

Energiankulutuksen ja lämmön talteenoton valvonta Cromi[®]-automaatiojärjestelmässä

UPM Savonlinnan vaneritehdas

Kari Jalkanen

Opinnäytetyö

| | |
|--|----------------------------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma | |
| Työn tekijä(t) Kari Jalkanen | |
| Työn nimi Energiankulutuksen ja lämmön talteenoton valvonta Cromi®-automaatiojärjestelmässä | |
| Päiväys 7.3.2013 | Sivumäärä/Liitteet 36/0 |
| Ohjaaja(t) Harri Heikura | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) UPM Savonlinnan vaneritehdas | |
| Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää energiankulutuksen ja lämmön talteenoton valvontaa UPM Savonlinnan vaneritehtaassa. Sen tarkoitus oli osoittaa, miten laajennettua automaatiojärjestelmää hyödyntäen voidaan arvioida lämmön talteenoton tehokkuutta ja helpottaa käyttökonekunnan työtä toisiinsa kytköksissä olevien lämpöenergiaprosessien hahmottamisessa ja seurannassa.</p> <p>Opinnäytetyön aikana muodostui kokonaisvaltainen käsitys tehtaan lämpöenergian käytöstä ja niistä muutostarpeista, joita energiankulutuksen valvonnan laajempi tehostaminen ja lämmön talteenoton optimointi vaatii. Työssä luotiin ratkaisumalleja, joiden avulla voidaan tarkemmin valvoa ja ohjata lämpöenergiavirtojen käyttäytymistä ja tuoda niiden reaaliaikaiset tiedot operaattorien seurattaviksi selvälukuisina vertailunäyttöinä jälkikäteen luettavien raporttien rinnalle.</p> | |
| Avainsanat energiankulutus, lämpöteho, lämpövirta, lämmön talteenotto, höyry, automaatiojärjestelmä | |
| | |

| | | | |
|---|----------|------------------|------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Automation Technology | | | |
| Author(s) Kari Jalkanen | | | |
| Title of Thesis Control of Energy Consumption and Heat Recovery in Cromi® Automation System | | | |
| Date | 7.3.2013 | Pages/Appendices | 36/0 |
| Supervisor(s) Harri Heikura | | | |
| Client Organisation/Partners UPM Savonlinna plywood mill | | | |
| <p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to develop the energy and heat recovery control at UPM Savonlinna plywood mill. Its purpose was to show how to estimate the efficiency of the heat recovery system using extended automation and to simplify operators work to shape and monitor with related thermal energy processes.</p> <p>During this thesis a comprehensive view of the use of thermal energy in the factory was gained with the necessary modifications to intensify the control of energy efficiency and to optimize heat recovery. The thesis created solutions which can be used to monitor and control the behaviour of thermal energy flow more precisely and bring clearly readable real-time information to the operators on the screen in addition to the reports which are printed later.</p> | | | |
| <p>Keywords energy consumption, thermal power, heat flow, heat recovery, steam, automation system</p> | | | |
| | | | |

LYHENTEET JA KÄSITTEET

| | |
|----------------------------|--|
| Cat6 (tiedonsiirto) | Gigabitin tiedonsiirtoverkoissa yleisesti käytetty parikaapelityyppi |
| Cromi [®] | Automaatiojärjestelmä(kokonaisuus); tuotemerkki |
| CNC | Computerized Numerical Control; tietokoneavusteinen numeerinen ohjaus |
| Hautomo, hautomoallas | Tukkipuiden lämmittämiseen ja pehmentämiseen tarkoitettu suurehko vesiallas |
| Höyrynjakokeskus | Höyryn jakeluun tarkoitettu lämpökeskus, jonne johdetusta päälinjasta höyry jaetaan käyttökohteisiin |
| Höyrynjakotukki, jakotukki | Höyryn jakamiseen tarkoitettu höyrylinjan osa, jossa on yksi sisääntuloliitäntä ja useita lähtöliitäntöjä |
| Höyryrajoitusmatriisi | Automaatiojärjestelmän sovellusosa, johon voidaan ohjelmoida höyryn käyttöä koskevia sääntöjä tai rajoituksia |
| Lämmön talteenotto | Toimenpide tai tapahtuma, jossa muutoin hyödyntämättä jäävästä lämpöenergiasta mahdollisimman suuri osa pyritään kierrättämään tai sitouttamaan toiseen aineeseen, yleensä veteen tai ilmaan |
| OPC (automaatio) | Object linking and embedding for Process Control; avoimen tiedonsiirron standardi; rajapinta, joka mahdollistaa eri valmistajien sovellusten liittämisen toisiinsa |
| Primäärihöyry | Tuorehöyry; höyry, joka tulee voimalaitoksesta käyttäjälle ja jota käytetään eri kohteissa lämpöenergiana |
| Vaneri | Ohuista viiluista kerroksittain liimaamalla koottu puulevytuote |
| Verkkokuivaaja, kuivaaja | Lämmitettyä ilmaa sisällään pyörittävä isokokoinen uuni, jota käytetään vanerin tuotantoprosessissa viilun kuivaukseen |
| Viilu | Puusta sorvattu tai leikattu ohut matto tai levy, jota käytetään esimerkiksi vanerin valmistukseen |

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 2 | VANERIN TUOTANTO SAVONLINNASSA | 8 |
| 2.1 | Vanerin tuotantoprosessi | 8 |
| 3 | ENERGIAN KÄYTTÖ TEHTAASSA..... | 11 |
| 3.1 | Energian hankinta | 11 |
| 3.2 | Lämpöenergian käyttö tehtaassa | 12 |
| 3.2.1 | Höyryn käyttö teoreettisesti..... | 12 |
| 3.2.2 | Lämpöenergian käyttö kohteissa | 13 |
| 3.2.3 | Lämmön talteenotto..... | 14 |
| 4 | CROMI®-AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ..... | 16 |
| 4.1 | Järjestelmän rakenne | 16 |
| 4.2 | Tiedonsiirto | 17 |
| 4.3 | Vakioitu toteutus..... | 18 |
| 4.4 | Energiakohteiden valvonta ja ohjaus..... | 18 |
| 5 | ENERGIANKULUTUKSEN VALVONNAN KEHITTÄMINEN | 21 |
| 5.1 | Energiankulutuksen valvonta nykytilassa | 21 |
| 5.2 | Ratkaisuja energiankulutuksen valvonnan kehittämiseksi | 22 |
| 5.2.1 | Lämmön talteenoton optimointi | 24 |
| 5.2.2 | Muutokset Cromi® -automaatiojärjestelmään | 27 |
| 5.2.3 | Hälytysrajat ja informatiivinen viestintä | 28 |
| 5.2.4 | Hälytysten ryhmittely | 30 |
| 5.2.5 | Höyrynrajoitusmatriisin optimointi | 30 |
| 5.3 | Lämmön talteenoton optimoinnin taloudellisia vaikutuksia | 31 |
| 5.4 | Energiankulutuksen valvonnan kehittämiseen liittyviä ongelmia..... | 31 |
| 6 | YHTEENVETO..... | 33 |
| | LÄHTEET | 35 |

1 JOHDANTO

UPM Savonlinnan vaneritehdas valmistaa pitkälle jalostettuja vanerituotteita yhdessä maailman nykyaikaisimmista vanerin tuotantoyksiköistä. Tehtaassa on tehty vuosina 2010–2012 laaja modernisointi, ns. "Muikku-projekti" automaation, tuotantolinjojen ja energiaratkaisujen osalta, jonka päämäärä on ollut parantaa yrityksen kilpailukykyä edelleen kiristyvillä maailmanmarkkinoilla. Tuotteiden korkean laadun ja tuotannon tehokkuuden lisäksi nykyajan teollisuudessa painottuu entistä enemmän ympäristö- ja ilmastotekijät, joissa energiatalous ja -tehokkuus ovat keskeisessä asemassa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää energiankulutuksen ja lämmön talteenoton valvontaa UPM Savonlinnan vaneritehtaassa. Sen tarkoitus oli osoittaa, miten laajennettua automaatiojärjestelmää hyödyntäen voidaan arvioida lämmön talteenoton tehokkuutta ja helpottaa käyttöhenkilökunnan työtä toisiinsa kytköksissä olevien lämpöenergiaprosessien hahmottamisessa ja seurannassa.

Opinnäytetyön aikana muodostui kokonaisvaltainen käsitys tehtaan lämpöenergian käytöstä ja niistä muutostarpeista, joita energiankulutuksen valvonnan laajempi tehostaminen ja lämmön talteenoton optimointi vaatii. Työssä luotiin ratkaisumalleja, joiden avulla voidaan tarkemmin valvoa ja ohjata lämpöenergiavirtojen käyttäytymistä ja tuoda niiden reaaliaikaiset tiedot operaattorien seurattaviksi selvälukuisina vertailunäyttöinä jälkikäteen luettavien raporttien rinnalle.

Olemassa olevan automaatiojärjestelmän pienillä muutoksilla ja lisäsovelluksilla voidaan valvoa ja ohjata lämmön talteenottotornien toimintaa ja vähentää vaneritehtaan lämpöenergiakustannuksia. Optimointi pienentää myös mahdollisuutta höyrytehon huippukulutuksen ylittämiseen. Lisäksi energiankulutuksen vähentyminen tuotettua vanerikuutiota kohti parantaa luonnollisesti tulosta ja tukee yleistä ympäristöajattelua.

2 VANERIN TUOTANTO SAVONLINNASSA

UPM Savonlinnan vaneritehtaan (myöh. tehdas) tarina alkaa vuodesta 1921, jolloin Oy Wilhelm Schauman Ab aloitti vanerin valmistuksen Savonlinnassa kysynnän lisääntyessä merkittävästi ensimmäisen maailmansodan jälkeen. Vuoden 1930 tulipalossa menetetty ja uudelleen rakennettu tehdas on tuottanut vuosikymmenien saatossa vanerin ohella rima- ja kuitulevyä, mutta jo 1970-luvulta lähtien tuotannon painopiste on siirtynyt vähitellen entistä jalostetumpiin vanerituotteisiin. Erinäisten yrityskauppojen ja -järjestelyiden kautta Savonlinnan vaneritehtaan omistajana on ollut 2004 lähtien UPM-Kymmene Wood Oy. Savonlinnan tehtaan merkittävä, vuonna 2012 valmistunut laajennus ja modernisointi ovat nostaneet sen osaksi UPM:n Biofore -konseptia, jossa energiatehokkuus ja ympäristön huomioiminen ovat keskeinen osa yritysstrategiaa. (UPM 2012a.)

UPM Savonlinnan Vaneritehdas työllistää vuonna 2012 noin 270 henkilöä. Tehtaassa on neljä sorvi- ja kuivaajalinjaa. Tuotanto koostuu pitkälle jalostetusta koivuvanerista pääasiassa ajoneuvo- ja kuljetusvälinesovelluksiin sekä rakentamiseen ja muihin teollisiin loppukäyttökohteisiin. Savonlinnan tehtaan tuotantokapasiteetti on noin 100 000 m³ vaneria vuodessa. (UPM 2012a.)

