

Hanna Veijalainen

Teollisuuskiinteistön energiatehokkuuden parantaminen lämmöntalteenotolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
2.5.2011

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Hanna Veijalainen Teollisuuskiinteistön energiatehokkuuden parantaminen lämmöntalteenotolla 39 sivua + 2 liitettä 2.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja Ohjaava opettaja	tehdaspalvelupäällikkö, diplomi-insinööri Juha Leppänen yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinöörityö tehtiin Cembrit Oy:lle. Cembrit Oy valmistaa kuitusementtilevyjä rakennusteollisuuden käyttöön. Kiinteistöön kuuluu kaksi tehdasta: ala- ja ylätehdas. Työn tarkoituksena oli selvittää ylätehtaalle suunniteltujen lämmöntalteenottojärjestelmien hyötyä ja toimintaperiaatetta ja laskea säästö, jotta voidaan laskea lämmöntalteenottoinvestointien kannattavuus. Tavoitteena oli saada suunnitteluvaiheessa oleva lämmityksen parannus siihen vaiheeseen, että voitiin valita hankkeelle urakoitsija.</p> <p>Uudet lämmöntalteenottojärjestelmät suunniteltiin paineilmakompressoreille ja kahdelle tasolevykuivausuunille. Talteen otetulla lämmöllä lämmitetään lämmitysverkoston paluuvettä, jolloin maakaasun polttoa lämmityskattilalla voidaan pienentää.</p> <p>Cembritin koko kiinteistön lämmityskulut ovat normaalikulutuksella vuodessa 125 440 €. Kuivausuunien ja kompressoreiden lämmöntalteenoton lisäyksellä voidaan lämmityskuluissa säästää 111 060 €. Lämmöntalteenottojen rakentaminen vaatii kuitenkin noin 91 020 €:n investoinnin.</p> <p>Investoinnin takaisinmaksuaika 0,8 vuotta osoittaa kuitenkin, että lämmöntalteenottojen rakentaminen on kannattavaa. Lämmöntalteenottojen avulla vähennetään myös huomattava määrä hiilidioksidipäästöjä.</p>	
Avainsanat	lämmöntalteenotto, teollisuus, kuivausuuni, kompressori

Author Title Number of Pages Date	Hanna Veijalainen Improving the energy efficiency of industrial property with heat recovery 39 pages + 2 appendices 2 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor Supervisor	Juha Leppänen, Factory Service Manager, MSc in Technology Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>This final year project was carried out for a company that manufactures fiber cement flat boards for construction industry. The studied building comprises two factories, called the upper and the lower factory. The purpose of the project was to study the benefits and operation of the heat recovery systems designed for the upper factory. Furthermore, the savings achieved with the system and the payback period of the system were calculated to prove the profitability of the investment. The project was also to be prepared to the point where a contractor to implement the project could be selected.</p> <p>The new heat recovery systems were designed for two air compressors and two fiber cement flat board dryers. The recovered heat is to be used to heat the return water in the heating network and, thereby, reduce the consumption of natural gas.</p> <p>The average annual heating costs were €125,440. When heat recovery is added to the dryers and compressors, €111,060 can be saved in heating costs. The investment required is approximately €91,020.</p> <p>The payback period for the investment, 0.8 years, proves that the heat recovery systems are cost effective. Furthermore, heat recovery can significantly reduce the carbon dioxide emissions of the facility.</p>	
Keywords	heat recovery, industry, dryer, compressor

Sisällys

Seliteluettelo

1	Johdanto	1
2	Prosessien kuvaus	5
2.1	Kuivauslinjat	5
2.2	Paineilmakompressorit	8
3	Lämmitysenergian käyttö teollisuuskiinteistössä	10
3.1	Lämmitys	11
3.2	Lämmöntalteenotto	12
4	Nykyiset lämmöntuotto- ja jakelujärjestelmät	14
4.1	Lämmöntuotanto	14
4.2	Lämmönjakelu	17
4.3	Lisälämmittimet	18
5	Lämmitysjärjestelmän parannukset	19
5.1	Kuivauslinjat	19
5.2	Kuivausuunien lämmöntalteenoton investoinnin hinta	24
5.3	Paineilmakompressorit	24
5.4	Kompressoreiden LTO:n investoinnin hinta	25
6	Lämmöntalteenotolla saavutettavat säästöt	26
6.1	Kuivausuunit	27
6.2	Paineilmakompressorit	30
6.3	Vuotuiset säästöt yhteensä	31
6.4	Eri vaikutusten huomioiminen	31
7	Kannattavuus ja takaisinmaksuaika	33
7.1	Kannattavuus	33
7.2	Kulut nykytilanteella	33
7.3	Säästöt	33
7.4	Takaisinmaksuaika	34
8	Teollisuuden energiatehokkuussopimus	35

8.1	Energiatehokkuussopimus	35
8.2	Investointituki	35
8.3	Energiakatselmus	36
9	Yhteenveto	37
	Lähteet	38

Liitteet

Liite 1. Kytkenäkaaviot

Liite 2. Rakennusmääräyskokoelman D5 Liite L1.10

Seliteluettelo

energia	Energialla tarkoitetaan lämpöä, sähköä ja polttoaineita
KP	korkeapaine
LTO	lämmöntalteenotto
lämmitystarveluku	Lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen
PATE	PAineilmaa TEhokkaasti
PATE-analyysi	Motivan PATE-paineilmaenergia-analyysimalli
PK-teollisuus	pieni ja keskisuuri teollisuus
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on selvittää Cembrit Oy:lle suunniteltujen lämmöntalteenottojärjestelmien hyötyä ja toimintaperiaatetta ja laskea säästö, joka voidaan saavuttaa. Lisäksi tavoitteena on saada lämmöntalteenottojen toteutus siihen vaiheeseen, että kartoitetaan ja valitaan urakoitsija. Aihe valittiin, kun ylätehtaan lämmitysjärjestelmän parantaminen nähtiin aiheelliseksi.

