

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Kartonkikone 1 energiatehokkuus

Energy efficiency of Board Machine 1

Työn tarkastaja: Katja Kuparinen

Työn ohjaaja: Outi Matikainen

Lappeenranta 16.6.2020

Juho Heinonen

TIIVISTELMÄ

Opiskelijan nimi: Juho Heinonen

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Outi Matikainen

Kandidaatintyö 2020

38 sivua, 7 kuvaa ja 2 taulukkoa.

Hakusanat: metsäteollisuus, kartonkikoneet, energiatehokkuus

Kemiallinen metsäteollisuus kuluttaa lähes kolmanneksen koko Suomen teollisuuden käyttämästä energiasta. Kiristyvät päästörajoitukset, energian käytön tehostamistavoitteet ja kilpailukyvyn ylläpitäminen tekevät kemiallisen metsäteollisuuden energian käytön tehostamisesta elintärkeää.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tutkia Stora Enson Imatran tehtaiden kartonkikone 1:n energiankäyttöä sekä energiatehokkuuden parantamiseksi tehtyjä toimia ja etsiä mahdollisia tulevaisuuden kehittämiskohteita kirjallisuuden avulla. Työn teoriaosassa käsitellään kartonkikoneiden rakennetta ja niiden energiankäyttöä ja energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja energiatehokkuustoimien taustaa.

Kartonkikone 1:n energian käytön tarkastelu osoittaa, että koneen energiatehokkuus on hyvällä tasolla ja tehdyillä investoinneilla on saatu parannettua koneen energiatehokkuutta. Suurimmat energiatehokkuuteen vaikuttaneet investoinnit ovat olleet valta-akselin korvaaminen suorilla sähkökäyttöillä sekä viiraosan pohjaviirille asennetut säädettävät foililaatikot.

Työssä löydettiin useita mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseksi. Puristinosan kenkäpuristimella, rainan lämpötilan nostolla ja alipainejärjestelmän lämmöntalteenotolla voidaan vähentää höyryn käyttöä. Laatimalla yhtenäiset ohjeet energiatehokkaista ajotekniikoista, huolehtimalla kunnollisista eristyksistä ja optimoimalla alipainejärjestelmä lajien tarpeita vastaavaksi pystytään tehostamaan energiankäyttöä ilman suurempia investointeja.

SISÄLLYSLUETTELO

Symboli- ja lyhenneluettelo	4
1 Johdanto	5
2 Stora Enso	6
3 Kartongin valmistus ja kartonkikoneet	8
3.1 Kartongin raaka-aineet	8
3.2 Kartonkikoneen rakenne ja kartongin valmistus.....	9
3.2.1 Massankäsittely	9
3.2.2 Lyhyt kierto.....	9
3.2.3 Rainanmuodostusosa	10
3.2.4 Puristinosa.....	12
3.2.5 Kuivatusosa.....	12
3.2.6 Jälkikäsittely.....	13
4 Kartonkikoneiden energiankäyttö	15
4.1 Energiankäyttö	15
4.1.1 Sähköenergia	17
4.1.2 Lämpöenergia.....	18
5 Kartonkikoneiden energiatehokkuus	19
5.1 Energiatehokkuustoimien tausta	19
5.2 Energiatehokkuuden parantaminen	20
6 Energiatehokkuus kartonkikone 1: LLÄ	22
6.1 Imatran tehtaiden kartonkikone 1.....	23
6.2 Tehdyt energiatehokkuustoimet.....	25
7 Energiatehokkuuden parantaminen KA1: LLÄ	27
7.1 Kehityskohteiden tarkastelu.....	27
7.1.1 Sähkökäytöt.....	27
7.1.2 Alipainejärjestelmä.....	27
7.1.3 Vedenpoisto	28
7.1.4 Lämmöntalteenotto.....	29
7.1.5 Muut.....	30
7.2 Ratkaisujen soveltuvuuden arvio kartonkikone 1:lle	30
8 Johtopäätökset	33
LÄHTEET	35

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

AHS	aikahyötysuhde
BAT	best available techniques, parhaat mahdolliset tekniikat
FSB	food service board
KA1	Stora Enson Imatran tehtaiden kartonkikone 1
KHS	kokonaishyötysuhde
MHS	materiaalihyötysuhde
LTO	lämmöntalteenotto
SBS	solid bleached sulphate
SEC	ominaisenergiankulutus

1 JOHDANTO

Metsäteollisuus on yksi Suomen energiaintensiivisimmistä teollisuuden aloista, jonka tärkeimmät tuotannontekijät ovat puu sekä energia. Kemiallisen metsäteollisuuden, johon lukeutuu paperin raaka-aineiden sekä paperi- ja kartonkituotteiden valmistus, sähkö- ja lämpöenergiankäyttö vuonna 2018 oli yhteensä 47 petajoulea. Tämä vastaa noin 28 prosenttia teollisuuden energiankäytöstä. (SVT 2019)

Työn tavoitteena on löytää mahdollisuuksia parantaa Stora Enson Imatran tehtaiden kartonkikone 1:n energiatehokkuutta ja pohtia aikaisempien investointien kannattavuutta energianäkökulmasta. Työssä esitellään myös kartonkikoneiden rakenne ja kartongin valmistuksen periaatteet sekä tutkitaan kartonkikoneiden energiakäyttöä. Energiatehokkuustarkastelussa keskitytään kartonkikoneen märän ja kuivan pään prosesseihin. Massankäsittely, lyhyt kierto ja jälkikäsitteilyprosessit jätetään tarkasteluista pois. Työ suoritetaan kokonaisuudessaan kirjallisuuskatsauksena ja tavoitteena on verrata nykyisiä käytössä olevia tekniikoita kirjallisuudesta löytyviin energiatehokkaampiin ratkaisuihin ja pohtia, voidaanko energiatehokkuutta parantaa näiden avulla.

Energiatehokkuudella tarkoitetaan kykyä tuottaa sama määrä hyödykkeitä tai palveluja vähemmällä energiankäytöllä (Laurijssen 2013). Kemiallisen metsäteollisuuden tapauksessa energiatehokkuus voi tarkoittaa esimerkiksi ominaisenergiankulutusta, eli käytetyn energian määrää tuotettua paperitonnia kohden. Metsäteollisuuden energiankäytön ollessa niin suurta, metsäteollisuuden energiatehokkuuden parantamisella on suuri vaikutus myös koko teollisuuden energiatehokkuuteen.

Energiatehokkuuden parantamiseksi laissa on määrätty suuret yritykset tekemään neljän vuoden välein energiakatselmukset, joita hallinnoi ja toimeenpanee Energiavirasto. Energiakatselmukseen täytyy selvittää yrityksen tai konsernin kaikkien toimipaikkojen energiankulutusprofiili ja tunnistaa mahdollisia energiatehokkuuden kehityskohteita tekemällä yksittäisiin kohteisiin katselmuksia. Näin saadaan yksityiskohtaista tietoa kohteen energiankulutuksesta ja siihen sopivista energiatehokkuustoimista. (Energiavirasto, 2020)

2 STORA ENSO

Stora Enso kuuluu maailman suurimpiin metsäteollisuusyrityksiin. Sillä on toimintaa 30 eri maassa, ja sen liiketoiminta-alueena on koko maailma. Vuonna 2018 Stora Enson liikevaihto oli noin 10,5 miljardia euroa ja yritys työllisti noin 26 000 työntekijää. (Stora Enso 2019a)

Yhtiö on nykymuodossaan toiminut vuodesta 1998 suomalaisen Enso Oyj:n ja ruotsalaisen Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag:n fuusioituessa. Ruotsalaisen Storan historia ulottuu 1300-luvulle, jolloin yhtiön tiedetään harjoittaneen kaivostoimintaa. Vuonna 1862 sen liiketoiminta laajeni Stora Kopparbergs Bergslagiksi, jolloin sen toimintaan kuului puuliiketoiminta, kaivostoiminta ja raudanjalostus. 1970-luvulla yhtiöstä myytiin kaivos- ja metallitoiminta, jonka jälkeen yhtiössä keskityttiin pelkästään metsäteollisuuteen. Suomalaisen Enson historia alkoi, kun norjalainen Hans Gutzeit perusti Kotkaan yhden Suomen ensimmäisistä höyrysahoista vuonna 1872. Useiden fuusioiden ja yritysostojen jälkeen siitä kasvoi Suomen suurin metsäteollisuusyhtiö. (Stora Enso 2019b)

Stora Enson liiketoiminta koostuu kuudesta eri divisioonasta:

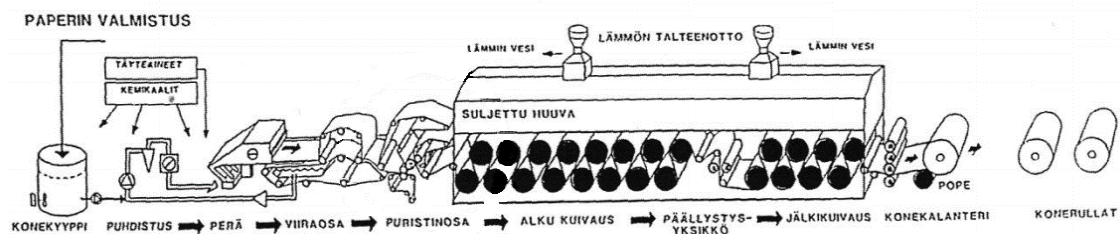
- Packaging Materials -divisioona tuottaa ensi- ja kierrätyskuitupohjaista kartonkia asiakkaiden tarpeisiin korvaamaan fossiilisia materiaaleja pakkauksissa.
- Packaging Solutions -divisioona tarjoaa kuitupohjaisia pakkauksia sekä palveluita erilaisiin käyttötarkoituksiin.
- Biomaterials-divisioona tuottaa sellua erilaisten tuotteiden, kuten paperin ja tekstiilien valmistukseen.
- Wood Products -divisioona tuottaa puupohjaisia ratkaisuja rakentamiseen ja tarjoaa muun muassa massiivipuulementtejä, sahatavaraa sekä pellettejä asiakkaiden tarpeisiin.
- Forest-divisioonan piiriin kuuluu Stora Enson metsäomaisuuden Ruotsissa ja osuuden Tornatorista, jonka metsäomaisuus on pääasiassa Suomessa.
- Paper-divisioona tuottaa ensi- ja kierrätyspohjaista paperia. (Stora Enso 2020)

