



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joel Niemi-Korpi

Selvitys lämmöntalteenoton kehittämisestä Mäntsälän Ballin tehtaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

14.11.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joel Niemi-Korpi Selvitys lämmöntalteenoton kehittämisestä Mäntsälän Ball: in tehtaalla 29 sivua + 1 liitettä 14.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Kristian Junno Sähköosaston esimies Marko Pensonen
<p>Insinööriyössä perehdyttiin lämmöntalteenoton kehittämiseen Mäntsälän Ball: in toimi yksikössä. Työn aikana pohdittiin keinoja koneiden tuottaman hukkalämmön talteen ottamiseksi, sekä automaation soveltumista ja sen lisäämistä erilaisissa konejärjestelmissä ja laitteistoissa. Työn päätarkoituksena oli luoda kattava paketti tehtaan hukkalämpöä tuottavista laitteista, joiden tuottama energia voisi olla hyödynnettävissä esimerkiksi lämmitykseen.</p> <p>Työ alkoi koneiden toimintaperiaatteen selvittämisestä. Tutustuminen koneiden manuaaleihin sekä paikan päällä suoritettavat tarkastukset ja mittaukset osoittivat, että koneiden tuottama hukkalämpöä todella syntyy. Tämän pohjalta tehtiin mittauksia ja tutustuttiin vaadittaviin laskutoimituksiin, jotta energiamääristä päästiin selville. Työn aikana pohdittiin erilaisia variaatioita lämmöntalteenoton tehostamiseksi.</p> <p>Työn tuloksena syntyi kattava insinööriyö, jonka pohjalta työnantaja voi arvioida lämmöntalteenotosta muodostuvia hyötyjä ja kustannuksia. Tämän avulla lämmöntalteenottojärjestelmiä voidaan lähteä kehittämään ja automatisoimaan yhtiön haluamalla tavalla.</p>	
Avainsanat	Lämmöntalteenotto, rakennus automaatio, Fidelix

Author Title Number of Pages Date	Joel Niemi-Korpi Development of Heat Recovery at the Mäntsälä Ball Plant 29 pages + 1 appendix 14.11.2019
Degree	Bachelor of engineering
Degree Programme	Degree Program in Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation technology
Instructors	Marko Pensonen, Electrical supervisor Kristian Junno, Principal Lecturer
<p>This thesis study focused on the development of heat recovery at the Ball unit in Mäntsälä. In the work, ways of recovering waste heat generated by machines were clarified, as well as the application of automation in various machine systems and equipment. The main purpose of the work was to create a comprehensive information package of plant waste heat generating equipment that could be utilized for example heating purposes.</p> <p>The methods used in the project were inspections, measurements and a review of machine manuals. These showed that the heat generated by the machines is actually generated all the time. Based on this information, measurements were made and the required calculations were examined to determine the amount of energy. Different variations were considered during the work to improve the efficiency of heat recovery.</p> <p>The result of this work is an information package that allows the company evaluate the benefits and costs of heat recovery. With this, heat recovery systems can be developed and automated as desired by the company.</p>	
Keywords	Heat recovery, building automation, Fidelix

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämpöä tuottavat laitteistot	2
2.1	Oxidizer eli Hapetin	3
2.2	Kompressorit	7
2.3	Bodymakerin jäähdytysvesi	9
2.4	Alipainepumput	11
2.5	Pesukoneen savukaasujen poistoputki	13
3	Järjestelmän liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään	14
3.1	Ohjaus	14
3.2	Instrumentointi	16
4	Energian säästö ja takaisinmaksuaika	17
4.1	Kaasun säästäminen	17
4.2	Alipainepumppujen säästöt	20
4.3	Matalapainekompressorin säästöt	21
4.4	Bodymakerin jäähdytysveden säästöt	22
4.5	Pesukoneen savukaasuputken säästöt	23
4.6	Takaisinmaksuaika	23
5	Ympäristönäkökohdat ja investointituki	24
5.1	Tavoitteet	24
5.2	Investointi tuki	26
6	Yhteenveto	26
	Lähteet	28
	Liitteet	
	Liite 1. Säätolaitahuollon arvio LTO: n kehittämisestä	

1 Johdanto

Insinööriyö tehdään Ball Corporationin Mäntsälän toimipisteeseen. Yhtiö on kansainvälinen globaali toimija, joka valmistaa tuotteita pakkausteollisuuteen. Se työllistää maailmanlaajuisesti noin 17 500 henkilöä (2017). Ball Corporation on Suomen johtava virvoitusjuomatölkkien valmistaja markkinaosuuden ollessa noin 60 %.

Insinööriyö tehtiin Mäntsälän tehtaan kunnossapito-osastolle. Tarkoituksena on tehdä selvitys lämmöntalteenoton kehittämisen tuomista mahdollisuuksista, automaation hyödyntämisestä osana järjestelmiä, ympäristökohdat huomioiden. Tärkein tavoite oli selvittää, lämmön talteenoton taloudellinen kannattavuus ja järjestelmän automatisoinnin tuomat uudet mahdollisuudet. Tällä hetkellä käytössä on lähes kokonaan manuaalisesti ohjatut ilmanvaihtojärjestelmät. Lämmitys on toteutettu vanhanaikaisesti manuaalisesti säädettävillä lämmittimillä, joiden käyttöä voidaan ainakin vähentää merkittävästi, koska tuotannossa koneet tuottavat hukkalämpöä, jota laitteista riippuen hyödynnetään hyvin vähän tai ei lainkaan.

Tässä insinööriyössä käsitellään LTO:n (lämmöntalteenottoon) soveltuvia koneita ja selvitetään, voiko niitä mahdollisesti käyttää järkevästi osana rakennusautomaatiojärjestelmää. Lisäksi selvitetään järjestelmän automatisoinnin mahdollisuus ja sen vaatima instrumentoinnin tarve. Kunnossapito-osasto on tilannut työn, koska tehtaan energiankulutusta halutaan pienentää yhtiön tavoitteiden mukaisesti. Selvitystyön pohjalta tehdään päätös projektin rahoitusmahdollisuuksista

Tehtaan lämmitysjärjestelmät

Tällä hetkellä tehdasta lämmittää koneiden hukkalämmön lisäksi kolme kappaletta tuloilmalaitteita ja lämmittimiä AHU: ja (ilman lämmityslaitteisto). Laitteet käyttävät raakaa tai esilämmitettyä ulkoilmaa ja lämmittävät sen sisälämpötilaan sopivaksi ensisijaisesti maakaasun avulla. AHU laitteiden käyttämän ilman esilämmitykseen käytetään lisäksi tölkin ensimmäisessä työvaiheessa eli rungon venyttämisen syntyvää lämmintä jäähdytysvettä. (Bodymaker). Talvi-aikaan, kun pesukoneen vesikattilan lämmittämiseen

Oxidizerin eli hapettimen avulla ei ole tarpeeksi potentiaalia, käytetään lisäksi Oxidizerin lämmönvaihtimen tuottamaa vettä, mutta erityisesti talvella lämmitystarve kasvaa ja AHU-laitteiden käyttäminen on kallista, koska ne on suunniteltu lämpimämpiin olosuhteisiin. Käytännössä järjestelmä on käsin säädeltävä, eikä siinä ole hyödynnetty automaatiota. Kehitysmahdollisuuksia löytyy erityisesti Oxidizerin lämmönvaihtimen kehittämisessä, joka on alimitoitettu ja heikkotehoinen laite.

Ilmanvaihto tuotantotiloissa on toteutettu erikseen kymmenellä tulo- ja poistopuhaltimella, jotka puhaltavat katolta tehdashalliin raitista ilmaa. Tehdashallin ilmanvaihto on tärkeää, jotta sisäilma pysyy raikkaana. Järjestelmää ohjataan käsin ohjauskeskukselta. On havaittu, että puhaltimien käyttö silloin, kun viilennystarve on suurin (kesällä), niiden tuottama hyöty on verrattain pieni, koska katolla lämpötila saattaa kesällä nousta jopa 50 asteeseen, jolloin sisälle tuleva raakailma on todella kuumaa. Järjestelmän hyötysuhde on melko heikko suhteessa sen vaatimaan energiaan, sillä puhaltimia ohjataan suoraan kontaktorilähtöisesti. Virran kulutusta voi laskea hieman lisäämällä taajuusmuuntajakäyttö jokaiselle moottorille. Yhteensä ilmanvaihtojärjestelmä pitää sisällään kuusi kappaletta 3,5 kilowatin ja kuusi kappaletta 5,5 kilowatin moottoreita.