2.1 Vanerin tuotantoprosessi

Vanerin tuotanto alkaa materiaalin, tukkien tuonnista tehdasalueelle. Tukit siirretään hautomoaltaaseen (kuva 1), jossa ne lämpiävät ja pehmenevät 30–40 °C vedessä noin vuorokauden ennen seuraavia työvaiheita. Tukit nostetaan altaasta kuljettimelle, jonka alkumetreillä ne kulkevat kuorintakoneen läpi. Kuorintakone poistaa tukeista kuoren ja tasoittaa osaltaan niiden muotoa. (Koponen 2002, 29–34.)



Kuva 1. Tukkihautomoallas.

Kuorinnasta puut siirtyvät kuljettimella sahalle, jossa operaattori katkaisee tukit sorveille sopivaan, 50–60 tuuman tai 7 jalan mittaan. Sahalta pöllit siirtyvät kuljettimella sorviliinjoille jaettaviksi. Pöllit mitataan ja keskitetään sorvilla tavoitteena viilun maksimimäärän saanto. Sorvauksen alkukierroksilla tukki tasoittuu pyöreäksi, jonka jälkeen siitä sorvataan 1,6 millimetrin viilua keskimäärin 30 metriä tukkia kohti. Sorvauksesta jäljelle jäävä, halkaisijaltaan alle 60 millimetrin purilas pudotetaan sorvin kynsistä alapuolen kuljettimelle edelleen haketettavaksi. (Koponen 2002, 35–41.)

Sorvauksen tuloksena syntyvä viilu asettuu sorvin terältä suoraan kuljetintasolle, joka ohjaa sen alapuolella olevaan kuivaajaan. Verkkokuivaaja (kuva 2) on eristetty, verkkokuljettimilla varustettu kiertoilmauuni, jossa viilumatot toisensa perään kiertävät useassa tasossa edestakaisin. Kuivaajan kymmenillä puhaltimilla kierrätettävä ja verkkokuljetintasoja ympäröivien suutinlaatikoiden läpi viiluun ohjattava, lähes 200 °C ilma poistavat viilusta hallitusti kosteutta. Lopulta kuivatettu viilu jäähdytetään verkkokuivaajan alaosassa. (Koponen 2002, 53–54.)



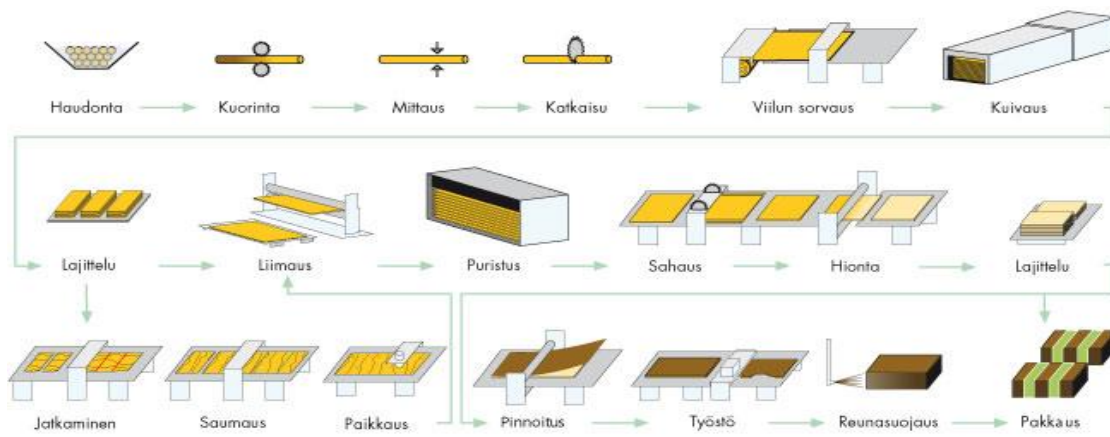
Kuva 2. Verkkokuivaaja.

Kuivaajasta poistuva viilu etenee katkaisu- ja lajittelulinjalle, jossa viilumatto hyödynnetään optimaalisesti sen pituus ja virheet huomioiden ja lajitellaan käyttötarkoituksel-

taan sopiviin pinoihin mittojensa ja laatunsa perusteella. Osa viiluista siirtyy saumauslinjalle, jossa hyvälaatuiset, mutta kapeat viilut hyödynnetään saumaamalla ne liimanauhalla käyttökelpoiseen kokoon. Jatkamislinjalla taas viilun syysuuntaa saadaan muutettua jatkamalla niitä sivuista vinoliitoksella. Paikkauslinjalla muutoin käyttökelpoinen viilu paikataan korvaamalla poistettu virhekohta tarkasti mitoitettulla, ehjällä viilupaikalla. (Koponen 2002, 56–62.)

Erityyppiset ja -kokoiset, lajitellut viilupinot kuljetetaan ladonta-asemille vanerin liimaukseen. Ladontayksiköt siirtävät vuoroin kuivan ja liimapintaisen viilun sekä pinta-viilut ohjelmoidusti pinoon, jonka jälkeen kaikki vanerivariaatiot paksuudesta riippumatta päätyvät puristimiin. Ensin esipuristus tiivistää aaltoilevat viilupinot käyttökelpoiseen puristinpaksuuteen ja poistaa väleistä ilman. Lopulta kompaktit ahiot siirretään lämpöpuristukseen, jossa liima kuivuu ja viilut kiinnittyvät toisiinsa lopullisesti. (Koponen 2002, 68–69.)

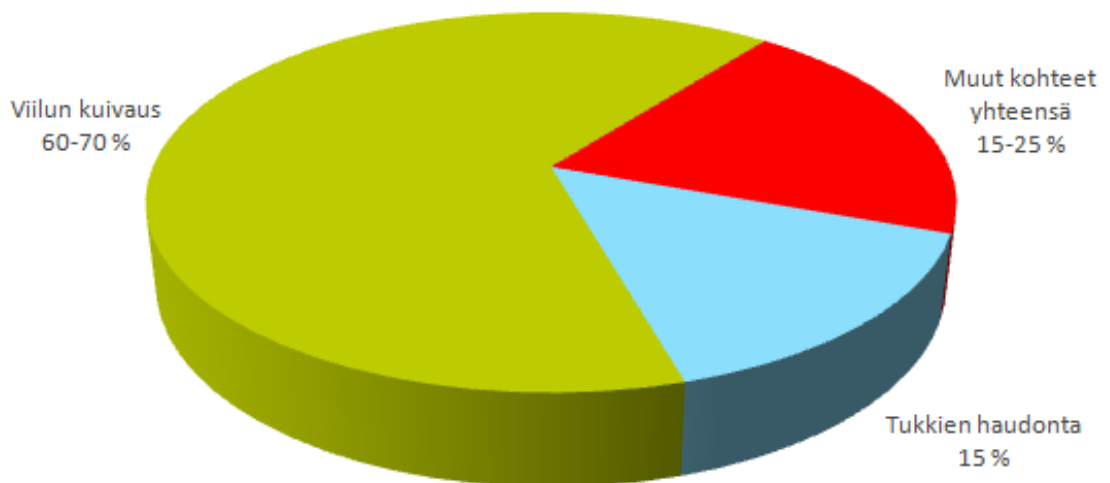
Viimeistelylinjalla vanerin reunat tasataan ja pinnat hiotaan. Suuri osa vanereista päätyy pinnoitukseen, jossa perusvanerin pinnat päällystetään erityyppisillä pinnoitteilla käyttötarkoituksen mukaan. Lähes kaikkien vanerilevyjen sivupinnat suojataan reunamaalauksella, joka hidastaa kosteuden vaikutusta rakenteeseen. Erityisellä jatkolinjalla peruskokoisesta vanerista voidaan valmistaa erikoispitkiä vanereita määrättyihin käyttötarkoituksiin, esimerkiksi kuljetussovelluksiin. Jatkolinjalla valmistettavat vanerit myös pinnoitetaan samalla osastolla. Osa vanereista päätyy CNC -linjalle, jossa niihin koneistetaan räätälöityjä muotoja tai lävistyksiä eri tarkoituksiin käyttäjän tarpeen perusteella. Valmistuksen jälkeen logistiikka pakkaa ja varastoi tuotteet väliaikaisesti ja lopulta erityyppiset vanerivalmisteet lähtevät tehtaasta loppukäyttäjille. Vanerin tuotantoprosessin vaiheet näkyvät kuvassa 3. (Koponen 2002, 74–75.)



Kuva 3. Vanerin tuotantoprosessi (UPM 2012b).

3 ENERGIAN KÄYTTÖ TEHTAASSA

Vanerinvalmistusprosessi tarvitsee huomattavan määrän energiaa tuotannon eri vaiheissa. Tehtaan energiankulutus koostuu lämpö- ja sähköenergiasta. Lämpöenergia käsittää höyryn ja lauhteen käytön lämmönsiirrinten avulla lämpöä vaativissa kohteissa. Suurin osa lämpöenergiasta kuluu tukkihautomon allasveden lämmitykseen ja tukista sorvatus viulun kuivaukseen (kuva 4). Lisäksi sitä käytetään vanerin tuotantoprosessiin liittyvien liimauspuristimien lämmitykseen sekä tehtaan sisäilman ja käyttöveden lämmitykseen. Sähköenergiaa puolestaan kuluu käytettäessä lukuisia moottoreita, joita on pumpuissa, puhaltimissa, kompressoreissa ja muissa koneissa, kuten sorveissa ja hakkureissa. Sähköä kuluttavat myös tuotantolinjojen kuljettimet ja kiinteistökohteet, kuten valaistus ja autonlämmitys.



Kuva 4. Lämpöenergiakohteiden käyttämä osuus vaneritehtaassa käytettävästä kokonaislämpöenergiasta (Koponen 2002, 31, 55).

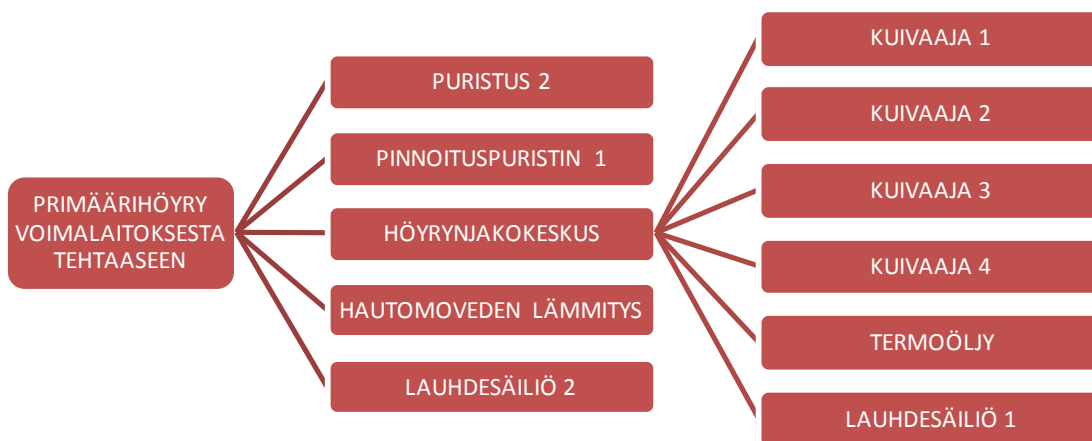
3.1 Energian hankinta

Tehtaassa tarvittava lämpöenergia saadaan tehtaan vieressä olevan voimalaitoksen tuottamasta höyrystä. Tehtaaseen johdettava primäärihöyry on 18 barin paineessa ja sen lämpötila on noin 240°C (UPM 2012c). Voimalaitoksen tehtaaseen toimittama höyryteho on 20 megawattia. Höyryenergian käyttö synnyttää lauhdetta, jota voidaan hyödyntää kierrättämällä sitä soveltuviissa kohteissa. Lopulta lauhide palautuu voimalaitokselle uuden höyrytuotannon syöttövedeksi. (Käyhkö 2012.)