Työn kannalta näistä tärkein on Packaging Materials -divisioona, johon Stora Enson Imatran tehtaat kuuluvat. Tähän divisioonaan kuuluu kahdeksan tehdasta, jotka sijaitsevat Suomessa Imatralla, Inkeröisissä, Varkaudessa ja Heinolassa, Ruotsissa Forsissa ja Skoghallissa, Kiinassa Beihaisissa ja Puolassa Ostrolekassa. Näiden tehtaiden yhteenlaskettu vuosittainen kapasiteetti on 3 360 000 tonnia. (Stora Enso 2019a)

Stora Enson Imatran tehtaat käsittävät tehdasintegraatin, johon kuuluu Kaukopään ja Tainionkosken tehtaat. Molemmat tehtaat ovat integroituja tehtaita, eli ne pitävät sisällään omat massanvalmistuslaitokset. Imatran tehtailla on neljä kartonkikonetta, yksi paperikone, neljä päällystyskonetta, kemitermomekaanisen massan laitos sekä kaksi sellutehdasta. Kaukopään tehtaalla on kaksi valkaistua sellua valmistavaa kuitulinjaa. Kuitulinja 2:lla valmistetaan valkaistua havusellua ja kuitulinja 3:lla valkaistua lehtipuusellua. Tainionkosken tehtaalla tuotetaan valkaisematonta sellua. Kartonkikoneilla valmistetaan mm. nestepakkauskartonkia, graafista kartonkia sekä pakkauskartonkia. Kartonkikone 1:llä valmistetaan FSB-kartonkia (Food Service Board), jota käytetään pääosin kertakäyttökuppeihin. Yhteensä Imatran tehtailla valmistetaan vuosittain noin 1 100 000 tonnia kartonkia, josta päätyy vientiin yli 90 prosenttia. (Stora Enso 2016)

3 KARTONGIN VALMISTUS JA KARTONKIKONEET

Kartongin valmistus on monivaiheinen prosessi, joka on yksinkertaistettuna vedenpoistoa erilaisten osaprosessien avulla. Kartonkikone koostuu perälaatikosta, viiraosasta, puristinosasta sekä kuivatusosasta. Kartonkikoneen päässä on rullain, jossa rullataan valmis konerulla tampoauriraudan ympärille (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 15). Kuvassa 1 on kuvattuna paperi- ja kartonkikoneen tuotantoprosessi, josta voidaan hahmottaa eri osaprosessien sijainnit koneilla ja niiden pituuksia.



Kuva 1. Paperin- ja kartongin valmistuksen prosessikaavio (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 16)

Paperin ja kartongin valmistuksessa käytetyt menetelmät ja osaprosessit ovat pääpiirteittäin samoja, eivätkä ne eroa toisistaan merkittävästi. Paperi- ja kartonkikoneet eroavat toisistaan lähinnä vain verrattaessa lopputuotteiden neliömassoja. Tässä työssä käytetään yleisesti termiä ”kartonkikone”.

3.1 Kartongin raaka-aineet

Kartongin tärkein raaka-aine on puusta tehty massa. Yleisimpiä massatyyppjä ovat kemialliset, kemimekaaniset sekä mekaaniset massat ja keräyskuitu. Kartonkilajin mukaan käytetään näistä yhtä tai näiden sekoitusta. Eri massatyypeillä on erilaisia ominaisuuksia, ja kartongin monikerroksisen rakenteen takia eri kerrokset voidaan valmistaa eri kuiduista. Näin saavutetaan valmiille kartongille halutut ominaisuudet esimerkiksi jäykkyyden ja grammapainon osalta. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 15-17)

Puukuidusta valmistettujen massojen lisäksi niihin sekoitetaan erilaisia kemikaaleja, esimerkiksi täyteaineita ja liimoja. Kemikaalien ja täyteaineiden avulla saavutetaan kartongille haluttuja ominaisuuksia, esimerkiksi sileyden ja vaaleuden osalta. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 16)

3.2 Kartonkikoneen rakenne ja kartongin valmistus

Kartonkikoneen prosesseihin voidaan lukea lyhyt kierto, märkää ja kuivapää. Märkää käsittää perälaatikon, viiraosan ja puristinosan. Tällä osalla muodostetaan kartonkiraina ja sen kuiva-ainepitoisuus saatetaan alle yhdestä prosentista noin 40-60 prosenttiin. Kuivaksi pääksi kutsutaan kuivatusosaa ja rullainta. Kuivatusosan aikana kartongin kuiva-ainepitoisuus kasvaa yli 90 prosenttiin. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 15-17)

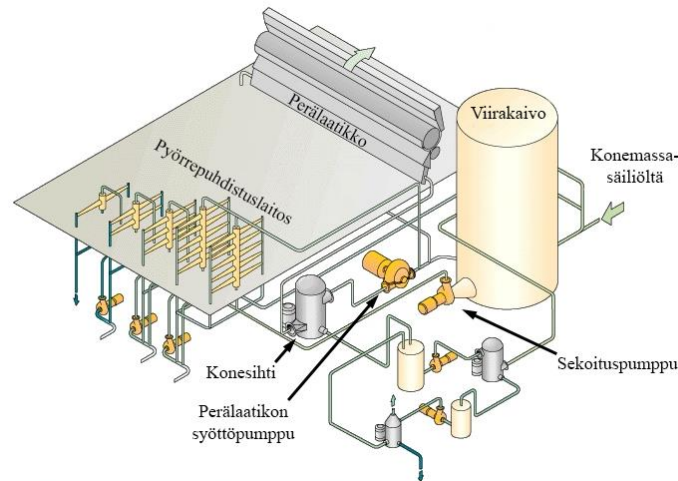
3.2.1 Massankäsittely

Kartongin valmistus alkaa massankäsittelyllä, jossa käsitellään kartonkikoneelle tuleva massa. Sen tehtäviin lukeutuu mekaanisen ja kemiallisen massan jauhatus ja hajotus, hylkymassan käsittely, kemikaalien käsittely sekä näiden annostelu kartonkikoneelle. Massan hajotus tapahtuu pulppereilla ja jauhimilla. Pulpperit ovat suuria säiliöitä, joiden pohjassa olevalla roottorilla toteutetaan kuidutus, eli hajotetaan kuitusulppu pumpattavaan muotoon. Jauhimilla muokataan kuituja jauhinterien välissä, jotta niiden sitoutumiskyky paranisi. Massan annostelujärjestelmällä säädetään koneelle menevän massasulpun koostumus. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 112-115)

3.2.2 Lyhyt kierto

Lyhyt kierto on esitetty kuvassa 2. Lyhyessä kierrossa viiraosan läpäissyt vesi kerätään talteen viiraosan alapuolella sijaitsevan viirakaivon avulla. Tämä vesi sisältää paljon arvokkaita raaka-aineita, kuten kuituja ja kemikaaleja. Lyhyen kierron tehtävänä on palauttaa viiraosalta poistuva vesi ja kiinnittää se takaisin kartonkirainaan, laimentaa perälaatikolle pumpattavaa sakeaa massaa, puhdistaa tämä massa epäpuhtauksista sekä

vaimentaa perälaatikolle kohdistuvia sakeus- ja painevaihteluita. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 125)



Kuva 2. Lyhyt kierto ja sen tärkeimmät osat nimettyinä (Muokattu kohteesta KnowPap 2011)

Sakea konemassa ohjataan viirakaivon pohjaan, jossa massa laimennetaan. Tämä massa ohjataan sekoituspumpulla pyörrepuhdistukseen. Pyörrepuhdistuksella erotetaan epäpuhtauksia massasulpusta kappaleen tiheyden, koon ja muodon perusteella. Pyörrepuhdistimia on yleensä useita, jotta epäpuhtaudet saataisiin poistettua mahdollisimman hyvin. Pyörrepuhdistuksen jälkeen massa pumpataan perälaatikon syöttöpumpulla kohti perälaatikkoa. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 125-126)

Massa kulkee vielä ennen perälaatikkoa konesihtien läpi. Nämä konesihtit sijaitsevat perälaatikon syöttöpumpun ja perälaatikon välissä ja niitä on yhdestä kahteen. Konesihtien tarkoituksena on hajottaa kuitukimppuja ja poistaa pyörrepuhdistuksesta jääneet epäpuhtaudet. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 128)

3.2.3 Rainanmuodostusosa

Kartongin valmistus alkaa rainanmuodostuksella, johon kuuluvat perälaatikon syöttöputkisto, perälaatikko sekä viiraosa. Rainanmuodostusosalla eli formerilla määräytyy suurin osa valmiin kartongin ominaisuuksista, kuten neliömassa ja formaatio, joihin ei voida vaikuttaa rainanmuodostuksen jälkeisillä osaprosesseilla.