2 Lämpöä tuottavat laitteistot

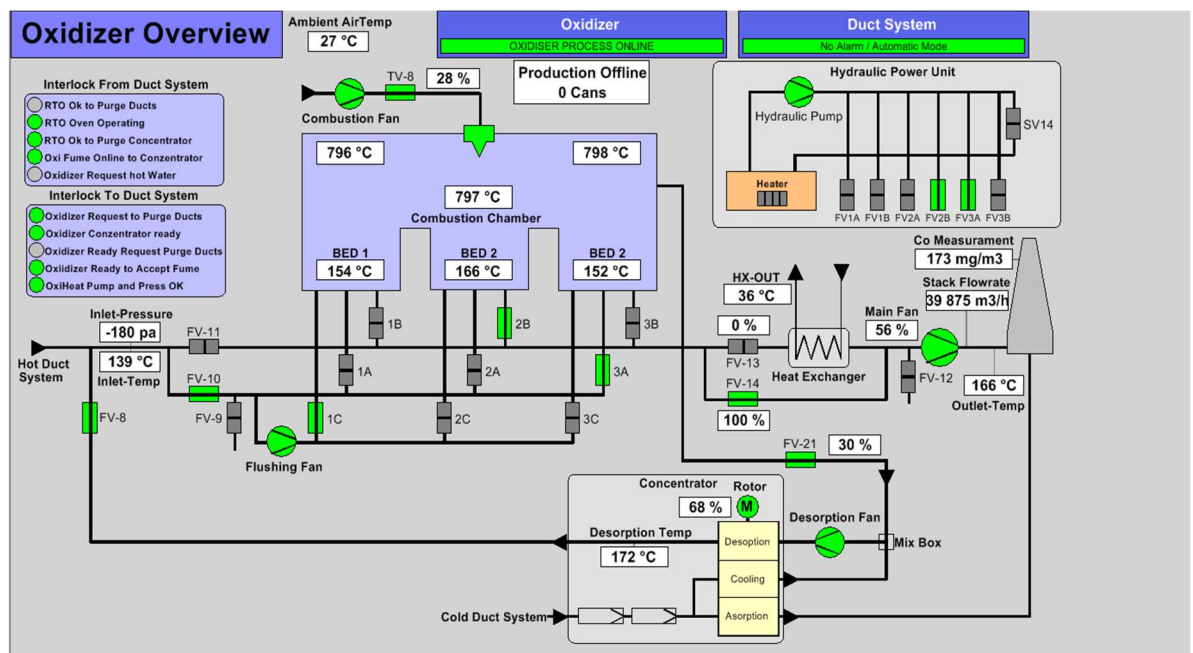
Tehdas sisältää kokonaisuudessaan valtavan määrän koneita ja laitteita. Tehtaalla valmistetaan alumiinista 0,33 litran tölkin runko kokonaisuudessaan. Jalostus alkaa alumiini kelalta ja toisessa päädyssä valmis tuote on oikean kokoinen ja näköinen ja vastaa asiakkaan standardia. Tuotannossa on käytössä esimerkiksi useita prosessissa käytettäviä uuneja, jotka tuottavat ympärilleen reilusti hukkalämpöä. Tarkastelu osoitti, että tuotannossa on oikeastaan viisi laitetta tai laitteiston osaa, jotka tuottavat lämpöä merkittävästi, mutta joita hyödynnetään nykytilanteessa vähän tai ei ollenkaan. Seuraavaksi on koottu kyseisistä laitteista perustietoja, joista selviää laitteiden toimintaperiaate ja rakenne.

2.1 Oxidizer eli Hapetin

Oxidizer on savukaasujen puhdistuslaite, joka polttaa tölkin sisälakkauksessa ja uuneissa syntyviä haitallisia kaasuja ja höyryjä ympäristöystävällisemmälle tasolle. Mäntälän tehtaalla laite käsittelee neljän prosessissa esiintyvän laitteen kaasuja/höyryjä (ISS, IBO, PIN OVEN 1 ja 2). Laite vaatii ympäristöministeriöltä toimiluvan ja siellä on tarkasti määritelty, paljonko tehdas saa pyöriä ilman, että kyseinen laitteisto on käynnissä. Vuosittainen ohiajoaika on maksimissaan 100 tuntia. Jos vuosittainen ohiajoaika ylittyy, täytyy ympäristöministeriöltä hakea lupaa lisääaikaa varten.

2.1.1 Oxidizerin rakenne

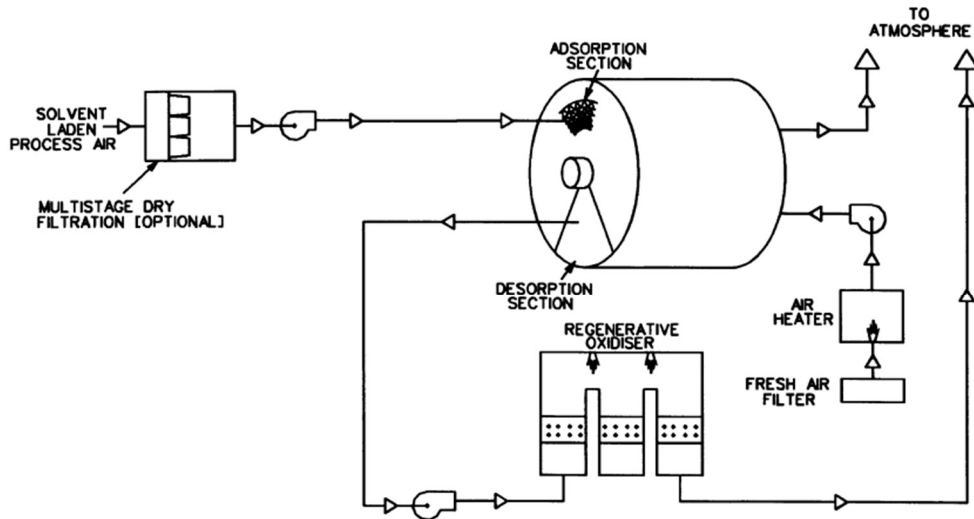
Laitteisto toimii ulkoilmassa, ja sen tärkeimmät komponentit ovat konsentraattori sekä kolme palotilaa, joissa poltetaan myrkyllisiä kaasuja. Lisäksi laitteeseen kuuluu kanavisto, lämmönvaihdin, hydraulikkayksikkö sekä savukaasujen poistupuoli. Alla kuvassa 1 on yleiskuva laitteiston rakenteesta.



Kuva 1. Yleiskuva laitteistosta

(Oxidizer Overview: 2014)

Oxidizeriin on liitetty konsentraattori, jonka kautta kierrätetään alumiini tölkin sisälakauksessa syntyvät niin sanotut kylmän puolen kemikaalit. Konsentraattorissa lakka-höyryistä irrotetaan kiinteimmät partikkelit, jonka jälkeen ne voidaan johtaa Oxidizerin polttouuniin, jossa höyryjä on turvallista polttaa uuneilta tulevien kuumien höyryjen kanssa. Kuva 2 havainnollistaa laitteen toimintaperiaatteen.



Kuva 2. Konsentraattorin toiminta

(Oxidizer Concentrator: 2015)

2.1.2 Lämmönvaihdin

Oxidizeriin on liitetty lämmönvaihdin, jonka avulla saadaan tuotettua kuumaa vettä tehtaan prosesseja varten. Tällä hetkellä lämmönvaihdin pystyy tuottamaan yli 80 asteista vettä vain kesäaikana, jolloin sitä pystytään hyödyntämään pesukoneen prosessiveden lämmityksessä. On tärkeää, että pesukoneelle johdettava vesi on kuumempaa, kuin boilerin kattilassa oleva vesi, koska muuten boileri alkaa lämmittää Oxidizerin lämmönvaihtimelta tulevaa vettä. Mikäli veden lämpötila on alle 78 celsiusastetta, boilerin kaasukattila alkaa lämmittämään Oxidizerin lämmönvaihtimesta tulevaa viileämpää vettä. Tässä tapauksessa kaasun kulutus lisääntyy eikä järjestelmä toimi toivotulla tavalla. Edellä mainittu tilanne on termodynamiikan nollannen säännön mukainen, eli energia siirtyy aina

kylmästä kuumempaan ja eristetyssä systeemissä eri lämpötilat pyrkivät aina tasoittumaan. (Napari & Vehkamäki 2013: 8). Matemaattisesti ilmaistuna tämä tarkoittaa, että

$$T_A = T_B \wedge T_B = T_C \Rightarrow T_A = T_C$$

jossa T, ilmaisee lämpötilaa, ja A, B, C kuvaavat lämpötilan eri arvoja.