Tehtaan sähköenergian syötöstä huolehtii 20 kilovoltin välijännitekojeisto. Se jakaa sähköenergian viidelle muuntajalle ja edelleen tehtaan käyttöön 690 voltin ja 400 voltin jännitteillä. (Käyhkö 2012.)

3.2 Lämpöenergian käyttö tehtaassa

Höyryn siirtyessä runkoputkessa voimalaitoksesta tehtaaseen osa siitä johdetaan korkeapaineisena suoraan kahdelle puristimelle ja hautomovettä lämmittävään lämmönvaihtimeen sekä lauhdesäiliöön 2. Muu osa höyrystä siirtyy höyryjakokeskukseen, jossa sen lämpötilaa ja painetta voidaan säätää ruiskutusvedellä. Höyrykeskuksessa primäärihöyry ohjataan höyryjakotukkiin, joka jakaa höyryn kuivaajien lämmönvaihtimille. Jakotukista on lisäksi linjalähdöt jalostusosasto 1:n termoöljylämmönvaihtimelle sekä lauhdesäiliöön 1. Höyryn ohjaus kohteisiin on esitelty kaaviomaisesti kuvassa 5. (UPM 2012c.)



Kuva 5. Primäärihöyryn ohjaus lämpöenergiakohteisiin.

3.2.1 Höyryn käyttö teoreettisesti

Höyryn virratessa lämmönvaihtimeen lämpöenergiaa siirtyy ensiöpuolen kuumemmasta höyryvirrasta lämmönvaihtimen pintojen kautta sen toisiopuolella kierrätettävään kylmempään aineeseen, jonka seurauksena höyryn lämpötila laskee. Määrätyspisteessä lämpötilan lasku saa aikaan olomuodon muutoksen, jolloin höyry lauhtuu eli tiivistyy vedeksi. Itse faasi- eli olomuodon muutokseen osallistuvan aineen lämpötila ei täsmälleen muutoshetkellä muutu. Vesihöyryn nesteytyessä energiaa vapautuu veden höyrystymislämmön verran. Koska tapahtuma on höyrystymiseen nähden käänteinen, onkin lauhtumisen yhteydessä kuvaavampaa puhua tiivistymislämmöstä. (Lehto & Luoma 2002, 58–59.)

3.2.2 Lämpöenergian käyttö kohteissa

Lähes kaikissa kohteissa höyryn sisältämää lämpöenergiaa siirretään kohteiden käyttöön lämmönvaihdinten avulla. Poikkeuksena ovat lauhdesäiliöt 1 ja 2, joissa tuorehöyryvirralla voidaan tarvittaessa nostaa säiliöiden painetta ja siinä olevan lauhteen lämpötilaa. Näin saadaan optimoitua lauhteen käyttö jatkokierrätyksessä ja palautettua se voimalaitokselle riittävän korkeassa lämpötilassa. (Käyhkö 2012.)

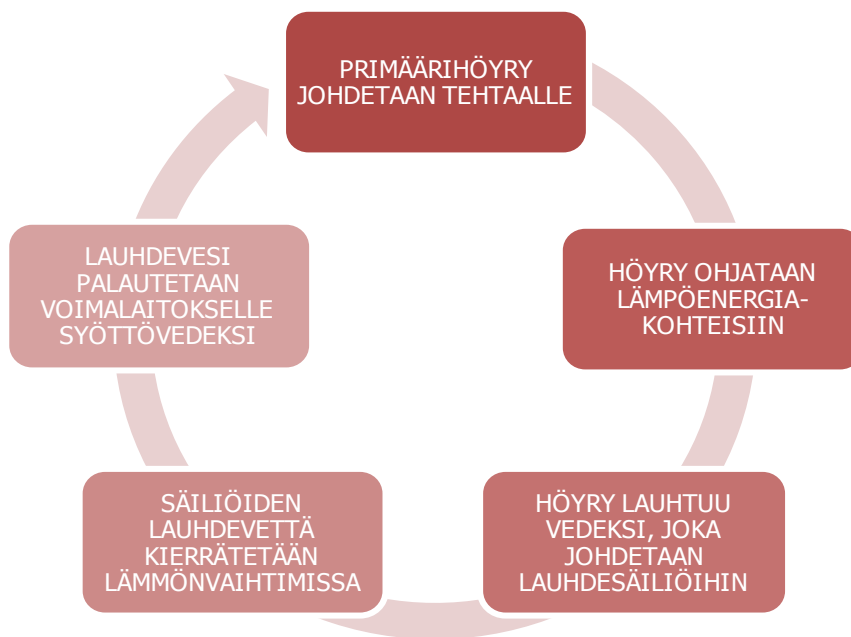
Kuivaajat on jaettu rakenteellisesti kymmeneen poikittaisiin lohkoihin, joissa puhaltimet kierrättävät ilmaa. Höyryjakokeskuksesta lähtevät linjat jakavat höyryn kuivaajien lohko-kohtaisiin lämmönvaihtimiin, joiden kautta siirtyy lämpöenergiaa toisiopuolella kiertävään ilmaan. Osa lämmitetystä kiertoilmasta johdetaan kuivaajassa pitkittäin, useassa kerroksessa kulkevan vastasorvatun viilumaton kautta lämmön kuivaajan yläosaan ja edelleen talteenottotorneihin mukanaan viilusta poistunutta kosteutta. Jalostusosaston 1 lämmönvaihtimen toisiopuolella kiertää termoöljy, jota käytetään yksikön jatkamis- ja pinnoituspuristimien lämmitykseen. Muiden primäärihöyryä käyttävien puristimien lämmönvaihtimien toisiopuolella kiertää vesi. (Käyhkö 2012.)



Kuva 6. Lauhdesäiliö 1.

Höyryä käyttävien kohteiden lämmönvaihtimissa lauhde erottuu höyrystä erillisten lauhteenpoistimien kautta omaan kanavaansa, josta se johdetaan lauhdesäiliöihin.

Höyryä käyttävistä puristimista lauhdevesi johdetaan 12 m³:n lauhdesäiliöön 2, jossa sisälämpötila on 170 °C ja optimipaine 6 bar. Kuivaajien lämmönvaihtimista poistuva lauhde ohjataan lauhdehuoneen säiliöihin. Kuivaajien ylösajon tai muun normaaliajasta poikkeavan vaiheen aikana syntyvä viileämpi, alle 100 °C lauhde johdetaan ensin erilliseen normaalipaineiseen 0,8 m³:n lauhdesäiliöön 3. Lämpötilan noustessa yli raja-arvon, automaatiojärjestelmä ohjaa tulevan lauhteen venttiileillä 16 m³:n lauhdesäiliöön 1, jonka optimilämpötila ja -paine ovat 165 °C ja 6 bar (kuva 6). Lauhdesäiliöstä 1 pumpataan lauhdetta kiertoon, johon lauhdesäiliön 2 lauhdevesi yhtyy. Lauhdevesikierto siirtää ja luovuttaa lämpöä tuotannon kolmelle puristimelle sekä tehdaskiinteistön ja käyttöveden lämmitykseen. Koska tehtaan höyryverkko on ikään kuin voimalaitoksen suljettu piiri (kuva 7), pumpataan lauhdevesi lopulta voimalaitokselle uuden höyrytuotannon syöttövedeksi mahdollisimman pienin häviöin. (Käyhkö 2012; UPM 2012c.)



Kuva 7. Lämpöenergian kiertokulku tehtaassa.

3.2.3 Lämmön talteenotto

Viilun kuivauksen tuloksena syntyy valtava määrä kuivaajasta ulos poistettavaa kostea ilmaa, jonka lämpöenergisäily on lähes sama kuin kuivaajaan johdettu lämpömäärä. Tätä seikkaa silmälläpitäen tehtaan katolla on kolme lämmön talteenotto-tornia (kuva 8), joiden avulla pyritään hyödyntämään mahdollisimman suuri osa viilunkuivausprosessin lämpöenergiasta. Yhteen torneista ohjataan kuivaajien 1 ja 2 poistoilma ja kuivaajien 3 ja 4 poistoilmalle on omat torninsa. (Käyhkö 2012.)

Kun kuivaajista poistuva ilma kulkee tornien läpi, sen sekaan suihkutetaan vettä, johon mahdollisimman suuri osa poistoilman sisältämästä lämpöenergiasta on tarkoitus sitoutua. Tämä vesi taas on peräisin tukkihautomon altaasta, josta se nostetaan pumppujen avulla torniin suihkutettavaksi ja tornin keräilyaltaan pohjalta se palaa lämpöä vastaanottaneena takaisin kohti hautomoallasta. Hautomoveden optimilämpötila altaassa oleville tukeille on työturvallisuus huomioiden noin 30–40 °C. Ulkona olevassa, osittain avonaisessa altaassa veden lämpötila laskee kuitenkin kylmänä vuodenaikana tukkeja lisätessä nopeasti, joten sen jatkuva lämmitys on välttämätöntä. Allasveden lämmitysprosessin kuluja minimoidessa lämmön talteenottotorneilla on merkittävä vaikutus ja siksi tornien käytön optimointi kuivaajien jäännösenenergiavirran mukaan on erityisen oleellista. (Käyhkö 2012.)



Kuva 8. Lämmön talteenottotorneja tehtaan katolla.

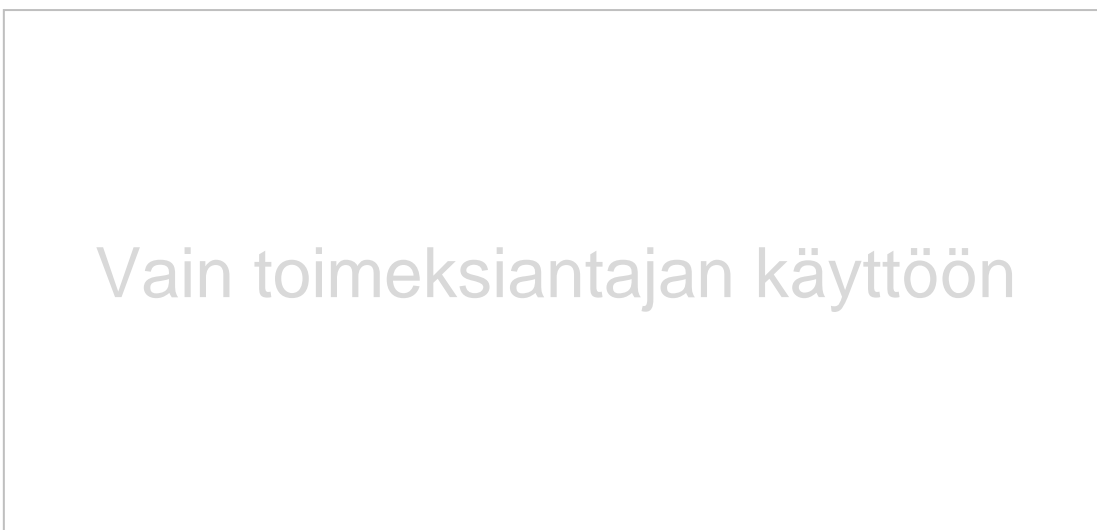
Vaikka lämmön talteenottotorneihin suihkutettu hautomovesi on sitonut poistoilmasta itseensä lämpöenergiaa ja laskenut poistoilman lämpötilaa, siinä on kuitenkin vielä energiaa luovutettavaksi. Tämän vuoksi kaikkien kolmen tornin poistoilmakanavat johtavat ilma-ilma -lämmönvaihtimeen, jossa kuivaajien poistoilmaa voidaan hyödyntää edelleen. Lämmönvaihtimessa ensiöpuolen läpi johdetaan tornien poistoilma ja toisiopuolella kierrätetään kiinteistön paikallista sisäilmaa. Lämpimänä vuodenaikana tämä on tarpeetonta ja silloin torneista poistuva ilma ohjataan ilma-ilma -lämmönvaihtimen sijasta suoraan ulkoilmaan. (Käyhkö 2012.)