Rainanmuodostusosan alkupäässä perälaatikon syöttöputkistolla syötetään lyhyessä kierrossa laimennettu kartonkimassa, joka on yli 99 prosenttisesti vettä ja erilaisia kemikaaleja. Perälaatikon tehtävä on syöttää massa tasaisesti koko viiraosan leveydelle ja ehkäistä kuituflokkien syntymistä aiheuttamalla virtaavaan suspensioon turbulenssia ja leikkausvoimia. Perälaatikoita on kahta tyyppiä: reikätelaperälaatikot ja hydrauliset perälaatikot. Reikätelaperälaatikoita käytetään koneilla, joiden nopeudet ovat alle 1000 metriä minuutissa, sillä tätä suuremmilla nopeuksilla reikätelaperälaatikoilla ei pystytä synnyttämään kuituflokkien syntymistä estäviä virtauksia. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 131-137)

Kartongille ominainen monikerroksinen rakenne voidaan saavuttaa kahdella erilaisella pääperiaatteella, joko laminoimalla ne erillisessä jalostusprosessissa tai muodostamalla monikerroksisuus formerilla. Kerrostetun kartonkirainan muodostamiseen käytetään yleensä yhtä kolmesta tavasta. Kerrostettu rakenne voidaan tehdä joko monikerrosperälaatikolla, jolloin eri kerrokset ovat yhdessä jo perälaatikolta tulevassa suihkussa. Toinen tapa on sijoittaa toisioperälaatikko esimerkiksi viiraosan päälle muodostamaan toinen kerros jo olemassa olevaan kartonkirainaan. Kolmas vaihtoehto on muodostaa kaksi erillistä rainaa, jolloin ne huopautetaan kiinni toisiinsa sopivassa kohdassa. Tässä tapauksessa toinen tasoviira on välttämätön. (Sepsilva 1997, 45; Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 131-137)

Viiraosalla paperirainasta suodatetaan jopa 95 % perälaatikolta tulevan massasulpun sisältämästä vedestä. Suotautunut vesi ohjataan lyhyen kierron kautta laimentamaan perälaatikolle ohjattavaa massaa. Viiraosalla määräytyy suurin osa lopullisen tuotteen ominaisuuksista ja sen lopussa rainan kuiva-ainepitoisuus on noin 15-20 prosenttia. Viiraosa voi olla tasoviira, hybridiformeri tai kitaformeri. Tasoviirakoneella viira on pingotettuna suurien rinta- ja imutelojen välille ja näiden välillä viiran alapuolella on erilaisia vedenpoistoelimiä. Vedenpoistoelementtejä ovat esimerkiksi märkä- ja tasoimulaatikot ja päästölistat eli foilit. Hybridiformerissa on perinteisen alaviiran lisäksi yläviira, jolloin veden poisto tapahtuu myös yläkautta. Kitaformerit voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: listakita-, telakita- ja tela-lista-kitaformerit. Listakitaformerilla

vedenpoisto tapahtuu alussa listakengällä ja telakitaformerilla formeritelalla. Tela-listakitaformerit on näiden kahden sekoitus. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 137-140)

3.2.4 Puristinosa

Viiraosan jälkeen suurin osa vedestä on poistunut ja se ohjataan puristinosalle. Puristinosalla rainaa puristetaan erilaisten telojen avulla huopien välissä, jolloin saadaan siirrettyä kartongista vettä huopiin ja kasvatettua kuiva-ainepitoisuutta 40-55 prosenttiin. Puristinosan vedenpoistoon vaikuttavat monet eri tekijät. Tärkeimmät näistä ovat huopien ja telojen rakenteet, lämpötila, viipymäaika nipissä ja koneen nopeus. Puristintyyppinä on olemassa erilaisia ja yleisesti puristinnippejä on peräkkäin kahdesta neljään. Puristinosalla on tärkeä tehtävä tuotannon taloudellisuuden kannalta. Puristinosalla pyritään nostamaan kartongin kuiva-ainepitoisuus mahdollisimman korkeaksi, jotta pystyttäisiin vähentämään höyrynkäyttöä kuivatusosalla. Vaikka puristinosan tavoitteena on mahdollisimman korkean kuiva-ainepitoisuuden saavuttaminen, puristinpainetta ei voida nostaa niin korkeiksi kuin mahdollista. Liian korkeilla paineilla menetetään kartongille haluttuja ominaisuuksia, kuten taivutusjäykkyyttä. (Hägglom-Ahnger ja Komulainen 2005, 155-162)

3.2.5 Kuivatusosa

Puristinosalta kartonkiraina viedään kuivatusosalle, jossa tapahtuu lopullinen kuivatus. Kuivatusosalla rainasta poistetaan vesi, jota ei voida poistaa mekaanisesti viira- tai puristinosalla. Kuivatusosalla kartonkirainan kuiva-ainepitoisuus nousee 91-95 %:n. Kuivatusosa on kartonkikoneen pisin osa, jolla kartongin sitomaa vettä haihdutetaan lämmönsiirron avulla. Perinteisin kuivatustapa on monisynterikuivatus, joka käsittää yleensä viidestä kymmeneen käyttöryhmää. Nämä käyttöryhmät koostuvat isoista teräsynteriteistä, joihin ohjataan höyryä. Jokaista käyttöryhmää voidaan ohjata erikseen, jolloin pystytään ajamaan eri ryhmiä eri nopeuksilla ja pintalämpötiloilla. Kuivatusosan alkupäässä rainan matalan kuiva-ainepitoisuuden takia ensimmäisiä ryhmiä ajetaan

matalilla pintalämpötiloilla, jottei raina palaisi kiinni sylintereiden pintaan. Rainan edetessä kuivatusosalla sylintereiden lämpötilaa nostetaan. Monisynterikuivatuksen etuja ovat sen suhteellisen hyvä energiatehokkuus ja höyryn sopivuus kartonki- ja paperitehtaiden energiainfrastruktuuriin. Muita yleisesti käytössä olevia kuivatustapoja ovat jenkkisynteri, päällepuhalluskuivatus ja infrapunakuivatus. (Karlsson 2010, 80; Häggblom-Ahnger ja Komulainen 2005, 163-172)

Kuivatusosa on ilmastoitu, ja ilmastoinnin avulla luodaan optimaaliset olosuhteet kartongin kuivumiselle. Ilmastointi tapahtuu koteloinnin, korvaus- ja poistoilmalaitteiden, lämmön talteenoton ja taskutuuletuslaitteiden avulla. Koteloinnilla tarkoitetaan kuivatusosan yläpuolella olevaa suljettua ja lämpöeristettyä huuvaavaa sekä kartonkikoneen alakerrassa sijaitsevaa huuvaavaa. Huuvarakenteella saavutetaan laadullisia ja taloudellisia etuja. Koska yläkerran huuva on lämpöeristetty ja suljettu, kartongin kuivausolosuhteet ja konesalin työskentelyolosuhteet paranevat, huuvaavan ulkopuoliset virtaukset eivät pääse vaikuttamaan kuivumiseen ja lämpöhäviöt pienenevät. (Häggblom-Ahnger ja Komulainen 2005, 163-172)

3.2.6 Jälkikäsitteleminen

Kartongin jälkikäsittelemiseen kuuluu tyypillisesti pituusleikkaus ja tarvittavat rullaukset. Lisäksi kartonki voidaan kalanteroida ja pintakäsitellä. Kalanterointimenetelmässä rainaa puristetaan kahden tai useamman telan muodostaman nipin välissä. Kalanteroinnin tehtävänä on saada kartongin pintakerroksille haluttu kiilto ja pinnansileys. Sillä myös pystytään säätämään kartongin paksuus ja tiheys halutunlaisiksi. Kartongin kalanteroinnissa tärkeää on bulkin, eli ominaistilavuuden säilyttäminen. Tästä syystä pintaominaisuuksien muutos pyritään tuottamaan mahdollisimman pienellä paksuuden muutoksella. (Sepsilva 1997, 124)

Kartongin pintakäsittelemiseen on olemassa kolme eri menetelmää: pintaliimaus, pigmentointi ja päällystys. Pintaliimauksen tavoitteena on parantaa kartongin lujuusominaisuuksia, kuten pinta- tai palstautumislujuutta. Pigmentoinnissa

pintaliimaseokseen lisätään täyteaineita, jolloin kartonkihuokokset täyttyvät ja kartongin sileys kasvaa. Päällistyksen tarkoituksena on parantaa tuotteen painettavuusominaisuuksia ja sen ulkonäköä. (KnowPap 2011)

Rullain sijaitsee kartonkikoneen loppupäässä. Rullaimella kartonkiraina rullataan pope-rullaimella isoiksi konerulliksi tampuriraidoille. Pope-rullain on yleisin käytössä oleva rullaintyyppi. Rullauksen jälkeen iso konerulla viedään pituusleikkurille, jossa se rullataan ja leikataan halutun kokoisiksi rulliksi. (KnowPap 2011)

4 KARTONKIKONEIDEN ENERGIANKÄYTTÖ

Kartonginvalmistuksessa käytetyn energian kustannukset muodostavat noin 15-30 prosenttia valmistuksen kokonaiskustannuksista, joten energian tehokas käyttö ja energiatehokkuuden parantaminen on erittäin tärkeää kilpailukyvyn ylläpitämiseksi (Kuisma et al. 2004, 45; Valmet 2015). Energiankulutusta seurataan teollisuudessa usein ominaisenergiankulutuksella (SEC), joka on käytetyn energian suhde valmistettua tuotetta kohden. Yleisesti käytetty yksikkö on gigajoulea per tonni [GJ/t] tai kilowattituntia per tonni [kWh/t] (Karlsson 2010, 349).

Metsäteollisuuden kilpailukyvyn ylläpitämiseksi energiatehokkuuden parantamiseksi on tehty paljon investointeja vuosien varrella. Vuosina 2009-2018 metsäteollisuudessa on onnistuttu säästämään energiaa keskimäärin 871 gigawattituntia vuosittain. Vuonna 2018 energiasäästöjä saatiin 856 gigawattituntia ja energiatehokkuutta parantavia toimia tehtiin yhteensä 112 kappaletta. Metsäteollisuuden vuoden 2018 energiansäästöt kattavat lähes 80 prosenttia koko elinkeinoelämän saavuttamista säästöistä. (Metsäteollisuus 2019)

4.1 Energiankäyttö

Kartongin valmistamisprosessissa kuluu paljon sähkö- ja lämpöenergiaa, joka tuotetaan pääosin uusiutuvilla polttoaineilla tehtaan omilla voimalaitoksilla. Sähköä käytetään muun muassa sähkökäyttöjen ajamiseen, joilla pyöritetään esimerkiksi pumppuja, teloja sekä puhaltimia. Lämpöenergiaa käytetään muun muassa rainan kuivauksessa.