Lohjan Muijalassa sijaitseva Cembrit Oy (kuva 1) on yksi maailman suurimmista kuitusementtisten tasolevyjen valmistajista, markkinoijista ja kehittäjistä. Se on tanskalaisen Cembritin tytäryhtiö ja kuuluu FLSmidth & Co. A/S -yhtyrühmään. Kuitusementtilevyjen käyttökohteina rakentamisessa ovat mm. julkisivut, väliseinät, märkätilat, sokkelit ja parvekekaiteet. Levyjen raaka-aineina käytetään sementtiä, sellua ja mineraalisia täyteaineita. Tehtaan tuotanto käy lähes jatkuvasti, sillä työtä tehdään kolmessa vuorossa ja koneet seisovat vain muutamia viikkoja vuodessa. [4.]

Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2010 noin 27,5 miljoonaa euroa. Yrityksen palveluksessa toimii yli 150 henkilöä. Noin 70 % Cembritin tuotannosta menee vientiin, pääasiallisina kohteina ovat Pohjoismaat, Iso-Britannia, Benelux-maat, Baltian maat, Venäjä, Kaukoitää, Yhdysvallat, Saksa, Italia, Puola ja Tsekki. [4.]



Kuva 1. Cembrit Oy ilmakuvasa.

Ympäristö on jo pitkään ollut Cembritille tärkeä arvo ja tuotantoa kehitetään jatkuvasti ympäristöystävällisempään muotoon, sillä ekologisuus on yhä tärkeämpää rakentamisessa. Yrityksellä on esimerkiksi ollut käytössä jo vuodesta 2000 lähtien sisäinen vesikiertojärjestelmä, eli tuotannosta ei päästetä jätevesiä luontoon vaan ne puhdistetaan ja kierrätetään uudestaan prosessien käyttöön. Lämmöntalteenottojen rakentaminen lisää energiatehokkuutta, pienentää polttoainekustannuksia ja samalla vähennetään myös päästöjen määrää. [4.]

Kuitusementtilevyt valmistetaan massasta, jonka raaka-aineina käytetään sementtiä, sellua ja mineraalisia täyteaineita. Jotta massa saadaan tasaiseksi, käytetään sekoittamiseen paljon vettä. Massan sekoituksen jälkeen sitä annostellaan hihnalle, jossa se puristetaan levyksi, jolloin suurin osa vedestä poistuu. Kosteat levyt pinotaan ja annetaan kuivua noin kaksi viikkoa ennen kuin ne viedään lopulliseen kuivatukseen kuivausuunille. Kuivausuunin jälkeen levyt käsitellään käyttötarkoitukseen sopiviksi.

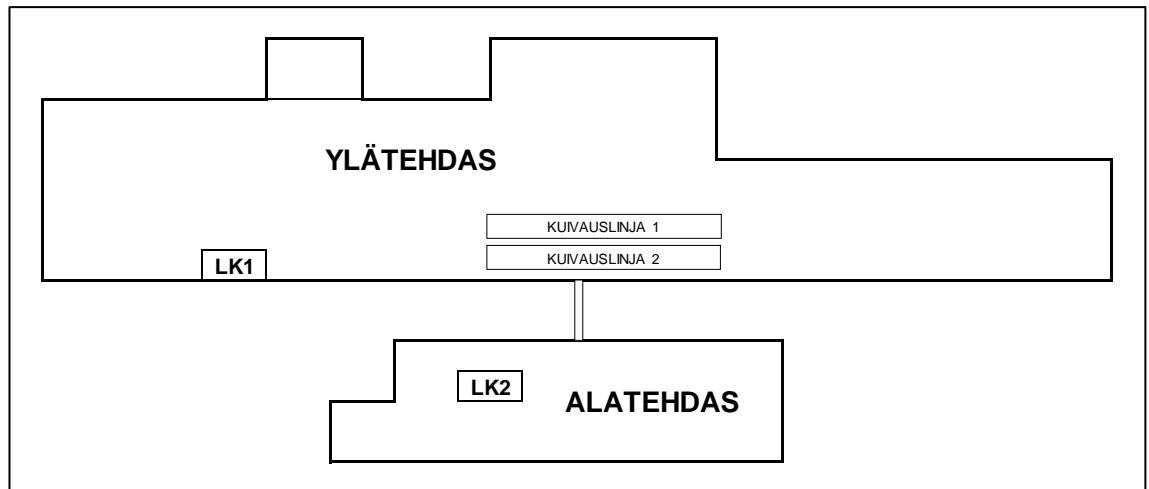
Lämmitysjärjestelmän parantamiseksi on suunniteltu lisättävän lämmöntalteenottoa ylätehtaalla sijaitseville kompressoreille ja kahdelle kuivausuunille. Tällä hetkellä kompressoreilta ja kuivausuunien kuivausosasta poistuva lämmin jäteilma puhalletaan suoraan ulos, vaikka niitä voitaisiin käyttää hallin lämmitykseen.

Suunnitellut LTO-järjestelmät tullaan toteuttamaan vuoden 2011 aikana ja laskelmia voidaan käyttää investointianomuksessa, kun kartoitetaan LTO-investoinneilla saatavaa pitkän tähtäimen säästöä ja takaisinmaksuaikaa. Lisäksi on tarkoituksena liittyä energiatehokkuussopimukseen ja anoa ELY-keskusten ja työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) myöntämää investointitukea. Sitä voidaan myöntää esimerkiksi hankkeisiin, jotka edistävät energiansäästöä ja energiatehokkuutta. [15.]

Pelkästään kustannussäästöt eivät tue energian säästöä, vaan energian säästöllä voidaan vähentää myös ympäristöpäästöjä. Kohdennettaessa energian säästötoimenpiteet oikein ja tehokkaasti säästetään mittavia summia, vähennetään hiilidioksidipäästöjä ja kasvatetaan yrityksen ympäristömainetta [8, s. 6].

