusleikkurilta. (Peuranen 2019)

Rullapihaan kuuluvat välipysäytin, muutonpysäytin, lamellikuljetin sekä päätymerkkain. Pituusleikkurin muutonluovutuksen jälkeen lattiatasolla on kahdet pysäyttimet: välipysäyttimet ja muutonpysäyttimet. Rullapihan lattia on hieman kallillaan, joten painovoima ohjaa rullien pyörimissuuntaa ja -vauhtia. Välipysäyttimet pysäyttävät rullien liikkeen hetkellisesti, jotta lattian kallistuskulma ei saa rullia pyörimään liian kovaa. Muutonpysäyttimillä rullan pysäytetään rullapihan päässä, ja lasketaan rullat lamellikuljettimelle. Lamellikuljetin siirtää leikatut rullat eteenpäin päätymerkkaimelle ja joko rullanpakkaimen siirtolaitteistolle tai arkittamoon vievälle linjalle. Päätymerkkaimen laitteisto merkitsee kunkin rullan päätyyn erillisen viivakoodin ja rullanumeron tehtaan tietojärjestelmästä saaduilla tiedoilla, mikä mahdollistaa rullien tunnistamisen myöhemmissä prosessinvaiheissa. (Peuranen 2019; Metso Paper Oy 2012a, 29–110)

Pituusleikkurin tuotantoa säädellään rullausparametrien avulla. Rullausparametrit määritellään tuotettavan kartongin ja käytössä olevan laitteiston perusteella. Tärkeimpiin rullausparametreihin kuuluvat viivakuorma ja ratakireys, joita säädellään pituusleikkurin painotelojen ja kireyssäädön avulla. Viivakuorman oikealla

ohjauksella varmistetaan rullien paikallaan pysyminen kiinnirullauksessa ja sopivan luja rakenne kuljetusta ja jatkojalostusta varten. Kireyttä seuraava mittaus saadaan alemmista teräpöytäteloista. Rainan kireydellä on kriittinen vaikutus pituusleikkurin ajettavuuteen ja pituusleikkurin katkon riskiin, sekä rullanmuodotukseen ja asiakasrullien rakenteeseen. Kireyttä mitataan alemmista teräpöytäteloista (Peuranen 2019). (KnowPap 2020g; KnowPap 2020h)

Pituusleikkurin säännöllisen tuotannon katkaisevat tietyt, pituusleikkurin tuotannolle välttämättömät poikkeustilanteet. Näihin kuuluvat muun muassa asetteenvaihdot, konerullavaihdot kiilapäänviennillä tai saumauksella ja hylsykoon vaihdot. Kunkin asetteen kaikilla muutoilla on sama tavoitehalkaisija, hylsykoko ja muuton rullien leveystavoite, ja asetteenvaihdossa yksi tai useampi näistä muuttuu. Samalla muutolla tai samassa asetteessa ei voi olla eri halkaisijan tai hylsykoon omaavia rullia. Konerullavaihtojen aikana valmistuva konerulla saumataan yleensä kiinni uuteen konerullaan. Kuitenkin ratakatkon, seisokin tai muun häiriön jälkeen konerullan raina joudutaan ohjaamaan uudelleen pituusleikkurin läpi. Tätä prosessinvaihetta kutsutaan kiilapäänvienniksi. (KnowPap 2020i; Peuranen 2019; Hattara & Hämäläinen 2020)

2.4 Rullanpakkaus

Metsä Board Äänekosken automatisoitu rullanpakkain on otettu käyttöön vuoden 2011 syksyllä. Rullanpakkauslaitteisto on Kauhajokelaisen Pesmel Oy:n toimitama. (Pesmel Oy 2011a)

Rullanpakkainlaitteistoon sisältyy rullien pakkauksen lisäksi kuljetuslaitteisto. Rullina myytävä kartonki pakataan Äänekoskella aaltopahvista valmistettuihin päätylappuihin ja rullan vaipan ympäri käärittävään, PE-pohjaiseen kiristekalvoon. Päätylappujen rullan puoleinen pinta on myös päällystetty PE-muovilla. Jokaisen pakattavan rullan hylsyn päissä käytetään rullatulppia, jotka estävät hylsyn painumisen kasaan trukkipihtien puristuksessa. Lisäksi rullanpakkain tulostaa ja liittää rullatiedot sisältävät etiketit kiristekalvon päällimmäisen kerroksen alle. Kiristekalvon alku- ja loppupää kiinnitetään rullaan kuumaliimalla. (Hujanen ym. 2011; Peuranen 2016b; KnowPap 2020f)

Rullien siirtely ja nostelu aiheuttaa suurimman osan rullien vaurioista. Rullat kulkevat usein pitkiäkin matkoja ja niitä nostellaan useita kertoja matkalla asiakkaalle. Rullanpakkaus on tärkeä tekijä rullien suojaamisessa ja siten asiakastuotteen laadun takaamisessa. (KnowPap 2020f)

Muita rullien vaurioiden yleisiä aiheuttajia ovat kosteus, painaumat rullan päädissä tai kyljissä sekä rullan rakenteen luhistuminen esimerkiksi trukin pihdeissä tai painavan rullapinon alla. Näin ollen pakkauksen täytyy olla laji ja kuljetustapa huomioon ottaen tarpeeksi hyvin kosteutta kestävä, rullaa suojaava ja vahva, jotta rullan laatu pysyy tavoitearvoissa myös asiakkaalle kuljetuksen ajan. Pakkaus ei myöskään itse saisi aiheuttaa rullaan laatupoikkeamia. Muovikääre toimii paperikäärettä paremmin kosteuden eristäjänä tuotteen kuljetuksen aikana. (KnowPap 2020f)

Pituusleikkauksen jälkeinen kuljetuslinja jakautuu Äänekosken Metsä Boardin jälkikäsitelyssä kahteen osaan: pakkauslinjaan ja arkittamolle johtavaan kuljetuslinjaan (Pesmel Oy 2011a). Arkittamon kuljetuslaitteisto siirtää pituusleikatut rullat kiinteistön alakertaan purkupaikalle, josta rullat kuljetetaan kuorma-autokyydillä arkittamon purkupaikalle tehdasalueen toiselle puolelle (Pesmel Oy 2012; Metsä Board Äänekoski 2020).

2.4.1 Rullanpakkaimen rakenne ja prosessinkulku

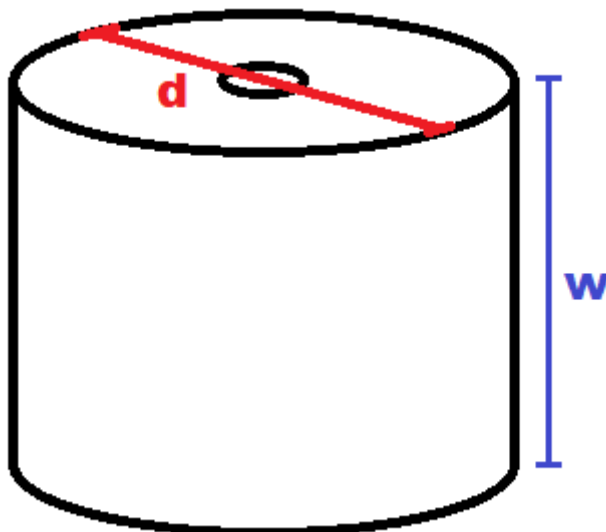
Rullanpakkain voidaan jakaa laitteistonsa ja rakenteensa puolesta kuljettimiin, rullien tunnistukseen, käärintään ja merkkaukseen. Kuljettimet siirtävät pituusleikkurin valmiit rullat arkittamon linjalle tai pakkauksen kautta tuotevarastoon. Rullien tunnistusta, käärintää ja merkkausta käytetään rullien pakkaamiseen niin, että rullat olisivat siistejä, suojattuja laatuhaittoja aiheuttavilta tekijöiltä sekä tunnistettavia varastoinnissa ja kuljetuksessa. (Peuranen 2016b)

Pakattavan rullan kulkureitillä kuljettimet ovat seuraavassa järjestyksessä: lamellikuljetin 1, lamellikuljetin 2, työnnin, vastaanotin, vastaanotin 2, keskityskuljetin, poistokuljetin, työnnin, palautustyönnin, laskukauha, vastaanotin, lamellikuljetin

ja pystyynnostimen tulokuljetin, pystyynnostin, lähtökuljetin, varastokuljetin. Työntimet ja vastaanottimet toimivat hydraulisesti. Ensimmäinen työntin työntää pakkauslinjalle kaikki rulla-asetteiden rullat. Arkittamoon menevät rullat jatkavat lamellikuljetin 2:lla kohti arkittamon kuljetuslinjaa. (Peuranen 2016b; Pesmel Oy 2011a; Pesmel Oy 2012)

Lamellikuljettimien 1 ja 2 kohdalla on päätymerkkalauslaite, jolla rullan viivakoodi tulostetaan rullan päähän. Lisäksi päätymerkkaimella tulostetaan rullanumero, josta rulla on myös operaattorin tunnistettavissa ennen pakkausta tai arkitusta. Kuljetinlaitteisto saa tehdastietojärjestelmästä tiedon siitä, onko merkattu rulla matkalla arkittamoon vai rullanpakkaukseen. (Metso Paper Oy 2012a; Pesmel Oy 2011a)

Rullien tunnistukseen, käärintään ja merkkaukseen kuuluvat tunnistus- ja mitauslaitteisto, päätylappulaitteisto, käärintälaitteisto, etiketöintilaitteisto sekä nostolaitteisto. Rullan tunnistus tapahtuu vastaanotin 2:n jälkeen rullan ollessa keskityskuljettimella. Viivakoodinlukija lukee päätymerkkaimen tulostaman viivakoodin, rulla punnitaan ja sen halkaisija mitataan ultraäänianturilla. Halkaisijalla tarkoitetaan rullan pyöreän päädyn leveyttä, ja sitä merkataan usein laskukaavoissa kirjaimella d , ja leveydellä (w) viitataan rullan vaipan korkeuteen (kuva 6). Rullatietoja vastaan tehdastietojärjestelmä antaa rullan pakkaustiedot ja luvan edetä rullanpakkaukselinjalla eteenpäin. (Peuranen 2016b; Pesmel Oy 2011a)



KUVA 6. Kartonkirullan rakenne

Rulla siirtyy kuljettimella käärintäasemalle, jossa pyöritystelat nostavat rullan irti lamellikuljettimesta. Rullan paino lepää pyöritystelojen päällä. Etiketilaitteisto tuostaa ja kuljettaa etiketit radiaalikäärintäkoneelle. Käärintäkelkka siirtyy kiskostollaan pyöritystelojen kohdalle, kiinnittää kiristekalvon pään rullaan kuumaliimalla ja pyöritystelat alkavat pyörittää rullaa radiaalikäärintäkoneen syöttäessä kiristekalvoa rullan vaipan ympäri. (Pesmel Oy 2011a)

Päätylappurobotti, joka sijaitsee käärintäkoneen kiskoston takana, nostaa päätylappupinoista kaksi päätylappua imukupeilla. Robotti asettaa ensimmäisen päätylapun rullan päätyä vasten samalla kun kiristekalvo ylittää käärinnässä rullan reunan. Muovi pingottuu päätylapun reunan päälle kiinnittäen sen tiukasti rullan päätyyn. Sama toistuu rullan toisessa päädyssä. Ennen käärinnän päättymistä radiaalikäärintäkone syöttää etiketilaput rullan vaipan vastakkaisille puolille, kiristekalvon päällimmäisten kerrosten alle. Lopuksi käärintäkone kiinnittää kalvon hännän kiinni kuumaliimalla ja katkaisee kalvon. (Pesmel Oy 2011a)

Käärinnän jälkeen pyöritystelat laskevat rullan takaisin lamellikuljettimelle, josta rulla siirtyy työntimen ja vastaanottimen kautta pystyynnoston hihnakuljettimelle. Pystyynnoston kääntää rullat pystyyn varastokuljettimelle joko yksittäin tai maksimissaan kolmen rullan pinoissa, ja varastokuljetin siirtää ne tuotevaraston puolelle. Pystyasennosta rullat voidaan nostaa pihtitrukeilla sopivalle varastopaikalle tai suoraan kuljetukseen. (Pesmel Oy 2011a; Peuranen 2016b)

Mikäli rulla pakataan uudelleen esimerkiksi epäonnistuneet ensimmäisen pakauksen vuoksi, voidaan se laskea kuljetuslinjalta pois alaslaskukauhalla takaisin pituusleikkurin kuljetin 2:lle eli pituusleikkurin rullapihan viereen. Mikäli rulla on määritelty hylyksi sen valmistuessa, voidaan se pakata pelkkään pantaan, jolloin kiristekalvoa kääritään vain rullan keskiosan ympäri eikä päätylappuja käytetä lainkaan. Sama pätee niihin rulliin, jotka leikataan arkeiksi kotimaisen alihankinnan kautta eli kuljetetaan kuorma-autolla tehtaan varastosta suoraan arkittajan varastoon, sekä niille arkittamoon tarkoitetuille rullille, jotka ovat jostain syystä päätyneet rullavarastoon. Siihen johtaneita syitä voivat olla esimerkiksi arkittamon kuljetuslinjan häiriöt. (Hattara & Hämäläinen 2020; Hujanen ym. 2011)

Rullia on mahdollista pakata pareittain, mikäli niiden leveydet ovat liian pieniä takaamaan pystyssä pysymisen rullanpakkauslinjan kuljettimilla. Silloin pituusleikkurin hidastusvaiheessa ajetaan viimeiset kerrokset yhteen eli nostetaan rullien välinen leikkausterä pois rainalta. Rullien pinnat ajetaan yhteen ja ne pakataan pareittain silloin, kun niiden halkaisijan ja leveyden suhde on suurempi kuin kolme. (Pesmel Oy 2011a; Peuranen 2016b; Peuranen 2019)

Rullanpakkausta ohjataan tiettyjen tehdastietojärjestelmään tallennettujen ohjeiden mukaisesti. Ohjaustiedot määrittävät esimerkiksi käytettyjen päätylappujen halkaisijan, montako kerrosta kiristekalvoa rullan pintaan ollaan laittamassa, tai onko kyseessä pelkkä pantakäärintä. (Hujanen ym. 2011; Peuranen 2016b))

Rullanpakkauksessa on tiettyjä jatkuvalle tuotannolle välttämättömiä prosessinvaiheita, jotka katkaisevat jatkuvan tuotannon hetkellisesti. Näihin kuuluvat muun muassa päätylappupinojen täyttäminen ja kiristekalvorullan vaihdot.