Kartonkikoneiden käyttämä energia vaihtelee suuresti riippuen ajettavasta kartonkilaadusta, käytössä olevasta tekniikasta ja ajotavasta. Keskimäärin kartongin valmistukseen kuluu 640 kilowattituntia sähköä ja 5,5 gigajoulea lämpöä. Energiategokkuuden kasvamisen ansiosta näiden on arvioitu laskevan noin 600 kilowattituntiin ja 5 gigajouleen vastaavasti vuoteen 2030 mennessä. (Pöyry 2016)

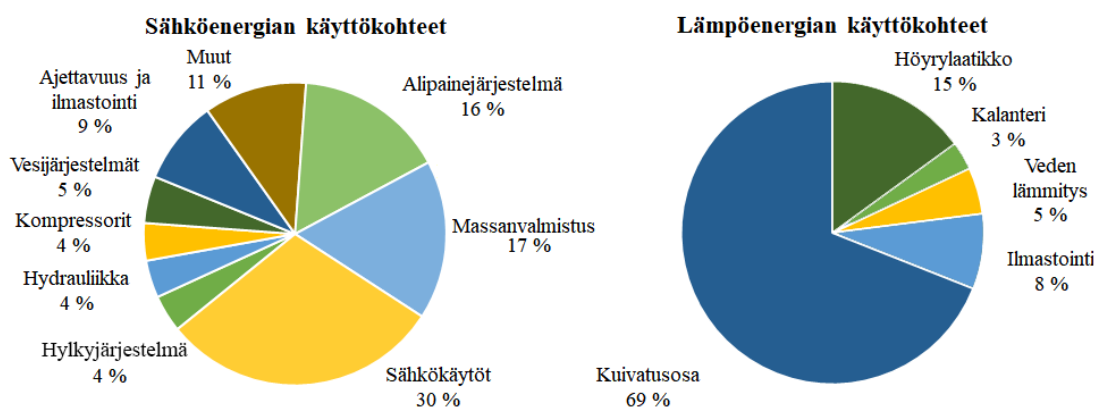
Taulukossa 1 on esitetty kahdeksan eri kartonkikoneen keskimääräiset sähkö- ja lämpöenergian ominaiskulutukset valmistuksen eri prosesseissa. Jobien Laurijssen

(2013) on tutkinut paperiteollisuuden energiankäyttöä ja energiatehokkuuden parantamista paperiteollisuudessa. Tätä tutkimusta varten on kerätty dataa kahdeksalta eri kartonkikonelinjalta Puolasta, Hollannista ja Ruotsista. Tämä data perustuu tehtaiden vuosittaisiin keskiarvoihin, eikä ota huomioon eri kartonkilajien valmistuksen aiheuttamia muutoksia energian käytössä. Taulukosta voidaan havaita kuivatusosan olevan selvästi suurin energian kuluttaja konelinjalla.

Taulukko 1. Energian käyttö kartonkikoneen eri prosesseissa per tuotettu tonni (Muokattu kohteesta Laurijssen 2013)

Osaprosessi	Energian kulutus [GJ/t]
Massan valmistus	1
Viira- ja puristusosa	1,5
Kuivatus	4,8
Muut prosessit	0,3

Kuvassa 3 on esitettyä energian käyttökohteita eräällä paperikoneella. Vaikka kyseessä ei ole kartonkikone, se antaa hyvän yleiskuvan siitä, mihin sähkö- ja lämpöenergiaa kuluu paperi- ja kartonkituotteiden valmistuksessa. Suurimpia sähkönkuluttajia koneilla ovat yleensä sähkökäytöt, massanvalmistus ja alipainejärjestelmä. Lämpöenergiaa kuluu selvästi eniten kuivatusosalla.



Kuva 3. Energian käyttökohteita eräällä paperikoneella. (Muokattu lähteestä Karlsson 2010, 22)

4.1.1 Sähköenergia

Massanvalmistuksessa energiaa kuluu kuivien massapaalien pulpperointiin, kuitujen puhdistamiseen ja irtokappaleiden erottamiseen, massan jauhatukseen ja massan pumppaamiseen. Integroidulla tehtaalla massa saadaan tuoreena, jolloin pulpperointia ei tarvita. Integroimattomalla tehtaalla massan pulpperointiin ja pumppaamiseen kuluu jopa 30 kilowattituntia per tonni. Massanjauhatus on massanvalmistuksen energiaintensiivisin osa, jossa sähköä kuluu pääasiassa terien pyörittämiseen. Jokaisessa massanvalmistuksen vaiheessa sähkön kulutus riippuu merkittävästi käytettävästä massalaadusta. (JRC 2015, 689)

Sähkökäytöt kuluttavat noin kolmanneksen koko koneen sähköstä. Sähkökäyttöillä tarkoitetaan sähkömoottoreita, jotka pyörittävät esimerkiksi käyttöryhmiä, pumppuja ja puhaltimia. Käyttöryhmä voi sisältää esimerkiksi yhden tai useamman telan tai sylinterin. Yksittäisen telan käyttöryhmä voi olla esimerkiksi viiraosan imutela ja useamman sylinterin ryhmä kuivatusosan höyryryhmä. Jakamalla kone eri käyttöryhmiin, mahdollistetaan eri käyttöryhmien nopeuserojen hallinta. (Sepsilva 1997, 236)

Kartonkikoneella tarvittava alipaine tuotetaan nestekalvopumpuilla tai turbopuhaltimilla, joilla tuotetaan 5-60 kPa:n alipaine vedenpoistoon muun muassa imuteloissa ja -laatikoissa, riippuen koneesta ja ajettavasta lajista. (Paulapuro 2010, 496) Alipainetta käytetään viiraosalla imutelassa, imulaatikoissa ja puristinosalla pick-up -telassa ja huopien imuteloissa. Alipainejärjestelmän sähkönkäytön kannalta viiraosa kuluttaa kolmanneksen tästä ja puristinosa loput. Energiankäyttöön vaikuttaa imevien osien lukumäärä ja niissä käytettävät alipaineet. (Paulapuro et al. 2010, 478)

Kartonkikoneen ominaissähköenergian käyttö riippuu suuresti myös koneella saavutetusta aikahyötysuhteesta, joka on kytköksissä koneen ajettavuuteen. Kartonkikonelinjan tehokkuutta mitataan pääasiassa kolmella eri mittarilla: aikahyötysuhteella (AHS), määrähyötysuhteella (MHS) ja kokonaishyötysuhteella (KHS). Näistä energiankäytön kannalta tärkein on aikahyötysuhde. AHS kuvaa toteutuneen tuotantoajan ja hukka-ajan suhdetta. Hukka-ajaksi luetaan kuuluvan sellaiset

tekijät, joihin on mahdollista vaikuttaa. Näitä tekijöitä ovat muun muassa katkot, suunnitellut kunnossapito- ja käyttöseisokit ja koneen käynnistykset. Katkolla tarkoitetaan kartonkiradan katkeamista, jolloin koneelle virtaa massaa, mutta koneella muodostuva raina hylätään. Tällöin konetta ajetaan normaalisti, mutta kartonkia ei rullata valmiiksi tuotteeksi. Koska sähköenergian kulutus ei laske merkittävästi katkon aikana, katkot kasvattavat ominaissähköenergian kulutusta ja on kartongin valmistuksessa kaikista kalleinta menetettyä aikaa. Seisokin aikana kartonkikonetta ei ajeta, jolloin se ei vaikuta energiankulutukseen. (Paldanius 2004)

4.1.2 Lämpöenergia

Lämpöenergian käyttö on suurinta kartonkikoneen kuivatusosalla, jossa lämpöä käytetään rainan kuivatukseen. Kuivatusosalla käytettävän kylläisen höyryn paine ja lämpötila vaihtelee koneittain, mutta vaihtelee yleensä 3-12 barin välillä. Muita lämpöenergian käyttökohteita ovat prosessivesien lämmitys, ilmastointi, kalanterit sekä mahdolliset höyrylaatikot. Prosessissa käytetty lämpöenergia voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: matalapainehöyry, jota käytetään lämmönlähteenä ja sekundäärilämpö, eli talteen otettava lämpö. Talteen otettavaa lämpöä on saatavilla paljon, mutta usein sen matala, alle 100°C:n lämpötila, tekee sekundäärilämmön hyödyntämisestä hankalaa. (Karlsson 2010, 340-341)

5 KARTONKIKONEIDEN ENERGIATEHOKKUUS

5.1 Energiatehokkuustoimien tausta

Energiatehokkuustoimilla saavutetaan paljon hyötyjä, joista suurimpana on taloudelliset hyödyt. Energian tehokas käyttö, varsinkin paljon energiaa kuluttavissa prosesseissa ja laitoksissa, pienentää käytetyn energian kustannuksia merkittävästi. Myös ympäristöhyödyt ovat tavoiteltuja, sillä energiantuotannossa ja käytössä syntyy merkittävä määrä hiilidioksidipäästöjä. Päästökauppasektorilla toimivat yritykset pystyvät saavuttamaan taloudellista hyötyä energian tehokkaammalla käytöllä, sillä tämä johtaa CO₂-päästöjen vähentymiseen. (Motiva 2018)

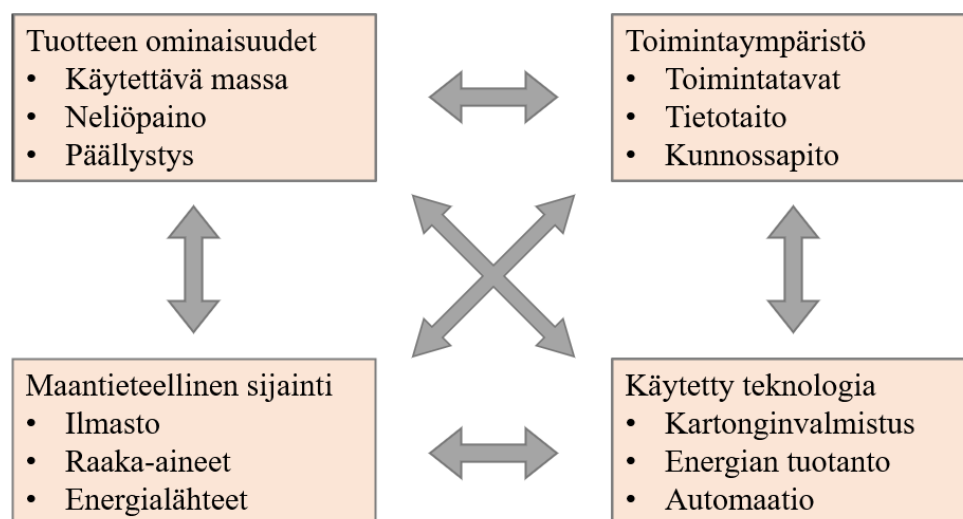
Energiatehokkuuden parantaminen on metsäteollisuuden kilpailukyvyn säilyttämisen lisäksi myös kansainvälinen haaste ja yksi tärkeimmistä keinoista torjua ilmastonmuutosta. EU:n alun perin vuonna 2012 asettaman energiatehokkuusdirektiivin tavoitteena on tehostaa energiankäyttöä 32,5 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2007 projektioon (EUVL 2018). Näiden tavoitteiden pohjalta eduskunnassa määrättiin vuoden 2014 joulukuussa energiatehokkuuslaki (Finlex 2014). Tällä energiatehokkuuslailla on määrätty suuret yritykset tekemään energiakatselmuksen neljän vuoden välein, joita hallinnoi ja toimeenpanee Energiavirasto. Energiakatselmuksen täytyy selvittää yrityksen tai konsernin kaikkien toimipaikkojen energiankulutusprofiili ja tunnistaa mahdollisia energiatehokkuuden kehityskohteita tekemällä energiakatselmuksia yksittäisiin kohteisiin. Näin saadaan yksityiskohtaista tietoa kohteen energiankulutuksesta ja kohteeseen sopivista energiatehokkuustoimista. (Energiavirasto, 2020)