Insinööriä tehtiin Cembrit Oy:lle ja tarkasteltavat prosessit, joihin lämmöntalteenotto toteutetaan sijaitsevat kiinteistön ylätehtaalla. Kiinteistö on 1950-luvulla rakennettu, ja lämmitysjärjestelmä on osaksi alkuperäistä. Kiinteistön lämpö tuotetaan tällä hetkellä yhdellä yhdistelmäpolttimella varustetulla maakaasukattilalla, ja sen lisäksi on kiinteistössä pienempi kondenssikattila. Lisäksi lämpöä saadaan prosessien talteen otettavasta hukkalämmöstä. Lämmitysjärjestelmä palvelee sekä ala- että ylätehdasta. Kuvassa 2 on esitetty pelkistetty kuva tehdasalueesta, josta näkyvät lämmönjakohuoneiden ja kuivausuunien sijoittelu. Kiinteistössä on myös lämmityskaudella irrallisia öljytoimisia lämminilmapuhaltimia, jotka olisi tarkoitus saada ylätehtaalta pois käytöstä. Lämmitysjärjestelmän parantamisen tavoitteena on lisälämmittimien poistaminen käytöstä ja vielä hyödyntämättömän hukkalämmön talteen ottaminen.

Työ rajattiin sen aloitusvaiheessa käsittelemään vain kuivausuunien ja kompressoreiden lämmöntalteenottoa ja niiden yhteydessä esiin tulevia asioita, koska tehtaalla lämmitysverkosto on suuri ja käsittää monia erilaisia lämmitysjärjestelmän ratkaisuja. Työn ulkopuolelle on rajattu muut suunnitteluvaiheessa olevat lämmitykseen liittyvät parannukset. Insinööriä sisältyö ja tavoitteet muuttuivat jonkin verran työn edetessä, sillä hankkeen aikataulu ei edennyt suunnitellusti, jolloin urakoitsijan valitsemiseen ei ollut mahdollisuutta ennen insinööriä jättöä.



Kuva 2. Tehtaan pohjakuva.

Kuvassa 2 on esitettyä lämmönjakokeskukset. Ylätehtaan lämmönjakokeskuksessa ovat maakaasukattilat, joista lämmitys putket kulkevat ylätehtaan kautta alatehtaan lämmönjakohuoneeseen, josta lämpö taas johdetaan alatehtaan lämmitysverkostoon.

2 Prosessien kuvaus

2.1 Kuivauslinjat

Tehtaalla on kaksi kuivausuunia, joita käytetään kuitusementtisten tasolevyjen kuivaukseen. Vanhempi on vuodelta 1990 ja uudempi vuodelta 2008 (kuva 3). Kuivausuunit ovat nelikerroksisia konvektiokuivausuuneja, eli levyt kulkevat uunin sisällä neljässä eri kerroksessa. Vanhempi kuivausuuni on teholtaan 3,1 MW ja uudempi 4,2 MW.

Levyjen kuivuminen kuivausuunissa saadaan aikaan kierrättämällä maakaasupolttimien kuumentamaa ilmaa. Maakaasupolttimia on yhdellä kuivaajalla yhdeksän kappaletta. Kuivaajassa olevat puhaltimet puhaltavat kuuman ilman suutinlaatikoihin, joista se purkautuu suurella nopeudella kohtisuoraan kuivattavan levyn pintaa vasten, jolloin levystä alkaa poistua kosteutta levyn lämpötilan noustessa riittävän korkealle. Puhaltimet toimivat vakionopeudella eikä kiertoilman määrää normaalisti säädetä. Kuivureiden kuivausilman lämpötila riippuu kuivattavasta levystä. Kuivaajassa vallitsee normaalisti alipaine, jolloin se ottaa korvausilman päistään. [5.]



Kuva 3. Uudempi kuivausuuni kuivausosan suunnasta kuvattuna.



Kuva 4. Uudemman kuivausuunin (kuivaaja 2) katolla sijaitsevat poistoputket ja puhallin.

Molemmilla kuivausuuneilla jäteilma kerätään kuivausosasta kolmella eri kanavalla, minkä jälkeen ilmavirrat yhdistyvät kokoojakanavassa ja ilma poistetaan yhden kanavan kautta huippuimurilla ulkoilmaan. Savukaasut poistetaan omassa kanavassaan kuivausosan molemmissa päissä olevilla savukaasupuhaltimilla. Kuvassa 3 on uudempi kuivausuuni kuvattu kuivausosasta päin.

Poistettavan ilman lämpötila vaihtelee levystä ja levyn paksuudesta riippuen. Jotkut levyt tarvitsevat korkeammat kuivatuslämpötilat kuin toiset, siksi poistettavan ilman lämpötila vaihtelee jonkin verran. Lisäksi levyä kuivatetaan ensin kuumemmassa lämpötilassa kuivausuunin alkupäässä ja ennen levyn siirtämistä jäähtytykseen ovat kuivatuslämpötilat matalampia. Eräessä tapauksessa alkuosasta poistettavan ilman lämpötila oli ensimmäisellä kanavalla 200 °C, keskimmaisella kanavalla 175 °C ja viimeisellä poistoilmakanavalla 115 °C. Poistettavan ilman lämpötila on aina kuitenkin vähintään 100 °C. Laskelmat on tehty kuivausuunin poistoilman lämpötilan keskiarvolla 125 °C. Poistoilma on laadultaan puhdasta, eikä sisällä poikkeavia määriä likaa tai yhdisteitä. Uudemman kuivausuunin poistokanavat on esitetty kuvassa 4.



Kuva 5. Kuivausuunit jäähdytysosasta päin kuvattuna.

Vanhemman kuivausuunin jäähdytysosan päässä on lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone. Kone ottaa talteen levyjen jäähdytyksessä poistuvan lämmön. Talteen otetulla lämmöllä esilämmitetään maakaasun palamisilmaa kuivurin polttimilla. Lämpöä hyödynnetään myös pakkaamon puolella esimerkiksi oviverhopuhaltimilla. Kuvassa 5 ovat kuivausuunit jäähdytysosan suunnasta kuvattuna.

Kuivausuunien energiatalouden kannalta käyttö olisi parhaimmillaan, kun kuivaajien käyttöajat olisivat pidempiä ja yhtäjaksoisempia, jolloin turhilta käynnistämisiltä välttyttäisiin. Kuivausuunit käyvät eri aikaan. Lämmöntalteenotolla paras hyöty saadaan kohteista, jotka ovat jatkuvasti käytössä.