2.4.2 Pituusleikkurin ja rullanpakkaimen ohjausjärjestelmät ja -laitteet

Pituusleikkurin ohjausjärjestelmiin kuuluvat Valmetin pituusleikkurin ohjauslaitteisto, WindControl, hylsynkäsittelyjärjestelmä CoreLink, tiedonhallintajärjestelmä TIPS sekä prosessinohjausjärjestelmä Honeywell Experion PKS. Lisäksi pituusleikkurin läheisyydessä on Siemensin ohjausnäyttöjä, joilla pituusleikkuria voidaan ohjata kentältä käsin. Pituusleikkurin valvomoon on kytketty kameranäyttöjä, joista operaattori voi seurata prosessin kulkua erityisesti niiltä osin, joista ei ole suoraa näköyhteyttä pituusleikkurin valvomoon, kuten hylsytalvomaalaitteistolta.

Pituusleikkurin oma ohjauslaitteisto WindControl on toinen pituusleikkaajan pääasiallisista operointinäyttöistä. Ohjelmiston avulla säädetään pituusleikkauksen rullausparametrejä, määritetään mahdolliset hidastus- ja kiihdytysrampit, säädetään rullan leikkausleveydet ja ohjataan yksittäisiä prosessinvaiheita, kuten pohjahylyn aukirullausta pulpperiin. (WindControl 2020)

Tehdastietojärjestelmä TIPS on hyvin keskeisessä roolissa pituusleikkurin automaation kannalta, sillä järjestelmä ohjaa tilaustietojen kulkua sekä kartonkikoneelta pituusleikkurille että pituusleikkauksesta rullanpakkaukseen. Pituusleikkurin WindControl saa tehdastietojärjestelmästä rullan leikkaustiedot, ja pituusleikkuri säättää asetteenvaihdossa leikkausterät oikeille kohdilleen. Myös hylsy tiedot siirtyvät TIPS:n ja WindControlin kautta hylsynkäsittelyjärjestelmään. Kun pituusleikkurin muutto on valmis, siirtyvät muuton tiedot tehdastietojärjestelmään. (Peuranen 2019)

Honeywell:n Experion PKS on koko Äänekosken kartonkitehtaalla käytössä oleva prosessinhallintajärjestelmä. Esimerkiksi kartonkikoneen prosessin automatisaadot tehdään Experion PKS:n kautta. Pituusleikkurilla ohjausjärjestelmää käytetään vain pulpperin ohjauksessa.

Rullanpakkaajaoperaattorin käytössä kaksi keskeistä ohjausjärjestelmää: rullanpakkauslaitteiston valmistajan oma ohjelmisto, sekä tehdastietojärjestelmä TIPS. Rullanpakkaajan pääasiallinen ohjausnäyttö sijaitsee pituusleikkurin valvomossa, mutta myös rullanpakkauslinjan läheisyyteen on asennettu Siemensin ohjausnäyttöjä, joilla esimerkiksi kuljettimia voi ohjata manuaalisesti kentältä käsin. Valvomoon on kytketty myös live-seurantanaäyttöjä, joista näkyy muun muassa arkittamon ja tuotevaraston kuljetuslinjoja. Operaattori pystyy siis seuraamaan prosessin kulkua myös rullanpakkauksen jälkeen, ja tekemään siten tarvittavia ennakoivia toimenpiteitä ja esimerkiksi varoittaa lastaajaa tai vuoromestaria, mikäli jokin näyttää poikkeavan normaalista tai aiheuttaa mahdollista riskiä prosessin sujuvuudelle.

Kuten pituusleikkurillakin, tehdastietojärjestelmä TIPS lähettää kunkin pakattavan rullan tai parirullan tiedot ja pakkausohjeen varsinaiseen ohjausjärjestelmään. Pessimelin rullanpakkauslaitteisto vastaanottaa tiedon, ja pakkaa rullan, mikäli rullan mittauspisteellä mitatut tiedot vastaavat rullan tietoja tehdastietojärjestelmässä. (Peuranen 2016b)

2.5 Jälkikäsittelyn lisälaitteistot

Hylsyt sahauslaitteisto katkoo pituusleikkurin hylsytyt tavoitepituuksiin ja siirtää ne pituusleikkurille kiinnirullausta varten. Hylsyn tulppaajalla hylsyihin lisätään päätytulpat, jotka tukevat rullien rakennetta kuljetuksessa. Tulppaaja sijaitsee hylsytulohtojen yhteydessä. (Core Link Ab 2015; Metso Paper Oy 2012a)

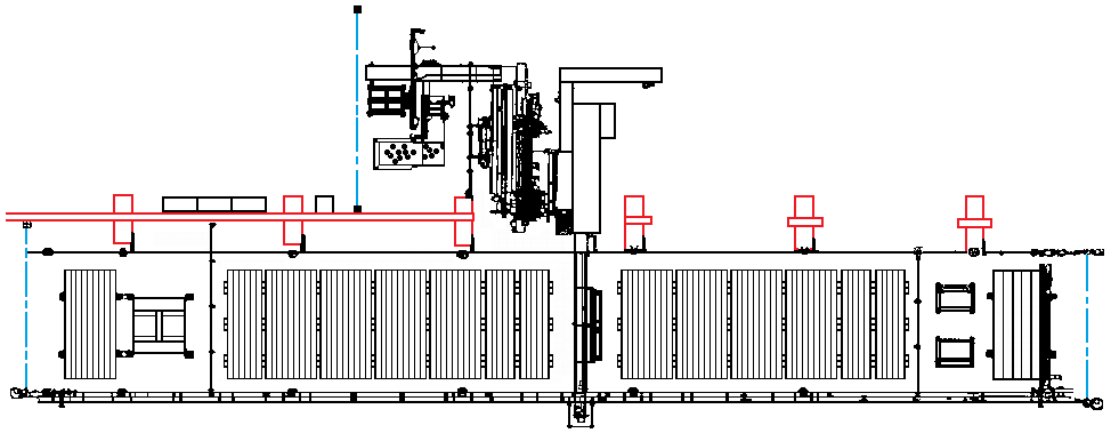
Hylsytulohtojen sahauslaitteistoissa syntyy paljon sahauspölyä, joka lisää tulipalon riskiä ja saattaa aiheuttaa sahauslaitteiden häiriöitä. Hylsytulohtojen toiminnan kannalta oleellinen on siis pölynkeräyslaitteisto, eli suuren imurin tavoin toimiva järjestelmä, joka poistaa hylsytulohtojen sahauspölyä hylsytulohtojelta. (Core Link Ab 2015)

Arkittamon kuljetuslinja on Äänekosken kartonkitehtaalla pituusleikkurin päätymerkkaimen jälkeen rullanpakkauslinjasta eroava kuljetuslinja. Linjaa pitkin pituusleikatut rullat kulkeutuvat tehtaan alakertaan ja siitä kuorma-auton kyytiin, jolla ne siirretään tehdasalueella sijaitsevaan arkittamoon. (Pesmel Oy 2012)

2.5.1 Hylsytulohtojen sahauslaitteisto, tulppaaja ja pölynkeräyslaitteet

Pituusleikkurin hylsytulohtojen valmistelun hoitaa Äänekosken Metsä Boardilla CoreLink hylsytulohtojen katkaisulaite CL 4090. Automatisoitu laitteisto sijaitsee kahdessa kerroksessa pituusleikkurin kyljessä. Hylsytulohtojen sahauslaitteistosta vastaa pääasiassa pituusleikkurin operaattori. Laitteiston operointiin kuuluu ohjauksen lisäksi muun muassa hylsytulohtojen täyttö, jätehylsytulohtojen tyhjennys sekä hylsytulohtojen vaihto. (Core Link Ab 2015, 2; Peuranen 2016a; Hattara & Hämäläinen 2020)

Hylsytulohtojen varastopaikat sijaitsevat pituusleikkurin pulpperin oikealla puolella koneinjan kulkusuuntaan nähden, ja kuvassa 7 ne sijaitsevat alareunassa. Hylsytulohtorobotti on välikatosta roikkuva, imukupein hylsytulohtoja siirtävä laite, joka poimii hylsytulohtoja sahauslaitteesta ja siirtää hylsytulohtoja varastopaikasta toiseen haluttua logiikkaa noudattaen. Hylsytulohtorobotti poimii sahauslaitteesta, täysimittaisen hylsytulohtojen, ja laskee sen syöttöpöydälle. (Core Link Ab 2015, 15–20; Peuranen 2016a)



KUVA 7. Alakerran hylsymakasiinit ja sahauslaitteisto kuvattuna ylhäältä

Kun hylsytilaus on käynnistetty, syötetään hylsy kourusta syöttötyöntimeen. Kun laitteisto saa hylsyn pituustiedon, siirtyy sahan vaste haluttua katkaisupituutta vastaavaan kohtaan. Syöttötyönnin työntää hylsyn vasteeseen kiinni, ja pyöritystela laskeutuu hylsyn päälle. Pölynpoistoluukku aukeaa. Sahan terä nousee ylöspäin hylsykourun pohjasta ja pyöritystela pyörittää hylsyä niin, että hylsy on sahattu poikki koko ympärykseltään. Pyöritystela nousee ylös, sahan terä laskeutuu alas ja pölynpoistoluukku sulkeutuu. Ulossyöttäjä syöttää valmiin hylsyn hylsykouruun. (Core Link Ab 2015, 23; Peuranen 2016a)

Muutosta jää usein hukkapaloja eli ylijäämää muuton hylsyjen sahauksesta. Nämä jätepalat sahataan 280 mm:n levyisiin pätkiin, mikäli hylsyn jäämää on sitä enemmän, ja jätepalakuljettimet 1 ja 2 siirtävät hukkapalat sahasta roskalavalle. Sahauksesta kertyy myös paljon pölyä, joka kerätään pois pölynpoistojärjestelmän avulla. (Core Link Ab 2015, 10, 24; PPT Pölynpoistotekniikka Oy, 3)

Hylsysahan ohessa on automaattinen tulppaaja, joka lisää hylsyjen päihin vaneritai puristetulpat operaattorin niin valitessa. Rullan päätytulppia käytetään kaikissa rullissa tukemaan hylsyä ja estämään rullan luhistumista. Poikkeuksena on arkitamon 1-varastoon lähetettävät rullat, joita siirrellään sellaisella kattonosturilla, joka tukee rullan rakennetta paremmin kuin kaksipihtinen trukki tai automaattikuljetin. Arkittamon rullissa ei siis tarvita päätytulppia, mikäli sukkulaliikenne ja arkitamon tilanne on normaali. (Hujanen ym. 2011; Core Link Ab 2015, 21; Hattara & Hämäläinen 2020)

Päätytulpat ovat halkaisijaltaan 1 mm hylsyjen sisähalkaisijaa isompia ja kiilamaisia, jolloin niiden asentaminen on helpompaa. Tulpat toimitetaan 12-paikkaisella lavalla, josta tulppanostin nostaa neljä tulppaa kerrallaan tulppakuljettimelle. Pienemmän halkaisijan tulppia varten on olemassa tulpansyöttäjä ja -lajitin. Lajitin poistaa tulppien joukosta väärin päin olevat tulpat. Tulppakuljettimelta tulppa siirtyy tulppaajalle, jossa se ohjataan tulppakuiluun pystyasentoon puristuslevyjen eteen. Kun hylsykourussa on tulpattava hylsy, kääntyy kouru siirtäen hylsyn tulppaajaan. Tulppaussylinteri puristuu hylsyn päitä vasten painaen tulpat hylsyn molempiin päihin. Sylinterin palauduttua asemaansa hylsy ohjataan kouruun, jossa tulpatuista hylsyistä kasataan muutto. Kourusta muutto siirretään hylsyhissin alle siirrettäväksi yläkertaan. (Hujanen ym. 2011; Core Link Ab, 10, 13–14, 21–22)