Myös suurin osa Suomen metsäteollisuusyrityksistä on sitoutunut vapaaehtoiseen energiatehokkuussopimukseen. Koska Suomi on sitoutunut tiukkoihin tavoitteisiin energiatehokkuuden parantamiseksi, valtio ja eri toimialat ovat yhdessä ottaneet käyttöön vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset. Näillä pyritään saavuttamaan EU:n energiatehokkuusdirektiivin mukaiset energiankäytön tehostamistavoitteet ilman erillistä

lainsäädäntöä tai muita pakkokeinoja. Suomen valtio tukee sopimukseen liittyneitä osapuolia muun muassa energiatehokkaan teknologian käyttöönotossa. (Energiatehokkuussopimukset 2019)

5.2 Energiatehokkuuden parantaminen

Kartonkikonelinjan energiatehokkuuteen vaikuttaa moni asia. Kuvassa 4 on esitettyä yksittäisen linjan energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät. Näitä tekijöitä on neljä, joista kaikki ovat kytköksissä toisiinsa. Koneen rakenne, käytettävä massa ja lopputuotteen laatuvaatimukset ovat suurimpia tekijöitä, jotka vaikuttavat energiankäyttöön. Koska yleensä on vaikea vaikuttaa vain yhteen näistä tekijöistä, energiatehokkuuden parantamista on käsiteltävä yksilöllisesti konelinjoittain. (Karlsson 2010, 358)



Kuva 4. Energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät. (Muokattu lähteestä Karlsson 2010, 359)

Energiatehokkuuden parantamisessa järjestelmän systemaattinen analysointi on tärkeää. Euroopan komission tutkimuskeskuksen julkaisemassa dokumentissa on mainittu kolme kohtaa, joiden tarkoitus on auttaa paperi- ja kartonkitehtaita saavuttamaan parhaimman mahdollisen teknologian (BAT) energian kulutuksen. Nämä kolme kohtaa ovat:

1. Arvio tehtaan todellisesta energiatilanteesta ja suorituskyvyn mittaaminen
2. Yksityiskohtainen järjestelmäanalyysi ja parantaminen optimoimalla järjestelmää
3. Optimoidun järjestelmän seuranta ja kestävä käyttö (JRC 2015, 125-126)

Kartonkikoneet on käytössä satoja energiaa kuluttavia laitteita, joten yksityiskohtainen ja hyvin määritelty energia-analyysi on välttämätöntä potentiaalisten energiatehokkuustoimien ja tuotannon optimoinnin kehittämisessä. Kuvassa 5 on esitettyä Blumin vuonna 2006 kehittämä systemaattinen lähestymistapa parantaa energiatehokkuutta kartonkikoneilla. (JRC 2015, 125-126) Kaikkien esitettyjen osa-alueiden tarkastelu ei ole tarkoituksenmukaista, vaan systemaattisen analyysin tarkoituksena on löytää tärkeimmät kehityksen kohteet. Analyysin lähtökohtana on tiedon kerääminen halutuista asioista, jonka jälkeen valitaan tarkasteltavat ominaisuudet, esimerkiksi hyötysuhteet. Analyysin työkalujen valitsemisen jälkeen tarkastellaan haluttuja ominaisuuksia mittausten avulla. Viimeisenä suoritetaan arviointi suoritetuille mittauksille ja laaditaan toimintasuunnitelma jatkoa varten.



Kuva 5. Esimerkki järjestelmän kokonaisarviointista ja energiankäytön tehostamisesta. (Muokattu lähteestä JRC 2015, 126.)

6 ENERGIATEHOKKUUS KARTONKIKONE 1: LLÄ

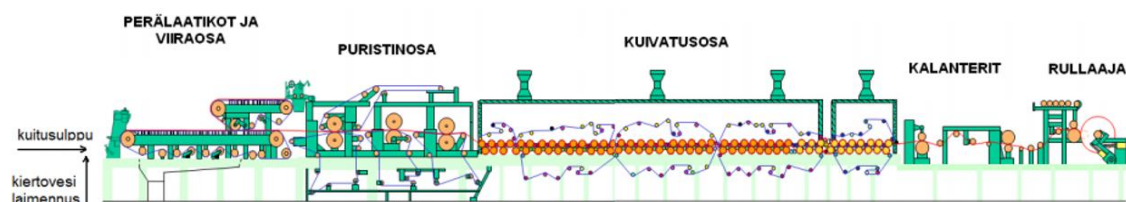
Resurssien tehokas käyttö ohjaa Stora Enson toimintaa. Yrityksen konsernin laajuinen tavoite on vähentää ominaissähkön- ja höyrynkulutusta 15 % vuoteen 2020 mennessä verrattaessa vuoteen 2010. Tehtailla tapahtuva kehitystyö perustuu jatkuvaan parantamiseen. Yritys on sitoutunut energiatehokkuuden ja omavaraisuuden jatkuvaan parantamiseen, ja suurin osa kehitystyöstä on ulkoisesti sertifioituja: vuoden 2019 loppuun mennessä 95 prosenttia kokonaisenergian käytöstä oli ISO50001-sertifioitu. Jatkuvalle parantamiselle ja asetetuilla tavoitteilla energiatehokkuus on parantunut keskimäärin 1,5% vuodessa, mutta eri tehtaiden välillä on suuriakin eroja. Suurimmat vaikuttavat tekijät energiatehokkuuden parantumiseen ovat olleet investoinnit, joissa energiatehokkuuden parantuminen on joko ollut päätavoite tai sekundäärinen hyöty. (Stora Enso 2019c)

Vuonna 2019 Stora Enso on aloittanut seuraamaan energiatehokkuuden parantumista ominaisenergiankulutuksen ohella niin sanotuilla projektoituilla energiasäästöillä, eli kuinka paljon esimerkiksi investoinneilla tai kunnossapidollisilla muutoksilla saadaan dokumentoituja säästöjä. Tavoitteena on saavuttaa 0,8 % säästöt vuosittain verrattuna edellisen vuoden kulutukseen.

Energiankäytön tehostamista Imatran tehtailla ohjaa EU:n asettamat energiansäästötavoitteet eli direktiivit ja sopimukset, Suomen energiansäästötavoitteet eli lait, asetukset ja sopimukset, Stora Enson energiatehokkuussopimus eli energiapolitiikka, päämäärät ja tavoitteet sekä energianhallintajärjestelmä, joka on Organization of Standardizationin kehittämä ISO50001-energianhallintajärjestelmästandardi. Järjestelmän tarkoituksena on auttaa parantamaan energiatehokkuutta, energian käyttöä ja kulutusta, edistää energianhallinnan parhaita käytäntöjä sekä auttaa energiatehokkaiden teknologioiden käyttöönotossa, niiden arvioinnissa ja priorisoinnissa (DNVGL 2020).

6.1 Imatran tehtaiden kartonkikone 1

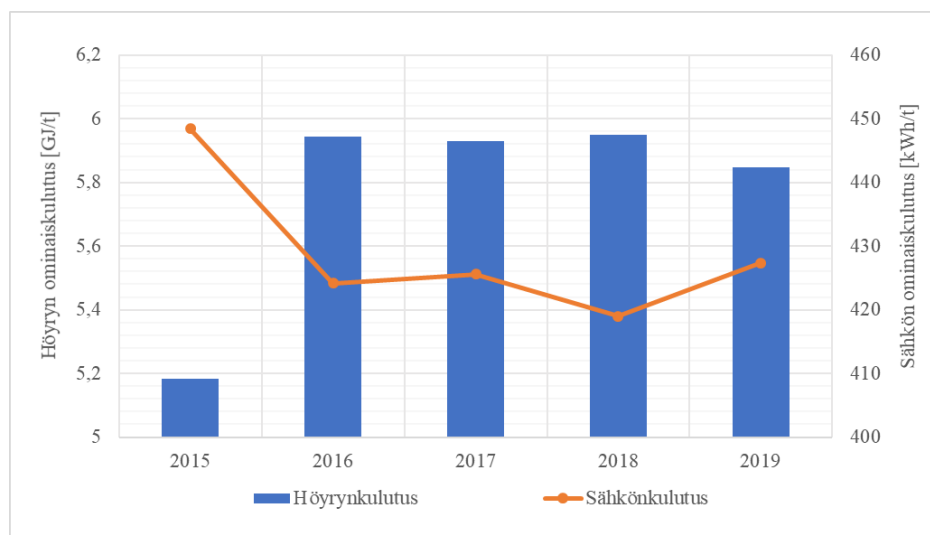
Stora Enson Imatran tehtaiden kartonkikone 1 (KA1), on vuonna 1950 käyttöön otettu Beloitin valmistama tasoviirakone. Kartonkikoneen vuotuinen kapasiteetti on 185 000 tonnia. Koneella valmistetaan kolmikerroksista FSB-kartonkia (Food Service Board), jonka tausta- ja pintakerros on sellua ja keskikerros kemimekaanista hierrettä. Koneen maksimi rataleveys on 4,4 metriä ja tuotetun kartongin neliöpaino vaihtelee 170 – 330 g/m² välillä. Kuvassa 6 on esitettyä KA1:n rakenne. Kartonkikoneen rainanmuodostusosalla on ala- ja ylaviiraosot. Alaviiraosalla on käytössä kaksoisperälaatikko, joka muodostaa keski- ja pohjakerrokset. Ylaviiraosalla muodostetaan pintakerros, ja kerrokset huopautetaan yhteen. Puristinosalla on käytössä kolme nippiä, joissa kahdessa ensimmäisessä käytetään imutelaajaa vedenpoiston tehostamiseksi. Kuivatusosalla höyrysilintereitä ajetaan viidessä eri käyttöryhmässä ja huuvan kostea ilma kerätään talteen neljän lämmöntalteenottotornin avulla.