4 CROMI®-AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Modernisoinnin myötä tehtaassa on keskeisenä automaatiojärjestelmänä ethernet-pohjainen Cromi®, jonka piirissä ovat höyry- ja lauhdeprosessit sekä lämmön talteenotto ja kiinteistön toiminnot. Cromi® on järjestelmäkokonaisuus, joka koostuu Sixnet®-moduuleista sekä hardware-määrittelyyn ja sovellussuunnitteluun käytettävistä Sixnet I/O Tool Kit®- ja ISaGRAF® -sovelluksista. Käyttöjärjestelmänä ja tiedonkeruuhjelmistona Cromissa® toimii Ignition® -valvomosovellus. (Cromi® 2012a.)

4.1 Järjestelmän rakenne

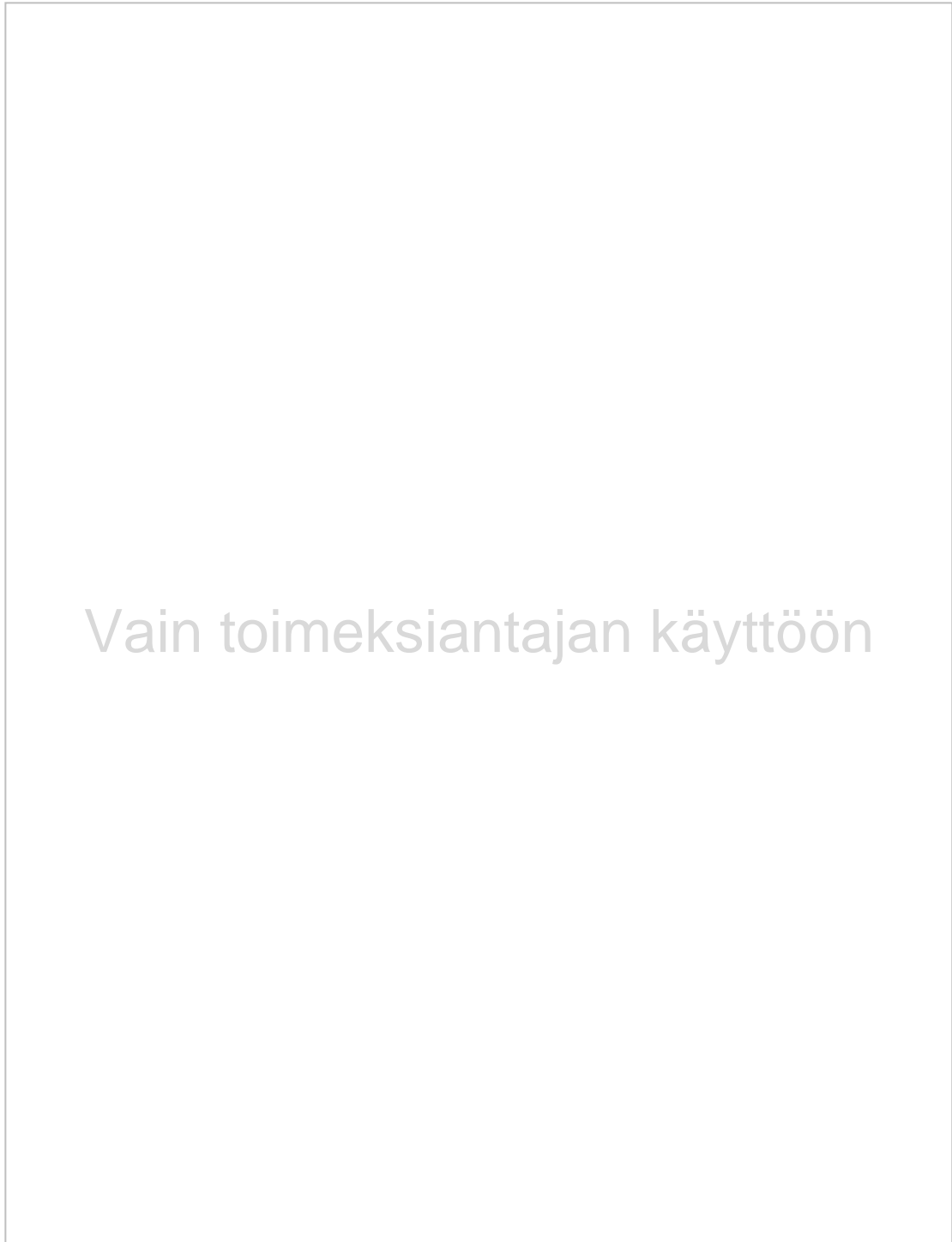
Cromi® on hajautettu automaatiojärjestelmä, jonka komponentit sijoittuvat tehtaassa eri tiloihin (kuva 9). Automaatiotilaan on sijoitettu kaksi järjestelmäprosessoria, joista toinen suorittaa höyry- ja lauhdeprosessin automaation laskentaa ja toisen vastuulla on kiinteistöautomaatio. Samassa tilassa on palvelin, joka ylläpitää valvomosovellusta sekä kehitysoasema, jolla sovelluksiin päästään tarvittaessa tekemään muutoksia. Kytkimillä ohjataan automaation toiminnallista liikennettä verkossa. Lisäksi tilaan on sijoitettu ABB COM 600 -valvomo-ohjelmisto. Kenttäkotelot sijaitsevat nimensä mukaisesti hajautettuna kentällä, instrumentoinnin läheisyydessä. Kenttäkoteloissa ovat niiden lähialueen instrumentteihin ja säätötekniisiin kokonaisuuksiin liittyvät, suoraan tulevat automaatiojärjestelmäkomponentit, kuten virtalähteet, I/O-moduulit ja näiden keskinäinen kaapelointi. Kenttäkoteloista on mittaus- ja ohjauskytkennät kenttäalueen instrumenteille sekä tiedonsiirtoyhteys tehdasverkon aliverkossa automaatiojärjestelmän prosessoreihin ja edelleen sovelluksiin. (Käyhkö 2012.)



Kuva 9. Cromi®-automaatiojärjestelmän hajautettu rakenne (Cromi® 2012b).

4.2 Tiedonsiirto

Automaatiojärjestelmä käyttää tiedonsiirtoon tehtaan modernisoinnin yhteydessä laajennettua nopeaa tietoverkkoa. Tehdaskiinteistön levittäytyessä eri rakennuksineen ja pitkin välimatkoineen laajalle alueelle, verkko rakentuu valokuidusta ja Cat6-kategorian verkkokaapelista (kuva 10).



Kuva 10. Tehtaan tietoverkon rakenne (Pylvänen 2010).

Verkko jakautuu toiminnallisesti toimisto- ja tuotantotason aliverkkoihin, jolloin kuhunkin alueeseen liittyvä tietoliikenne kuormittaa vain kyseistä aliverkkoa eikä eri tarkoituksiin käytettävä tiedonsiirto sekoitu keskenään. Näin esimerkiksi toimistojen työasemat ja vaikkapa tuotannon valvontaan käytettävät verkkokamerat toimivat omilla aliverkoissaan. Tietoverkko on luonnollisesti lähes rajattomasti laajennettavissa ja muokattavissa tarpeen muuttuessa. Rakenteestaan johtuen automaatiojärjestelmä on avoin ja sen valvontaan tai ohjaukseen tarvitaan vain verkkoon kytketty tietokone. (Käyhkö 2012.)

4.3 Vakioitu toteutus

Cromi[®] -automaatiojärjestelmää rakennettaessa on käytetty mahdollisimman vakioitua komponenttitoiteutusta. Tämä tarkoittaa esimerkiksi yhteneväisten vakiovirtalähteiden ja I/O-moduulien käyttöä riippumatta aktiivisina olevien kytkentöjen määrästä. Tällä pyritään osaltaan helpottamaan kunnossapitoa ja toisaalta varaosakomponenttien varastoylläpito yksinkertaistuu vähentäen samalla kokonaiskustannuksia. (Käyhkö 2012.)

4.4 Energiakohteiden valvonta ja ohjaus

Cromi[®] -automaatiojärjestelmän valvontaympäristö rakentuu päivittyvistä kaavionäytöistä hälytyslistoineen ja aktivoitavine trendi-ikkunoineen. Järjestelmän pääsivu antaa yleiskuvan lämpöenergiaprosessista. Muita keskeisiä valvomonäyttöjä lämpöenergiankulutuksen kannalta ovat höyryjakokeskus, kuivaajat, lauhdejärjestelmä ja lämmön talteenotto. Näytöissä on jonkun verran informaation päällekkäisyyttä, jolloin toisiinsa selkeästi kytköksissä olevat toiminnot ja päämuuttujat voi nähdä yhdellä kertaa näyttöä muuttamatta. Sähköverkon valvomonäyttöön tiedot päivittyvät ABB COM600 -laite- ja sovelluskokonaisuudesta. (Cromi[®] 2012b; ABB 2011.)

Höyrykeskusnäyttö (kuva 11) antaa tiedot tehtaaseen tulevan primäärihöyryn ominaisuuksista. Järjestelmä säättää runkolinjan paineen ja lämpötilan perusteella jäähdytysvesiventtiiliä, jotta höyryn paine saadaan ennen jakotukkia optimoitua kuivaajissa käytössä olevalle, noin 14 barin tasolle. Tästä poiketen höyryn käyttöpaine kuivaajassa 1 on 13 baria, jonka vuoksi linjan alussa on vielä erillinen paineenalennusventtiili. Jakotukista lähtevien kuivaajalinjojen virtauksien säätö tapahtuu kuivaajien lämpötilan perusteella. Kaikista jakotukin lähtölinjoista ovat näkyvissä paine-, lämpötila- ja virtaustiedot sekä sulku- ja säätöventtiilien asentotiedot. (Cromi[®] 2012b.)

Vain toimeksiantajan käyttöön

Kuva 11. Höyrynjakokeskuksen valvomonäyttö Cromi® -automaatiojärjestelmässä (Cromi® 2012b).

Kuivaajanäytöissä näkyvät kuhunkin kuivaajaan tulevan höyryn ominaisuudet ja höyryvirtauksia ohjaavien säätöventtiilien asentotiedot sekä kuivaajan verkkotasojen nopeustieto ja puhaltimien käyntitiedot. Tulevan höyryn virtausnopeutta ohjataan kuivaajan sisälämpötilatiedon perusteella. Kuivaajan sisäkosteusanturin mittaustiedon perusteella ohjataan poistoilmakanavan säätöpeltiä sisäkosteuden hallitsemiseksi. Sekä kuivaajan sisäkosteustieto että säätöpellin asentotieto näkyvät kuivaajanäytöissä. (Cromi® 2012b.)