Hylsyhissi nostaa hylsyt muutto kerrallaan yläkertaan askelpöydälle. Askelpöydältä hylsyt luovutetaan muutto kerrallaan pituusleikkurin syöttöpöydälle. (Peuranen 2016a)

Tästä prosessinvaiheesta eteenpäin laitteisto on osa pituusleikkuria, eli hylsyjärjestelmä koostuu sekä Core Linkin, että Metson laitteista. Syöttöpöydältä hylsyt siirtyvät muutto kerrallaan hylsykouruun hylsyntunnistusta varten. Kun hylsyjen mitat ovat tiedossa, syötetään ne hylsynteippauslaitteen läpi pituusleikkurin hylsykouruun. Hylsyjen kylkeen kiinnitetään kaksipuolinen teippi, johon osarainan pää tarttuu rullauksen alkaessa auttaen siten muodostamaan hyvän pohjan rullalle. Teippauslaitteen läpi kuljettuaan hylsyt ovat teipattuina kourussa pituusleikkurin kantotelojen takana. (Metso Paper Oy 2012a, 83–87; Peuranen 2019)

Hylsynlaitin on imukupein toimiva palkki, jota pituusleikkurin runkoon kiinnittyvät varret kannattelevat. Hylsynlaitin nostaa hylsyt hylsykourusta kantotelojen väliin niin, ettei hylsyteippi koske kantoteloihin. Hylsylukot, eli hylsyä hoito- ja käyttöpuolelta paikallaan pitävät karat sulkeutuvat ja varmistavat hylsyjen oikean sijainnin poikkisuunnassa. Painotelat laskeutuvat hylsyjen päälle, ja pitävät niitä paikallaan kantotelojen välissä parantaen rullan pohjan kireyden ohjausta. (Metso Paper Oy 2012a, 86–91)

2.5.2 Arkittamon kuljetuslinja

Arkittamon kuljetuslinja on osa kartonkitehtaan jälkikäsitteilyä, ja siksi sillä on merkitystä myös jälkikäsitteilyn potentiaaliin pullonkaulatilanteisiin. Kuljetuslinjalla, sukkulakuljetuksessa tai arkittamon päässä tapahtuvat häiriöt heijastuvat satunnaisesti myös pituusleikkaukseen, rullapihaan ja rullanpakkaukseen.

Jälkikäsitteilyn arkitettava tuotanto erotetaan pituusleikkauksen jälkeen omalle kuljetuslinjalleen, joka koostuu pystykuljettimesta sekä useista lamelli- ja siirtokuljettimista. Rullanpurku kartonkitehtaan puolella tehdään kuorma-autoon, joka kuljettaa rullat arkittamolle. Rullat kulkevat sukkulalinjalta pääasiassa arkittamon automaattivarastoon, jossa käytössä on rullat yksitellen varastoon ja varastosta pois nostava Gripper-kattonosturi. Arkittamon toisessa rullavarastossa rullien siirtoja toteuttavat automaattikuljettimet eli robotit. (Pesmel Oy 2012; Salo 2020)

3 JÄLKIKÄSITTELYN TOIMINTAHÄIRIÖT

Jälkikäsitteilyn suorituskykyä selvitetessä on ilmeistä, että tuotannon tila ei aina ole normaali ja häiriötilanteita ilmaantuu satunnaisesti ennalta määrittämättömillä ajanhetkillä. Jotta jälkikäsitteilyn tilaa voidaan käsitellä todenmukaisesti, täytyy häiriötekijät ja niiden aiheuttamat muutokset läpimenoajoissa ja tuotantomäärissä huomioida. Mahdollisten häiriötekijöiden laajaa kirjoa on kartoitettava, jotta häiriöiden aiheuttamia riskejä voidaan ennakoita.

On tärkeää huomioida, että myös kartonkikoneen häiriöiden vaikutus näkyy usein jälkikäsitteilyssä, ja pelkän jälkikäsitteilyn häiriöiden kartoittaminen ei anna täydellisesti pätevää kokonaiskuvaa tuotantolinjan suorituskyvystä. Suoraan pituusleikkurille tai rullanpakkauslinjalle kohdistuvia häiriöitä voidaan kuitenkin arvioida tarpeeksi laajan otannan avulla, kun arviointikriteereinä ovat häiriöiden ilmenemistäajuudet ja niiden aiheuttamien tuotantoriskien laajuudet.

3.1 Jälkikäsitteilyn häiriötekijät ja niiden toistumistaajuudet

Jälkikäsitteilyn suorituskykyyn vaikuttavat laitteiston kapasiteetin lisäksi monet prosessin sisäiset ja ulkopuoliset tekijät. Näihin voidaan lukea esimerkiksi kartongin tai pakkausmateriaalien laatuvaihtelut, laitteiden ja ohjausjärjestelmien viat ja häiriöt sekä prosessin kulusta johtuvat ajojärjestyksen muutokset.

Jälkikäsitteilyn häiriötekijöiden vakavuuteen vaikuttaa sekä niiden toistumistaajuus että yksittäisen tekijän vaikutus prosessin tuotantotehoon. Näin ollen voidaan karkeasti määritellä myös ne riskit, joita häiriötekijät aiheuttavat jälkikäsitteilyn kokonaistuotannolle.

Sähkö- ja automaatiolaitteistojen sekä mekaanisten laitteistojen viat ja häiriöt toistuvat epäsäännöllisesti. Laitteviat korostuvat erityisesti silloin, kun niiden määräaikaishuollot eivät toteudu ajallaan, varaosia ei ole saatavilla laitevian ilmenehetskellä tai varaosat eivät kestä odotettuun käyttöikänsä saakka. Pituusleikkurin laitteiston osat on jaoteltu kriittisyysasteikolla, jonka perusteena on laitteiston

vikaantumisen aiheuttamat tuotantohäiriöt pituusleikkurilla ja kartonkikoneella, turvallisuusriskejä lisäävät tekijät sekä varaosien saatavuus ja hinta. (Mustonen, 2020)

Erytyisesti pituusleikkurin ja rullanpakkauslinjan toimintaan vaikuttaa prosessin-ohjaus- ja tietojärjestelmien toiminta. Riippuvuus järjestelmien toiminnasta vaihtelee eri ohjelmistojen välillä, mutta erityisesti pitkälti automatisoitu prosessi toimii kankeasti ilman sitä tukevia järjestelmiä. Usein pitkittynyt tietojärjestelmän katkos tai jumiutuminen johtaa ennen pitkää jälkikäsitteilylinjan pysähtymiseen.

Kartonkikoneen raaka-aineiden ja tuotannon laatu saattaa heijastua myös jälkikäsitteilyyn. Erytyisesti kartongin paksuuden ja neliöpainon heitot sekä pituus- että poikkisuunnassa vaikuttavat pituusleikkurin ajettavuuteen ja äärimmäisissä tapauksissa myös leikattujen rullien rakenteeseen ja tasapainoon, mikä heijastuu joskus rullapakkauslinjalle saakka. Reiät hidastavat pituusleikkurin ajonopeutta, pahimmassa tapauksessa katkaisten pituusleikkurin rainan kokonaan. Hylyn ajaminen leikkurilla taas lisää asetteiden muuttoa, mikäli kunkin tilauksen tonnimäärät eivät rullien hyllyttämisen takia täyty suunnitelluilla muuttomäärillä. Rullanpakkauslinjalla tärkeää on rullan kestävä rakenne, loppuliimauksen kestävyys ja rullaprofiilin tasapaino, sillä heikkorakenteiset rullat ovat riskialttiimpia kaatumaan tai putoamaan pakkauslinjastolta.

Operaattorien toiminta ja vuorokohtaiset erot vaikuttavat jälkikäsitteilyprosessin vaihe aikoihin ja niillä voi olla merkittävä vaikutus prosessin kulkuun. Joissain toistuvissa toiminnoissa, kuten konerullan saumauksessa tai kääreenvaihdossa, on selkeästi erilaisia toimintatapoja ja niitä sovelletaan eri tavoin eri vuoroissa. Niihin toimintoihin, joissa operaattorin toiminta vaikuttaa prosessin vaihe aikoihin, vaikuttaa myös operaattorin kokemus, vireystila ja muutokset prosessin seurannan tasossa.

Äänekosken arkittamalla leikattavia tilauksia ajettaessa myös sukkulakuljetuksen ja varastojen toiminnot ovat oleellisessa roolissa. Kattonosturin häiriötilanteessa rullat eivät liiku arkittamon purkulinjalta varastoon. Linja tukkeutuu silloin nopeasti myös jälkikäsitteilyyn purkulinjalla. Arkittamon toiseen varastoon voidaan tarvittaessa purkaa kartonkitehtaan rullia, mutta niiden käsitteilytavan takia täytyy rullissa

olla päätytulpat. Myös sukkulalinjan kuorma-auton kuljetuskapasiteetti vaikuttaa kartonkitehtaan arkittamon kuljetuslinjan sujuvuuteen.

Kartonkitehtaan varastot ja välivarastot voivat aiheuttaa häiriötä jälkikäsitteilylinjalle sellaisissa tilanteissa, joissa varastot ovat täynnä tai jatkokuljetus on jostain syystä estynyt. Välivarastojen, kuten konerullakiskoston ja pituusleikkurin välivaraston pienet koot vaikuttavat myös merkittävästi siihen, miten pitkään kartonkikoneen tuotantoa voidaan jatkaa jälkikäsitteilyn erilaisissa häiriötilanteissa. Kriittisimmillään nämä ongelmat ovat silloin, kun useita edellä mainittuja häiriötilanteita ilmenee samanaikaisesti.

3.2 Jälkikäsitteilylinjan tuotantohäiriöiden riskiä lisäävät tekijät

Jälkikäsitteilyssä ilmenevien tuotantohäiriöiden aiheuttama riski eli tuotannolle aiheutuneen negatiivisen vaikutuksen suuruus riippuu monesta tekijästä. Tehtaan kunnossapito-osasto pitää kirjaa jälkikäsitteilyn laitteiston eri osista, ja siitä, miten kriittisiä ne ovat tuotannon kannalta. Kriittisyysjaottelun perusteina ovat vaikutus pituusleikkurin käyntiin, laitteistovian aiheuttama turvallisuusriski sekä varaosien hinta ja saatavuus.

Laitteiston vian tai häiriön ilmetessä tuotantoriskiä lisää varaosien puutteellinen saatavuus, osaamisen puute vuorossa tai tehtaalla ja vikaantuneiden laitteiden hankalat sijainnit. Mitä kauemmin kestää vikaantuneen laitteen tunnistamisessa ja löytämisessä, sitä suurempi negatiivinen vaikutus häiriöllä on tuotantoon. Opearaattoreiden haastatteluissa kävi myös ilmi, että jotkin häiriöt jälkikäsitteilyssä korostuvat tiettyjen laiterakenteiden takia. Esimerkiksi pituusleikkurin ratakatkon tilanteessa kartongilla on tapana pakkautua hyvin tiiviisti konerullien väliin, ja lähes täyden konerullan katkossa hylkyä on hyvin vaikea saada syötettyä pituusleikkurin pulpperiin sen syöttöluukun rakenteen vuoksi. (Vuorinen 2020)

Jotkin laitteet sijaitsevat sellaisissa paikoissa, joihin pääsee vain apuvälineillä tai purkamalla muita koneen osia tieltä pois. Henkilöstön osaaminen ja taidot taas korostuvat silloin, kun kyseessä on jokin harvoin vikaantuva tai asennuksen erityisosaamista tai -työkaluja vaativa laite.

Monet jälkikäsitellyssä ilmenevistä laitevicioista ovat operaattorien ja vuoron kunnossapitomiesten korjattavissa. Kun vuoron kunnossapitotyöt ovat mahdollisia, on työkalujen saatavuudella ja kunnolla tärkeä rooli vian korjaamisessa.

Tuotannon tila häiriön ilmenemishetkellä vaikuttaa häiriön aiheuttamaan tuotantorisktiin. Välivarastojen, eli konerullan siirtokiskojen, pituusleikkurin rullapihan ja lamisalin kapasiteetit ovat suhteellisen pieniä, joten jälkikäsitellyn tai sen osan pysähtyessä välivarastot täyttyvät nopeasti. Mikäli laitteet saadaan käyttöön ennen välivarastojen täyttymistä ilman, että kartonkikoneen nopeutta joudutaan laskemaan, ei häiriö välttämättä aiheuta tuotantohäviöitä. Jos välivarastot kuitenkin täyttyvät, täytyy kartonkikoneen tuotantokin jossain kohtaa katkaista, ja silloin häiriön aiheuttamat tuotantotappiot ovat jo hyvin merkittäviä.