Kuva 6. Imatran tehtaiden Kartonkikone 1:n rakenne (Stora Enso 2010)

Kuvassa 7 on esitettyä KA1:n ominaisenergiankulutukset nettotuotannolla mitattuna vuosina 2015-2019. Vuonna 2019 kartonkikone kulutti höyryä noin 5,8 GJ/t ja sähköä 425 kWh/t. Erot ominaissähkönkulutuksissa vuosina 2016-2019 johtuvat pääasiassa koneella saavutettujen hyötysuhteiden vaihteluista. Koska SBS-kartonki (Solid Bleached Sulphate) ja FSB eroavat vain keskikerroksiltaan, voidaan vertailla KA1:n energiankulutuksia SBS-kartongin valmistuksen keskimääräisiin energiankulutuksiin. Pöyryn raportissa (2016) SBS-kartonkia valmistavien koneiden ominaisenergiankulutusten keskiarvoiksi on ilmoitettu sähkön osalta 610 kWh/t ja lämmön osalta 5,7 GJ/t. Verrattaessa KA1:n ominaisenergiakulutuksia Pöyryn ilmoittamiin keskiarvoihin, voidaan todeta sen olevan sähkönkäytöltään noin 30 %

tehokkaampi kuin keskimääräinen SBS-kartonkia valmistava kartonkikone ja höyrynkäytöltään samaa luokkaa.



Kuva 7. Imatran tehtaiden Kartonkikone 1:n sähkön ja höyryn ominaisenergiankulutukset vuosina 2015-2019

Verrattaessa KA1:tä muihin Imatran tehtaiden kartonkikoneisiin, KA1:llä käytetään lämmönlähteenä ainoastaan höyryä, joka syötetään koneelle 5 barin paineessa. Muilla tehtaalla kartonkikoneilla käytetään 5 ja 10 barin höyryä sekä muun muassa infrapunakuivaimia, joiden polttoaineena toimii maakaasu. KA1:n käyttämä 5 barin höyry mahdollistaa sähköntuotannon maksimoinnin, sillä 10 barin höyry otetaan turbiinin välitosta. Koneella ei myöskään synny suoria CO₂-päästöjä kuten muilla koneilla, sillä koneella ei käytetä lämmöntuotannossa maakaasua.

Koneella käytettävä höyry tuotetaan yli 90-prosenttisesti biopolttoaineilla ja maakaasua tarvitaan höyryn tuotannossa lähinnä talvisin. Maakaasua käytetään muun muassa kattiloiden käynnistys- ja tukipolttoaineena. Jos höyryn kulutusta pystytään pienentämään, talvisin saavutetut säästöt voidaan laskea maakaasun marginaalihinnalla. Samalla CO₂-päästöt pienenevät.

Kartonkikone 1:n ajo mahdollisimman tasaisesti ilman ratakatkoja, suunnittelemattomia seisokkeja tai ylimääräisiä pysäytyksiä tai käynnistyksiä on ominaiskulutuksen lisäksi

tärkeää myös höyrynkulutuksen näkökulmasta. Esimerkiksi tehtaan kuorikattilan käydessä pienellä kuormalla ja höyrynkulutuksen laskiessa, höyryä voidaan joutua ajamaan apulauhduttimelle tai suoraan ulospuhallukseen.

6.2 Tehdyt energiatehokkuustoimet

Konetta on uusittu elinkaarensa aikana useasti. Energiankäytön kannalta suurimmat muutokset viime vuosina ovat olleet:

- Valta-akselin korvaaminen sähkömoottoreilla, 2015
- Huuvan korvausilmapuhaltimien uusinta, 2017
- Säädetävät foililaatikot pohjaviiralle, 2018
- Huuvan poistoilmapuhaltimien uusinta lämmöntalteenottoroneille 1-3, 2019

Valta-akselin korvaaminen erillisillä sähkökäyttöillä nosti koneen vuotuista ajonopeutta huomattavasti ja paransi koneen ajettavuutta. Investoinnin myötä koneen vuotuinen tuotantokapasiteetti nousi merkittävästi. Energiankäytön kannalta tämä voidaan huomata vuosien 2015 ja 2016 ominaisenergiankulutusten eroissa. Energiatehokkaiden sähkömoottoreiden ja koneen ajettavuuden parantumisen ansiosta sähkön ominaiskulutus laski noin 5 %. Toisaalta höyryn kulutus kasvoi noin 15 %.

Toinen tuotantokapasiteettiin ja energiatehokkuuteen merkittävästi vaikuttanut investointi on säädettyjen foililaatikoiden asennus pohjaviiralle vuonna 2018. Foililaatikot ovat viiraosalla ja niillä aiheutetaan paineimpulsseja rainaan, joka tehostaa vedenpoistoa. Foililaatikossa on useita foileja. Koneen vuotuinen tuotantokapasiteetti kasvoi noin 10 % kasvattamatta ominaisenergiankulutusta.

Huuvan poistoilmapuhaltimien ja korvausilmapuhaltimien uusinnalla pystytään paremmin kontrolloimaan huuvan ilmasto. Paremmalla ilmaston ohjattavuudella pystytään takaamaan optimaalinen ilmasto huuvan sisällä, jolla pystytään parantamaan koneen ajettavuutta ja tehostamaan lämmöntalteenottoa.

Näiden lisäksi systemaattisilla muutoksilla ja jatkuvalla prosessin kehittämisellä on saatu parannettua koneen ajettavuutta. Paremmalla koneen ajettavuudella pystytään välttämään ratakatkoja ja näin pienentämään ominaissähkönkulutusta.

7 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN KA1: LLÄ

Vaikka KA1:n energiatehokkuus on tällä hetkellä hyvällä tasolla, energian käyttöä on mahdollista tehostaa erilaisilla toimilla. Mahdollisia energiankäytön kehityskohteita tarkastellaan kirjallisuuden avulla ja pohditaan niiden soveltuvuutta KA1:lle.

7.1 Kehityskohteiden tarkastelu

Kehityskohteet on jaettu viiteen eri osa-alueeseen. Nämä osa-alueet ovat sähkökäytöt, alipainejärjestelmä, vedenpoisto, lämmöntalteenotto ja muut. Kartonkikoneiden suurimmat energiatehokkuuden parantamiskohteet esiintyvät yleensä näillä osa-alueilla.

7.1.1 Sähkökäytöt

Sähkökäyttöjen energiatehokkuuden parantaminen perustuu pääasiassa laitteiden oikeaan mitoitukseen, käytönaikaiseen kunnossapitoon, uusien laitteiden hyötysuhteiden huomioimiseen ja prosessin yksinkertaistamiseen. (Kuorelahti 2011) Sähkökäyttöjärjestelmien energiankäyttöä on tärkeää huomioida koko sähkökäyttöjärjestelmän energiatehokkuus, jotta pystytään optimoimaan järjestelmä energian käytön, tuottavuuden ja ajettavuuden kannalta. Järjestelmää tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon sähkömoottoreiden, pumppujen ja puhaltimien oikea mitoitus ja kuinka hyvin moottorit pystyvät vastaamaan ajettavan komponentin tarpeita. Sähkökäyttöjen oikealla mitoituksella on mahdollista saavuttaa 15-25 prosentin energiansäästö. (Kramer 2009, 60-73) Vaikka modernit sähkömoottorit, varsinkin energiatehokkuusluokissa IE2-IE4, toimivat hyvällä hyötysuhteella myös pienemmillä kuormilla ajettaessa (ABB 2020; Siemens 2018), on oikealla moottorivalinnalla mahdollista tehostaa energiankäyttöä.

7.1.2 Alipainejärjestelmä

Alipainejärjestelmän korvaaminen energiatehokkaammalla järjestelmällä voidaan saavuttaa 20-45 prosentin säästö alipainejärjestelmän sähkön käytössä. Kartonkikoneiden

keskimääräisellä sähkön ominaiskulutuksella tämä voi tarkoittaa jopa 60 kilowattitunnin säästöjä per tonni. Energiatohokkaammalla järjestelmällä voidaan tarkoittaa esimerkiksi siirtymistä nestekalvopumpuista turbopuhaltimiin tai lisäämällä lämmöntalteenotto alipainejärjestelmän puhaltimille. (JRC 2015, 129-134)

Usein alipainejärjestelmiä ajetaan liian suurella teholla, jotta päästäisiin mahdollisimman korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen. Ajettaessa alipainejärjestelmää liian suurella teholla, sen energiankäyttö on tarvittua korkeampaa, kartonkikoneen kudokset kuluvat nopeammin ja sähkömoottoreita kuormitetaan tarpeettomasti. (Paulapuro et al. 2010, 478)

Alipainejärjestelmän optimoinnilla on usein mahdollista saavuttaa 10-20 % säästö energiankulutuksessa. Yleensä järjestelmän optimoinnissa parhaita käytäntöjä ovat:

- Järjestelmän toiminnan tarkastelu avoimilla päästöventtiileillä
- Ylimääräisten imu- ja höyrylaatikoiden poisto
- Imutelojen korvaaminen paremmilla huovilla ja telojen päällysteillä
- Alipainepumppujen toiminta-arvojen seuranta. (Sweet 2017)

7.1.3 Vedenpoisto

Kuivatusosalla tapahtuva vedenpoisto kuluttaa noin viisi kertaa enemmän energiaa kuin puristinosalla tapahtuva vedenpoisto, ja noin 25 kertaa enemmän verrattaessa viiraosaan. Tästä syystä ennen kuivatusosaa tapahtuvan vedenpoiston optimoimisella on mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä kuivatusosan energiankäytössä. (Kramer 2009, 101)