Lauhdejärjestelmän valvomonäyttö näyttää lauhdesäiliöiden pinnankorkeuden, paineen ja lämpötilan. Mittausten perusteella automaatiojärjestelmä ohjaa tarvittaessa primäärihöyryventtiiliä lauhteen lämpötilan nostamiseksi. Se ohjaa myös pumppuja, jotka tilatietojen perusteella siirtävät lauhdevettä säiliöstä toiseen ja lopulta takaisin voimalaitokselle. Lisäksi järjestelmällä ohjataan lauhdevesikierron pumppuja. (Cromi® 2012b.)

Lämmön talteenoton valvomonäyttö (kuva 12) kuvaa tornien toimintaa ja siinä näkyy torneihin tulevan ja lähtevän poistoilman lämpötila sekä torneihin suihkutettavan hautomoveden lämpötila tulo- ja lähtölinjoista. Torneista poistuvan ilman lämpötilatiedot ovat myös tärkeä turvallisuustekijä. Automaatiojärjestelmä ohjaa lämpötilatietojen perusteella erillisiä raakavesilinjoja, joiden venttiileillä voidaan ohjata jäähdytysvettä torneihin mahdollisessa ylikuumenemistilanteessa. (Cromi® 2012b; Käyhkö 2012.)



Vain toimeksiantajan käyttöön

Kuva 12. Lämmön talteenoton valvomonäyttö Cromi[®] -automaatiojärjestelmässä (Cromi[®] 2012b).

20 kilovoltin välijännitekojeistosta on valokuitukaapeliyhteys automaatiotilaan, jossa ABB COM600 -valvontaohjelmisto kerää sähköverkon tila- ja mittaustiedot REF615-kennoterminaaleista ja siirtää ne edelleen OPC -standardirajapinnan kautta osaksi Cromi[®] -automaatiojärjestelmää (kuva 13). Tämä mahdollistaa sähköverkon valvonnan muun järjestelmävalvonnan osana, jolloin sähköverkon valvomosovelluksen omaa käyttöliittymää ei ole välttämätöntä erikseen avata ja käyttää. (ABB 2011.)



Vain toimeksiantajan käyttöön

Kuva 13. Tehtaan sähköverkon suojaus-, ohjaus- ja valvontakomponentit sekä yhteydet automaatiojärjestelmään (ABB 2011).

5 ENERGIANKULUTUKSEN VALVONNAN KEHITTÄMINEN

Muikku-projektin myötä tehtaassa on kattavat komponentit energiavirtojen tehokasta seuranta ja optimointia varten. Laaja automaatiojärjestelmälaajennus antaa mahdollisuuden valvoa höyrynkulutusta ja lämmön talteenottoa reaaliajassa sekä ohjata ja priorisoida toimintoja hyvin tarkasti. Samassa valvomoympäristössä saadaan helposti näkyviin myös sähköenergian analysointi kulutusmittauksineen ja tehokertoimineen sekä tarkka, reaaliaikainen informaatio sähkökäytön häiriötilanteista. Kaikki tämä vaatii kuitenkin automaatiojärjestelmän ja sen valvomotyökalujen rohkeaa hyödyntämistä, optimointia ja oikeaa kohdistamista sekä käytönaikaista reagointia raja-arvojen ylityksiin ja hälytyksiin niin järjestelmältä kuin käyttöhenkilökunnaltakin.

5.1 Energiankulutuksen valvonta nykytilassa

Höyryn ja lauhteen käyttöä valvotaan ja ohjataan Cromi® -automaatiojärjestelmällä aiemman kuvauksen mukaisesti. Kuivaajille menevän höyryn määrää ohjataan yksilöllisesti kuivaajien sisälämpötilan perusteella. Koska höyrytehon maksimi on 20 megawattia, on käyttökohteissa paikallisia rajoituksia höyrynkulutuksen suhteen. Kuivaajan ajoprosessissa on vaiheita, joissa kuivaaja voi kuluttaa höyryä runsaasti yli tavanomaisen määrän ja höyryn kulutuksen huippu saatetaan saavuttaa tahattomasti ilman rajoitusta. Automaatiojärjestelmä rajoittaa höyryn virtausta kuivaajakohtaisesti kokonaiskulutuksesta riippumatta. Lisäksi järjestelmään on rakennettu kokonaiskulutusta valvova höyrynrajoitusmatriisi, jossa lämpöenergiakohteiden ennalta ohjelmoidut ohjausarvot voidaan aktivoida. Aktivointi on mahdollista tehdä mielivaltaisesti ja matriisissa voidaan priorisoida eri kohteet tärkeysjärjestykseen. Lisäksi matriisiin on asetettavissa kohdekohtaiset viiveet höyrynrajoituksen aktivoinnin ja deaktivoinnin ohjaukseen. Matriisissa on taulukoituna primäärihöyrykohteet eli neljä kuivaajaa, puristus 2, pinnoituspuristin 1, hautomoveden lämmönvaihdin, lauhdesäiliöt 1 ja 2 sekä termoöljylinja. Kuivaajien osuus tehtaan höyrynkulutuksesta on merkittävin. Höyrynrajoituksen aktivoiduttua kuivaajien sisälämpötilan asetusarvoa lasketaan, jolloin automaatiojärjestelmä alkaa pienentää linjakohtaista höyrynsyöttöä. Höyrynrajoitusmatriisi ei ole normaalisti käytössä. (Hakanen, Rantasalo & Karjalainen 2012.)

Tukkihautomolla olevat pumput työntävät hautomovettä torneihin, joissa se suihkuteetaan pisaroina lämpimän poistoilman joukkoon. Kahdesta pumpusta toinen pumppaa vettä torneihin 1/2 ja 4, joihin tulee siis yhteensä kolmen kuivaajan poistoilman lämpöenergia. Toinen pumppu nostaa veden torniin 3, johon poistuu yhden kuivaajan

jäännöslämpö. 55 kilowatin pumppuihin on kytkettyinä taajuusmuuttajat, joita käytetään toistaiseksi vain käynnistyksissä. Tukkihautomolta on lisäksi kiertovesilinja ns. pumppuhuoneelle, jossa hautomoaltaan vettä lämmitetään lämmönvaihtimessa höyryllä. Hautomovesi kiertää altaan ja pumppuhuoneen välillä niin ikään 55 kilowatin pumpun turvin, jonka käynnistys ja sammutus ohjataan käsin. Lämmönvaihtimen tarkoitus on olla lähinnä varajärjestelmänä lämmön talteenottotornien rinnalla sekä toisaalta ylläpitää hautomoaltaan veden minimilämpötila silloin, kun kuivaajat eivät ole käynnissä. (Käyhkö 2012.)

Käytännössä automaatiojärjestelmän valvonta niin energiankulutuksen kuin muidenkin muuttujien osalta on käyttäjien käsissä. Järjestelmä antaa valvomonäytöissään paljon informaatiota, mutta tietojen runsauden ja monimuotoisuuden joukosta saattaa olla vaikea hahmottaa asioiden yhteyksiä toisiinsa. Siksi on järkevää, että reaaliaikaisen toimintojen seuranta ja häiriötilanteisiin reagointia voidaan selkeyttää ja priorisoida.

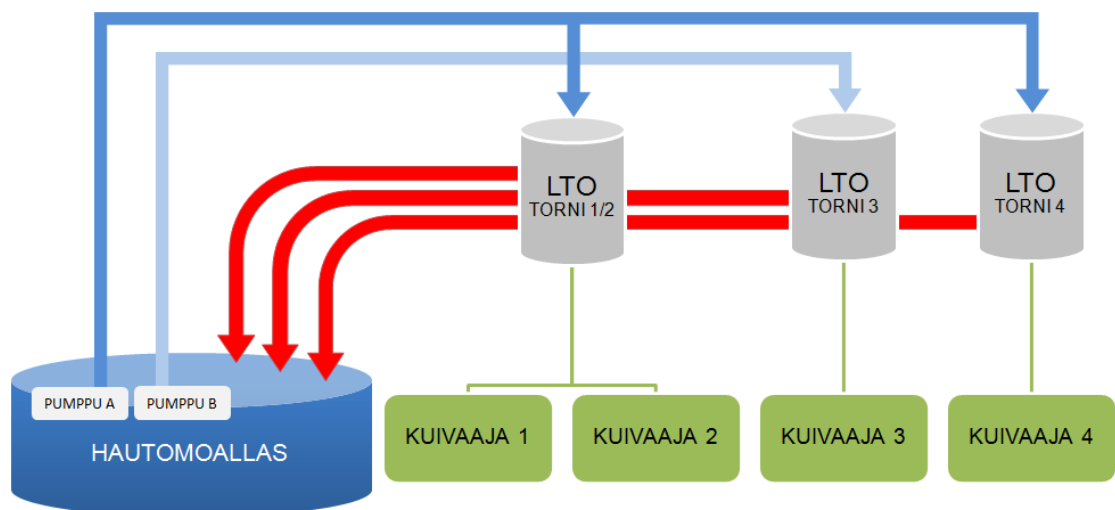
5.2 Ratkaisuja energiankulutuksen valvonnan kehittämiseksi

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan suljetussa systeemissä energiaa ei voi syntyä tyhjästä eikä se voi kadota olemattomiin (Inkinen & Tuohi 2003, 444). Koska tehtaan lämpöenergiaprosessi on pääpiirteittäin suljettu, voidaan ajatella tehtaassa höyryverkossa liikkuvan kokonaislämpöenergian olevan sama kuin kohteisiin käytettävien tai niissä erottuvien lämpöenergioiden summa. Niinpä esimerkiksi yhteen kuivaajaan menevän höyryn lämpömäärä vastaa lämmönvaihtimessa kuivaajan kiertoilmaan ja lauhteenerottimessa lauhdeveteen jäävää lämpömäärää häviöineen. Saman periaatteen mukaisesti lämmön talteenottotorniin ohjattavan poistoilman ja tornissa suihkutettavan hautomoveden vastaanottaman lämpöenergian erotus on sama kuin tornista poistuvan ilman lämpöenergia, häviöt huomioituna.

Nykyinen automaatiojärjestelmä komponentteineen mahdollistaa energiataseiden vertailun ja valvomonäyttöihin on luotavissa ikkunat optimialueineen, jolloin energiankulutuksen seuraaminen voidaan tehdä hyvinkin pelkistetyksi ja selvälukuiseksi. Lisäksi järjestelmä voi hälyttää tai lähettää viestin, kun liikutaan taseiden kannalta optimialueen ulkopuolella. Vertailunäyttö voi kuvata tulevan höyryn luovuttaman lämpöenergian kulkua lämmön talteenottojärjestelmässä. Linjakohtaisesti voidaan nähdä, miten suuri osuus kuivaajien poistoilmasta käytetään torneissa hyödyksi hautomoveden lämmityksessä ja mikä osuus päättyy ilmalämmönvaihtimeen tai häviönä ulos

tehtaasta. Toisaalta on mahdollista ohjata pumppuja kierrättämään hautomoaltaan vettä torneissa vain silloin, kun kuivaajista on lämpöenergiaa saatavana. Näin voidaan estää turhaa veden kierrätystä ja sen aiheutonta jäähtymistä. Lisäksi pumppujen käyttämä sähköenergia on huomattava, joten niiden käynti vain jäännöslämpöä hyödyntäessä säästää energiaa.