4 KÄYTETYT MITTAUSMENETELMÄT

4.1 Mittausten lähtökohdat

Mittausten tavoitteena oli selvittää tuotantolinjan normaalitilassa pätevät vakioajat kunkin asetteen valmistumiselle sekä pituusleikkurilla että rullanpakkauslinjalla. Mittausten aikana pyrittiin seuraamaan normaalia tuotannon kulkua niin, että luotettavan, tuotantolinjan sisäisiin mittauksiin suhteutetun datan kerääminen oli mahdollista. Tämän takia mittauksen puitteille asettui tiettyjä vaatimuksia, jotta mittauksen tavoite oli mahdollista täyttää.

Mittausten aikaisen tuotannon tilan tuli olla normaali. Katkot, seisokit ja muut normaalista poikkeavat konelinjan toiminnot, kuten kunnossapitotyöt ja raaka-aineiden saatavuudesta tai laadusta johtuvat muutokset heijastuvat myös jälkikäsitteilyyn, mikä vääristi pituusleikkurilla ja rullanpakkauslinjalla suoritettuja mittauksia. Myös kartonkikoneen tuotannon tuli olla laatuvaatimukset täyttävää, jotta kartongin ajettavuus erityisesti pituusleikkurilla ei kärsinyt.

Myös jälkikäsitteilylinjan tilan tuli olla normaali. Jälkikäsitteilylinjan pysähtyminen rullanpakkauslinjalla tai pituusleikkurilla vaikuttaa pituusleikkurin muuttojen valmistumisaikoihin ja yksittäisten leikattujen rullien liikkeisiin läpi jälkikäsitteilylinjan, joten jälkikäsitteilylinjan tilan tuli olla stabiili ja verrattavissa normaaliin, häiriöttömään tuotantoon. Jälkikäsitteilylinjan viiveajat normaaliin tuotantoon sisältyvistä, jälkikäsitteilylinjan hetkellisesti pysäyttävistä toiminnoista määriteltiin erikseen. Näihin kuuluivat muun muassa rullanpakkauslinjan kiristekalvorullien ja pituusleikkurin saumausteippien vaihdot. Lisäksi pituusleikkurin käynnin tuli noudattaa samoja tietoja: nopeuden täytyi olla maksimissa, kiihdytykset ja hidastukset vakioarvossa ja kiihdytys- ja hidastusrampit pois käytöstä. Kiihdytys- ja hidastusrampit ovat muutoin lineaarisen kiihdytyksen tai hidastuksen porrastuksia, joiden avulla voidaan vähentää ratakatkon riskiä ohuilla lajeilla tai hylkyksi leikattavalla kartongilla, jossa saattaa olla esimerkiksi rajuja paksuusprofiilin heittoja, päällystevikoja tai reikiä.

Mittauksia varten tuli olla olemassa tarkoitusta varten sopiva mittauspöytäkirja, johon eri mittauspisteiden vaiheajat saatiin merkittyä. Mittauspöytäkirjan pohjatietona toimi kunkin asetteen ajomääräin, jonka tiedot poimittiin Excel-taulukkoon. Kutakin asetetta kohden luotiin asetteen rullamääriä vastaava taulukko, johon muuton tai leikatun rullan vaiheajat merkittiin eri mittauspisteistä. Näin mittauksista kerättyjä aikoja pystyttiin vertailemaan keskenään samassa taulukossa, eikä tietoja tarvinnut siirtää käsin dokumentista toiseen tai käsin kirjatusta mittauspöytäkirjasta tietokoneelle.

Vaiheajojen mittausten luotettavuuteen vaikuttaa merkittävästi käytössä oleva mittalaite. Käsin tehtyjen mittausten luotettavuuden edellytyksenä oli siis ajassa pysyvä, sekunnin tarkkuudella toimiva digitaalinen kello. Mittauksissa käytettiin tietokoneen käyttöjärjestelmän omaa kelloa, joka kalibroi itse itsensä kerran viikossa internetin aikapalvelimen kautta, olettaen että tietokoneella on internet-yhteys.

Käsin tehtyjä mittauksia vertailtiin joidenkin prosessin sisäisten mittausten kanssa keskenään datan käsittelyvaiheessa. Vertailuja tehtiin pituusleikkurin nopeuskäyriin ja kartonkikoneen konerullien valmistumisaikoihin. Konerullien valmistumisajat esiintyvät tuotantolokissa minuutin tarkkuudella, mutta viive kartonkikonerullan valmistumisesta pituusleikkurin ensimmäisen muuton aloitukseen on sen verran pitkä, ettei konerullan mittaustarkkuus vaikuta merkittävästi jälkikäsittelyn vaiheikoihin, sillä kartonkikoneen kiinnirullauksen ja pituusleikkurin ensimmäisen muuton välistä aikaa ei tarkasteltu. Pituusleikkurin nopeuskäyriä taas vertailtiin pelkästään pituusleikkurin muuton kestojen suhteen, jolloin sillä, onko pituusleikkurin muuton tarkka ajankohta sama kuin käsin tehdyllä mittauksella, ei ole suurta merkitystä, mikäli voidaan varmistua siitä, että kummassakin tarkkaillaan samaa muuttoa.

4.2 Jälkikäsittelyn vaiheajojen mittaaminen

Suorituskyvyn mittausmenetelmäksi valikoitui prosessinvaiheiden aikaleimojen mittaus. Mittauksen aikana kirjattiin siis ylös sekunnin tarkkuudella niitä ajanhet-

kiä, jolloin rulla läpäisi tietyn prosessivaiheen. Mittaustapa valikoitui muun muassa sen yksinkertaisuuden, tarkoituksenmukaisuuden ja vertailukelpoisuuden vuoksi. Aikaleimojen avulla mittauksia pystyttiin vertaamaan kartonkikoneen vasteaikoihin.

Jälkikäsittelyn vaiheajojen mittausten kautta voidaan tarkastella eri prosessinosien läpäisyajoja, jolloin kunkin vaiheen läpäisyajat toisiinsa nähden ovat vertailukelpoisessa muodossa. Kun mittauspisteitä on rullapihan ja rullanpakkauslinjan lopussa, voidaan näistä vaiheajoista määrittää rullanpakkauksen läpäisy aika yksinkertaisella laskutoimituksella.

Mitattujen vaiheajojen avulla jälkikäsittelyn läpäisyn nopeutta voidaan suhteuttaa myös kartonkikoneen vauhtiin. Tehtaan tietojärjestelmästä saadaan tietoa kullekin rullalle ohjatuista metreistä, ja kartonkikoneelta kunkin konerullan sisältämistä metreistä. Kun pituusleikkurin muuton kesto suhteutetaan muuton pituuteen metreissä, saadaan vertailtua pituusleikkurin läpäisyajoja kartonkikoneeseen jälkikäsittelyn viiveet huomioon ottaen. Voidaan siis verrata, millaista vauhtia koneella voidaan tuottaa kartonkia, kun pituusleikkurin leikkausajat noudattavat jälkikäsittelyn tuotannon normaalitilassa toteutuvia vakioita.

Vaiheajojen mittauksessa kaikkien mittauspisteiden aikaleimat saadaan mitattua noin sekunnin tarkkuudella, ja lähes kaikki tarkasteltavat prosessinvaiheet saadaan mitattua käsin pois lukien kartonkikoneen tuotantonopeuden ja konerullan valmistumisajan, sekä konerullan ja muuton sisältämien rainojen ja osarainojen pituudet pituussuunnassa. Laitteiston tiedoilla voidaan siten määrittää todennukaiset virhemarginaalit kaikille käsin tehdyille ja tehdastietojärjestelmästä poimituille mittaustiedoille.

Läpäisyajojen mittaus aloitettiin etsimällä selvitettävien suureiden kannalta oleelliset mittauspisteet. Mittauksista tehtiin erillinen suunnitelma, määriteltiin mittauspisteet ja kustakin asetteesta kirjattavat tiedot. Mittauspisteiksi valittiin neljä eri jälkikäsittelyn prosessinvaihetta: pituusleikkurin muuton aloitus ja lopetus, rullan lähtö päätymerkkaimelta ja rullan laskeutuminen pystyynnostinta edeltävälle hihnakuuljettimelle.

Pituusleikkurin muuton aloitus mitattiin siitä hetkestä, jolloin pituusleikkurilta annettiin ryömintähälytys. Pituusleikkuri ei lähde ryöminnälle ennen tämän hälytyksen antamista, joten jokainen muutto pystyttiin merkitsemään hälytyksään perusteella. Hälytys kestää vähintään 3 s, ja aikaleima merkittiin siltä sekunnilta, jolloin hälytysääni loppui.

Pituusleikkurin muuton lopetus mitattiin siitä hetkestä, jolloin pituusleikkurin alaslaskupöytä pysähtyi yläasentoonsa. Alaslaskupöytä nousee jokaisen muuton valmistuessa yläasentoon ja laskee valmiiksi leikatut rullat rullapihan lattialle. Alaslaskupöydän normaalit liikkeet eivät toteutuneet niissä tilanteissa, joissa rullapiha oli täynnä tai alaslaskupöydällä oli vielä aiemman muuton rullat. Edellä mainituista tilanteista tehtiin merkinnät mittauspöytäkirjaan.

Tilaurusrollan poistuminen rullapihalta päätymerkkauksen jälkeen mitattiin siitä hetkestä, kun päätymerkkaimen kuljetin lähtee liikkeelle päätymerkkauksen jälkeen. Tästä rulla jatkaa matkaansa joko arkittamon kuljetuslinjalle tai rullanpakkaukseen.

Pakatun rullan laskeutuminen pystyynnostimelle vievälle kuljettimelle mitattiin siitä hetkestä, kun hihnakuljettimen vastaanottimen liike pysähtyy rullan ollessa hihnakuljettimella. Näin ollen rullanpakkaukselinjan läpäisyn kestoa arvioidaan päätymerkkauksen pystyynnostimen hihnakuljettimen väliseltä ajalta.

Tuotannon häiriötilanteissa mittaukset merkattiin ylös, eikä niitä käsitelty normaalitilan mittaustulosten kanssa. Häiriötilanteiden viiveitä tutkittiin erikseen, ja niiden pohjalta määriteltiin häiriöiden aiheuttamat viiveajat kullekin prosessinvaiheelle. Siten myös laskentataulukon pystyttiin sisällyttämään todenmukaisemmat arvot siitä, miten jälkikäsitteilyn tuotanto käyttäytyy häiriötekijät huomioon ottaen.

4.3 Mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirjat muodostettiin kuvien 8 ja 9 mukaisesti. Pituusleikkurin muutot kirjattiin esimerkkimittauspöytäkirjan mukaisesti taulukkon, jossa muutot kirjattiin erillisille vaakariveille. Muuton aloituksen ja lopetuksen aikaleimat merkittiin niille kohdistettuihin sarakkeisiin taulukossa. Muuton kesto ("mtokesto") laskettiin

saman muuton lopetuksen ja aloituksen erotuksena ja muuton vaihdon kesto ("mtovaihto") seuraavan muuton aloituksen ja edellisen muuton lopetuksen erotuksena. Konerullan vaihtoja merkittiin punaisella vaakaviivalla. Asetteenvaihto eli trimmi laskettiin seuraavan asetteen ensimmäisen muuton aloituksen ja käsiteltävän asetteen viimeisen muuton lopetuksen erotuksena. Puuttuvien aikaleimojen solut värjättiin tummanharmaiksi. Tuotannon häiriöistä johtuvat, normaalista tuotannosta poikkeavat ajat merkittiin punaisella, ja ne käsiteltiin erikseen keskimääräisiä häiriöaikoja määriteltäessä.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	MUUTOT						
3			aloitus	lopetus	mtokesto	mtovaihto	trimmi
4	muutto 1		9:39:24	9:43:04	0.03.40	0.00.45	
5	muutto 2		9:43:49	9:47:29	0.03.40	0.00.45	
6	muutto 3		9:48:14	9:51:55	0.03.41	0.05.09	
7	muutto 4		9:57:04	10:00:46	0.03.42	0.01.38	
8	muutto 5		10:02:24				
9	muutto 6		10:07:03	10:12:10	0.05.07	0.00.47	
10	muutto 7		10:12:57	10:16:45	0.03.48		
11				keskiarvo	0.03.42	0.00.59	0.03.44
12							

KUVA 8. Pituusleikkurin muuttojen mittauspöytäkirja

Mittausten aikana pituusleikkurin nopeus oli 2500 m/min eli noin 42 m/s, kiihdytyksen $0,6 \text{ m/s}^2$ ja hidastuksen $-1,1 \text{ m/s}^2$. Muuton kesto on siis esimerkkiasetella ollut noin 3,7 minuuttia.