2.2 Paineilmakompressorit

Kompressorihuoneessa on kaksi kappaletta Atlas Copcon ruuvikompressoreita, jotka palvelevat korkeapaineverkostoa. GA132 (kuva 6) on öljysuihkuperiaatteella toimiva 132 kW:n ruuvikompressori, jossa roottorien välinen tiiveys saadaan aikaan öljysuihkulla ja GA 75 (kuva 7) on 75 kW:n ruuvikompressori. KP-verkoston paineilmaa käytetään tehtaassa lähinnä kuljettimissa, levyn erottimissa, levyn puhdistuspuhalluksissa ja linjojen puhdistuksessa. Kompressorit käyvät normaalisti aina, sillä tehtaassa tuotanto seisoo vain harvoin ja paineilman tarve on jatkuva. [7, s. 37–38.]



Kuva 6. Öljysuihkuperiaatteella toimiva Atlas Copcon GA 132 -ruuvikompressori.



Kuva 7. Atlas Copcon kompressori GA 75.

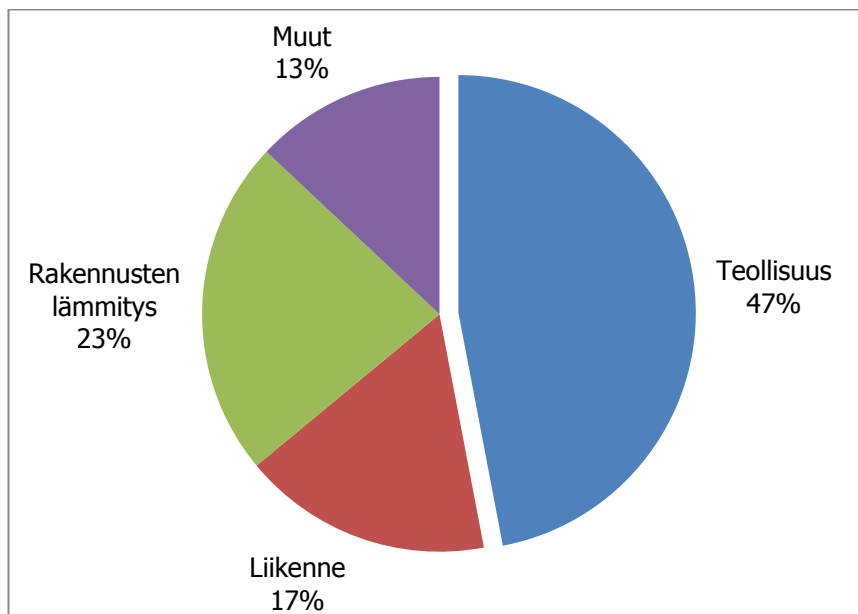
Lämmöntalteenotto ei ole ainoastaan energiansäästömahdollisuus, vaan lämpö täytyy joka tapauksessa johtaa pois kompressorilta, muuten kompressorin tehon tarve kasvaa imuilman lämpötilan kasvaessa ja pahimmassa tapauksessa kompressorin toiminta häiriintyy. Usein yli 90 % paineilmalaitteelle syötetystä energiasta muuttuu lämmöksi, joka poistuu jäähdytyksen tai veden mukana. [7, s. 79–82.]

Paineilman energiatehokkuutta on tutkittu tehtaalla vuosien 2004 ja 2008 aikana Motivan suorittamalla paineilmaatehokkaasti (PATE) -analyysillä. PATE-analyysillä on selvitetty paineilma verkoston mahdolliset energiantehostamistoimenpiteet ja näistä osa on myös toteutettu.

3 Lämmitysenergian käyttö teollisuuskiinteistöissä

Energiatehokkaiden ratkaisujen valitseminen on usein kannattavaa, vaikka alkuinvestointi olisikin hieman kalliimpi, usein investoinnin takaisinmaksuaika on lyhyt. Erityisesti tämä koskee teollisuuden laitteita ja järjestelmiä, koska niissä energian kulutus on usein merkittävää ja vuotuiset käyttöajat pitkiä. Hukkalämmön hyödyntäminen on yksi merkittävimmistä keinoista parantaa teollisuuden energiankäytön tehokkuutta. [3, s. 27.]

Kuvassa 8 on esitetty energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain vuonna 2009. Tästä nähdään, että teollisuus kuluttaa lähes puolet Suomessa käytettävästä energiasta, suhteessa muihin energian kuluttajiin. Vuonna 2009 teollisuuden osuus oli 47 %. [1.]



Kuva 8. Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2009 [17].

Teollisuuden energiankulutus oli vuonna 2009 noin 511 petajoulea, kun kokonaiskulutus Suomessa oli 1086 petajoulea, eli 1086 tuhatta biljoonaa joulea [1].

3.1 Lämmitys

Teollisuusrakennusten lämmitys on usein haasteellista, kiinteistöt ja järjestelmät ovat vanhoja ja hukkaan menevät lämmöt suuria. Lämmityksen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon prosesseista ja koneista vapautuvat lämpökuormat, hallin koko, rakenteet ja materiaalit. Yleisimmin suurissa ja korkeissa teollisrakennuksissa lämpö tuodaan halliin ilmapuhaltimien avulla, jolloin puhallussuihkut saadaan kohdistettua halutuille alueille ja vältetään hallin yläosan tarpeeton lämmitys. [10, s. 27–28.]

Lämmityksen ongelmat ilmenevät varsinkin lämmityskaudella, kun ulkoilman ja sisäilman lämpötilaero on suurin. Lämmönhukka on merkittävää ja kylmää ilmaa virtaa sisään rakenteiden läpi ja ulko-ovien kautta kulkevan tavaraliikenteen mukana kun ovi- aukkoja joudutaan usein pitämään pitkäänkin avoinna. Usein korkean hallin ollessa kyseessä viileä ilma jää oleskeluvyöhykkeelle ja lämmin ilma nousee katon rajaan. Toisaalta kesäisin tarvitaan jäähdytysilmaa, kun ulkoilman lämpötila on korkea ja prosesseista vapautuu lämpöä. Useat laitteet tarvitsevat tällöin jäähdytetyn tilan, jotta laitteet ovat toimintakunnossa eivätkä ylikuumene. Ylilämpökuormat huonontavat myös työkentelyolosuhteita, oikea ja tasainen sisäilman lämpötila parantaa työntekijöiden viihtyvyyttä ja suorituskykyä, jolloin parantuu myös työn tuottavuus. [2, s. 1–2; 10, s. 105–107.]