Kuten aiemmin todettiin, tällä hetkellä vettä hautomoaltaasta lämmön talteenottotorneihin nostaa kaksi pumppua (kuva 14). Koska tehtaan katolla on kolme tornia ja niihin tuleva lämpöteho on toisistaan riippumatonta, on pumppujen ohjauksessa ongelmansa. Toisen pumpun nostaessa vettä torneihin 1/2 ja 4, virtaus on jaettu yksinkertaisesti haaroittamalla. Haaraputkissa on käsikäyttöiset sulkuventtiilit. Rakenteesta johtuen hautomoveden pumppaus kyseisiin torneihin ja niissä tapahtuva lämmön talteenotto on aina jonkin asteinen kompromissi, koska kahteen eri torniin tuleva lämpöteho voi vaihdella hyvinkin merkittävästi. Ääritilanteessahan osa kuivaajista voi olla pois käytöstä. Minimikorjaus tilanteen parantamiseksi on asentaa eri torneille meneviin haaraputkiin säätöventtiilit, joita ohjataan automaatiojärjestelmän sisällä. Näin edes suhdesäätö haarojen välillä on mahdollinen tornien lämpötehojakauman mukaan, vaikka itse pumppausta ei ohjattaisikaan. Paras vaihtoehto on asentaa hautomolle kolmas pumppu, jolloin jokaisen tornin hautomovesikiertoa voidaan ohjata yksilöllisesti ja lämmön talteenoton optimointi helpottuu. Tämän lisäksi automaatiojärjestelmän tulisi ohjata pumppuja taajuusmuuttajilla niiden toiminta-alueiden puitteissa torneihin tulevan lämpötehon perusteella.



Kuva 14. Kuivaajien poistoilman ja hautomoallasveden ohjaus lämmön talteenottotorneihin.

5.2.1 Lämmön talteenoton optimointi

Lämmön talteenoton optimointi tarkoittaa tässä yhteydessä yksinkertaisesti parhaan hyötysuhteen tavoittelua hautomoaltaan veden lämmittämiseksi lämmön talteenotto-torneihin menevää hukkalämpöä hyväksikäyttäen. Lähtökohtana tässä prosessissa on se, että kuivaajat ovat käynnissä ja torneihin siirtyy lämpöenergiaa. Automaatiojärjestelmän tulisi ohjata hautomoveden pumppausta ja suihkuttamista torneissa niin, että torneista palaava vesi on takaisin altaalle saavuttuaan lämpimämpää kuin kierrokselle lähtiessään. Muutoinhan pumppaustyö on siirtänyt lämpöenergiaa pois altaasta ja siitä on vielä maksettu pumpun tehon verran. Lisäksi jäähtynyt vesi pitää lämmittää uudelleen. Jos tornista lähtevän ja torniin tulevan hautomoveden lämpötilaero on negatiivinen, tulee kiertovesipumppu tietenkin automaattisesti pysäyttää. Tarkalleen ottaen raja-arvoksi tulee hakea positiivinen lämpötilaero, joka saavutettaessa vesi hautomoaltaassa ylläpitää lämpötilatasonsa häviötkin huomioiden. Tähän vaikuttaa merkittävästi ympäristön lämpötilavaihtelut. Lämmön talteenoton reaaliaikainen ohjaus vaatii, että siihen osallistuvien osapuolten ominaisuuksiin voidaan yksilöllisesti vaikuttaa. Koska aiemmin todetun perusteella ainoa järkevä seurattava kokonaisuus ilman rakenteellisia muutostöitä on torni 3, otetaan se optimointimallin kohteeksi. Tätä mallia voidaan yhtäläillä soveltaa muihinkin lämpöenergiakohteisiin ja sen muuttujien ominaisuuksia tai vaikutuksia voidaan tarvittaessa muokata.

Viilunkuivausprosessin lämpöenergiatase käsittää verkkokuivaajaan tulevan ja sieltä lähtevän lämpöenergian, jolloin systeemin rajana voidaan pitää juuri kuivauskonetta. Systeemistä lähtevä lämpöenergia vastaa kuivaajan poistoilman mukana lämmön talteenottotorniin kulkeutuvaa lämpöenergiaa pois lukien häviöt. Lämpöenergian kulkeutumista torniin rajoittaa vaihtelevasti poistoilmakanavan säätöpelti, jota ohjataan kuivaajan sisäkosteuden perusteella eikä sitä ole huomioitu lämpötaseessa. Lähtevän lämpövirran teoreettinen määrittäminen voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäisessä vaiheessa lasketaan kuivaajaan tuleva lämpöenergia. Se on lämpöteho, joka kulutetaan kuivaajan lämmittämiseen ja lämmön ylläpitämiseen. Kuivaajaa lämmitettäessä sen lämmönvaihtimiin virtaava höyry lauhtuu ja vapauttaa kuivaajaan lämpöenergiaa. Kyseisen lämpötehon eli lämpövirran laskennan perusteena ovat höyryn ja lauhteen ominaisentalpiat sekä höyryn massavirtaus. Höyryn ominaisentalpiaan eli lämpöenergiasisältöön vaikuttavat paine ja lämpötila. Lämmönvaihtimessa höyry ensin jäähtyy painetta vastaavaan tiivistymislämpötilaan ja muuttaa sitten olomuotoaan nesteeksi, jolloin lämpöenergian vapautuminen on merkittävintä. Höyry lauhtuu vedeksi aina tiettyssä, painetta vastaavassa lämpötilassa ja osa höyryn alku-

peräisestä lämpöenergisällöstä kulkeutuu lauhdeveden mukana pois lämmönvaihtimesta. Höyryn ja lauhteen ominaisentalpiat määräytyvät veden ja vesihöyryn h , s -piirroksista tai sitä vastaavasta taulukosta. Toisessa vaiheessa määritetään viilun kuivaukseen kuluva energia. Viilun kulkiessa kuivaajan läpi lämpöenergiaa sitoutuu itse puuaineeseen, kun sen lämpötila nousee kuivausprosessin aikana. Oleellisinta lämpöenergian kannalta on kuitenkin viilun sisältämä vesi, joka lämpiää ensin kiehumispisteeseensä ja lopulta suurin osa siitä höyrystyy kiertoilmaan. Kuivaukseen käytetyn lämpöenergian laskemiseksi on määritettävä viilun puuaineen kuivamassan lisäksi sen sisältämä ja siitä höyrystyvä veden absoluuttinen määrä. Määrittäminen perusteena ovat kuivattavan viilun massavirta, alku- ja loppukosteus sekä lämpötilan muutos. Kokonaisuutena kuivauskoneen lämpötase voidaan kirjoittaa seuraavaan muotoon. Kaava 2 esittää kaavan 1 laajennettuna ja sovellettuna käytettävissä oleviin tietoihin.

$$q_{m1} \cdot (h - h') - q_{m2} \cdot c_{puu} \cdot (t_3 - t_1) - q_{m3} \cdot c_{H_2O} \cdot (t_2 - t_1) - q_{m4} \cdot (r_{H_2O} + c_{hry} \cdot (t_3 - t_2)) = \Phi_{out} \quad (1)$$

$$q_{m1} \cdot (h - h') - (q_{v1} \cdot \rho_{puu} \cdot (c_{puu} \cdot (t_3 - t_1) + kp \cdot c_{H_2O} \cdot (t_2 - t_1) + \Delta kp \cdot (r_{H_2O} + c_{hry} \cdot (t_3 - t_2)))) = \Phi_{out} \quad (2)$$

q_{m1} = höyryn massavirta [kg/s]

q_{m2} = viilun (kuivan puuaineen) massavirta [kg/s]

q_{m3} = viilun sisältämän veden massavirta [kg/s]

q_{m4} = viilusta haihtuvan veden massavirta [kg/s]

h = höyryn ominaisentalpia eli lämpöenergisältö [kJ/kg]

h' = lauhteen ominaisentalpia eli lämpöenergisältö [kJ/kg]

q_{v1} = viilun tilavuusvirta [m³/s]

ρ_{puu} = viilun (puun) kuivatiheys [kg/m³]

kp = viilun kosteuspitoisuus [%]

Δkp = viilun kosteuspitoisuuden muutos [%]

c_{puu} = viilun (puun) ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg °C]

c_{H_2O} = veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg °C]

r_{H_2O} = veden höyrystymislämpö [kJ/kg]

c_{hry} = vesihöyryn ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg °C]

t_1 = viilun ja sen sisältämän veden alkulämpötila [°C]

t_2 = veden kiehumislämpötila [°C]

t_3 = viilun ja siitä höyrystyneen veden loppulämpötila [°C]

Φ_{out} = lämpövirta eli lämpöteho kuivaajasta [kJ/s = kW]

Automaatiojärjestelmän mittauksissa käytettävä höyryn massavirtaus (t/h) jaetaan luvulla 3,6, jotta muuttujan yksikkö saadaan SI -järjestelmän mukaiseksi (kg/s) ja sen arvo on kaavakelpoinen. Jakaja on sievennetty osamäärästä, jossa osoittajana on tonni kilogrammoina eli 1000 kg/t ja nimittäjänä on tunti sekunteina eli 3600 s/h. Kaavassa oleva viulun kosteuspitoisuus perustuu esitystapaan, jossa kosteuspitoisuuden arvo ilmaisee veden massan suhteessa kuivan puuaineen massaan. Toisin sanoen kosteuspitoisuuden ollessa esimerkiksi 100 %, vettä ja kuivaa puuainetta on puutavarassa massaltaan yhtä paljon.

Hautomoaltaan ja tornin välillä kierrätettävään veteen sitoutuvan lämpöenergian määrittäminen on selvästi yksinkertaisempaa. Lämmön talteenottotornin yhteydessä ovat instrumentit tulevan ja lähtevän veden lämpötilan mittaamiseen. Torniin suihkutettavan ja sieltä lähtevän veden lämpötila vaihtelee yleensä välillä 20–60 °C (Cromi® 2012b). Tällä alueella veden tiheys ja ominaislämpökapasiteetti voidaan pitää vähäisestä lämpötilavaikutuksesta johtuen vakioina (Seppänen, Kervinen, Parkkila, Karke-la & Meriläinen 2007, 81–83). Vakioterminä yhtälössä on siis veden ominaislämpökapasiteetti ja muuttujina ovat veden tilavuusvirta, veden tiheys kyseisellä lämpötila-alueella sekä lähtevän ja tulevan kiertoveden lämpötilaero. Veteen siirtyvä lämpömäärä voidaan siten esittää seuraavalla kaavalla.

$$\Phi_{H_2O} = q_{v2} / 3600 \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot (t_5 - t_4) \quad (3)$$

Φ_{H_2O} = lämpövirta hautomon kiertoveteen [kJ/s = kW]

q_{v2} = veden tilavuusvirta [m³/h]

ρ_{H_2O} = veden tiheys [kg/m³]

c_{H_2O} = veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg °C]

t_4 = tulevan veden lämpötila [°C]

t_5 = lähtevän veden lämpötila [°C]

Lämpövirta tornin yläosasta poistokanavaan on torniin tulevan ja veteen siirtyvän lämpövirran erotus. Poistokaasu ohjataan lämpimänä vuodenaikana ulkoilmaan ja kylmään aikaan ilma-ilma -lämmönvaihtimeen, joka sijaitsee tornien tapaan katolla niiden välittömässä läheisyydessä. Lämmönvaihdin on kaikille torneille yhteinen ja sen tarkoitus on lämmittää tehtaan sisäilmaa hukkalämmöllä. Ilma-ilma -lämmönvaihtimeen menevä lämpöteho on sinne ohjattavien tornien poistolämpötehojen summa häviöineen.