Rullapihan ja rullanpakkauslinjan aikaleimat merkittiin pituusleikkurin muuttojen tavoin taulukkoon niin, että kukin muutto oli omalla rivillään ja sarakkeissa muuttojen tietyn position rullat. Rullia merkittiin niin, että rulla 1 vastasi pituusleikkurin käyttöpuolta lähinnä olevaa rullaa ja muuton viimeinen rulla lähinnä pituusleikkurin hoitopuolta olevaa rullaa. Näin saatiin aikaleimat suuruusjärjestykseen vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1														
2		LÄHTÖ PÄÄTYMERKKAIMELTA					LASKEUTUMINEN HIIHNAKULJETTIMELLE							
3			rulla 1	rulla 2	rulla 3	rulla 4	rulla 5			rulla 1	rulla 2	rulla 3	rulla 4	rulla 5
4		muutto 1	9:50:39	9:51:24	9:52:08	9:52:53	9:53:37		muutto 1	9:53:23	9:54:12	9:55:00	9:55:48	9:56:32
5		muutto 2	9:56:09	9:56:54	9:57:38	9:58:23	9:59:07		muutto 2	9:58:53	9:59:42	10:00:30	10:01:18	10:02:14
6		muutto 3	10:00:41	10:01:25	10:02:09	10:02:53	10:03:37		muutto 3	10:03:22	10:04:10	10:04:58	10:05:46	10:06:34
7		muutto 4	10:05:00	10:05:44	10:06:28	10:07:12	10:07:57		muutto 4	10:07:43	10:08:32	10:09:20	10:10:08	10:11:03
8		muutto 5	10:09:31	10:10:15	10:10:59	10:11:44	10:12:27		muutto 5	10:12:16	10:13:03	10:13:52	10:19:15	10:20:05
9		muutto 6	10:14:48	10:18:07	10:18:53	10:20:03	10:20:53		muutto 6	10:20:54	10:21:42	10:22:30	10:23:18	10:24:06
10		muutto 7	10:22:28	10:23:11	10:23:56	10:24:40	10:25:24		muutto 7	10:25:06	10:25:54	10:26:42		
11														

KUVA 9. Mittauspöytäkirjan aikaleimojen merkinnät rullanpäätymerkkaimelta ja rullanpakkauslinjaston lopusta

5 TYÖN TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Työn tuloksiksi saatiin ulossyöttö- ja läpäisyajat pituusleikkaukselle, rullapihalle ja rullanpakkaukselinjalle. Lisäksi pituusleikkauksen hetkellisesti pysäyttävien prosessinvaiheiden eli muutonvaihdon, konerullanvaihdon ja asetteenvaihdon kestojen arviot saatiin laskettua mittauspöytäkirjojen tiedoista (liite 1).

Laskettujen arvojen pohjalta muodostettiin laskentataulukko, joka arvioi kullekin kolmelle prosessinvaiheelle vertailunopeuden suhteessa kartonkikoneen tuotannonopeuteen. Taulukosta siis nähdään, millä kartonkikoneen nopeudella kunkin prosessinvaiheen pitäisi teoriassa toimia täydellä kapasiteetilla, milloin kartonki läpäisee nopeammin jälkikäsitteilyn vaiheet kuin kartonkikoneen, ja milloin jälkikäsitteily ei pysy kartonkikoneen tuotannon perässä, eli milloin pituusleikkurille kertyy kassaa.

5.1 Prosessivaiheiden ulossyöttö- ja läpäisyajojen laskeminen

Pituusleikkauksen, rullapihan ja rullanpakkauksen aikaleimoja kerättiin Excel-taulukoihin, jotka muokattiin kutakin ajossa olevaa asetetta vastaavaksi, ja joilla voitiin siten tarkastella yhden asetteen tietoja kerrallaan. Läpäisyajat ja ulossyöttöajat laskettiin pituusleikkauksesta, rullapihasta ja rullanpakkaukselinjalta erotuksella seuraavaa periaatetta noudattaen:

$$U_{PL} = V_{mx} - V_{m(x-1)} \quad (1)$$

$$L_{PL} = V_{mx} - A_{mx} \quad (2)$$

$$U_{RPI} = PM_{rn} - PM_{r(n-1)} \quad (3)$$

$$L_{RPI} = PM_{rn} - V_{mx} \quad (4)$$

$$U_{RPA} = HK_{rn} - HK_{r(n-1)} \quad (5)$$

$$L_{RPA} = HK_{rn} - PA_{rn} \quad (6)$$

missä

U = ulossyöttöaika / muuton kesto

L = läpäisy aika

PL = pituusleikkuri

RPI = rullapiha

RPA = rullanpakkauslinja

m = muutto ja x = muuton numero

r = rulla ja n = rullan järjestysnumero muutossa.

5.1.1 Muutonvaihto, konerullan saumaus ja asetteenvaihto

Muutonvaihto on asetteesta tai lajista riippumaton prosessivaihe. Muutonvaihdot laskettiin jälkimmäisen muuton aloitusajan ja edeltävän muuton lopetusajan erotuksena sellaisissa prosessin vaiheissa, jossa muutot ajettiin samalta konerullalta eikä asete vaihtunut muuttojen välissä.

$$\begin{aligned} \text{muutonvaihto} &= \frac{\text{mitattujen muutonvaihtojen kestot}}{\text{mitattujen muutonvaihtojen lukumäärä}} & (7) \\ &= 50 \text{ s} \end{aligned}$$

Konerullan saumausajat laskettiin muutonvaihtojen tapaan konerullan ensimmäisen muuton aloituksen ja edeltävän konerullan viimeisen muuton lopetuksen erotuksena. Mitatuista saumausajoista laskettiin keskiarvot, ja laskentataulukkoa varten saumausajan vakio jaettiin kutakin muuttoa kohden.

$$\text{saumausvakio} = \frac{kr_2 \text{ 1. muuton aloitus} - kr_1 \text{ viimeisen muuton lopetus}}{\text{konerullan muuttojen lukumäärä}} \quad (8)$$

Saumausaikaan on tässä yhteydessä laskettu päättyvän konerullan pohjan tyhjennys pulperiin, edellisen konerullan siirto pois aukirullausalueelta, uuden konerullan siirto aukirullausalueelle sekä saumaustoimet.

$$\text{saumauksen kesto} = 6 \text{ min } 30 \text{ s} \quad (9)$$

Trimmituksen keskimääräisestä kehosta on vähennetty yksi muutonvaihto eli 50 sekuntia. Trimmituksen kesto on siis muutonvaihto mukaan luettuna 2 min 5 s.

$$\text{trimmituksen kokonaiskesto} = 2 \text{ min } 5 \text{ s} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{trimmituksen kesto} &= \text{trimmituksen kokonaiskesto} - \text{muutonvaihto} \quad (11) \\ &= 2 \text{ min } 5 \text{ s} - 50 \text{ s} \\ &= 1 \text{ min } 15 \text{ s} \end{aligned}$$

5.1.2 Pituusleikkurin ulossyöttö- ja läpäisyajat

Muuton leikkauksen kesto eli läpäisy aika riippuu muuton rullien pituudesta ja pituusleikkurin nopeudesta. Siitä syystä jokaisen eri hylsy- ja halkaisijayhdistelmän muuton pituusleikkauksen kesto tarkasteltiin erikseen. Myös ajettava kartonkilaji ja erityisesti sen grammapaino vaikuttaa pituusleikkurin muuton keston, sillä mitä ohuempi laji on ajossa, sitä pidempi raina tarvitaan tietyn halkaisijan omaavan rullan muodostukseen. Eri hylsy-halkaisija-yhdistelmien ja lajien muuttojen kestoista muodostettiin taulukko 1, jossa halkaisijoiden ja hylsyjen yhdistelmät on kuvattu erillisissä sarakkeissa ja lajien neliöpainot erillisillä riveillä.

TAULUKKO 1. Muuton kesto pituusleikkurilla halkaisijan, hylsyn ja neliöpainon suhteen

	1500/306	1510/306	1800/306	1500/153	1510/153	1800/153
180	0:04:37	0:04:44	0:06:08	0:04:44	0:04:47	0:06:19
195	0:04:07	0:04:13	0:05:24	0:04:13	0:04:15	0:05:34
220	0:03:41	0:03:47	0:04:47	0:03:47	0:03:49	0:04:56
230	0:03:30	0:03:35	0:04:31	0:03:35	0:03:37	0:04:39
245	0:03:20	0:03:26	0:04:16	0:03:24	0:03:26	0:04:24
255	0:03:18	0:03:23	0:04:08	0:03:18	0:03:20	0:04:11
265	0:03:09	0:03:14	0:04:00	0:03:13	0:03:14	0:04:07
280	0:03:01	0:03:05	0:03:49	0:03:05	0:03:07	0:03:56
290	0:02:57	0:03:01	0:03:43	0:03:01	0:03:02	0:03:49
320	0:02:48	0:02:51	0:03:30	0:02:51	0:02:52	0:03:35
350	0:02:39	0:02:42	0:03:17	0:02:42	0:02:43	0:03:22

Mittauksia ei saatu kerättyä jokaiselta eri yhdistelmältä, sillä osaa halkaisijoiden ja hylsykokojen yhdistelmistä ilmenee ajo-ohjelmassa hyvin harvoin. Tästä syystä pituusleikkauksen kestot kullekin yhdistelmälle laskettiin ensin teoreettisesti, ja mittaustuloksia verrattiin näihin laskennallisiin tuloksiin. Kertomalla laskennalliset tulokset mittausten ja mittauksia vastaavien yhdistelmien teoreettisten muuton kestojen suhdeluvulla saatiin arvioitua kaikkien lajien ja yhdistelmien todellisuutta mukailevat leikkausajat.

Koska pituusleikkuri leikkaa vain yhtä muuttoa kerrallaan, ovat ulossyöttö- ja läpäisyajat hyvin samankaltaiset. Eri lajien ja hylsy- sekä halkaisijayhdistelmien pituusleikkauksen ulossyöttöajat (taulukko 2) laskettiin lisäämällä muutonvaihdon vakioaika, 50 sekuntia, kuhunkin vaiheikaan edellä esitellyssä taulukossa.

TAULUKKO 2. Muuton ulossyöttöaika pituusleikkurilla halkaisijan, hylsyn ja ne-
liöpainon suhteen

	1500/306	1510/306	1800/306	1500/153	1510/153	1800/153
180	0:05:27	0:05:34	0:06:58	0:05:34	0:05:37	0:07:09
195	0:04:57	0:05:03	0:06:14	0:05:03	0:05:05	0:06:24
220	0:04:31	0:04:37	0:05:37	0:04:37	0:04:39	0:05:46
230	0:04:20	0:04:25	0:05:21	0:04:25	0:04:27	0:05:29
245	0:04:10	0:04:16	0:05:06	0:04:14	0:04:16	0:05:14
255	0:04:08	0:04:13	0:04:58	0:04:08	0:04:10	0:05:01
265	0:03:59	0:04:04	0:04:50	0:04:03	0:04:04	0:04:57
280	0:03:51	0:03:55	0:04:39	0:03:55	0:03:57	0:04:46
290	0:03:47	0:03:51	0:04:33	0:03:51	0:03:52	0:04:39
320	0:03:38	0:03:41	0:04:20	0:03:41	0:03:42	0:04:25
350	0:03:29	0:03:32	0:04:07	0:03:32	0:03:33	0:04:12

5.1.3 Rullapihan ulossyöttö- ja läpäisyajat

Rullapihan ulossyöttöaika vaihtelee muuton eri rullien välillä. Muuton viimeisen ja seuraavan muuton ensimmäisen rullan välinen aika on aina pidempi kuin yhden muuton rullien väliset ajat, sillä rullapihan välipysäyttimet luovuttavat seuraavan muuton rullat rullapihan lamellikuljettimelle vasta edellisen muuton viimeisen rullan lähdettyä liikkeelle päätymerkkaimelta. Yhden muuton rullien välinen ulossyöttöaika on siis vakio, ja muuton viimeisen ja seuraavan muuton ensimmäisen

rullan välinen ulossyöttöaika eri vakio. Näin pystyttiin määrittämään keskimääräinen rullapihan ulossyöttöaika suhteessa rullien lukumäärään muutossa.

Rullapihan läpäisyajan tarkastelu aloitettiin siitä hetkestä, kun pituusleikkurin alaslaskupöytä pysähtyi yläasentoonsa muuton valmistuttua, ja päättyi siihen hetkeen, jolloin muuton tarkasteltava rulla lähtee eteenpäin rullanpäätymerkkaimelta. Muuton kunkin rullan läpäisyajat ovat erilaisia, sillä muuton ensimmäinen rulla käyttöpuolelta katsottuna poistuu päätymerkkaimelta ensin ja hoitopuolta lähinnä oleva tulla viimeisenä, ja vertailukohtana on saman muuton loppu. Näin ollen läpäisyajassa tarkasteltiin koko muuton läpäisyaikaa yksittäisten rullien sijaan.