Lisäksi teollisuuden tuotteet luovat vaatimuksia lämmitysjärjestelmän suhteen ja tuotantolaitteet tulee ottaa huomioon sijoitettaessa lämmönjakolaitteita. On tärkeää, etteivät esimerkiksi lämminilmapuhaltimet sekoita tuotteiden valmistusvaiheessa syntyviä epäpuhtauksia ilmaan.

3.2 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotto perustuu termodynamiikan toiseen pääsääntöön, jossa lämpö siirtyy itsestään aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Lämmöntalteenotolla voidaan saavuttaa merkittäviä energiansäästöjä hyödyntämällä ylijäämä- tai hukkalämpöä.

Teollisuudessa prosesseista vapautuu usein paljon energiaa, joka voidaan lämmöntalteenoton avulla hyödyntää esimerkiksi kiinteistön lämmityksessä. Lämmöntalteenoton kannattavuutta rajoittavia tekijöitä voivat olla lämmönlähteen matala lämpötilataso tai hyödyntämiskohteiden puute. Esimerkiksi korkeat lämpövirrat, kuten savukaasut, on helpommin hyödynnettävissä kuin matalalämpötilaiset (alle 80 °C) lämpövirrat, sillä mitä suurempi on hyödynnettävän lämpövirran ja lämmitettävän ainevirran lämpötilaero, sitä kannattavampi lämmöntalteenotto on. Matalalämpötilaisen lämmönlähteen energia voidaan nostaa lämpöpumppujen avulla myös sellaiselle tasolle, että ne pystytään hyödyntämään tehokkaammin, mutta hyötysuhde on tällöin pienempi. [14, s. 14.]

Useimmiten nestekiertoinen järjestelmä on olemassa olevissa rakennuksissa ainoa lämmönsiirtotapa, joka on kustannuksiltaan kohtuullisesti toteutettavissa. Tällöin ei tarvitse yhdistää poisto- ja tuloilmakanavia lämmön jakamiseksi. Oleellisin vaatimus teollisuuslaitosten toiminnassa on käyttövarmuus. [10, s. 291, s. 302–303.]

Ongelmaksi prosessien lämmöntalteenotossa saattaa tulla esimerkiksi poistoilman likaisuus. Tällöin lämmöntalteenottojärjestelmää valittaessa täytyy ottaa huomioon epäpuhtauksien aiheuttamat korroosiovaikutukset, epäpuhtauksien laatu, tarttuvuus ja määrä. Lämmöntalteenottojärjestelmän tulee olla helposti puhdistettavissa ja kestää jonkinasteista likaantumista. Toinen mahdollisuus on, että poistettavaa ilmaa puhdistetaan niin, ettei lämmönsiirrin pääse likaantumaan. Lämmönsiirtimeen likaantuessa sen hyötysuhde heikkenee huomattavasti. [10, s. 300–301; 11.]

Lämmöntalteenoton tehoa joudutaan useimmissa tapauksissa säätämään. Lämpömäärät voivat olla niin suuria, ettei kaikkea pystytä hyödyntämään. Huippupakkasilla lämmöntalteenoton tehoa ei välttämättä voida käyttää kokonaan, jotta vältetään siirtimen huurtumisvaara. Kosteutta siirtävät regeneraattorit ovat tällöin oikea ratkaisu, sillä ne eivät tavanomaisissa tehdasolosuhteissa huurru. Lämmöntalteenottolaitteisto on oikein toteutettuna kannattava ja ongelmaton. [11, s. 71–72.]

Lämmöntalteenottojärjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat seuraavat asiat [10, s. 320]:

- lämmönlähteen hyödyntämisaika
- laitoksen koko
- säästetyn energian hinta
- kanavointitarpeet poistopuolella
- erikoisolosuhteet, kuten likaantuminen, korroosion kesto
- saavutettavat säästöt.

4 Nykyiset lämmöntuotto- ja jakelujärjestelmät

4.1 Lämmöntuotanto

Rakennuksen lämpö tuotetaan kattilalaitoksella, jossa poltetaan maakaasua ja syntynyt lämpö muutetaan lämpöenergiaksi ja johdetaan rakennuksen lämmitysverkostoon. Kiinteistön lämmitysjärjestelmä on varustettu kahdella maakaasukattilalla. Lämmityskaudella on käytössä yhdistelmäpolttimella varustettu suurempi kattila (1000 kW) ja kesällä pienempi kondenssikattila (500 kW). Yhdistelmäpolttimella varmistetaan, että esimerkiksi maakaasukatkon aikana voidaan vaihtoehtoisesti käyttää öljyä polttoaineena. Uusi maakaasulla toimiva kattilalaitos on otettu käyttöön maaliskuussa 2009. Lisäksi maakaasua käytetään polttoaineena kuivausuuneilla.

Kondenssikattilalla savukaasut jäädytetään kastepisteen alapuolelle, jolloin saadaan hyödynnettyä osa vesihöyryn lauhtumislämmöstä. Savukaasuista saatava lämpö riippuu savukaasujen sisältämän vesihöyryn määrästä. Maakaasun poltossa syntyy runsaasti vesihöyryä, sillä sen vetypitoisuus on melko suuri (p-20 %). Vesihöyryn lauhtumislämmön hyödyntäminen merkitsee huomattavaa paranemista hyötysuhteessa. [9, s. 1.]

Taulukossa 1 on mitatut maakaasun kulutuslukemat vuodelta 2010. Maakaasun tehollinen lämpöarvo on 10 kWh/m³n ja maakaasun hintana on käytetty vuoden 2010 keskiarvoa 0,448 €/m³n. Lämmöntalteenoton säästölaskelmat tehdään vuoden 2010 normeerattuihin kulutuksiin perustuen. Verrattaessa vuoden 2010 lämmöntarvelukemia normeerattuihin kulutuksiin huomataan, että vuosi 2010 oli kylmempi, mikä aiheuttaa sen, että lämmönkulutus oli suurempi kuin normaalina vuonna.

Taulukko 1. Maakaasun ja energian kulutuslukemia.