5.2.2 Muutokset Cromi[®] -automaatiojärjestelmään

Cromi[®] -automaatiojärjestelmän valvomosovellukseen tulee luoda omat näytöt lämmön talteenottotornien energiavirroille. Tornikohtainen valvomonäyttö kertoo käyttäjälle torniin liitetystä kuivaajasta vapautuvan ja tornissa kiertoveteen siirtyvän sekä tornista poistuvan lämpövirran. Näytössä voivat olla näkyvissä lämpövirtalukemien lisäksi normaalit instrumenttikuvakkeet tunnuksineen ja arvoineen kuten muissakin näytöissä. Luonnollisesti kanavalinjat torniin ja tornista kuvataan. Kiertovesipumpun taajuusmuuttajaohjauksen toteutuessa sen pyörintänopeustieto lisätään näyttöön. Suurin huomioarvo valvomonäytössä tulee olla lämpöteho- eli lämpövirtalukemilla, joiden tasapainoa lämmön talteenoton kannalta tuetaan väreillä. Lämpövirtojen laskentaan käytettävät muuttujatiedot saa laajennettua näkyviin klikkaamalla teholukemaa. Hautomoveteen siirtyvän lämpötehon osuutta kuivaajasta saatavilla olevasta lämpötehosta selventää myös prosenttinäyttö, jonka arvo voidaan käyttää suhdetta kuvaavan värin ohjauksessa. Jo olemassa olevaan, lämmön talteenoton kokonaisuudessaan esittävän valvomonäytön (kuva 12) tornisymboleihin on kannattaa lisätä samat reaaliaikaiset prosenttinäytöt väreilleen. Esimerkkinä käytettyyn, lämmön talteenottotorniin 3 liittyvät muuttujat ja instrumentit, jotka ovat liitetty automaatiojärjestelmään, on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Automaatiojärjestelmästä suoraan saatavat muuttujat kuivaajassa 3 ja lämmön talteenottotornissa 3 (Cromi[®] 2012b).

| | Muuttuja | Instrumentti |
|--|--------------------------------------|---------------------|
| Viilunkuivausprosessin lämpöenergiatase | Kuivaajalinjan höyryn paine | PI-117 |
| | Kuivaajalinjan höyryn lämpötila | TI-118 |
| | Kuivaajalinjan höyryn virtaus | FI-119 |
| Hautomoveteen siirtyvä lämpöenergia | Hautomoveden virtaus | FI-253 |
| | Torniin tulevan veden lämpötila | TT-255 |
| | Tornista lähtevän veden lämpötila | TT-289 |
| Muu informaatio | Torniin tulevan kaasun lämpötila | TT-238 |
| | Tornista poistuvan kaasun lämpötila | TT-241 |
| | Poistoilmakanavan säätöpellin ohjaus | MC-272 |

Valvomosovellukseen on hyödyllistä luoda myös hälytyksestä aktivoituvaa tornikohtainen energiataaseikkuna. Epätasapainotilanteessa tai muulloinkin operaattorin aktiivisena avautuu informaatoruutu, josta selviää tornikohtaisesti lämmön talteenoton laajennetut tiedot lämpötehoarvoineen. Käyttäjä voi avata ikkunan klikkaamalla lämmön talteenoton yleisnäytön tornisymbolien prosenttilukemaa, mutta häiriötilanteessa se ponnahtaa itsenäisesti esille valvomonäytöstä riippumatta.

5.2.3 Hälytysrajat ja informatiivinen viestintä

Koska energiankulutuksen valvonnan kehittämällä haetaan parannusta nykytilaan ja säästöä tehtaan energiamenoihin, on myös valvomo-ohjelmistoon lisättävien avainmuuttujien näkyvyyttä kasvatettava. Lämmön talteenottotornin toiminnan kuvaamisessa tämä tarkoittaa, että reagointia ei-toivottuihin tilanteisiin parannetaan ja nopeutetaan. Samalla sen tarkoitus on auttaa erottamaan informaatiotulvasta oleellinen ja hahmottamaan yhdellä silmäyksellä, onko energiavirtojen keskinäinen toiminta hyväksytyllä alueella. Tornin energiataseen optimialueesta poikkeava informaatio ei välttämättä kerro ongelmatilanteen syytä, mutta osoittaa käyttäjälle, että asiassa on korjattavaa. Tarkoitus onkin kiinnittää käyttäjän huomio arvoihin, joita automaatiojärjestelmä päivittää reaaliajassa ja joita on vaikea hahmottaa tai alkaa laskea prosessin yksittäisten muuttujatietojen perusteella.

Lämmön talteenottotornin avulla pyritään sitouttamaan muutoin hukkaan menevästä kuivaajan poistoilman lämpöenergiasisällöstä mahdollisimman suuri osuus tornissa kierrätettävään hautomoaltaan veteen, jota joka tapauksessa joudutaan lämmittämään vanerituotannon osaprosessina. Teoriassa paras tilanne tornin kannalta on silloin, kun kaikki torniin siirtyvä lämpöenergia siirtyy veteen. Käytännössä on kuitenkin järkevää hahmottaa raja-arvo, jonka yläpuolella kiertoveden vastaanottaman lämpötehon osuus torniin tulevasta lämpötehosta on hyväksyttävä. Tällöin tornikohtaisen näytön indikaattori, veteen siirtyvän lämpötehon prosenttinäytön tausta voi olla vihreä. Kun kyseinen osuus laskee alle sovitun raja-arvon, lukeman tausta voi muuttua ensin väriään ja alkaa lopulta vilkkua, jos tilanne jatkuu pitkään tai arvo laskee edelleen alle seuraavan raja-arvon. Luonnollisesti muutos johtaa myös edellä kuvatun energiataseikkunan aktivoitumiseen valitusta valvomonäyttönäkymästä riippumatta.

Tornikohtaisessa valvomonäytössä (kuva 15) olevien lämpöteholukemien taustat värittyvät niin ikään arvojen ja kanaviin liittyvien ominaisuuksien mukaan. Kuivaajasta poistuvaa lämpövirtaa kuvaavan lukeman tausta värittyy suoraan arvon perusteella oranssin ja sinisen välillä. Syvin oranssi vastaa suurinta torniin siirtyvää lämpötehoa ja sininen puolestaan pienintä. Ajotilanteessa lukeman tausta värittyy siis oranssin eri sävyillä, kun se vastaa kuivaajan käydessä prosessille ominaista toimintaa. Jos kuivaaja toimii normaalisti, mutta poistoilmakanavan säätöpelti rajoittaa virtausta merkittävästi, voi säätöpellin kuvake erottua näytöllä. Kuivaajan ollessa pysäytettynä tehollukema saa jo laskennallisestikin arvon nolla ja taustan väri on sininen. Ennen tornia olevan poistoilmakanavan lämpötila-anturin näyttämä tulee olla linjassa kuivaajan

toiminnan kanssa, joten ristiriitainen tilanne tulee huomioida vaikkapa lämpötilalukeman erottumisena näytöllä.

Hautomoveteen siirtyvän lämpöteholukeman taustaväri vaihtuu vaaleansinisestä tummansiniseen ja se on riippuvainen suoraan lämpöteholukemasta. Vaalein sininen osoittaa, ettei lämpötehoa siirry lainkaan ja tummin sininen osoittaa suurimman mahdollisen lämpötehon, joka torniin voi tulla ja teoriassa siirtyä myös veteen. Tämä ei siis huomioi tornin reaaliaikaisen toiminnan tehokkuutta, vaan kuvaa nimenomaan absoluuttisen lämpötehon siirtymistä veteen. Jos hautomovesi kiertää ja sen lämpöteholukema laskee lähelle nollaa tai on negatiivinen, taustan tulee vilkkua vaaleansinisenä kuvaten veden jäähtymistä ja pumpun turhaa käyttöä. Tässä tilanteessahan pumpun pitäisi sammua automaattisesti. Tilanteessa, jossa hautomovesi ei kierrä, mutta torniin tulee lämpötehoa, taustaväriin tulee jälleen vilkkua osoituksena, että lämpötehoa olisi siirrettävissä veteen. Kyseisessä tilanteessahan hautomoaltaan pumpun pitäisi käynnistyä ja alkaa nostaa vettä torniin suihkutettavaksi.

Vain toimeksiantajan käyttöön

Kuva 15. Valvomonäyttöluonnos: Lämmön talteenottotorni 3. Kuvassa on esitelty lisäksi muuttujat ja arvot, joita on käytetty laskentaperusteena luonnoksen kuvitteellisille lämpövirroille. Lämpövirtojen laskentakaavat on esitelty luvussa 5.2.1. (Cromi® 2012b; Spiraxsarco 2012.)

Yksinkertaisimmillaan lämmön talteenoton tila on nähtävissä sitä kuvaavan yleisnäytön tornisymboleissa näkyvänä prosenttinäyttönä taustanaan väri, joka tukee näytön lukemaa. Yleisnäytön prosenttilukema ja väri ovat siis samat, jotka ovat nähtävissä myös tornikohtaisessa valvomonäytössä. Lämmön talteenottotornin toiminnan poikeksessa optimialueelta aktivoituu erillinen energiataseikkuna laajennettuine tietoineen. Ikkunassa näkyvät tällöin hyötysuhdetta kuvaavan prosenttilukeman lisäksi tehokemat kuivaajasta poistuvasta ja hautomoveteen siirtyvästä lämpöenergiasta. Käyttäjä voi siirtyä saman tornin varsinaiseen tornikohtaiseen valvomonäyttöön klikkaamalla aktivoitunutta energiataseikkunaa.

5.2.4 Hälytysten ryhmittely

Automaatiojärjestelmän rekisteröimät häiriötilat ja hälytykset on ohjattavissa osaluueittain kunkin käyttäjäryhmän edustajille. Kunnossapidon esimies tai päivystäjä voi saada ilmoituksen kaikista höyry- ja lauhdeprosessin teknisistä häiriötilanteista. Energiapäällikölle voidaan ohjata hälytykset lämmön talteenottotornin epätasapainotilanteessa tai höyrynrajoituksen aktivoitumisesta. Sähköverkon valvoja saa viestit luonnollisesti sähkökäytön häiriöistä. Tämän lisäksi työasemilla näkyvät hälytykset voidaan sallia tai suodattaa henkilökohtaisen kirjautumisen perusteella.