Talviaikaan syntynyt lauhempi vesi ohjataan katolla sijaitseviin AHU-laitteisiin, jossa se esilämmittää puhallettavaa sisäilmaa pienentäen kaasun kulutusta merkittävästi. Lämmönvaihtimelta katolle kulkevaa kuumavesilinjaa ei ole eristetty, joten linjan pituudesta johtuen ääripäässä veden lämpötila ehtii laskea merkittävästi. Tämän seurauksena lähimpänä Oxidizeria oleva AHU-laite kuluttaa vuorokaudessa jopa 100 kuutiota vähemmän kaasua kuin muut laitteet.

2.1.3 Toimenpiteet lämmöntalteenoton kehittämiseksi

Tehtaan henkilöstö on havainnut vuosihuoltojen ja suomen vaihtelevan ilmaston vuoksi, että lämmönvaihtimen toiminnassa on selkeitä parannuskohteita. Ensimmäisenä voidaan mainita lämmönvaihtimen tehottomuus. Nykyistä tehokkaammalla lämmönvaihtimella järjestelmän hyötysuhde olisi korkeampi ja tuotannon yhdessä vaiheessa käytettävään pesukoneeseen johdettava vesi voitaisiin saada erityisesti kesäaikaan lähes kokonaan Oxidizerilta. Tämän myötä pesukoneen lämmitysveden kustannukset saataisiin minimiin. Samalla säästettäisiin rahaa, sekä ympäristöä. Tästä olisi suuri hyöty myös talviaikaan, koska tämä laskisi AHU-laitteiden käyttämää kaasun määrää, millä on selkeä vaikutus tuotantotilojen lämmityskustannuksiin. Lämmönvaihtimelta tulevan veden lämpötilaan vaikuttaa olennaisesti myös lämmönvaihtimen puhtaus. Lämmönvaihtimen likaantuminen johtaa veden lämpötilan laskuun. Sen vuoksi järjestelmän puhtaana pitäminen on ensisijaisen tärkeää, ja se tulisi suorittaa tasaisin väliajoin.

Lämmönvaihtimelta AHU-laitteille kulkevan vesiputkilinjan eristäminen olisi hyödyllistä järjestelmän rakenteen vuoksi. Putkilinjan pituudesta johtuen kiertävä vesi kerkeää jäähtymään kierron aikana. Toimenpiteellä saadaan linjan ääripäähän, eli viimeisellekin AHU-laitteelle, lämpimämpää ja kuumempaa vettä, jolloin kaikkien kolmen AHU-laitteen

kuluttama energiankulutus tasoittuu samalle tasolle. Tällä hetkellä AHU 1 kuluttaa huomattavasti vähemmän kaasua kuin AHU 2 tai AHU 3, koska se on lähimpänä Oxidizerin lämmönvaihdinta. Kuva 3 havainnollistaa ilmiön paremmin. Kaasun kulutuksen aikaväli on 12 h ja yksiköt kuutioita.

AHU1 Gas Usage	134
AHU2 Gas Usage	185
AHU3 Gas Usage	209

Kuva 3. Kuva AHU-laitteiden kulutuksesta, josta selviää AHU-Laitteiden välinen ero kaasukulutuksessa.

(Joel Niemi-Korpi: 2019)

2.1.4 Säätöpiiri

Oxidizerin lämmönvaihtimen ympärille kannattaa ehdottomasti rakentaa *säätöpiiri*, joka estäisi kierron, mikäli lämmönvaihtimessa veden lämpötila laskisi alle asetetun asetusarvon. Tällä toimenpiteellä saadaan valintatavasta riippuen joko pesukoneelle tai AHU-laitteille tasalämpöistä ja aina kuumaa vettä, jolloin on helpompaa ennakoita esimerkiksi lisälämmityksen tarve boilerilla. Lisäksi se parantaisi järjestelmän hyötysuhdetta ja lämmönvaihtimen karstoittuminen vähentyisi merkittävästi. On havaittu, että lämmönvaihtimen lämpötilan jatkuva muutos sekä kuluttaa että likaa vaihdinta nopeasti.

Säätöpiirin rakentaminen olisi yksinkertaisinta tehdä niin, että Oxidizerilta tuotaisiin lämmönvaihtimen lämpötila tieto analogiatulona logiikalle, joka ohjaisi suoraan kiertovesipumpun nopeutta lämpötilan mukaan. Järjestelmään kannattaa lisätä kolmitieventtiili myös pesukoneen luokse. Venttiili aukeaisi aina, kun veden lämpötila olisi esimerkiksi 90 celsiusastetta ja vastaavasti sulkeutuisi tai pienentäisi virtausta lämpötilan laskiessa alle 80 celsiusasteen. Hystereesi kannattaa pitää kuitenkin kohtuullisen suurena, esimerkiksi 10 celsiusastetta, jotta venttiilin käyttöikä pysyy korkeana.

Lähes samanlainen säätöpiiri on jo käytössä Bodymakereiden jäähdytysveden kiertossa, joten sen valmistus voidaan toteuttaa tehtaan henkilöstöä hyväksi käyttäen, jolloin asennuskustannukset saadaan laskettua minimiin.

2.2 Kompressorit

Tehtaalla on käytössä tällä hetkellä Atlas Copcon kompressoreita kolme kappaletta, mallimerkintä ZR 315, sekä yksi matalapaine kompressori, mallimerkinnältään Kaeser 375 D. Kompressorit käyvät vuorotellen kuitenkin niin, että matalapaine kompressori käy aina ja yksi kolmesta tavallisesta kompressorista avustaa mukana. Laitteet on sijoitettu niille varattuun tilaan, jonne ne luovuttavat lämpönsä. Koska koneiden tuottama hukkalämpö on niin suurta, tilaa täytyy myös jatkuvasti erikseen viilentää. Tässä on yksi selkeä parannuskohde. Kompressoreiden tuottama hukkalämpö voitaisiin ohjata talvella suoraan halliin, jolloin säästettäisiin hallin lämmityskustannuksissa ja samalla lisätään työntekijöiden viihtyisyyttä. Vastaavasti kesällä kuuma ilma voidaan ohjata suoraan ulkoilmaan. Tällöin tilan viilentämistarve laskee tai se voidaan parhaassa tapauksessa lopettaa kokonaan. Kuvassa 4 on matalapaine kompressori.



Kuva 4. Matalapaine kompressori.

(Joel Niemi-Korpi: 2019)

2.2.1 Matalapainekompressorin tekniset tiedot.

Olen koonnut alle matalapainekompressorin tärkeimmät tekniset tiedot tämän insinöörityön kannalta.

Käyttöpaine: 10 baaria

Moottorin nimellisteho kW: 200

Mitat L x S x K: 2,960 x 2,030 x 2,140

Äänenpainetaso: 75 DB(A)

Paino: 5000 kg

Maksimi ylipaine: 12 baaria

Koko laitteiston tilavuusvirta eri käyttöpaineissa: 30,13 kuutiota/ minuutissa

(Kaeser kompressorit, 2019)

2.2.2 Toimenpiteet

Tavalliset kompressorit ovat tällä hetkellä niin vähäisellä kuormituksella, että niistä saatava hukkalämpö on todella vähäistä. Vastaavasti matalapainekompressorin joka on jatkuvasti käytössä, tuottaa paljon lämpöä ympäristöönsä. Matalapainekompressorin jatkuva käyttö on huomattavasti halvempaa verrattuna tavallisiin kompressoreihin. Tämän vuoksi laitteesta saatava hukkalämpö kannattaa ehdottomasti saattaa tuotantotilaan, jossa sille on talvella muutenkin tarvetta. Matalapainekompressorilta helpoin ja yksinkertaisin tapa ottaa lämpöä talteen on rakentaa putkisto tuotantotilaan ja ulkoilmaan. Tämä tapa on halpa toteuttaa, ja laitteen tuottama hukkalämpö saadaan valjastettua hyötykäyttöön. Tilan viilentämisen tarve pienenee merkittävästi ja samalla tuotantotilojen lämmityskulut pienentyvät talvella.

2.3 Bodymakerin jäähdytysvesi

Bodymaker on laite, joka muotoilee tölkin rungon tölkin muotoiseksi. Kone pystyy tekemään lähes 400 tölkin aihiota minuutissa. Prosessissa syntyy runsaasti lämpöä, koska jokainen tölkki venytetään oikean kokoiseksi.

Tuotannossa on tällä hetkellä käytössä kymmenen Bodymakeria, jotka vaativat suuren määrän jäähdytysnestettä. Bodymakerille tullessa jäähdytysneste on noin 18 celsiusastetta. Koneesta poistuessa nesteen lämpötila kohoaa noin 30: celsiusasteeseen, jonka vuoksi se vaatii jatkuvaa jäähdytystä. Tällä hetkellä asia on ratkaistu viemällä putket AHU-laitteille, jossa kuuma jäähdytysneste kiertää talviaikaan ja esilämmittää tehtaalle tulevaa AHU-laitteiden ilmaa. Järjestelmän hyötysuhde on kuitenkin olematon, ja jäähdytysnesteessä on energiaa, jonka voisi hyödyntää esimerkiksi tuotantotilan lämmitykseen.