	Koko kiinteistö	Alatalo	Ylätalo	Kuivaajat yht	Yhteensä
Kerrosala m ²	33 000	10 000	23 000	-	33 000
m ³ /vuosi	301 300	132 500	168 800	1 068 100	1 369 500
MWh/vuosi	3 000	1 300	1 700	10 700	13 700
Normeerattu kulutus MWh/vuosi	2 800	1 200	1 600	-	2 800
€/normaalivuosi	125 500	53 800	71 700	478 500	604 000

Taulukossa 1 on energian kulutus myös normeerattuna, kun putkimetriä mukaan arvioitu käyttöveden lämmityksen osuus on noin 10 % lämmitystarpeesta. Lämmintä käyttövettä kulutetaan eniten vuoron vaihtojen aikana ja koneiden pesussa. Levykoneiden puhdistukseen käytetään myös prosessivettä. Lämmitysenergian kulutuksen normituksella tarkoitetaan sääkorjausta, jolloin saadaan vuoden 2010 kulutuksesta laskettua normaalivuoden lämmitystarveluku.

Kunnan normaalivuoden lämmitystarveluku $S_{N\ kunta}$ saadaan paikkakuntaakohtaisen kertoimen k_1 ja vertailupaikkakunnan normaalivuoden lämmitystarveluvun $S_{vpkunta}$ avulla, eli kaavalla 1. Tässä tarkasteltava kunta on Lohja ja vertailupaikkakuntana on Helsinki-Vantaa.

$$S_{N\ kunta} = \frac{S_{vpkunta}}{k_1} \quad (1)$$

Rakennuksen lämmityksen kulutus saadaan normitettua kaavalla 2.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ kunta}}{S_{toteutunut\ kunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämm\in\ k\y\ddot{a}\t\ddot{t}\ddot{o}\ve\ddot{s}\i} \quad (2)$$

$S_{N\ kunta}$ on kunnan normaalivuoden lämmitystarveluku

$S_{vpkunta}$ on vertailupaikkakunnan normaalivuoden lämmitystarveluku

k_1 on korjauskerroin

Q_{norm} on rakennuksen normitettu energian kulutus

$S_{toteutunut\ kunta}$ on toteutunut lämmitystarveluku ko. kunnassa

$Q_{toteutunut}$ on rakennuksen tilojen lämmitysenergia

$Q_{\text{lämmin}}$
 $_{\text{käyttövesi}}$

on arvioitu lämpimän käyttöveden kulutuksen lämmityksen energia

Lasketaan koko kiinteistön normeerattu energian kulutus kaavoilla 1 ja 2. Loput normeeratut energian kulutusarvot löytyvät taulukosta 1.

$$S_{N\text{ kunta}} = \frac{4\,229}{1,02} = 4\,146$$

$$Q_{norm} = \frac{4\,146}{4\,538} \times (3\,013\text{MWh} - 0,10 \times 3\,013\text{MWh}) + 0,10 \times 3\,013\text{MWh} = 2\,779\text{MWh}$$

Normeeratusta vuotuisesta kulutuksesta lasketaan kiinteistön kokonaistehontarve, jota käytetään apuna laskettaessa lämmöntalteenotoilta hyödynnettävää lämmitysenergian määrää. Laskelmissa käytetään ulkoilman mitoituslämpötilana -26 °C :ta ja sisäilman lämpötilana 16 °C :ta, joka ottaa huomioon tehtaan ja toimistotilojen sisälämpötilan. Tehtaan sisällä on suuria lämpökuormia, jotka nostavat sisäilman lämpötilaa huomattavasti. Toisaalta on myös alueita, joissa kylmä ilma pääsee helposti sisään ja lämpötila alenee huomattavasti. Kaavassa 3 on käytetty kiinteistön sisäilman lämpötilana t_s 16 °C .

$$P_{kok} = \frac{Q_{norm}}{S_{N\text{ kunta}} \times 24h} \times (t_s - t_u) \quad (\text{kaava 3})$$

P_{kok} on kiinteistön kokonaistehontarve
 Q_{norm} on rakennuksen normitettu energian kulutus
 t_s on sisälämpötilan keskiarvo
 t_{u1} on mitoitusulkolämpötila

$$P_{kok} = \frac{2\,779\text{MWh/a}}{4146\text{Kd} \times 24h} \times [16 - (-26)]\text{K} = 1\,173\text{ kW}$$

Kiinteistön kokonaistehontarve on tällöin noin $1\,173\text{ kW}$ mitoituslämpötilalla -26 °C .

4.2 Lämmönjakelu

Monet prosessit, kuten levyjen valmistusaineiden sekoitus, karkaisu ja levyjen kuivaus, tuottavat lämmintä ja kosteaa ilmaa. Tämä aiheuttaa suuria lämpötilavaihteluja tehtaan sisäilmassa. Lämmönjakelu tapahtuu ylätehtaan tuotannon tiloissa ilmalämmityksen avulla. Lämmin ilma saadaan kuivureiden päässä olevan ilmanvaihtokoneen avulla. Osasta hallia puuttuu lämmönjakelu kokonaan. Seinillä on vanhoja lämpöpuhaltimia, jotka eivät ole enää toiminnassa. Toimisto- ja taukotiloissa lämmönjakelu tapahtuu osaksi radiaattori- ja osaksi ilmalämmityksellä. Verstaan tiloissa lämmitys on hoidettu lattialämmityksellä. Tehtaalla on lisäksi käytössä öljytoimisia lämminilmakehittämiä, joilla tuodaan lämmintä ilmaa kylmiin tiloihin. Ajatuksena on lisätä lämmintä tuloilmaa lämmöntalteenoton parantamisen yhteydessä hallin kylmiin tiloihin.

4.3 Lisälämmittimet

Öljyllä toimivia lisälämmittimiä on talvisin käytössä ylätehtaalla kaksi kappaletta. Niillä lämmitetään tasaisen sisäilman lämpötilan saamiseksi lähinnä kylmempiä tiloja, joissa ei ole muita lämmönjakoelimiä. Lämmittimet kuluttavat huomattavia määriä öljyä lämmityskauden aikana. Ne tulee tankata lähes neljän päivän välein, ja lisäksi lämmittimien puhallusnopeus on epämiellyttävän suuri, minkä takia työntekijöiden ja kustannusten kannalta olisi parempi, jos lisälämmittimiin ei tarvitsisi turvautua. Lisäksi lisälämmittimistä kertyy savukaasupäästöjä hallin sisäilmaan. Vaihtoehtona nykyisille öljytoimisille lämmittimille olisivat maakaasutoimiset lisälämmittimet, kunnes tehtaallaan lämmitysjärjestelmä saadaan toimimaan toivotulla tavalla.