5.2.5 Höyrynrajoitusmatriisin optimointi

Kuten aiemmin todettiin, höyrynrajoitusmatriisi on tapa tasata höyryn kulutuksen huippuja ja toisaalta priorisoida sen käyttö huippujen aikana sinne, missä se on välttämättömintä. Vaikka höyrynrajoitusmatriisissa voidaan tällä hetkellä aktivoida vain primäärihöyrykohteita, on myös lauhteen ohjauksella merkitystä. Kun lauhdesäiliöiden lauhdevesi kiertää lämmönvaihtimissa, se jäähtyy ja palautuessaan lauhdesäiliöihin lauhteen lämpötila säiliöissä laskee. Koska lauhdesäiliöiden primäärihöyrylinja korjaa juuri tätä lämpötilan laskua, on lauhdevesikohteiden rajoituksella vaikutuksensa. Lauhdevedestä lämpönsä saavien puristimien käyttöä ei voi tuotannollisista syistä rajoittaa, joten kiinteistön lämmityksen ohjaus on tältä osin avainasemassa. Ilmastointikoneiden esilämmityksen ja muun kiinteistön lämmityksen rajoitus ei notkauta hetkessä lämpötiloja, mutta saattaa osaltaan auttaa höyrynkulutushuipuissa. Todennäköisimmin säännöstely olisi syytä aloittaa trendin ollessa nouseva tai yksinkertaisesti määrätyn kulutustason yläpuolella, jolloin toimenpiteen tarkoitus on antaa marginaalia mahdollisille kulutuspiikeille. Pelkkien huippujen yhteydessä tapahtuva sekundäärisen lämpökohteiden rajoitus ehtii tuskin auttaa tilannetta kyllin nopeasti.

Matriisissa rajoitetaan kuivaajien höyryvirtausta laskemalla niiden sisälämpötilan asetusarvoa (Hakanen, Rantasalo & Karjalainen 2012). Tämän rinnalle automaatiojärjestelmään voitaisiin lisätä ohjaus, joka rajoittaa höyryvirtaa heti ja viiveettä höyryn kokonaiskulutuksen noustessa yli raja-arvon. Tämä rajoitus sulkisi linjakohtaisia venttiileitä esimerkiksi 10–20 % reaali virtauksesta tai laskemalla 1000–1500 kg tunti-kohtaista asetusarvoa. Ohjaus voisi olla yksilöllinen eri kuivaajilla ja perustua muihinkin ehtoihin tai muuttujiin.

5.3 Lämmön talteenoton optimoinnin taloudellisia vaikutuksia

Tämä luku on tarkoitettu vain toimeksiantajan käyttöön.

5.4 Energiankulutuksen valvonnan kehittämiseen liittyviä ongelmia

Suurimmat ongelmat energiankulutuksen valvonnassa liittyvät lämpöenergian osaprosessien mittauksiin. Primäärihöyryn sisältämän lämpöenergian siirtyminen ja käyttäytyminen höyryjakokeskuksen mittauksen jälkeen on haastava osa-alue. Kuivauskoneesta poistuvan ja lämmön talteenottotorniin menevän todellisen lämpömäärän mittaukseen ei ole instrumenttia tai työkalua. Kuivaajaan menevä lämpöteho, joka lasketaan optimointimallissa kuivaajakohtaisen höyryvirtauksen perusteella, kertoo tilanteen höyrykeskukselta lähtiessä. Myös viulun sisältämän ja siitä höyrystyvän veden määrä perustuu teoreettiseen laskentaan ja lukemien tarkkuus riippuu yhtälöissä käytettyjen puutavaran tuotantomäärien ja ominaisuuksien tarkkuudesta. Viiveiden ja virheiden merkitys kyllä vähenee tuotantoprosessin ja kuivaajan toiminnan tasoituttua, jos viulun ominaisuudet eivät vaihtele voimakkaasti. Pidemmällä aikavälillä lämpöenergian käyttäytyminen kanavistossa alkaa toistaa itseään. Kuivaajien ylösajon aikana voi odottaa reilusti lämmön nousua prosessiketjussa ja tornissa ennen kuin hautomovettä aletaan pumpata torneihin. Tässä kohtaa oleellinen instrumentti on kuivaajan poistoilmakanavassa, lähellä tornia oleva lämpötila-anturi. Joidenkin osaprosessien arviointi, kuten lämpöenergian siirtyminen tornissa ilmasta veteen, on tarkkojen mittaustietojen ansiosta lähes ongelmaton. Katolta on kuitenkin hautomolta pitkä matka, jonka aikana paluuvesi jäähtyy vaihtelevasti ympäristön lämpötilan mukaan. Vaikka laskennassa käytetyt tiedot olisivat kohdallaan, vaikuttaa myös häviö lämpövirtoihin vaihtelevasti. Tarkan häviön laskemiseksi pitäisi huomioida putkistoissa ja muissa kappaleissa tapahtuva johtuminen ja säteily. Toisaalta idea onkin mitata hautomoveden lämmitykseen saatavaa lämpötehoa ja verrata sitä kuivaajiin syötettyyn lämpötehoon.

Tehtaan katolla olevilla torneilla on otettu lämpöä talteen ennen viimeisimpiä uudistuksiakin. Lämpöenergiaraportit kertovat kulutuksesta eri kohteissa kuukausitasolla. Niistä ei ole nähtävissä, milloin lämmön talteenottotorneihin on suihkutettu vettä tai miten paljon veteen on siirtynyt energiaa. Seikka on oleellinen tarkastellessa primäärihöyryä käyttävän lämmönvaihtimen toimintaa hautomoveden lämmityksessä. Sen kuluttamaa höyryn määrää voisi käyttää mainiosti allasveden lämmitystehotarpeena. Kulutustiedot eivät vain ole tässä kohtaa täysin käyttökelpoisia, jos samaan aikaan osa hautomon lämmöstä on peräisin torneista. Viimeistään nyt, kun automaatio on rakennettu, järjestelmää kannattaa hyödyntää tilastoinnissa ja raportoinnissa tältäkin osin.

6 YHTEENVETO

Työssä esitettyjen ratkaisujen ja toimenpiteiden tarkoitus on antaa energiavirtojen käyttäytymiselle konkreettista tartuntapintaa ja suhteuttaa niiden yhteydet toisiinsa sekä auttaa vähentämään vanerin tuotantoprosessissa käytettävän energian määrää ja pidättäytymään näin varmemmin sopimuksen mukaisessa höyrytehossa. Vanerikuutiota kohti käytetyn kokonaisenergiankulutuksen pienentyessä kilpailukyky säilyy ja tuotannon ympäristövaikutukset kehittyvät myönteiseen suuntaan.

Energian kulutuksen ja lämmön talteenoton valvonnan kehittäminen vaatii eritasoisia muutoksia niin tehtaan rakenteisiin kuin käytännön toimiinkin (kuva 16). Huollon ja kunnossapidon vaikutus energiatehokkaaseen tuotantoon on nykyajan teollisuudessa itsestäänselvyys, mutta sen merkitystä varsinkin pitkän aikavälin tarkastelussa ei voi liioin korostaa. On täysin ymmärrettävää, että joihinkin rakenteellisiin muutostöihin saatetaan ryhtyä vasta jonkin muun projektin tai korjaustyön yhteydessä. Kaikki muutokset eivät kuitenkaan vaadi toteutuakseen toiminnan keskeyttämistä tai vuotuista huoltoseisokkia. Esimerkiksi aiemmin esitetyt automaatiojärjestelmän sovelluslisäykset on rakennettavissa valmiiksi tuotannosta riippumatta, sillä tarvittavat instrumentit ja yhteydet ovat jo valmiiksi olemassa. Sovellukset antavat heti käyttöönoton jälkeen arvokasta ja helposti ymmärrettävää lisätietoa energiankäytöstä, ja ohjaavat toimintoja välittömästi taloudellisempaan suuntaan. Muikku-projektin jäljiltä tehtaassa on automaatiojärjestelmä- ja tietoverkkopohja, jonka varaan ohjauksia ja mittauksia voi rakentaa lähes rajattomasti monelle tasolle jo olemassa olevin instrumentein tai niitä lisäten ja yhdistää aiemmin erilliset toiminnot samaan valvomokokonaisuuteen.



Kuva 16. Muutosehdotuksia ja edellytyksiä energiatehokkuuden ja energiankulutuksen valvonnan parantamiseksi.

Vaikka tässä työssä käsitellään eritoten malliksi otetun lämmön talteenottotornin 3 energiavirtoja ja -tehokkuutta, on samantapainen energiatasemalli hyödynnettävissä lähes minkä tahansa lämpöenergiakohteen toiminnan tarkastelussa. Lisäksi selkeäksi koettujen ja vertailukelpoisten yksiköiden johtaminen ja lisääminen automaatiojärjestelmän valvomosovellukseen on suotavaa, jos se helpottaa energiankulutuksen valvontaa, kokonaisuuden hahmottamista ja lisää käyttäjien kiinnostusta asiaa kohtaan. Automaatiojärjestelmän suorittaman tiedonkeruun avulla tilastoinnin ja raportoinnin voi tehdä hyvinkin käyttäjäystävälliseksi ja mitoittaa kunkin operaattorin tarpeisiin sopivaksi. Tärkeää on myös ymmärtää, että energiavirtojen laskennassa käytettyjä muuttujia voi lisätä, muokata ja niiden vaikutusta toisiinsa voi muuttaa tiedon lisääntyessä.

LÄHTEET

ABB 2011. *Muikku. UPM-Kymmene Oyj, Savonlinna. Suojaus, ohjaus ja valvonta. PDC-ratkaisut - toiminnallinen kuvaus.* 9.5.2011.

Cromi® 2012a. *Software - Sixnet* [verkkosivu]. [Viitattu 23.11.2012.] Saatavissa: <http://www.sixnet.com/department/programming-configuration-software-81.cfm>

Cromi® 2012b. Cromi®-automaatiojärjestelmän valvomosovellus. UPM Savonlinnan vaneritehdas.

Hakanen, O., Rantasalo, J. & Karjalainen P. 2012. *Höyryrajoitusmatriisi.* UPM Savonlinnan vaneritehdas. Palaveri 22.8.2012.

Inkinen, P. & Tuohi, J. 2003. *Momentti 1 - Insinöörifysiikka.* 2. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Koponen, H. 2002. *Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto.* 3. uudistettu painos. Helsinki: Edita Oy.

Käyhkö, K. 2012. *Automaatiojärjestelmä ja tietoverkko. Energianjakelu ja lämmön talteenotto.* UPM Savonlinnan vaneritehdas. Katselmus 18.6.2012.

Lehto, H. & Luoma, T. 2002. *Fysiikka 3 - Lämpö ja energia, mekaniikka.* 5.-9. uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Pylvänen, H. 2010. *Savonlinna plywood mill - new lan - plan E.* 17.8.2010.

Rejlers 2010. *Höyry-lauhde pi-kaavio 5D-46.* UPM-Kymmene Wood Oy. Savonlinnan vaneritehdas. 9.7.2010. Muutostunnus E.

Seppänen, R., Kervinen, M., Parkkila, I., Karkela, L. & Meriläinen, P. 2007. *Maol tau-lukot.* 2.-5. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Spiraxsarco 2012. *Dry Saturated Steam Line* [verkkosivu]. [viitattu 23.11.2012]. Saatavissa: http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-tables/saturated-steam.asp?lang_id=FIN&country_id=FI

UPM 2012a. *UPM Savonlinnan vaneritehdas* [verkkosivu]. [Viitattu 8.10.2012.] Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/UPM-Lyhyesti/Globaalit-toiminnot/Tuotantoyksikot/Pages/UPM,-Savonlinnan-vaneritehdas.aspx>

UPM 2012b. *Vanerin tuotantoprosessi* [verkkosivu]. [Viitattu 8.10.2012.] Saatavissa: <http://www.wisaplywood.com/fi/vaneri-ja-viilu/vaneri/vanerin-tuotantoprosessi/Pages/default.aspx>