Kesäaikaan siirryttäessä lämpöä ei tarvita enää hallin lämmitykseen, jolloin jäähdytysvesi ohjataan katolla sijaitseville jäähdyttimille, joilla lasketaan nesteen lämpötila halutulle tasolle.

2.3.1 Toimenpiteet

Järjestelmää voisi kehittää esimerkiksi niin, että talvella AHU-laitteille menevä kuuma vesi kiertäisi ensin hallin katon rajassa tuotannon läpi, jossa olisi puhaltimella varustettuja lämmittimiä. Tehtaan tiloissa on käytetty Gea Heat exchanger Multimax HN22 lämmittimiä, jotka ovat osoittautuneet toimiviksi. Näitä voidaan lisätä haluttu määrä tuotannon puolelle. Toimenpiteen avulla jäähdytysvedestä saadaan talteen huomattavasti suurempi energiamäärä hyötykäyttöön. Lisäksi talteen otettava lämpö tulee suoraan tuotantotiloihin, eikä sitä mene AHU-laitteiden häviöihin.

Lämmittimien jälkeen jäähdytysneste kiertäisi vielä AHU-laitteiden kautta, josta se johdetaan takaisin tuotantoon. Järjestelmä tuottaa AHU-laitteiston esilämmitykseen hieman vähemmän energiaa, mutta se toisi tuotantotilaan valtavasti lämmintä ilmaa. Niinpä AHU-laitteiston tarvitsee lämmittää sisäilmaa huomattavasti vähemmän, kuin nykytilan-

teessa. Järjestelmän rakentaminen vaatii kuitenkin hieman putkitusmuutoksia, mutta toisaalta siinä piilee valtava määrä energiaa hyödyntämättömänä. Lämmönvaihtimen rakenne on esitettyä kuvassa 5.



Kuva 5. GEA Lämmönvaihdin HN 22.

(Joel Niemi-Korpi: 2019)

2.3.2 GEA HN22 Tekniset tiedot.

Alle on koottu tärkeimmät tekniset tiedot lämmönvaihtimella varustetusta puhaltimesta.

Valmistaja: GEA Air Treatment system

Tyyppi: Multi MAX HN 22

Sarjanumero: FDTB21-6HF744-0001-T

Suojausluokka: IP54

Teho: 120 W/70 W

Käyttöjännite: 3 x 400V/ 50 HZ

2.4 Alipainepumput

Tuotannossa on kolme alipainepumppua, jotka tuottavat tarvittavan määrän alipainetta koneiden ja kuljettimien käyttöön. Alipainepumput tuottavat suuren määrän kuumaa ilmaa, joka ohjataan suoraan seinästä ulkoilmaan. Ulos puhallettavan ilman lämpötila on noin 50 astetta. Laitteiden tuottamalla lämmöllä voitaisiin esimerkiksi lämmittää talvella tuotantotilaa. Tällä toimenpiteellä voidaan laskea merkittävästi talvella syntyneitä lämmityskustannuksia, joita syntyy heikon hyötysuhteen omaavasta lämmitys järjestelmästä.

Alipainepumpuissa on varaukset valmiina myös nestekiertoiselle lämmönvaihtimelle, joten vaihtoehtona on myös liittää järjestelmään vesiputket, joita voitaisiin käyttää osana prosessia tai tuotantotilan lämmitykseen. Tämä ratkaisu vaatii kuitenkin putkitöitä enemmän kuin sisätilan suora lämmittäminen. Toisaalta se on myös energiatehokkaampi ratkaisu. Laitteiston tuottama kuuma vesi ei sovellu kuitenkaan liitettäväksi osaksi Oxidizerin lämmönvaihtimen kiertoa, sillä alipainepumpuilta saatava lämmin vesi on korkeimmillaan noin 70 celsiusasteista, kun taas Oxidizerilla veden lämpötila 80 – 90 celsiusastetta. Järkevä tapa hyödyntää alipainepumppujen tuottamaa kuumaa vettä on tehdastilan suora lämmittäminen esimerkiksi puhaltimilla varustetuilla lämmittimillä. Kuvassa 6 on kuvattuna yksi kolmesta alipainepumpusta tuotanto tiloissa.



Kuva 6. Alipainepumput.

(Joel Niemi-Korpi: 2019)

2.4.1 Alipainepumpun tekniset.

Alipainepumpun toiminnan ymmärtämiseksi, olen koonnut alle tekniset tiedot kyseisestä laitteesta.

Valmistaja: Pneumofore U.S.A

Tyyppi: UV 30

Sarjanumero: 37840.47

Teho: 45 KW/ 50HZ

M³/h: 1242- 2160

Käyttöjännite: 400 V

Paino: 1900 kg

(Pneumofore Vacuum pumps: Technical data)

2.4.2 Toimenpiteet

Rakennetaan alipainepumpuille putkilinja, johon lisätään kääntöpellit talvi- ja kesäkäyttöä varten. Ratkaisu on helppo toteuttaa, eikä se vaadi suurta rahallista investointia. Järjestelmä nostaisi talvella pakkaus- ja varastotilojen lämpötilaa, ja samalla saadaan talteen kaikki tuotettu hukkalämpö.

Vaihtoehtoisesti rakennetaan vesiputkilinja, jossa kiertää vesi vakuumpumppujen lämmönvaihtimien kautta ja ohjataan lämmin vesi tehdashalliin lisättäviin puhallin lämmittämiin, jotka lämmittävät tuotantotiloja. Tämä ratkaisu on energiatehokkaampi ja sillä varmistetaan, että puhallettava ilman laatu on varmasti puhdasta ja hajutonta, verrattuna siihen, että koneen tuottama poistoilma siirrettäisiin suoraan tuotantotiloihin putkiston kautta.

2.5 Pesukoneen savukaasujen poistoputki

Pesukoneen savukaasujen poistoputki työntää tällä hetkellä kaiken energian suoraan taivaalle. Se sisältää hyödyntämätöntä energiaa, jota hyödyntämällä saadaan laskettua tuotannon lämmityskustannuksia. Tehtaan katolle tulevien savukaasujen lämpötila Kimon virtausmittarilla mitattuna on noin 80 astetta. Tämä lämpö voidaan ohjata hyötykäyttöön lämmönvaihtimella, joka lämmittäisi vettä esimerkiksi AHU-laitteiston käytettäväksi.

Vaihtoehtoisesti sillä voidaan lämmittää myös tuotantotilaa. Tämä ratkaisu on hieman kalliimpi, mutta toisaalta se lämmittää suoraan tuotantotilaa ilman lämpöhäviöitä, joten

se on parempi ratkaisu pitkällä aikavälillä. Tällöin myös AHU-laitteiston käyttöastetta voidaan pienentää ja sitä kautta maakaasun käyttö vähenee ja säästetään energiakustannuksissa.

Toimenpiteet

Rakennetaan katolle lämmönvaihdin, jonka avulla esilämmitetään AHU 3: n ilmaa. Lisäksi rakennetaan samantapainen säätöpiiri kuin Bodymakereiden jäähdytysveden kierrossa on käytössä. Tällä toimenpiteellä saadaan pesukoneen savukaasujen poistoputken potentiaali hyötykäyttöön. Toinen vaihtoehto on lämmittää tuotantotiloja talviaikaan lisäämällä lämmönvaihtimella varustettuja puhaltimia. Molemmat vaihtoehdot ovat hyviä ja valinta tehdään sen perusteella halutaanko AHU laitteiden käyttöä lisätä vai vähentää.

3 Järjestelmän liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään

3.1 Ohjaus

Lämmöntalteenottoon soveltuvia ohjausjärjestelmiä on markkinoilla useita vaihtoehtoja. Automaatiota hyödyntämällä pystytään säästämään sekä työvoimaa että energiaa. Lisäksi viihtyisyys työympäristössä kasvaa ja työn tehokkuus nousee. Älykkäällä ohjauksella minimoidaan turhat lämmityskustannukset tehokkaasti ja saadaan reaaliaikaista tietoa tehtaan sisällä ja ulkona vallitsevista olosuhteista. Laitteistojen automatisointi vaatii toimiakseen pienlogiikoita tai etäohjattavia I/O- kortteja, jotka ohjaavat järjestelmiä ja ottavat vastaan tilatiedot. Ne myös lähettävät tiedon eteenpäin rakennusautomaatiojärjestelmään, jota voidaan seurata valvomosta reaaliajassa.