Lasketaan lisälämmittimistä aiheutuvat vuotuiset kustannukset, jotta voidaan käyttää niitä laskettaessa lämmöntalteenottojärjestelmistä saatavaa hyötyä.

Lisälämmittimet ovat käytössä noin viisi kuukautta vuodessa. Lämmittimen yhden päivän vuokra on 50 €, toimituskulut 2 x 140 € ja polttoainesäiliöiden yhden päivän vuokra 5 € ja polttoainesäiliöitä on yhteensä kuusi. Tällöin voidaan laskea lämmittimien vuokrakustannuksiksi 19 780 €/vuosi.

Öljyn vuotuinen kulutus on 118 800 litraa, kun öljyn hinta on 0,6727 €/l ja yksi lämmitin kuluttaa öljyä tunnissa 16,5 litraa. Lämmittimet ovat jatkuvasti käytössä ja toimivat vain päälle ja pois periaatteella. Tämä öljyn säästö tekee vuodessa 79 917 €.

Lisäksi otetaan huomioon lisälämmittimien kustannuksissa tankkauksen vaatima työ. Yhteen tankkaukseen kuluu aikaa kaksi tuntia ja lämmittimet tankataan neljän päivän välein, jolloin kaikkien kolmen lämmitin tankkauksiin kuluu yhteensä 150 tuntia vuodessa. Tehtaalla oman työntekijän tuntihinnalla 25 € laskettuna tankkaustunneista aiheutuvat kustannukset ovat 3 750 € vuodessa.

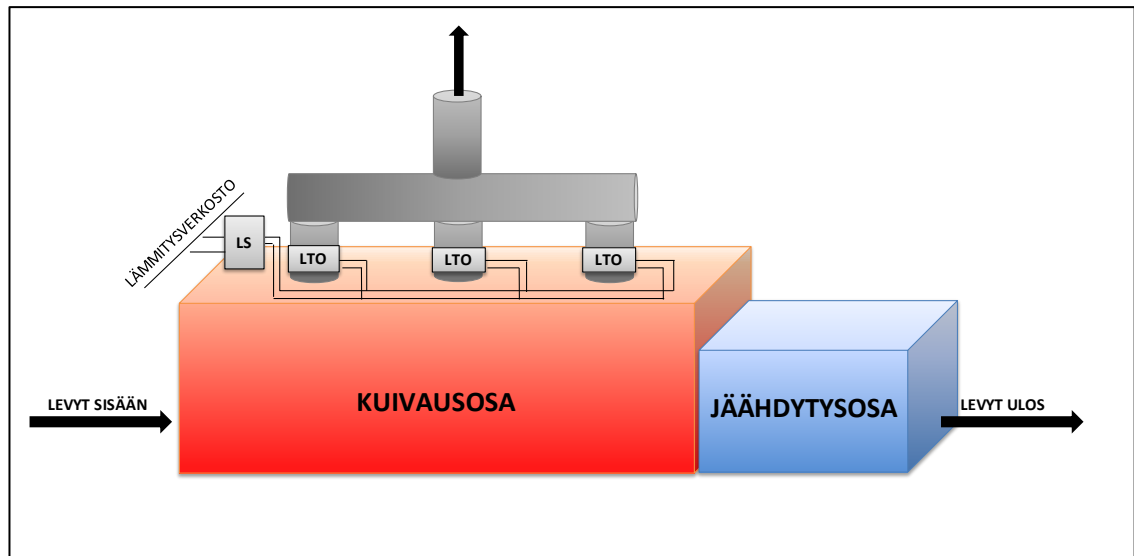
Näillä tiedoilla kahden öljyllä toimivan lisälämmittimen käyttökustannuksiksi saadaan vuodessa 103 447 € (alv 0 %) olettaen, että lämmittimet ovat joka vuosi käytössä viisi kuukautta.

5 Lämmitysjärjestelmän parannukset

5.1 Kuivauslinjat

Kuivausuunien lämmöntalteenottoa on suunniteltu jo vuonna 2008. Se on nähty tarpeelliseksi, sillä kuivausuunien energian kulutus (79 %) kattaa suurimman osan koko kiinteistön energian kulutuksesta, jolloin voidaan jo ilman laskelmia arvioida, että kuivausilmasta talteen otettavan lämmön määrä on niin merkittävä, että lämmöntalteenotto kannattaa toteuttaa. Tällöin on vanhemman kuivausuunin yläpuolelle asennettu jo 500 kW:n lämmönsiirrin varauksena lämmöntalteenotolle, jota käytetään siirtämään kuivurilta tulevan nesteen lämpö lämmitysverkoston paluupuolelle. Lisäksi vuoden 2008 suunnitelmia on muutettu niin, että kuivausuuneilta otetaan enemmän lämpöä talteen ja uudemmalla kuivausuunille rakennetaan oma lämmönsiirrin, jossa kuivureiden poistoilmasta talteen otettu lämpö siirretään lämmitysverkostoon.

Kuivausuuneille toteutetaan molemmille omat lämmönsiirtimet, esimerkiksi Alfa Lavalin kovajuotetut levylämmönsiirtimet haponkestävästä teräksestä (AISI 316). Lämmöntalteenottopatterit sijoitetaan uuneilta lähteviin poistoilmakanaviin, sillä vanhemmalta kuivausuunilta lähtevä kokoojakanava kulkee suurimmaksi osaksi vesikatolla, jonne ei mahdu asentamaan patteria ja uudemman kuivausuunin poistoilmakanavat yhdistyvät yhdeksi kanavaksi vasta katolla. Yhteensä LTO-pattereita poistoilmakanaviin tulee kuusi, kolme molemmille kuivausuuneille. Patterilla kiertävä vesi lämpenee poistoilmakanavassa ja pumpataan lämmönsiirtimelle. Lämmönsiirtimessä vesi luovuttaa lämmön lämmitysverkoston paluupuolelle ja palaa takaisin lämmöntalteenottopatterille. Osa lämmöstä lämmittää myös pakkausosastolle johdettavaa tuloilmaa.