Rullapihan yksittäisten rullien ulossyöttöaikojen ja muuttojen läpäisyajojen keskiarvoiksi saatiin mittaustulosten pohjalta laskettua

$$U_{RPA} = 51 \text{ s}$$

$$L_{RPA} = 5 \text{ min } 21 \text{ s}$$

5.1.4 Rullanpakkauslinjan ulossyöttö- ja läpäisyajat

Rullapihan tavoin rullanpakkauslinjan ulossyöttöaikaan vaikuttaa rullan sijainti muutossa. Muuton viimeisen rullan ja seuraavan muuton ensimmäisen rullan välinen aikaero on yleensä suurempi kuin saman muuton eri rullien väliset aikaerot. Näin ollen rullanpakkauslinjan ulossyöttöajoissa ei otettu huomioon muuton viimeisen ja seuraavan muuton ensimmäisen rullan vaihe-eroa.

$$U_{RPI} = 52 \text{ s}$$

$$L_{RPI} = 2 \text{ min } 58 \text{ s}$$

5.1.5 Tulosten virhemarginaalit ja häiriöaikojen määrittäminen

Häiriöaikojen määrittelyn taustalla ovat prosessissa säännöllisin väliajoin toistuvien, prosessin etenemisen kannalta välttämättömien prosessin vaiheiden aiheuttamat viiveet. Viiveet on laskettu asiakasrullakohtaisesti. Pituusleikkurin viiveisiin määriteltiin kuuluvaksi saumausteipin vaihto ja rullanpakkauslinjalla käärekalvorullan vaihto ja päätylappupinojen täyttö. Rullapihalla toistuvia, prosessin vaatimia viiveitä ei normaalitilanteessa ole.

Pituusleikkurin saumausteipin vaihtojen ilmenemistäajuuden takia kunkin vaihdon vaikutus yhteen muuttoon tai asiakasrullaan on häviävän pieni. Tästä syystä pituusleikkurin häiriöaikaa ei ole erikseen huomioitu laskentataulukossa. Rullanpakkauksen häiriöaika sen sijaan on määritelty mittausten aikaan kiristekalvorullien vaihtoihin ja päätylappupinojen täyttöihin kuluneiden aikojen sekä niiden toistumistaajuuksien tulona.

$$\begin{aligned}
 \text{Rullanpakkaimen häiriöaika} &= \text{häiriöaika} \times \text{häiriön ilmenemistäajuus} \quad (12) \\
 &= 4 \text{ min } 4 \text{ s} \times 0,13 \frac{1}{\text{rulla}} \\
 &= 36 \text{ s}
 \end{aligned}$$

5.2 Jälkikäsitteilyn suorituskyvyn laskentataulukko

Jälkikäsitteilyn suorituskyvyn tarkasteluksi muodostettiin laskentataulukko (liite 2) tuotantolaitoksen operaattorien ja työnjohdon käyttöön. Laskentataulukon syöttötietoina (kuva 10) ovat yhdelle konerullalle kohdistuvat asetukset, kartonkikoneen tuotantonopeus ja ajossa oleva kartonkilaji. Lisäksi taulukon käyttäjä voi määrittää rullanpakkauslinjalle keskimääräisen häiriöajan, joka on mittausten pohjalta määritetty 36 sekuntiin yhtä asiakasrullaa kohden.

	muuton halkaisija	muuttojen määrä	hylsy	rullia muutossa
asete 1	1500	4	153	4
asete 2	1500	2	153	5
asete 3				
asete 4				
asete 5				
asete 6				

Laji Pro Bright	220	g/m ²
Kartonkikoneen nopeus	700	m/min

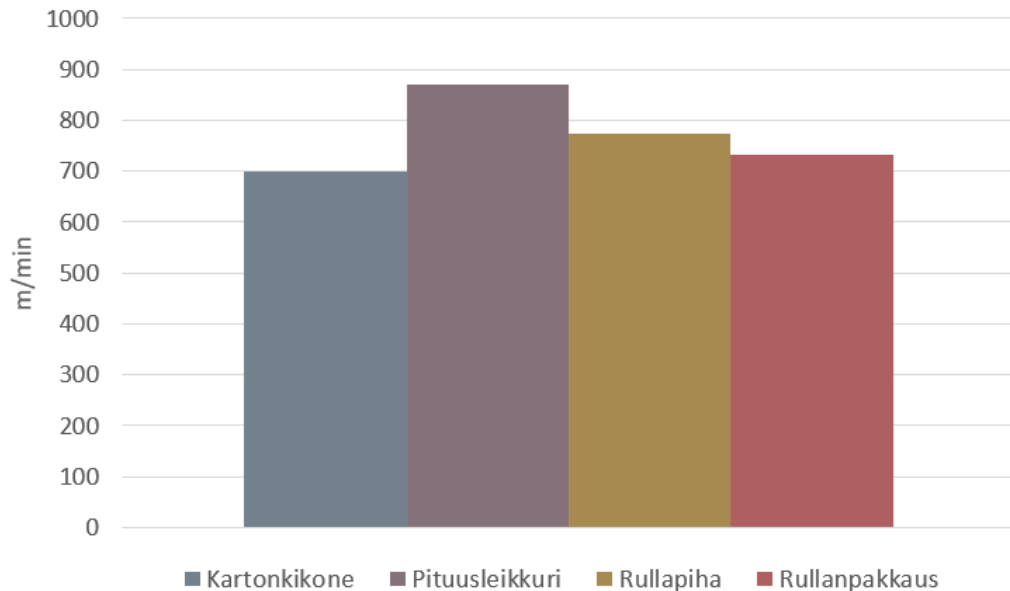
KUVA 10. Laskentataulukon syöttötiedot

Laskentataulukon kaavat sovitettiin yhteen aiemmin kuivanpään operaattoreita varten tehtyyn laskentataulukkoon, jonka tarkoituksena on rajata konerullan pohjahylyä. Taulukon laskentaperusteena on kone- ja asiakasrullien päätyjen pinta-alat, jotka lasketaan lajin tavoitepaksuuden, kone- ja asiakasrullien halkaisijan ja tampuurin tai hylsyn ulkohalkaisijan pohjalta.

Halkaisija- ja päädyn pinta-alatiedoista pystytään siten määrittämään konerullan rainan pituus ja siten kullekin asiakasrullalle pituusleikkurilla leikattavien osarainojen pituudet. Kun osarainojen pituudet suhteutetaan mittaustuloksista saatuihin leikkausaikoihin, voidaan määrittää kunkin eri lajin, hylsykoon ja halkaisijan muuton pituusleikkauksen kesto. Pituusleikkauksen kesto eri hylsyko'oilla, halkaisijoilla ja kartonkilajeilla on taulukoitu laskentataulukossa olevan diagrammin alle, josta taulukko hakee kutakin tilannetta vastaavat tiedot laskentaa varten.

Laskentataulukon syöttötietojen ja kerätyn mittausdatan perusteella taulukko laskee, miten paljon kukin prosessinvaihe (pituusleikkuri, rullapiha, rullanpakkauslinja) on edellä tai jäljessä kartonkikoneen tuotantonopeutta. Kartonkikoneen tuotantonopeuteen suhteutettuna taulukko laskee myös vertailuarvot kullekin prosessinvaiheelle, eli kartonkikoneen maksiminopeuden, kun jälkikäsitteilyn pullonkaulat ovat rajoittavana tekijänä. Näistä tiedoista on laskentataulukkoon lisätty

syöttötietojen mukaan päivittyvä pylväsdiagrammi (kuva 11), joka esittää kartonkikoneen ja jälkikäsittelyn kunkin prosessinvaiheen omina pylväinään, ja josta näkee nopeasti, mihin pullonkaula saattaa olla muodostumassa.



KUVA 11. Pylväsdiagrammi jälkikäsittelyn tuotantokyvyn maksimeista suhteessa kartonkikoneen tuotantonopeuksiin

Pituusleikkurin kassojen tarkkailua varten laskentataulukko on sijoitettu kaava (kuva 12), joka laskee, kuinka kauan kassojen vähentyminen tai lisääntyminen yhdellä konerullalla kestää, kun verrokkina on joko pituusleikkurin, rullapihan tai rullanpakkauslinjan vertailuajat. Tietojen avulla voidaan arvioida sekä kassojen kertymistä normaalitilanteessa, että kassojen hävittämiseen kuluvaa aikaa häiriön tai muun poikkeustilanteen jälkeen.

Kassa vähenee pituusleikkurilla 1 konerullalla	209	minuutin välein
Kassa vähenee rullapihalla 1 konerullalla	120	minuutin välein
Kassa vähenee pakkakoneella 1 konerullalla	90	minuutin välein

KUVA 12. Kassojen muutosten tiedot laskentataulukossa

5.3 Jälkikäsitteilyn vaikutus konelinjan tuotantotehoon

Jälkikäsitteilyn rajanopeudet määritettiin laskentataulukon pohjalta. Rajanopeudet suhteutettiin kartonkikoneen 700 m/min nopeuteen. Lisäksi rullanpakkauslinjan häiriöaikana oli tuloksia tarkasteltaessa mittauksista saatu 36 sekuntia. Pullonkaulaongelmaa tarkasteltiin laskentataulukosta sijoittamalla eri asetteiden tietoja laskuriin, ja vertaamalla saatuja tuloksia kartonkikoneen tuotantotasoon.

Pituusleikkurin pullonkaulojen muodostamiseen vaikuttavat eniten muuttojen pienet halkaisijat ja ajossa oleva kartonkilaji. Laskentataulukon mukaan tilanteessa, jossa asetteena on 1500 mm halkaisija ja 306 mm hylsy, syntyy pullonkaula silloin, kun kartongin neliöpaino nousee yli 280 g/m². Pienemmällä, 153 mm hylsillä raja kulkee 280–290 g/m²:n välillä. Näissäkin vaiheissa pituusleikkurin aiheuttamat kassat kertyvät kuitenkin hyvin hitaasti, noin yhdellä konerullalla viidessä sadassa tunnissa, joten merkitys pullonkaulan muodostumiseen ei ole suuri. Suuremman halkaisijan muuttoja leikattaessa pituusleikkurin pullonkaulaa ei ilmene normaalissa ajotilanteessa.

Rullapiha ja rullanpakkauslinja myötäilevät toisiaan merkittävästi, mikä johtuu tuotannon etenemisestä asiakasrulla kerrallaan. Pullonkaulaa ei ilmene 1800 mm:n halkaisijan omaavia muuttoja ajettaessa normaalitilanteessa. Taulukon mukaan kyseisessä tilanteessa pullonkaula on mahdollinen, kun muutossa on viisi asiakasrullaa, mutta käytännössä tällaisia tilanteita ei usein esiinny, sillä irrallisten rullien halkaisijan ja leveyden suurin mahdollinen suhde ylittyy, ja kapeat rullat ajetaan pituusleikkurilla pinnasta yhteen, ja ne liikkuvat rullapihalla ja rullanpakkauslinjalla pareittain.

Rullapiha saattaa kerryttää pituusleikkurin kassaa halkaisijaltaan 1500 mm:n muuttoja ajettaessa, kun yhdessä muutossa on rullia kolme tai enemmän. Näin tapahtuu kuitenkin vasta neliöpainoltaan raskaammilla lajeilla, 280–290 g/m²:n kohdalla. Sitä kevyemmällä lajeilla kartonkikoneen konerullan valmistumiseen kuluu niin pitkä aika, että rullapihan läpäisy aika riittää kartonkikoneen tahdissa pysymiseen. Neljä rullaa tuottavilla muutoilla rullapiha on vertailunopeudeltaan kartonkikonetta edellä kevyemmällä lajeilla, noin 245 g/m² saakka. Viiden rullan muutoilla raja kulkee 220 g/m²:ssa.

Rullanpakkauslinjan suorituskyky pysyy halkaisijaltaan 1800 mm olevia muuttoja pakattaessa kartonkikoneen mukana silloin, kun rullia on muutolla neljä tai vähemmän. Poikkeuksena tähän on neljän rullan muutot neliöpainolla 350 g/m^2 . Halkaisijan ollessa 1500 mm rullanpakkauslinja pysyy kolme rullaa sisältävillä muutoilla kartonkikoneen tahdissa neliöpainoon 290 g/m^2 saakka. 4-rullaisilla muutoilla rullanpakkauslinjan vertailunopeus alittaa kartonkikoneen nopeuden, kun ajettavan lajin neliöpaino on 245 g/m^2 . 5-rullaisia muuttoja rullanpakkauslinja kestää tuotantomääriä vain kevyimmillä lajeilla 180–190 g/m^2 .

Näin ollen kartonkikoneen nopeudessa 700 m/min ja pituusleikkurin nopeudessa 2500 m/min kaikista eniten tuotantoa rajoittavat tilanteet, joissa ajossa on neliöpainoltaan raskas laji, muutosta leikataan viisi asiakasrullaa pituusleikkurilla, muuton halkaisijat ovat 1500 mm ja muuttoja mahtuu siten kuusi kappaletta yhdelle konerullalle.

Pituusleikkurin kassoja pystytään vähentämään kaikista eniten tilanteissa, joissa ajossa on neliöpainoltaan kevyt laji, muutossa on mahdollisimman vähän rullia ja muuttojen halkaisija on 1800 mm. Tällöin jälkikäsitteilylinja toimii huomattavasti kartonkikonetta nopeammin. Siitä huolimatta kassat kuluvat pituusleikkurilta huomattavan hitaasti, kun kartonkikoneella ajetaan maksiminopeuksilla. Kassojen kuluttamiseen onkin hyvä varata tarpeeksi aikaa ennen seuraavaa pullonkauloille herkkää asetetta. Kassojen vähenemistä ja kertymistä voidaan tarkastella las-kentataulukon pohjalta suuntaa antavalla tarkkuudella.