3.1.1 Automaation lisääminen LTO: n sovelluksiin

Automaation avulla voidaan parhaimmillaan helpottaa työntekoa sekä nostaa kustannustehokkuutta tuotannossa. Toisaalta järjestelmien automatisointi saattaa aiheuttaa tuotantoon häiriöitä etenkin alkuvaiheessa käyttöönottoa. Lisäksi järjestelmien rakentamiseen tarvitaan rahaa. Siksi kaikkia lämmöntalteenottoon soveltuvia laitteita ei kannata

ilman harkintaa automatisoida. Erityisesti laitteistot, jotka tuottavat rahallisesti vuositasolla pieniä säästöjä, kannattaa jättää automatisoinnin ulkopuolelle, jotta lämmöntalteenoton kehittämisen budjetti ei pääse paisumaan liian suureksi.

Lämmön talteenottoon soveltuvat laitteet kannattaa automatisoida ainakin Oxidizerin osalta, jotta järjestelmä on hyödyllinen ja kannattava, sillä siitä saatava tieto on tärkeää ja sitä on määrällisesti paljon. Sen seuraaminen on myös helpompaa ja vikatilanteissa päästään nopeasti käsiksi ongelmiin. Oxidizerilla saavutettavat säästöt ovat niin merkittäviä, että automatisointi maksaa itsensä nopeasti takaisin.

Muiden lämpöä tuottavien laitteistojen liittäminen rakennusautomaation taakse riippuu siitä, kuinka korkealle laitteiden hyödyntäminen nostetaan. Pesukoneen savukaasujen poistoputken ympärille olisi hyödyllistä rakentaa automaatiojärjestelmä, koska se on selkeästi helpoin tapa reagoida vaihtelevaan prosessiin ja saada paras mahdollinen lämpö talteen.

3.1.2 Fidelix

Fidelix on johtava kotimainen rakennusautomaatiojärjestelmien tuottaja. Yritys on perustettu vuonna 2002. Se työllistää tällä hetkellä noin 195 henkilöä, liikevaihdon ollessa 25 miljoonaa euroa. Yritys tunnetaan omaperäisistä ja innovatiivisista ratkaisuistaan rakennusautomaation parissa. (Fidelix, 2019).

Tällä hetkellä tehtaalla on käytössä Fidelixin Combi-36 -automaatiojärjestelmä, joka toimii käytännössä vain osassa tehtaan sisällä olevista järjestelmistä. Kyseistä järjestelmää voisi laajentaa niin, että se ulottuisi käytettäväksi myös lämmöntalteenottoon soveltuviin koneisiin. Järjestelmän avulla koko prosessi olisi yhden ohjausyksikön takana, mikä selkeyttäisi tulevaisuudessa kokonaisuuden hallintaa. Investoinnin kulut pysyvät maltillisina, koska ohjausjärjestelmä on jo valmiina.

Järjestelmän päivittäminen vaatisi nykyisen järjestelmän modifiointia. Uudet ohjaukset voidaan ottaa käyttöön lisäämällä laitteisiin vaadittavaa anturitekniikkaa sekä johdottamalla uudet järjestelmät. Lisäksi vaaditaan Fidelixin ohjelmointia, joka suoritetaan alihankkijan toimesta.

Säätölaitehuolto on tehnyt Ball: in Mäntsälän tehtaalle hinta-arvion lämmöntalteenottoon ja energian säästöön liittyen. Arvio on suuntaa antava ja osa siinä esitetyissä toimenpiteistä on jo suoritettu. Tarjouksen perusteella järkevät muutokset pyörivät noin 32000 euron tuntumassa, mutta siihen pitää vielä lisätä Oxidizerin säätöjärjestelmän liittäminen rakennusautomaation piiriin sekä pesukoneen savukaasuputken, vakuumpumppujen sekä matalapainekompuran kehittäminen, jolloin puhutaan ainakin noin 70 000 euron investoinnista.

3.1.3 Combi-36: n Tekniset tiedot

Laite on 36 kanavaa sisältävä yhdistelmämoduuli, joka tarjoaa meidän käyttöön tarpeeksi monipuoliset liitännämahdollisuudet muihin laitteisiin ja pitää sisällään runsaasti input/output liitäntöjä, esimerkiksi 12 digitaalista sisääntuloa, kahdeksan analogista sisääntuloa sekä kahdeksan digitaalista ulostuloa. Laite on asennettavissa DIN-kiskoon, sekä sisältää irrotettavat liittimet. Laite on kooltaan kompakti ja niitä voidaan tarvittaessa hankkia ja lisätä myöhemmin nykyiseen järjestelmään (Fidelix, 2019)

3.2 Instrumentointi

Laitteiston automatisoinnin vuoksi järjestelmä tarvitsee lisää mitattavaa dataa, sähköisesti ohjattuja kolmitieventtiileitä, tietoa ulkona ja sisällä vallitsevista lämpötilasta ja tehdashallissa vallitsevasta kosteusprosentista, jotta järjestelmä osaa mukautua erilaisiin ja vaihteleviin olosuhteisiin. Taajuusmuuttajia ja pumppuja on suositeltavaa lisätä rakennusautomaatio järjestelmän taakse, jotta järjestelmä saa tarvittavat tila ja käyntitiedot. Sen avulla se osaa itse ohjata esimerkiksi lämmönvaihtimelta veden joko AHU-laitteistolle tai kääntää kierron pesukoneen boilerille veden lämmitykseen, mikäli lämpötila on riittävä.

3.2.1 Anturit

Järjestelmä tarvitsee toimiakseen ainakin lämpötila- ja paine-eroon reagoivia antureita. Lisäksi tarvitaan rajakytkimiä erilaisten liikkeiden tunnistamiseen ja hallintaan. Markki-

noilla on tarjolla erilaisia antureita ja rajakytkimiä lukematon määrä. Teollisuuden sovelluksiin yleisimpiä ja hyväksi todettuja valmistajia ovat esimerkiksi SICK, IFM, Omron ja Sencon. Kaikki kyseiset merkit ovat osoittautuneet teollisuudessa laadukkaiksi. Luotettavilla komponenteilla minimoidaan mahdolliset häiriötilanteet automatiikan osalta.

3.2.2 Johdotus

Johdotus instrumenteilta ohjauskeskukselle (Fidelix tai logiikka) suoritetaan automaation sovelluksiin tarkoitetuilla kaapeleilla, jotka täyttävät tarvittavat standardit teollisuuden automaattioratkaisuihin. Johdotukseen käytettävät kaapelit vaihtelevat olosuhteiden mukaan. Esimerkiksi NOMAK, JAMAK, YSLY sekä LIYCY soveltuvat ominaisuuksiensa puolesta hyvin kaapelointiin. Kaapelitiet ovat suurelta osin jo valmiina, pieniä määriä JAPP-putkea ja lankahyllyä joudutaan vetämään antureille ja tiedon kuljettamista varten.

4 Energian säästö ja takaisinmaksuaika

Lämmöntalteenoton päätavoitteena on hyödyntää kaikki tuotettu lämpö, jonka myötä säästetään energiaa ja ympäristöä. Yhtiön tavoitteiden mukaisesti päämääränä on laskea energian kulutusta vuosi vuodelta. Tässä selvityksessä mainittujen laitteistojen kehittäminen säästäisi tässä yksikössä erityisesti maakaasua, jota käytetään tuotannon lämmittämiseen ja prosessin pyörittämiseen

4.1 Kaasun säästäminen

Kaasua säästetään, kun vaihdetaan Oxidizerin lämmönvaihdin tehokkaampaan malliin ja vähintään automatisoidaan lämmönvaihtimen vedenkierron ohjaus. Tällä toimenpiteellä saadaan pidennettyä aikaa, jolloin pesukoneen vaatima kuumavesi saadaan suoraan Oxidizerin lämmönvaihtimelta. Tällä hetkellä Oxidizerin avulla saadaan tuotettua tarpeeksi lämmintä vettä vain kesä kuukausina, mutta päivityksen avulla voitaisiin puhua,

jopa 4-7 kuukaudesta vuositasolla. Automatisoinnin avulla saadaan nostettua järjestelmän hyötysuhdetta ja toimivan säätöpiirin avulla järjestelmän veden lämpötila pysyy stabiilina olosuhteista riippumatta.