Puristinosalla rainan kuiva-ainepitoisuuteen vaikuttaa viipymäaika nipissä. Pidentämällä viipymäaikaa eli pidentämällä nippiä, saadaan rainan kuiva-ainepitoisuutta kasvatettua, jolloin kuivatusosan höyrynkulutus pienenee. Kuiva-ainepitoisuuden nousu yhdellä prosentilla kuivatusosalla pienentää höyrynkulutusta kuivatusosalla noin 4 prosenttia. Puristinosalla nipin pituutta on mahdollista kasvattaa korvaamalla perinteiset puristimet kenkäpuristimilla. Kenkäpuristimella saavutetaan suurempi paineimpulssi, jonka avulla vedenpoisto tehostuu ja kuiva-ainepitoisuus kasvaa. Kenkäpuristimen asentamisella on

olemassa olevilla paperi- ja kartonkikoneilla saavutettu 5-15 % korkeampi kuiva-ainepitoisuus, joka vastaavasti on vähentänyt höyrynkulutusta kuivatusosalla 20-30 %. Kuiva-ainepitoisuuden kasvu riippuu merkittävästi puristinosan aikaisemmasta suorituskyvystä. (JRC 2015, 756)

Tavallisesti rainan lämpötila laskee puristinosalla, jolloin kuivatusosalla kuluu energiaa rainan uudelleenlämmittämiseen. Puristinosalta poistuvan rainan lämpötilan nosto 8°C:lla vähentää kuivatusosan höyrynkulutusta noin 4 prosenttia. Rainan lämpötilan nosto voidaan saavuttaa esimerkiksi nostamalla suihkuvesien lämpötilaa. (Kramer 2009, 102)

7.1.4 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotolla (LTO) on mahdollista vaikuttaa merkittävästi konelinjan energiatehokkuuteen. Kuivatusosalla on suurin lämmöntalteenottopotentiaali. Huuvasta talteen otetulla ilmalla lämmitetään ensin huuvan syöttöilmaa käyttämällä ilma-ilma-lämmönsiirtimiä, jonka jälkeen prosessivesiä lämmitetään ilma-vesi-lämmönsiirtimellä. Tällä pystytään säästää tuorehöyryn käyttöä merkittävästi. Kirjallisuudessa tyypillisesti esiintyvä arvo kuivatusosan potentiaaliselle lämmöntalteenotolle on noin 60%; loput lämmöstä poistuu poistoilman ja muiden häviöiden mukana. Lämmöntalteenotto on tehokkaimmillaan kylminä aikoina, jolloin lämmöntarve on suurimmillaan. (Karlsson 2010, 455)

Alipainejärjestelmän poistoilma voi saavuttaa jopa 160 °C:n lämpötilan, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi kuivatusosalla huuvan syöttöilman tai suihkuvesien lämmittämiseen. Tällä pystytään vähentämään höyryn käyttöä välittömästi. (JRC 2015, 134) Alipainejärjestelmän lämmöntalteenotolla on esimerkkitapauksessa saavutettu noin yhden megawatin säästöt prosessihöyryn käytössä suhteellisen pienellä takaisinmaksuajalla. (Sivill & Ahtila, 2009)

Uusilla teollisilla kuumalämpöpumpuilla on mahdollista tuottaa jopa 130°C:n lämpöä 15-20°C hukkalämmöstä. Metsäteollisuudessa näillä on mahdollista korvata primäärilämmön käyttöä esimerkiksi kuivatusosalla, jossa on saatavilla paljon

hukkalämpöä. (Motiva 2019) Kuumalämpöpumppujen kannattavuus riippuu kuitenkin suuresti sähkön hinnasta ja tehtaan rakenteesta, eikä ole välttämättä kannattavaa integroidussa tehtaassa (Lähteenaro 2019).

7.1.5 Muut

Höyryjärjestelmän putkien asianmukaisella eristämällä on mahdollista saavuttaa säästöjä höyrynkulutuksessa. Eristemateriaalien valinnassa on syytä kiinnittää huomiota alhaiseen lämmönjohtavuuteen, kykyyn vastustaa veden imeytymistä sekä palamista. Erityisesti tarkastusta ja käyttöä vaativien kohteiden, kuten venttiilien ja helojen, eristäminen irrotettavilla eristyksillä mahdollistaa lämpöhäviöiden pienentämisen, joka johtaa höyryn kulutuksen pienenemiseen estämättä niiden käyttöä. Myös eristysten kunnossapidolla on mahdollista vähentää höyryn käyttöä. (Kramer 2009, 49)

Alentuneen tuotantonopeuden aikana pystytään vähentämään energiankulutusta ajoteknisillä asioilla. Energiaa pystytään säästämään esimerkiksi huolehtimalla tarpeettomien sähkökäyttöjen, kuten pumppujen, sekoittimien ja puhaltimien pysäyttämistä, vähentämällä höyryn painetta, hyödyntämällä mahdollisesti saatavissa olevaa matalapaineista höyryä tehokkaasti sekä ylläpitämällä puristinosan nippien paineita mahdollisimman korkeina. Myös viiralta poistetun veden lämpötilan laskulla ja höyrylaatikoiden sulkemisella pystytään säästämään energiaa. (Reese 2009)

7.2 Ratkaisujen soveltuvuuden arvio kartonkikone 1:lle

Taulukossa 2 on esitettyinä kappaleessa 7.1 esitetyt tekniikat energian käytön tehostamiseen ja niiden soveltuvuus KA1:lle. Suurin osa läpikäydyistä tekniikoista on sovellettavissa KA1:lle muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.

Taulukko 2. Eri tekniikoiden soveltuvuus kartonkikone 1:lle

Tekniikka	Soveltuvuus KA1:lle
Korkean hyötysuhteen moottorit	Kyllä
Sähkökäyttöjen oikea mitoitus	Riippuvainen
Suihkuvesien lämpötilan nosto	Kyllä
Alipainejärjestelmän optimointi	Kyllä
Alipainejärjestelmän LTO	Kyllä
Huuvan ilmastoinnin optimointi, LTO:n optimointi	Kyllä
Kuumalämpöpumput	Riippuvainen
Putkien eristys	Kyllä
Ajotekniset asiat	Kyllä

Kartonkikone 1:n sähkökäytöt on uusittu alle viisi vuotta sitten, eikä uusien moottoreiden hankinta ole lähitulevaisuudessa välttämättä tarpeellista. Uusien sähkömoottoreiden hankinnoissa moottoreiden korkea hyötysuhde tulisi olla prioriteetti myös tulevaisuudessa. Energiatehokkailla moottoreilla on mahdollista saavuttaa säästöjä energiankulutuksessa koko niiden elinkaaren aikana. Usein paremman hyötysuhteen omaavan moottorin hankintahinta on korkeampi, mutta sähkömoottorin hankintahinta on vain noin 5 % sen muodostamasta elinkaarikustannuksista (ABB 2019).

Laitteiden oikea mitoitus voi olla haastavaa, etenkin jos laitetta joudutaan ajamaan suurella kuormalla vain osan ajasta. Myös tulevaisuuden kapasiteetinnousut voivat vaatia ylimitoitusta nykytilanteessa, vaikka laite toimisikin jatkossa oikealla alueella (Kuorelahti 2010). Järjestelmän yksilöllinen tarkastelu ja kohteiden tunnistus on tärkeää ylimitoituksia selvittäessä.

Kenkäpuristimen asentaminen kartonkikoneen puristinosalle parantaisi koneen energiätehokkuutta huomattavasti vähentäen kuivatusosan höyrynkäyttöä, riippuen puristinosan nykyisestä tehokkuudesta. Kenkäpuristimet ovat yleisesti asennettavissa kaikille koneille, eikä rajoittavia tekijöitä yleensä ole. Kenkäpuristimella myös koneen tuotantokapasiteettia olisi mahdollista nostaa, sillä kenkäpuristimella saavutettu kuiva-ainepitoisuuden nousu mahdollistaa yleensä ajonopeuden noston.

Alipainejärjestelmän ajotapa ja alipainetasojen optimointi olisi mahdollisesti helppo tapa pienentää energiankulutusta. Kartonkikone 1:llä ajetaan eri grammapainon omaavia lajeja, joten alipainejärjestelmän ajotavan tulisi vastata lajien tarpeita ja optimoida jokaiselle lajille erikseen.

Alipainejärjestelmässä kehittyvää hukkalämpöä talteenottamalla voidaan korvata suoria höyrykäyttöjä. Syöttämällä alipainejärjestelmässä syntyvää lämpöä huuvaan, tarvitsee syöttöilmaa lämmittää vähemmän lämmönsiirtimissä ja näin huuvasta talteenotettua lämpöä pystytään ohjaamaan esimerkiksi prosessivesien lämmitykseen. Tätä lämpöä voidaan myös käyttää suoraan prosessivesien lämmitykseen, jolloin esimerkiksi suihkuvesien lämpötilaa on mahdollista nostaa. Samalla pystytään nostamaan rainan lämpötilaa puristinosalla.

Huuvan LTO:n tehokkuuteen vaikuttaa huuvan poistoilman kosteus. LTO:n kannalta huuvan poistoilman kosteus tulisi olla mahdollisimman suuri, sillä kosteampi poistoilma sisältää enemmän energiaa ja lämpöä on mahdollista ottaa talteen enemmän. Tällöin huuvan ilmastoinnin optimointi on avainasemassa. Huuvan ilmastoinnin optimoinnissa tärkein on asettaa nollataso rainan sisään- ja ulostulokorkeudelle. Nollatasolla paine huuvan sisällä on sama kuin konesalissa. Säättämällä huuvan poisto- ja tuloilman määriä pystytään saavuttamaan haluttu kosteus. Tällöin myös huuvan eristys ja kylmien alueiden lämmittäminen on tärkeää, sillä kastepiste on korkeampi. (Öhman 2018)

Tarkastelemalla putkijärjestelmää, voidaan löytää kohteita, joita ei ole eristetty tai joiden eristys on puutteellinen. Samalla työturvallisuus kasvaa varsinkin kohteissa, joita ei ole eristetty ja joiden parissa joudutaan usein työskentelemään.