6 POHDINTA

Työn tulosten ja analyysien pohjalta arvioitu jälkikäsitteilyn suorituskyky kertoo kattavasti tuotannon tasosta ja tilasta, muttei kuitenkaan yksiselitteisesti selvennä, mitä suorituskyvyn kehittämiseen tarvittavia toimia olisi mielekkäintä panna täytäntöön. Ehdotetut kehitystoimet, painopisteet ja mahdolliset toimintatapamuutokset tuottavat haluttuja tuloksia vain, jos niiden perustelut on tulkittu oikein työn tuloksista.

Kartonkikoneen tuotantonopeuden muutokset jälkikäsitteilyn pullonkaulatilan-teen takia ovat sekä tuotantomäärien että laadun kannalta epäsuotuisia. Tuotantohäviötä tapahtuu sekä siirtokiskojen täytyessä että sitä ennen, kun kartonkikoneen ajonopeutta alennetaan. Nopeuden alentamisesta johtuvat vaihtelut rainanmuodostuksessa, kuivatuksessa ja päällystyksessä lisäävät myös laatu- poikkeamia, kun ajoparametrit joudutaan sovittamaan uuteen ajonopeuteen.

6.1 Jälkikäsitteilyn suorituskyvyn riittävyys suhteessa kartonkikoneen tuotantotehoon

Kapasiteetin kannalta rajoittavimpia tilanteita ovat ne, joissa muuttojen halkaisijat ovat pieniä, muutossa on monta konerullaa ja ajossa on mahdollisimman paksu laji. Lajeja vertaillaessa tulee ottaa huomioon, että kartonkikoneen kapasiteetti ei riitä samoille tuotantonopeuksille raskailla lajeilla kuin ohuilla lajeilla.

Pullonkaula-asetteet tukkivat konerullansiirtokiskot eli kassat sitä herkemmin, mitä pidempään kyseisiä asetteita ajetaan. Kaikista herkimmillään kassat lisääntyvät silloin, kun ajossa on monirullaisia, pienihalkaisijaisia muuttoja, kartonkikoneen ajonopeus kova ja laji mahdollisimman paksu. Esimerkiksi 1500 mm halkaisijalla, viisirullaisilla muutoilla, neliöpainolla 350 g/m² ja kartonkikoneen ajaessa nopeudella 580 kertyy kassoja laskentataulukon mukaan noin 1 konerulla puolessatoista tunnissa eli 0,66 konerullaa tunnissa. Jos kartonkikoneen kiinnirullaimen ja pituusleikkurin aukirullaimen väliin mahtuu 7 konerullaa, kestää kassojen

täyttymisessä 10,5 tuntia. Jos asetteita vaihdellaan tällä välillä, täyttyvät kassat nopeammin.

Lähtötilanteeseen ja odotuksiin nähden yllättävänä pullonkaulana esiintyi rullapiha. Rullapihan siirtokuljettimen tyhjeneminen on suhteellisen hidasta ja rullat liikkuvat rullapihalla suhteellisen jäykästi. Rullapihan tyhjenemisnopeuteen vaikuttaa huomattavan paljon päätymerkkaimen jälkeisen rullatyöntimen liikkeiden hitaus. Lisäksi itse rullapihalla rullien ohjauksen automaatio reagoi ehkä turhan rauhallisesti eri prosessinvaiheissa, kuten rullapihan siirtokuljettimen liikkeellelähdössä sen jälkeen, kun rullat ovat paikoillaan muutonpysäyttimien laskettua ne kuljettimelle.

Rullanpakkauslinjalla mittauksen aikana ilmeni normaalia enemmän tuotantohäiriöitä. Tämä ilmeni laskentataulukkoa tarkasteltaessa ja häiriökerrointa määritettäessä. Kaikki rullanpakkauslinjalla ilmenneet häiriöt heijastuvat käytännössä välittömästi myös rullapihalle, joten rullanpakkauslinjan sujuva eteneminen on kriittistä tuotannon etenemisen kannalta silloin, kun ajossa on pullonkaula-asetteita.

Kun pullonkauloja pyritään hallitsemaan ajo-ohjelman ja aseteosituksen avulla, suuri painoarvo on kassoja kerryttävien ja kassoja kuluttavien asetteiden tasaisella jaolla. Jotta kartonkikoneen tuotantomääriä ei jouduta rajoittamaan jälkikäsitteilyn takia, on asetteiden ajojärjestystä mietittäessä oleellista huomioida koneen siirtokiskojen kapasiteetti ja niiden täyttymisasteen vaihtelut. Mikäli kassoja kerrytetään tietyillä asetteilla, olisi pyrittävä ajamaan seuraavaksi kassoja kuluttavia asetteita, jotta siirtokiskot eivät täyty katkaisten tai hidastaen kartonkikoneen tuotantoa. Tätä kautta on mahdollista ajaa myös pullonkaula-asetteita aiheuttamatta pitkäaikaista häiriötä tai tuotantotehon alenemista kartonkikonelinjalle.

Työn mittaukset tehtiin tuotannon tilan ollessa normaali, mutta huomattavan osan ajasta tuotannossa ilmenee erilaisia häiriöitä ja ongelmia, jotka vaikuttavat jälkikäsitteilyyn ja osaston suorituskykyyn. Jälkikäsitteilyn suorituskyvyn taso olisi optimaalisessa tilanteessa sellainen, että kassaa kerryttäviä asetteita ei ole eli laitteistot pysyisivät kartonkikoneen tuotannon tahdissa kaikilla ajettavilla lajeilla ja

asetteilla. Kassojen kertyminen olisi tällaisista olosuhteista huolimatta mahdollista häiriöiden ilmetessä, mutta normaalissa ajotilanteessa siirtokiskojen konerullien määrä olisi jatkuvasti laskussa.

Äänekosken kartonkikonelinjan jälkikäsitteilyn suorituskyky ei ole jatkuvasti kassoja kuluttavalla tasolla. Mittausten ja analyysien perusteella pituusleikkuri ei juurikaan aiheuta pullonkaulaa jälkikäsitteilyssä, mutta ongelma on pikemminkin rullanpakkauslinjalla ja rullapihalla. Suorituskyvyn kehittämiseksi tulisi paneutua erityisesti monirullaisten muuttojen käsitteilynopeuteen eli siihen, miten rullia saadaan nopeammin läpi jälkikäsitteilylinjan loppupäästä.

6.2 Jälkikäsitteilyn suorituskyvyn parantaminen

Jälkikäsitteilyn suorituskyvyn parantamista voidaan tarkastella eri näkökulmista. Jälkikäsitteilyn tuotantotason oleellisia toimitelmiä ovat ainakin tuotannonsuunnittelu, tuotannonohjaus, jälkikäsitteilyn operaattorit sekä kunnossapito. Kullakin toimivalla taholla on jonkinlainen vaikutus jälkikäsitteilyn suorituskykyyn, mutta vaikutuksen määrä ja ajankohta vaihtelee tahon mukaan.

Tuotannonsuunnittelun kannalta jälkikäsitteilyn suorituskykyä korkeampina prioriteetteina esiintyvät tilausten toimitusajankohdat ja ajojen aikataulutus. Voidaan harkita, tulisiko jälkikäsitteilyn tuotantokapasiteetin pohtiminen jättää kokonaan tuotannon ohjaukselle vai voisiko tuotannonsuunnittelu omalta osaltaan tehdä aseteosituksia tehdessä merkittäviä toimintatapojen muutoksia. Näitä muutoksia voisivat olla esimerkiksi 2- ja 5-rullaisia muuttoja sisältävien asetteiden vuorottelu pitkillä ajoilla.

Tuotannon ohjauksen olisi oleellista seurata kassojen kertymistä ja arvioida esimerkiksi laskentataulukon avulla kassatilannetta tulevilla asetteilla. Mikäli kassoja on kertymässä tulevillakin asetteilla, tulisi asetteiden järjestystä miettiä uudelleen niin, että kassoja kerryttävien asetteiden lomassa olisi myös kassoja kuluttavia asetteita ja erityisesti niin, että nämä kaksi pysyvät tasapainossa, jos ajossa on merkittävää potentiaalia pullonkaula-asetteiden syntymiselle. Kunnos-

sapidon osa-alueen tehokasta toimintaa jälkikäsittelyssä edesauttaa suunnitelmallisuus, huoltoaikataulujen seuranta, selkeä vastuunjako sekä varaosien ja työkalujen olemassaolo ja laatu.

Tuotannon toimintatavat poikkeavat toisistaan jonkin verran tiettyjen tapojen yhteydessä. Erityisesti saumaussekvenssin läpiviennissä on useita eri tapoja, ja pitkällä aikavälillä nämäkin erot nousevat esiin vuorojen toimintatehokkuutta seurattaessa. Jälkikäsittelyn tuotantotehokkuuden kannalta oleellisinta lienee kuitenkin operaattorien osaamisen taso, vireystila ja huolellisuus.

LÄHTEET

Auer, J & Soininen, P. 1996. Äänekosken tehtaot 1896–1996. Äänekosken tehtaot 100 vuotta. 1. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Core Link Ab. Versio 2. 2015. Käyttöohje. Hylsynkäsittelylaitteisto. Julkaistu 13.04.2015. Luettu 28.09.2020.

Hattara, T. & Hämäläinen, T. Jälkikäsittelyn operaattori. 2020. Haastattelu 23.09.2020. Haastattelija Johansson, S. Äänekoski.

Hujanen, M., Hyytinen, P., Ikonen, J., Kujanpää, V. & Veijonen, J. 2011. Rullapakkauspesifikaatio. Työkuvaus. Julkaistu 22.02.2011. Päivitetty 12.11.2018. Luettu 21.09.2020. [https://mgubc.sharepoint.com/:b:/r/sites/IntranetFIUnitsAa-
nekoskiMetsaBoard/PL1_ja_RullapakkaamoPL1%20ja%20Rullapakka-
mon%20ohjeet/Rullapakkauspesifikaatio.pdf?csf=1&web=1&e=v9Luxm](https://mgubc.sharepoint.com/:b:/r/sites/IntranetFIUnitsAa-
nekoskiMetsaBoard/PL1_ja_RullapakkaamoPL1%20ja%20Rullapakka-
mon%20ohjeet/Rullapakkauspesifikaatio.pdf?csf=1&web=1&e=v9Luxm). Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020a. AEL / Proledge Oy. Pituusleikkurit. Luettu 18.09.2020. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/7_winding/1_winding/frame.htm?zoom_highlightsub=kantotelaleikkuri. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020b. AEL / Proledge Oy. Hylsykartonki. Luettu 21.09.2020. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/grades/2_boards/3_special_boards/5_core_board/0_grade_specif/frame.htm?zoom_highlightsub=hylsy. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020c. AEL / Proledge Oy. Pituusleikkauksen tavoitteet. Luettu 21.09.2020. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/7_winding/0_introduction/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020d. AEL / Proledge Oy. Tuotannosuunnittelu. Luettu 21.09.2020. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/automation/2_production_management/3_production_planning/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020e. AEL / Proledge Oy. Tuotannonohjaus. Luettu 21.09.2020. LINKKI. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020f. AEL / Proledge Oy. Rullan pakkaaminen. Luettu 21.09.2020. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/8_roll_handling/2_roll_wrapping/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020g. AEL / Proledge Oy. Rullausparametrien vaikutus ja käyttö. Luettu 13.11.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_technology/9_reeling/3_reeling_parameters/frame.htm?zoom_highlightsub=rullausparametrit. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020h. AEL / Proledge Oy. Rullaus pituusleikkauksessa. Luettu 13.11.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_technology/9_reeling/9_winding_reeler/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020i. AEL / Proledge Oy. Tuotannonohjaus, pituusleikkaus. Luettu 13.11.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/automation/2_production_management/4_production_control/frame.htm?zoom_highlightsub=pituusleikkurin+asete. Saatavilla rajoitetusti.

Metso Paper Oy. 2012a. Tuotantohenkilöstön koulutusmateriaali. WinDrum-C-pituusleikkuri, Rullankäsittely pituusleikkurin jälkeen. M-Real Äänekoski. Saatavilla rajoitetusti.

Metso Paper Oy. 2012b. Käyttöohje. Pituusleikkuri WinDrum-C. M-Real Äänekoski Board. Julkaistu 14.06.2012. Luettu 13.11.2020. Saatavilla rajoitetusti.

Metsä Board. 2018. Tuotanto ja kapasiteetit. Päivitetty 18.09.2018. Luettu 25.09.2020. <https://www.metsaboard.com/Sijoittajat/Metsa-Board-kartalla>

Metsä Board. 2019. About Us. Luettu 17.09.2020. <https://www.metsaboard.com/About-Us/Pages/default.aspx#>

Metsä Board Äänekoski. 2014. Aluemestari, jälkikäsittely. Toimenkuva. Julkaistu 15.12.2014. Luettu 25.09.2020. Saatavilla rajoitetusti.