4.1.1 Boilerin kulutus

Boileri kuluttaa keskimäärin 900 kuutiota kaasua vuorokaudessa. Kaasu maksaa kuutiolta vuodenajasta riippuen keskimäärin 0,27 euroa kuutiolta. Hinnan päälle tulee kuitenkin verot, huoltovarmuusmaksu, sekä siirtomaksu, jonka myötä kuutiohintaa talvella keskimäärin 0,6 euroa kuutiolta. Kesällä vastaava hinta on noin 0,55 euroa kuutiolta. Oxidizerin lämmönvaihtimen toiminnan tehostamisella lämmintä vettä riittäisi 4-7 kuukautta vuodesta pesukoneelle, jolloin boilerin kaasun kulutus tippuisi optimaalisissa olosuhteissa lähes puoleen nykyisestä kulutuksesta. Tällöin suorat säästöt kaasun osalta ovat yksistään merkittävät.

Vuodessa boileri käyttää kaasua keskimäärin 10 kuukautta vuodesta. Tällöin hinnaksi muodostuu kaavalla 1

$$T \times M \times H = \text{Kokonaissumma} \quad (1)$$

$$300 \times 900 \times 0,6 = 162\,000 \text{ euroa}$$

T on aika (päivinä vrk)

M on kaasun määrä (kuutioina)

H on kaasun hinta (euroina)

Vuodessa boilerin käyttö maksaa tällä hetkellä kaasun osalta noin 160 000 euroa. Lämmönvaihtimen tehokkaammalla käytöllä hinta pienenee merkittävästi. Samalla kaavalla laskettuna vuosi hinta tippuisi reilun kolmanneksen, jolloin puhuttaisiin vuositasolla jopa 50 000 euron säästöstä. Säästetty energian määrä vaihtelee 1000 MWh ympärillä.

(Energia arvot ja muuntokertoimet: 2019)

4.1.2 AHU-laitteiden kulutus

Kesällä AHU-laitteiden kulutus on hyvin vähäistä, koska tehdashallissa lämpötilat nousevat koneiden hukkalämmön vuoksi riittävälle tasolle 20–25 astetta, jolloin AHU-laitteita ei tarvitse käyttää ollenkaan.

Jokainen AHU kuluttaa kuitenkin talvella keskimäärin 250 kuutiota kaasua vuorokaudessa. Talvella kaasua kuluu 750 kuutiota vuorokaudessa tehtaan lämmittämiseen. Määrä on merkittävä ja se pienenee huomattavasti, kun Oxidizerin lämmönvaihtimen vesi kiertäisi kuumempina kuin aikaisemmin. Vuositasolla säästöt voidaan laskea niin, että kuusi kuukautta vuodessa Oxidizerin lämmönvaihtimen lämpö ohjataan AHU-lämmittinlaitteille. Paremman lämmönvaihtimen ansiosta ilman esilämmitys on aiempaa tehokkaampaa ja kaasun kulutus voisi tippua esimerkiksi kolmanneksen nykyisestä. Vuositasolla puhuttaisiin merkittävästä säästöstä. Kaavan 1 mukaan.

$$T \times M \times H = \text{Kokonaissumma} \quad (1)$$

$$180 \times 750 \times 0,6 = 81\,000 \text{ euroa}$$

T on aika (vrk)

M on kaasun määrä (kuutioina)

H on kaasun hinta (euroina)

Vuositasolla saavutetut säästöt ovat noin 30 000 euron hintaluokassa.

Oxidizerin lämmönvaihtimen toiminnan tehostaminen on tehokas keino saavuttaa merkittäviä säästöjä. Tuhat kuutiota kaasua sisältää energiaa noin 10 MWh. Yhteensä kaasua säästyy vuodessa arviolta 130 000 - 150 000 kuutiota. Tällöin vuosittain säästettävä energiamäärä kaasun osalta on noin 1300–1500 MWh.

4.2 Alipainepumppujen säästöt

Alipainepumppujen tuottaman hukkalämmön johtaminen tuotantotilaan laskee talvella lämmityksen tarvetta. Hukkalämpöä syntyy kaikista laitteista sama määrä, mutta järjestelmän rakenteesta johtuen kaksi pumppua kolmesta on aina samaan aikaan päällä. Pumppujen hyötysuhde paranee, kun sen tuottama hukkalämpö otetaan talteen. Tuntikohtainen sähkön kulutus on 32 kW pumppua kohden. Vuorokaudessa alipainepumput kuluttavat sähköä noin 1536 kW.

Tein virtausmittaukset laskelmien tueksi. Mittaukset suoritettiin Kimon virtausmittarilla. Alipainepumppujen hukkalämmön virtaamat vaihtelivat eri putkien päissä. Käytössä olevien putkien päissä virtausnopeudet olivat yhtäläiset. Noin 3000 kuutiota tunnissa, virtausnopeus 4 m/s lämpötila noin 50 celsiusastetta. Putken halkaisija tässä linjassa 35 x 35 cm.

$$1 \text{ m}^3 = 1,29 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg ilmaa sisältää energiaa } 1,0 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kJ} = 0,000278 \text{ kW/h}$$

Lasketut arvot: käyttämällä kaavaa 2: (2)

$$E = M \times C \times \Delta T$$

jossa M on ilmamäärän massa

C on ilman ominaislämpö kapasiteetti

Delta T on lämpötilan muutos

$$M = 3000 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,29 \text{ kg} = 3870 \text{ kg/h}$$

$$E = 3870 \text{ kg/h} \times (50 - 35) \text{ Celsiusastetta} \times 1,0 \text{ kJ} = 39087 \text{ kJ/h}$$

$$39087 \text{ kJ/h} \times 0,0002778 = 10,1 \text{ kW/h}$$

Yksi kilowatti maksaa yhtiölle kokonaisuudessaan noin 6 senttiä tuntia kohden. Yksi alipaine pumppu tuottaa hukkalämpöä vuorokaudessa 260 kW/h. Vuorokaudessa yhden pumpun tuottama rahallinen hyöty 16 e. Kun molemmat pumput ohjataan lämmittämään sisätiloja, vuorokaudessa saadaan hukkalämpöä talteen noin 500 kW/h. Rahallinen säästö tulee olemaan arviolta noin 30 euroa vuorokaudessa. Suomen olosuhteissa sisätiloja voidaan lämmittää arviolta 5 kuukautta vuodesta. Tällöin säästetään noin 4500 - 5000 euroa vuodessa. Summa on lopulta merkittävä, ja se vähentää hallin lämmitystarvetta talvella ja se on helposti saatavilla. Lisäksi se on toteutettavissa pienellä investoinnilla. Samalla se tukee yhtiön tavoitteita kaasun, sähkön ja kestäväen kehityksen osa-alueilla.

4.3 Matalapainekompressorin säästöt

Matalapainekompressorin lämmön talteenotolla säästetään vuosittain lämmityskustannuksissa, talvella tuotantotilan lämmitystarve vähenee, mikä laskee osaltaan AHU-laitteiden käyttämää energiaa. Lisäksi säästöjä tulee kompressorihuoneessa tilan jäähdytys tarpeen vähentymisestä. Samalla tuotantotila muuttuu viihtyisämmäksi työskennellä.

Matalapainekompressorin hyötysuhteeksi valmistaja ilmoittaa 96 % lämmöntalteenoton avulla. Tällä konseptilla 2 % kompressorin lämmöstä vapautuu ympäristöön ja toiset 2 % siirtyy paineilman mukana eteenpäin. (kaeser.com: palvelut/tietoa: laskimet: lämmöntalteenotto). Moottorin kuluttama energia keskimäärin 180 KW/h. Määrä vaihtelee vuorokausikohtaisesti, laitteiden käyttämän ilmamäärän mukaisesti. Kuormituksen ollessa suurimmillaan tuntikohtainen kulutus voi ylittää 210 kW:iin/h, ilmantarpeen ollessa pienimmillään kulutus voi hetkellisesti käydä 140 kW:ssa/h.

Poistopuolen virtausmittaus paljasti laitteiston potentiaalin. Mittaus suoritettiin Kimon virtausmittarilla, jonka sijoitin poistoputken suulle. Virtaamaa on hankala arvioida tarkasti, koska putkessa on virtausta pienentäviä kuristimia. Tuntikohtainen kuutiomäärä keskimäärin noin 15000 kuutiota/h, virtausnopeus 9 m/s. Lämpötila pysytteli 45 celsiusasteissa. Putken halkaisija 125 x 125 cm. Ilman ominaislämpö kapasiteetti kerroin on 1,0 kJ/kg. (Tekniikan Kaavasto, 2005)

$$25000 \text{ m}^3/\text{h} = 250\,000 \text{ l}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1,29 \text{ kg}$$

1 kg ilmaa sisältää energiaa 1,0 kJ

$$1 \text{ kJ} = 0,0002778 \text{ kW/h}$$

Lasketut arvot kaavalla 2: (2)

$$E = M \times C \times \Delta T$$

jossa M on ilmamäärän massa

C on ilman ominaislämpö kapasiteetti

Delta T on lämpötilan muutos

$$M = 10000 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,29 \text{ kg} = 12900 \text{ kg/h}$$

$$E = 12900 \text{ kg/h} \times (45-35) \text{ Celsius astetta} \times 1,0 \text{ kJ} = 130290 \text{ kJ/h}$$

$$130290 \text{ kJ/h} \times 0,0002778 = 36 \text{ kW/h}$$

Vuorokaudessa energiaa säästetään noin 700 kW. Rahallinen säästö on noin 50 euroa vuorokausi, vuotuinen säästö arviolta noin 10 000 euron hintaluokassa.