Laatimalla selkeät ohjeet ajotekniikoista esimerkiksi tarpeen suunnittelemtomien seisokkien aikana, pystytään vähentämään energiankulutusta. Jo olemassa olevat ohjeet on syytä käydä läpi ja analysoida järjestelmää mahdollisten parannuskohteiden löytämiseksi.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kartonkikoneiden energiatehokkuus on kehittynyt jatkuvasti viime vuosina ja sen parantamiseksi on tehty paljon suuria investointeja. Metsäteollisuuden energiankäytön ollessa suurta, energiatehokkuuden parantaminen metsäteollisuudessa on erittäin tärkeää, jotta EU:n asettamat energian käytön tehostamistavoitteet toteutuvat ja tehtaiden kilpailukykyä pystytään ylläpitämään. Myös kiristyvät päästörajoitukset ajavat energiatehokkuuden parantamista.

Kartonkikoneilla kulutetaan paljon sähkö- ja lämpöenergiaa, jota seurataan usein ominaiskulutuksilla, eli kuinka paljon energiaa kuluu tuotettua tonnia kohden. Eniten sähköä käytetään sähkökäyttöjen ajamiseen, alipainejärjestelmän ylläpitämiseen ja massanvalmistukseen. Lämpöenergiaa kulutetaan eniten kuivatusosalla.

Stora Enson toimintaa ohjaa resurssien tehokas käyttö ja omavaraisuus. Tehtailla tapahtuva kehitystyö perustuu jatkuvaan parantamiseen. Jatkuvalla parantamisella pyritään kasvattamaan energiatehokkuutta ja energiaomavaraisuutta. Stora Enso mittaa energiatehokkuutta ominaisenergiankulutuksilla ja projektoiduilla energiasäästöillä. Stora Enson Imatran tehtaiden kartonkikone 1:n energiatehokkuus on tällä hetkellä hyvällä tasolla koneen sähkö- ja lämpöenergian ominaiskulutusten ollessa kohtuullisen alhaiset verrattaessa SBS-kartonkia valmistavien koneiden ominaiskulutuksiin. Viime vuosina tehdyt investoinnit ovat parantaneet koneen energiatehokkuutta, erityisesti säädettävien foililaatikoiden asennus ja sähkökäyttöjen uusiminen ovat nostaneet osaltaan energiatehokkuutta huomattavasti.

Vaikka KA1:n energiatehokkuus on jo hyvällä tasolla, sitä on edelleen mahdollista parantaa. Energiankäytön kannalta tulevaisuuden investoinneissa järjestelmän kokonaisvaltainen arviointi, kohteiden yksilöllinen mittaus ja tarkastelu on avainasemassa, jotta päästään parhaisiin mahdollisiin lopputuloksiin. Helpoiten toteutettavissa olevia työssä mainittuja toimenpiteitä ovat ajoteknisten ohjeiden laatiminen tai läpikäynti, alipainejärjestelmän optimointi, putkijärjestelmän tarkastelu ja

asianmukainen eristys ja huuvan ilmaston sekä LTO:n optimointi. Nämä eivät vaadi erityisen kalliita laitehankintoja ja mahdollistavat energiankäytön tehostamisen. Suurimmat energiasäästöt on mahdollista saavuttaa puristinosan kenkäpuristimella sekä rainan lämpötilan nostolla, joka voidaan tehdä esimerkiksi nostamalla suihkuvesien lämpötilaa lämmön talteenoton avulla. Nämä vaativat kuitenkin suurempia investointeja, mutta mahdollistaisivat koneen nopeuden ja tuotantokapasiteetin noston.

LÄHTEET

2018/2002/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 30.5.2018 energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta. EUVL No:328, 21.12.2018.

ABB. 2019. Energiatehokas sähkömoottori leikkaa päästöjä. [Verkkoartikkeli] [Viitattu 20.4.2020] Saatavilla: <https://new.abb.com/news/fi/detail/24133/energiatehokas-sahkomoottori-leikkaa-paastoja>

ABB. 2020. Low voltage process performance motors. [Verkkodokumentti] [Viitattu 4.3.2020] Saatavilla: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105944&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Energiavirasto. 2020. Energiakatselmustoiminta [Verkkosivu] [Viitattu 27.2.2020] Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/energiakatselmukset>

Finlex. 2014. L 30.12.2014/1429. Energiatehokkuuslaki.

Hägglom-Ahnger, Ulla & Komulainen, Pekka, 2005. Kemiallinen metsäteollisuus: Paperin ja kartongin valmistus, 3. painos. Helsinki: Opetushallitus. 277s. ISBN 952-13-1746-9.

JRC. 2015. Best Available Techniques (BAT): Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. 1. painos. Luxemburg: Euroopan komissio. 906 s. ISBN 978-92-79-48167-3.

Karlsson, Markku. 2010. Papermaking Science and Technology: Papermaking, Part 2, Drying. 1. painos. Helsinki: Paperi ja Puu. ISBN 978-952-5216-37-0

Knowpap. 2011. Paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisjärjestelmä. [Verkkomateriaali] [Viitattu 13.1.2020] Sisäinen tietokanta.

Kramer Klaas Jan, Masanet Eric, Xu Tengfang & Worrel Ernst. 2009. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pulp and Paper Industry. [Verkkodokumentti] [Viitattu 3.3.2020] Saatavilla: https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf

Kuisma, Kari, Suominen Markku & Vakkilainen, Esa. 2004. Power Plant Energy Efficiency Analysis – An Effective Tool to Reduce Pulp and Paper Mill Energy Production Costs. Teoksessa: The Finnish Paper Engineers' Association, PulPaper 2004 Conferences. 1. painos. Helsinki. s. 45.

Kuorelahti, Jaana. 2011. Suomen paperiteollisuuden energiatehokkuuden seurantarpeet. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala. 75s.

Lähteenaro, Paavo. 2019. Kuumalämpöpumppujen sovelluskohteet ja potentiaali metsäteollisuudessa. Diplomityö. LUT-yliopisto, School of Energy Systems. 70s.

Laurijssen, Jobien. 2013. Energy use in the paper industry: An assessment of improvement potentials at different levels. Väitöskirja. Utrecht University, Kenniscentrum Papier en Karton. 168s.

Motiva. 2018. Energiatehokkuuden oheishyödyt yrityksissä. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 28.2.2020] Saatavilla: motiva.fi/files/15389/Energiatehokkuuden_oheishyodyt_yrityksissa.pdf

Motiva. 2019. Esiselvitys: Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 10.4.2020] Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf

Metsäteollisuus. 2019. Viisi faktaa metsäteollisuuden energiatehokkuudesta. [Verkkoartikkeli] [Viitattu 3.12.2019] Saatavilla:

<https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/energia-ja-ilmasto/energiatehokkuus/viisi-faktaa-metsateollisuuden-energiatehokkuudesta/>

Paldanius, Juha. 2004. Kartonkikoneen tuotannosuunnittelu jalostuslähtöisesti. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, kemiantekniikan osasto. 68s.

Pöyry. 2016. Suomen metsäteollisuus 2015-2035. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 22.1.2020] Saatavilla: <https://docplayer.fi/22653047-Suomen-metsateollisuus-2015-2035-19-tammikuuta-2016-loppuraportti-x304203.html>

Reese, Dick. 2009. Measuring Paper Machine Energy Performance. PaperCon09. 31.5.2009-3.6.2009. St. Louis, Missouri, Yhdysvallat. Tappi. [Konferenssiesitys] St. Louis, Missouri, Yhdysvallat. Tappi. [Viitattu 29.4.2020] Saatavilla: <https://www.tappi.org/content/events/09papercon/papers/reese2.pdf>

Sepsilva, 1997. Puusta paperiin: Kartonkikoneet. 1. painos. Vantaa: Sepsilva. 255s. ISBN 951-9309-79-9.

Siemens. 2018. Simotics GP, SD, XP & DP Low-Voltage Motors. [Verkkodokumentti] [Viitattu 4.3.2020] Saatavilla: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/197/109749197/att_955119/v1/simotics-gp-sd-xp-dp-catalogue-d-81-1-en-2018.pdf

Sivill, Leena & Ahtila, Pekka. 2002. Energy efficiency improvement of dryer section heat recovery systems in paper machines – A case study. Applied Thermal Engineering 2009, Vol. 29, nro 17-18. s. 3663-3668 [Lehtiartikkeli] [Viitattu 2.4.2020] Saatavilla: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00573483/document>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Teollisuuden energiankäyttö Liitetaulukko 2. Teollisuuden energiankäyttö toimialoittain vuonna 2018. [verkkajulkaisu] [Viitattu 18.1.2020]. Saatavilla: http://www.stat.fi/til/tene/2018/tene_2018_2019-11-01_tau_002_fi.html

Stora Enso. 2010. Tuotannon esittelymateriaali. Stora Enson sisäinen intranet.

Stora Enso. 2016. Stora Enso Imatran tehtaat. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 4.1.2020]
Saatavilla: <https://docplayer.fi/32323145-Stora-enso-imatran-tehtaat.html>

Stora Enso. 2019a. Stora Enso Investor kit. [Verkkajulkaisu] [viitattu 4.1.2020]
Saatavilla: https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Investor-relations/2019/Stora_Enso_investor_kit_.pdf

Stora Enso. 2019b. Historia [Verkkosivu] [Viitattu 4.1.2020] Saatavilla:
<https://www.storaenso.com/fi-FI/about-stora-enso/our-history>

Stora Enso. 2019c. Materials, water and energy. [Verkkoartikkeli] [Viitattu 29.4.2020]
Saatavilla: <https://www.storaenso.com/en/sustainability/environmental/materials-water-and-energy>

Stora Enso. 2020. Divisioonat. [Verkkosivu] [Viitattu 18.1.2020] Saatavilla:
<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-divisions>

Sweet, Doug. 2017. Papermaking Best Practices with Vacuum-Dewatering Systems: Part 1. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 21.4.2020] Saatavilla:
<https://paper360.tappi.org/2017/11/29/papermaking-best-practices-with-vacuum-dewatering-systems-part-1/>

Valmet. 2015. Energy efficiency solutions. [Verkkosivu] [Viitattu 25.1.2020] Saatavilla:
<https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sustainable-performance/energy-efficiency2/>

Öhman, Tommi. 2018. Improvement of Heat Recovery in the Paper Industry. Diplomityö. Åbo Akademi, Kemiantechniikan laitos. 63s.