Metsä Board Äänekoski. 2020. Yritysesittely. PowerPoint-esitys. Päivitetty 08.01.2020. Luettu 25.09.2020. Saatavilla rajoitetusti.

Metsä Fibre. 2018. Äänekosken biokaasulaitos Metsä Fibren omistukseen. Lehdistöiedote. Julkaistu 10.12.2018. Luettu 5.10.2020. <https://www.metsafibre.com/fi/media/tiedotteet/Pages/Tiedote.aspx?Encrypte-dId=E6F3C50112E40A4C&Title=AanekoskenbiokaasulaitosMetsaFibrenomistukseen>

Metsä Fibre. N.d. Äänekosken ainutlaatuinen yritysekosysteemi. Päivitetty 18.08.2020. Luettu 18.09.2020. <https://www.metsafibre.com/fi/media/Erinomaisuus-ja-Innovaatiot/Pages/Äänekosken-ainutlaatuinen-yritysekosysteemi-.aspx>

Metsä Group. 2019. Organisaatio ja johto. Luettu 17.09.2020. <https://www.metsagroup.com/fi/yhtio/Pages/default.aspx#>

Mustonen, A. 2020. Jälkikäsittelyn mekaaninen kunnossapito. Haastattelu 2.11.2020. Haastattelija Johansson, S. Äänekoski.

Nouryon Chemicals Finland Oy. 2020. Äänekoski. Luettu 5.10.2020. <https://www.nouryon.com/company/locations/all-locations/aanekoski/>

Pesmel Oy. Versio 0.1. 2011a. Kartonkirullan käsittely ja pakkaus. Käyttöohje. Julkaistu 11.10.2011. Kauhajoki: Pesmel Oy.

Pesmel Oy. Versio 0.1. 2011b. Kartonkirullan käsittely ja pakkaus. PC valvomon käyttöohje. Julkaistu 21.11.2011. Kauhajoki: Pesmel Oy.

Pesmel Oy. 2012. Rullien siirtolaitteisto arkittamoon. Käyttöohje. Versio 0.2. Kauhajoki: Pesmel Oy.

Peuranen, P. 2019. Pituusleikkaus, PL2. Työkuvaus. Julkaistu 27.09.2016. Päivitetty 22.02.2019. Luettu 18.09.2020. https://mgubc.sharepoint.com/:w:/r/sites/IntranetFIUnitsAanekoskiMetsaBoard/PL1_ja_RullapakkaamoPL1%20ja%20Rullapakkaamon%20ohjeet/Pituusleikkaus,%20PL2.doc?d=w79a332e456544f9f89fb9bdf30a474aa&csf=1&web=1&e=wn8ebL. Saatavilla rajoitetusti.

Peuranen, P. 2016a. Hylsyjen sahaus. Työnopastusohje. Julkaistu 27.09.2016. Luettu 23.09.2020. https://mgubc.sharepoint.com/:w:/r/sites/IntranetFIUnitsAanekoskiMetsaBoard/PL1_ja_RullapakkaamoPL1%20ja%20Rullapakkaamon%20ohjeet/Hylsyjen%20sahaus.doc?d=w9e979f5f709c40e69e82800d40b08b21&csf=1&web=1&e=zmN2Iy. Saatavilla rajoitetusti.

Peuranen, P. 2016b. Rullapakkaus. Työnopastusohje. Julkaistu 27.09.2016. Luettu 21.09.2020. https://mgubc.sharepoint.com/:w:/r/sites/IntranetFIUnitsAanekoskiMetsaBoard/PL1_ja_RullapakkaamoPL1%20ja%20Rullapakkaamon%20ohjeet/Rullapakkaus.doc?d=wc0e83198b7cb49b4b6dbd9f3ca7651c2&csf=1&web=1&e=WGqP0Y. Saatavilla rajoitetusti.

PPT Pölynpoistotekniikka Oy. 2006. Käyttöohje. SBT/SBS-suodatin. Julkaistu 04.10.2016. Luettu 29.09.2020.

Repo, S. Professori. 2020. Toiminnan johtaminen, tuotantostrategia ja toiminnanohjaus. Luento. 4.11.2020. Teollisuustalouden perusteet. Tampereen yliopisto. Tampere.

Salo, T. Arkittamon toiminnanjohtaja. Arkittamon perehdytys tuotannon esimieslomittajille. 28.5.2020.

TIPS OMS. 2020. Metsä Board Äänekoski. Luettu 1.12.2020. Vaatii käyttöoikeuden. https://omsdiary.metsagroup.com/Tipsweb_OMS/ui5/oms/#BAKI

Toiminnanohjausjärjestelmä TIPS. Tieto Corporation. 2020. Metsä Board Äänekoski. Käyttöoikeus vaaditaan.

Vuorinen, J. Jälkikäsittelyn operaattori. 2020. Haastattelu 15.09.2020. Haastattelija Johansson, S. Äänekoski.

WindControl. 2020. Pituusleikkurin ohjausjärjestelmä. Valmet. Metsä Board Äänekoski. Käyttöoikeus vaaditaan.

LIITTEET

Liite 1. Mittauksista kerätyt tiedot

id	asetteen tiedot		pituusleikkuri					rullapiha					rullanpakkain										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
1	alio	laji	asette	lilmitc	halikaisija	rimmitys	saumanus	muutonl	muutonvalihti	ulosvyyt	häiriöaika	h-taajuu	läpimen-	häiriöaika	h-taajuu	vaihe-er	ulosvyyt	häiriöaika	h-taajuu	läpimen-	häiriöaika	h-taajuu	
2	KK0401	195	31	2	1800	-	0.10.37	0.05.33	0.00.44	0.00.49	-	-	0.03.30	0.01.42	0.30	0.00.44	0.00.40	-	-	0.02.28	-	-	-
3	KK0403	220	5	4	1500	-	-	-	-	0.00.43	0.01.20	#####	0.04.57	-	-	0.00.44	0.00.43	0.00.18	0.33	0.03.03	-	-	-
4	KK0388	245	19	4	1500	-	-	0.03.17	0.00.53	0.00.44	0.01.20	#####	0.04.57	-	-	0.00.44	0.00.44	0.01.21	0.22	0.02.46	0.00.26	0.08	
5	KK0388	245	19	4	1500	-	-	0.03.17	0.00.53	0.00.44	0.01.20	#####	0.04.57	-	-	0.00.44	0.00.44	0.01.21	0.22	0.02.46	0.00.26	0.08	
6	KK0388	245	19	4	1500	-	-	0.03.17	0.00.53	0.00.44	0.01.20	#####	0.04.57	-	-	0.00.44	0.00.44	0.01.21	0.22	0.02.46	0.00.26	0.08	
7	KK0403	220	6	5	1500	-	-	-	-	0.00.44	-	-	0.06.36	-	-	0.00.44	0.00.47	-	-	0.02.53	-	-	
8	KK0403	220	7	5	1500	0.01.42	-	0.03.47	-	0.00.45	-	-	0.06.36	-	-	0.00.45	0.00.47	-	-	0.02.53	-	-	
9	KK0390	265	5	5	1500	-	-	0.03.22	0.00.54	0.00.44	0.00.56	0.14	0.05.44	-	-	0.00.45	0.00.48	0.00.32	0.14	0.02.51	0.00.21	0.07	
10	KK0390	265	13	3	1500	0.01.42	-	0.03.01	0.00.55	0.00.44	0.00.00	0.00	0.04.43	0.00.00	0.00	0.00.49	0.00.49	-	-	0.03.11	-	-	
11	KK0390	265	12	3	1500	-	0.07.23	0.02.54	0.00.54	0.01.15	0.07.36	0.06	0.04.07	0.01.46	0.30	0.00.50	0.00.50	0.01.10	0.14	0.02.49	0.04.02	0.21	
12	KK0392	230	1	4	1500	0.01.32	-	0.02.58	0.00.53	0.00.55	0.02.10	0.03	0.04.48	0.02.09	0.57	0.00.50	0.00.50	0.00.22	0.23	0.03.02	0.02.28	0.10	
13	KK0392	230	32	5	1500	-	0.06.17	0.03.02	0.00.55	0.00.52	0.02.51	0.10	0.07.02	0.09.14	0.43	0.00.50	0.00.50	0.05.35	0.06	0.02.54	0.07.04	0.18	
14	KK0403	220	8	5	1500	0.03.44	-	0.03.42	0.00.59	0.00.51	0.01.30	0.12	0.08.11	0.03.07	0.50	0.00.45	0.00.51	0.03.01	0.06	0.02.55	0.04.10	0.09	
15	KK0392	230	2	3	1500	0.02.04	0.06.30	0.02.59	-	0.00.44	0.07.25	0.20	0.05.21	-	-	0.00.53	0.00.53	0.06.59	0.20	0.02.55	-	-	
16	KK0392	230	6	3	1500	-	0.06.29	0.02.53	0.00.54	0.01.08	0.07.54	0.08	0.04.06	0.01.00	0.25	0.00.53	0.00.53	-	-	0.03.02	-	-	
17	KK0392	230	3	3	1500	-	0.06.14	0.02.51	0.00.54	0.01.07	0.03.51	0.07	0.04.07	0.01.28	0.20	0.00.46	0.00.53	-	-	0.02.55	-	-	
18	KK0403	220	4	4	1500	-	0.06.22	0.03.46	0.00.46	0.00.46	-	-	0.05.21	-	-	0.00.44	0.00.54	0.05.32	0.14	0.03.02	-	-	
19	KK0420	230	1	5	1500	0.02.41	0.08.53	0.03.28	0.00.44	0.00.55	0.04.20	0.07	0.06.55	0.06.14	0.47	0.00.44	0.00.54	0.06.32	0.05	0.03.03	0.03.01	0.14	
20	KK0403	220	3	5	1500	0.02.06	-	0.03.43	0.00.44	0.00.44	-	-	0.06.40	-	-	0.00.44	0.00.57	-	-	0.03.30	-	-	
21	KK0410	320	16	5	1500	-	-	0.02.50	0.00.48	0.01.02	0.03.03	0.04	0.08.31	0.05.52	0.71	0.00.43	0.00.57	0.06.30	0.02	0.03.08	0.07.53	0.12	
22	KK0410	320	15	4	1500	0.01.47	-	0.02.50	0.00.55	0.00.56	0.19.49	0.08	0.09.42	0.00.43	0.50	0.00.47	0.00.59	0.08.59	0.08	0.03.27	0.17.56	0.14	
23	KK0411	280	16	2	1800	-	-	0.03.59	0.00.44	0.00.36	-	-	0.03.42	-	-	0.00.36	0.00.59	-	-	0.02.44	-	-	
24	KK0388	245	14	4	1500	-	0.08.40	0.03.18	0.00.54	0.01.02	0.08.49	#####	0.04.50	0.11.49	0.17647	0.01.00	0.01.00	0.07.35	#####	0.03.10	0.16.55	0.04412	
25	KK0403	220	2	5	1500	0.01.53	-	0.03.47	0.00.46	0.00.44	-	-	0.06.12	-	-	0.00.44	0.01.00	-	-	0.03.37	-	-	
26	KK0390	265	4	4	1500	-	-	-	-	0.00.44	0.03.27	0.1667	-	-	-	0.00.44	0.01.01	0.02.25	0.1429	0.02.49	0.00.41	0.1429	
27	KK0411	280	21	2	1800	-	-	0.03.38	0.00.44	0.00.47	-	-	0.03.09	-	-	0.00.47	0.01.01	0.02.25	0.1429	0.02.49	0.00.41	0.1429	
28	KK0401	195	30	2	1800	-	-	0.05.33	0.00.44	0.00.53	-	-	0.03.02	0.06.09	0.67	0.00.47	0.01.02	-	-	0.03.20	-	-	
29	KK0403	220	9	5	1500	-	-	0.03.40	0.00.44	-	-	-	0.02.55	-	-	-	-	-	-	0.02.30	0.13.13	0.25	
30	KK0411	280	20	2	1800	0.01.42	-	0.04.01	-	0.00.37	-	-	0.04.56	-	-	0.00.37	-	-	-	0.02.32	-	-	
31																							
32						keskian	0.02.05	0.07.29	0.03.31	0.00.50	0.05.16	0.10	0.05.21	0.03.56	0.39	0.00.44	0.00.52	0.04.04	0.13	0.02.58	0.06.31	0.13	
33						hajonta	0.0005	0.0011	0.0005	5.928E-05	0.00011	0.00349	0.0627	0.00252	0.2075	0.00	7E-05	0.0021	0.0874	0.0002	0.00437	0.0609	
34						mediaan	0.0150	0.06.30	0.03.22	0.00.53	0.00.47	0.03.39	0.08	0.04.56	0.02.09	0.43	0.00.44	0.04.16	0.14	0.02.55	0.04.06	0.13	
35										häiriö	0.00.30		häiriö	0.00.55		häiriö	0.00.36		häiriö	0.00.32			

Liite 2. Jäkkikäsitellyn suorituskyvyn laskentataulukko