4.4 Bodymakerin jäähdytysveden säästöt

Bodymakerin jäähdytysveden hyötykäytön säästöjä on hankala arvioida rahallisesti, koska tarkka määrä ja veden lämpötilan vaihtelu aiheuttavat epätarkkuutta. Lämmittävien puhaltimien tuoma hyöty johtaisi siihen, että tehdashallin lämmittäminen vaatisi huomattavasti vähemmän AHU-laitteiden ja sitä kautta maakaasun käyttöä. Bodymakerin jäähdytysveden hyödyntäminen vaatii putkimuutoksia nykyiseen runkolinjaan, mutta sen muutostyötä kannattaa harkita vakavasti.

4.5 Pesukoneen savukaasuputken säästöt

Pesukoneen savukaasuputken päässä ilman lämpötila on noin 80 celsius astetta. Virtausmittarilla mitattuna putken päästä tulee ilmaa 5800 kuutiota/h. Putken halkaisija noin 35 x 35 cm. Energiämäärä noin 100 kW/h. Laskettu kaavalla 2:

$$E = M \times C \times \text{delta } T \text{ jossa} \quad (2)$$

M on ilmamäärän massa

C on ilman ominaislämpö kapasiteetti

Delta T on lämpötilan muutos

$$M = 5800 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,29 \text{ kg} = 7480 \text{ kg/h}$$

$$E = 7480 \text{ kg/h} \times (80 - 30) \text{ Celsius astetta} \times 1,01 \text{ kJ} = 377841 \text{ kJ/h}$$

$$377841 \text{ kJ/h} \times 0,000278 = 104 \text{ kW/h}$$

Vuositasolla rahalliset säästöt ovat merkittävät. Riippuen laitteiston käyttöasteesta, puhutaan jopa 25 000–30 000 euron summasta. Yksittäisenä kehityskohteenä pesukoneen savukaasujen poistopuhaltimesta saatava hyöty maksaisi itsensä nopeasti takaisin, koska siitä saatava energiämäärä on suuri.

Tämän energiämäärän voi hyödyntää esimerkiksi lämmönvaihtimen avulla, jonka lämmintä vettä voisi kierrättää esimerkiksi AHU 3 kautta. Vaihtoehtoisesti lämmönvaihtimessa kiertävä vesi voisi lämmittää hallin ilmaa, jos rakennetaan esimerkiksi GEA lämmönvaihtimella varustettuja HN 22 puhallinlämmittimiä, jotka lämmittäisivät tuotannon ilmaa talviaikaan.

4.6 Takaisinmaksuaika

Järjestelmän päivittämisessä olennaista on, millä aikavälillä järjestelmä maksaa itsensä takaisin. Yleisesti investointien järkevänä pidetty takaisinmaksuaika on alle viisi vuotta.

Ballin Mäntsälän toimiyksikön kohdalla takaisinmaksuajan määrittäminen on riippuvainen monesta tekijästä. Investoinnin takaisinmaksuaikaan vaikuttaa se, missä mittakaavassa järjestelmää päivitetään. Osa investointimahdollisuuksista menee päällekkäin toisen kehitysvaihtoehdon kanssa. Tärkeää tämän luokan projektissa on se, että mihin tahansa kehitysvaihtoehtoon päätytään, säästetään joka tapauksessa pidemmällä aikavälillä rahaa ja ympäristöä. Kaikki kehitysideat säästävät energiaa, ja ne maksavat investoinnin suuruudesta riippuen itsensä takaisin, jonka jälkeen kaikki säästetty energia kääntyy yhtiölle positiiviseksi. Tehtaan toiminta on vakaalla pohjalla, ja tulevaisuuden näkymät ovat valoisat. Siksi suoraa takaisinmaksuaikaa tärkeämpää on pohtia investointien tuomia hyötyjä resurssien säästämässä, sekä kehittyneempien lämmöntalteenottojärjestelmien myötä kohonneen viihtyisyyden tuotantotiloissa.

Nopeimmat takaisinmaksuajat saadaan Oxidizerin, boilerin sekä AHU-järjestelmien kehittämistä. Vaikka investointikustannukset ovat suuremmat, saavutetut säästöt ovat huomattavia. Vakuumpumppujen ja matalapainekompressoreiden säästöt ovat vuositasolla huomattavasti alhaisempia, mutta niiden toteuttamisen kustannukset ovat maltilliset ja toteutettavissa pienellä rahallisella panoksella.

5 Ympäristönäkökohdat ja investointituki

5.1 Tavoitteet

Kansalliset tavoitteet

Kansallinen ilmastolaki (609/2015) astui voimaan 1.6.2015. Laki velvoittaa vähentämään kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ilmakehään Suomessa vuoteen 2050 mennessä vähintään 80 prosenttia vuoteen 1990 verrattuna. Pitkän aikavälin päästövähennystavoite koskee kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä, mutta keskipitkän aikavälin ilmastopoliittikan suunnitelma koskee vain päästökaupan ulkopuolista sektoria eli maatalouden, liikenteen, jätteiden, teollisuuden F-kaasuja ja rakennusten erillislämmityksen kasvihuonekaasupäästöjä. (Finlex ilmastolaki 609-2015 momentti 6)

Suomen tavoitteet

Suomi on sitoutunut EU:n ilmasto ja energiapaketin myötä vähentämään omia kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Suomen maakohtainen vähennystavoite on pienentää päästöjä 16 prosentilla päästökaupan ulkopuolisilla osa-alueilla (esimerkiksi rakentaminen, rakennusten lämmitys, asuminen, maatalous, liikenne ja jätehuolto sekä teollisuuden fluoratut kasvihuonekaasut). Yhtenä tavoitteena on uusiutuvan energian osuuden nostaminen 38 prosenttiin koko maan energiankulutuksesta. Edellä mainittujen lisäksi Suomi on sitoutunut leikkaamaan myös hiilidioksidipäästöjä 21 prosenttia vuoteen 2020 mennessä verrattuna vuoden 2005 tasoon. (Ympäristöministeriö: Kansallinen ilmastopolitiikka).

Ball oy:n tavoitteet

Yksi keskeisimmistä tavoitteista on olla ympäristöystävällinen, täysin kierrätettävissä olevien materiaalien käyttäjä ja vastuullinen pakkausjuomateollisuuden toimittaja. Yhtiö kertoo käyttävänsä metallia, joka on sataprosenttisesti kierrätettävää, mikä tekee siitä ainutlaatuisen pakkausmateriaalin. Lisäksi Ball Corporation on asettanut toiminnalleen Drive for 10 tavoitteet, joissa linjataan suoraan, että yhtiö on sitoutunut kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti tasapainotettamaan taloudelliset, ympäristölliset ja sosiaaliset vaikutukset pitkän aikavälin menestyksen saavuttamiseksi.

Tällä hetkellä yhtiön tavoitteena on, että jokaisella Ball: in tehtaalla vuoteen 2020 mennessä pienentää sähkön ja kaasun kulutusta nykyisestä 15 prosenttia, veden kulutusta nykyisestä 25 prosenttia. Lisäksi tavoitteena on pienentää Voc – päästöt minimiin. Yhtiö myös linjaa, että vuoteen 2020 mennessä tuotteiden valmistamisessa ei synny lainkaan kaatopaikkajätettä. (Ball Beverage packaging oy: 2017)

Tavoitteet ovat kovat ja asetettuihin rajoihin pääseminen on työteliästä, mutta se antaa yhtiölle erinomaiset kilpailuasetelmat alalla, joka kehittyy hurjaa vauhtia ympäristön ehdoilla, sillä ihmiset ympäri maapallon ovat huolestuneet muun muassa maailman meriin päätyneestä muovijätteestä.

5.2 Investointi tuki

Tällä hetkellä Ball Mäntsälän toimipiste ei voi saada lämmöntalteenoton kehittämiseen investointitukea, koska emme kuulu valtion vetämään energiatehokkuussopimukseen. Yhtiön kannattaa vakavasti harkita liittymistä elinkeinoelämän energiatehokkuussopimukseen, joka on alkanut vuodesta 2017 ja päättyy vuoteen 2025. Tämä sopimus kattaa muun muassa teollisuuden ja elintarvikealan toimijat. Sen tavoitteena on ohjata yrityksiä ja yhteisöjä parempaan energiatehokkuuteen. Sopimukseen liittyneet yritykset asettavat energiankäytön tehostamistavoitteen ja toteuttavat toimenpiteitä tavoitteen saavuttamiseksi yritykselleen. Tulokset kirjataan vuosittain seurantajärjestelmään, joiden avulla Suomi raportoi Euroopan unionille energiansäästön toteutumisesta ja syntyneistä tuloksista. (Motiva/ yritykset/ Energiatehokkuussopimukset: 2017)

Ballin Mäntsälän tehtaan toimipisteen on mahdollista saada valtion tukemaa energiatehokkuuteen tähtäävää energiatukea, mikäli se liittyy ympäristöministeriön energiatehokkuus sopimukseen. Työ- ja elinkeinoministeriö myöntää tukea yritykseen kokoon katso-matta, mikäli hanke tähtää energiatehokkuuden tai energiansäästön edistämiseen vuonna 2019. Tavanomaisella tekniikalla toteutetulle investoinnille myönnettävän tuen suuruus voi olla jopa 20 prosenttia investoinnin kokonaishinnasta. (Energiatehokkuus sopimus: 2017 -2025)

6 Yhteenveto

Lämmöntalteenottojärjestelmän kehittäminen ja kokonaisuuden hahmottaminen osoit-tautui laaja-alaiseksi työksi. Mäntsälän Ballin tehtaalla lämmöntalteenoton kehittämi-ssä on lukematon määrä kehitettäviä kohteita. Positiivista asiassa on se, että tehtaan tämänhetkisten lämmityskustannusten vähentäminen on mahdollista melko pienilläkin muutoksilla. Sekä maakaasun, että sähkönkulutus voivat pienentyä merkittävästi riip-puen siitä, kuinka paljon ja millä asteella tässä insinööriyössä esitettyjä kehityskohteita lähdetään työstämään tulevaisuudessa.

Suurimmat maakaasun kulutukseen vaikuttavat tekijät ovat Oxidizerin lämmönvaihtimen tehokkaampi käyttö, sillä se vaikuttaa suoraan sekä boilerin, että AHU-laitteiden kulutukseen ympäri vuoden. Toinen merkittävä säästö muodostuu pesukoneen savukaasujen poistoputken hyödyntämisestä.

Muita merkittäviä säästökohteita ovat esimerkiksi Bodymakereiden jäähdytysveden kierroksen hyödyntäminen, jonka avulla tehdashallin lämpötila tulee nousemaan huomattavasti korkeammaksi kuin nykyään.

Matalapainekompressorin ja vakuumpumppujen tuottamalla hukkalämmöllä säästetään vuosittain pienempiä summia, mutta niiden toteuttaminen on yksinkertaista ja helppoa. Plussana mainittakoon ympäristön säästäminen ja turhan hukkalämmön minimoiminen. Samalla saadaan talviaikaan pienennettyä tuotantotilan lämmityksen tarvetta.

Lämmöntalteenoton kehittämisen avulla saadaan minimoitua turha hukkalämpö ja saadaan koneiden ja laitteiden tuottama energia siirrettyä oikeisiin paikkoihin. Lisäksi maakaasun ja sähkön kulutus saadaan huomattavasti alemmalle tasolle nykyisestä.

Vuositasolla säästöjen määrä riippuu monesta tekijästä, mutta tässä selvityksessä esille tuotujen kehityskohteiden eteenpäinviemisellä voidaan saavuttaa vuositasolla jopa yli 100 000 euron säästö maakaasun ja sähkönkulutuksen osalta. Summa on todella merkittävä ja se on mahdollista saavuttaa jo olemassa olevista koneista ja laitteista. Kustannukset projektissa on arvioitu noin 50 000-80 000 euron suuruisiksi. Investointi maksaa itsensä takaisin jo ensimmäisen vuoden aikana, jonka jälkeen kaikki siitä saatava hyöty kääntyy yhtiön eduksi.

Kehityskohteita löytyi lopulta monta ja projektin edetessä yllätyin, kuinka paljon potentiaalia laitteissa on ja kuinka vähän niistä saatavaa lämpöä käytetään tehokkaasti hyväksi tällä hetkellä. Tulevaisuudessa energiankulutuksen vähentäminen tulee kuitenkin entistä tärkeämmäksi, joten tässä työssä esitettyjen toimenpiteiden suorittaminen on ehdottomasti kannattavaa taloudellisesti sekä yhtiön imagon kannalta.

Lähteet

Ball vision drive for 10 2019. Verkkoaineisto. Ball Beverage packaking.<https://www.ball.com/eu/vision/drive-for-10>. Luettu 5.6.2019.

Energia-arvot ja muuntokertoimet 2019. Verkkoaineisto. Bioenergianeuvoja. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoaineiden-muuntokertoimia>. Luettu 7.7.2019

Energiatehokkuus sopimukset 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi>. Luettu 10.8.2019

Energiatehokkuus sopimukset 2017-2025: Verkkoaineisto. Motiva oy. <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/>. Luettu 5.6.2019.

Fidelix: Verkkoaineisto <https://www.fidelix.fi/fidelix/> Luettu 11.8.2019

Ilmastolaki 609-2015. Verkkoaineisto. Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>. Luettu 7.6.2019

Kaeser kompressorit 2019. Verkkoaineisto. Kaeser. <https://fi.kaeser.com/palvelut/tieto/laskimet/laemmoen-talteenotto>. Luettu 20.8.2019

Kansallinen ilmastopolitiikka 2019. Verkkoaineisto. https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka. Luettu 6.7.2019

Kinnunen Jarmo: Moottoreiden hyötysuhteet 2014, ABB oy. Verkkoaineisto. ABB. https://www.lut.fi/documents/10633/333534/Moottoreiden+Hy%C3%B6tysuhteet_yleinen_Jarno_Kinnunen.pdf/1f7fb3af-2475-4b2d-98bf-af4d1580d4dc/. Luettu 15.6.2019

Mäkelä Mikko & Soininen Lauri & Tuomola Seppo & Öistämö Juhani, Tekniikan kaavasto, Tammertekniikka 2005.

Napari Ismo & Vehkamäki Hanna, Termodynamiikan perusteet, 2013, Helsingin yliopisto. http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/termo/termofysiikka2013_hv.pdf. Luettu 8.8.2019

Technical data: <https://www.pneumofore.com/vacuum-pumps>. Verkkoaineisto. Pneumofore Vacuum pumps. Luettu 10.6.2019

Liitteet

Säätölaitehuollon karkea tarjous LTO: n kehittämiseen

BALL Mäntsälä

1. Pussipuhaltimet

- nykyiset yksikkötermostaatti säätimet vaihdetaan langattomiin antureihin. Langattomat anturit saadaan helposti sijoiteltua eri puolille hallia, jolloin saadaan säätöä varten järkevät mittauspisteet.
- lisätään ohjauspisteet Fidelix-automaatiojärjestelmään ja ohjataan puhaltimia lämpötilamittausten mukaan.

Kustannusarvio anturien lisäys ja liittäminen automaatiojärjestelmään 12 000,00 eur

2. Pussipuhaltimien muutos taajuusmuuttaja säätöiseksi ja poistopeltien lisäys

Kustannusarvio taajuusmuuttajien lisäys tulo- ja poistopuhaltimeen 4 500,00 eur / pari

Kustannusarvio peltien lisäys poistoilmakanavaan 1 500,00 eur / kpl

3. AHU liittäminen Fidelix järjestelmään

- nykyinen Trend-järjestelmä korvataan Fidelix-laitteilla ja liitetään nykyiseen järjestelmään

Kustannusarvio muutoksista 6 500,00 eur

4. Jälkipolton hyödyntäminen lämmitykseen

- taajuusmuuttaja pumppujen liittäminen automaatiojärjestelmään ja niiden nopeuden säätö lämpötilan mukaan.
- kompressorihuoneeseen lisätään uusi alakeskus, johon liitetään pumppujen, venttiilien ja antureiden pisteet ja varaudutaan tilavarauksella mahdollisiin jatkotoimenpiteisiin kyseisessä tilassa ja sen lähistöllä.
- lisätään venttiilit ja toimilaitteet sekä tarvittavat lämpötilamittaukset siirtimien jälkeen, jolloin voidaan automaattisesti ajaa lämpöä pesuun ja säiliölle eikä tarvitse käsin vaihtaa toimintoja.

Kustannusarvio muutoksista 15 000,00 eur