Kuva 9. Kuivausuunin lämmöntalteenoton periaatekuva.

Kuvassa 9 on yksinkertainen periaatekuva kuivausuunin lämmöntalteenotosta. Poistoilmakanaviin asennettavat LTO-patterit ovat lamellipattereita, joissa ilma kiertää ja lämmittää toisella puolella kiertävää nestettä. Paras lämmönsiirtyminen tapahtuu, kun patterit toimivat vastavirtaperiaatteella, eli neste ja ilma kulkevat vastakkaisiin suuntiin lamellien välissä. Kuivausuunien lämmöntalteenottopattereissa tapahtuva lämmönsiirtyminen on esitetty kuvassa 12.



Kuva 10. Uudemman kuivausuunin yksi kolmesta poistoilmakanavasta, johon lamellipatteri tullaan asentamaan.

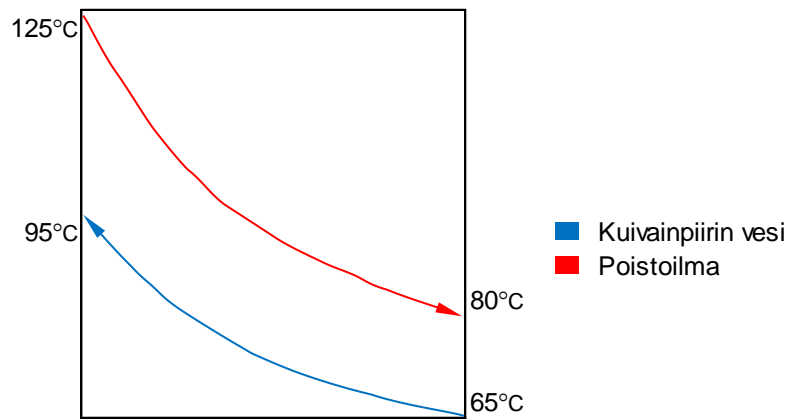
Kuivausuunilta 1, eli vanhemmalta kuivausuunilta, lämmitystehoa saadaan 350 kW, jolloin poistoilmakanaviin asennetaan yhteensä kolme kappaletta 117 kW lämmöntalteenottopattereita. Kuivausuunilta 2 hyödynnetään 474 kW, jolloin yhden patterin teho on 158 kW. Uudemman kuivausuunin päälle asennetaan lisäksi uusi 474 kW lämmönsiirrin, jolloin kuivureiden lämmönsiirtimien tehot ovat yhteensä 824 kW. Kuivausuunit ovat käytössä eri aikaan. Kuvassa 10 on uudemman kuivausuunin yksi poistoilmakanava, johon lamellipatteri tullaan asentamaan. Vanhemman kuivausuunin poistoilmakanava näkyy kuvassa 11. Samassa kuvassa näkyy myös katon läpi kulkeva kokoojakanaava, jolla ilma johdetaan ulos rakennuksesta.



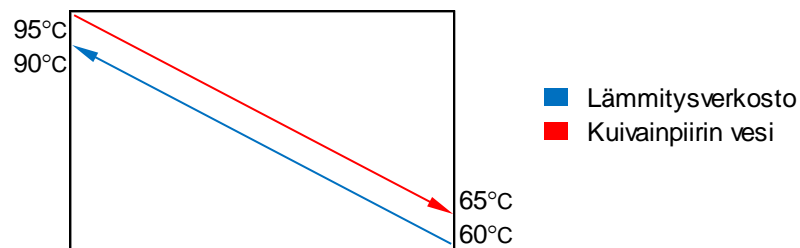
Kuva 11. Vanhemman kuivausuunin poistoilmakanava. Kuvassa näkyy myös kokoojakanava joka kulkee katon läpi huippumurille.

Kuivausuuneille suunniteltaessa LTO-laitteistoa on ongelmana kuivausuunien jaksottainen toiminta, uuneilla työskennellään kahdessa vuorossa, ja ne ovat päällä vain levyjen kuivatustarpeen mukaan. Lisäksi kuivauslämpötila vaihtelee eri levyillä ja kuivurista poistettava ilma sisältää paljon kosteutta. Lämpötilat vaihtelevat eri osissa kuivausuunia, esimerkiksi alkupäästä poistettava ilma on eräällä levyllä 200 °C, keskellä 175 °C ja viimeisellä poistoilmakanavalla 115 °C. Lämmöntalteenotolle saadaan paras hyötysuhde silloin kun lämpötilat ovat korkeita ja vakaita. Talteen saatava lämpöteho ja -energia riippuvat poistoilman lämpötilasta ja virtauksesta, paluujohdon kiertoveden lämpötilasta ja virtauksesta ja lämmönsiirtimen mitoituksesta.

Kuvassa 12 on kuvattu lämpötilan muuttuminen lämmöntalteenottopatterissa. Poistoilma jäähtyy 125 asteesta 80 asteeseen luovuttaessaan lämmön kuivainpiirin nesteelle, joka lämpiää 95 asteeseen. Kuivainpiirin neste luovuttaa lämmön taas edelleen lämmönsiirtimessä lämmitysverkostoon, joka on esitetty kuvassa 13.



Kuva 12. Virtaavien aineiden lämpötilan muuttuminen lämmöntalteenottopatterissa.



Kuva 13. Kuivainpiirin lämpötilan muuttuminen patteriverkoston lämmönsiirtimessä.

Kuivausuunien lämmöntalteenottojen kytkentäkaaviot ovat liitteessä 1.

5.2 Kuivausuunien lämmöntalteenoton investoinnin hinta

Kuivausuunien lämmöntalteenoton hinta muodostuu lämmönsiirtimistä, lämmöntalteenottopattereista, putkistosta, pumpuista, säätölaitteista ja näiden asennustyöstä. Valmistajien antamien tarjouksien mukaan kuivausuunien LTO:n investoinnin hinnaksi saadaan noin 59 550 €, kun huomioidaan putkistot, pumput, säätölaitteet ja asennukset. Investointiarviossa ei ole kuitenkaan otettu huomioon ilmanjaon lisäystä tehtaalle.

5.3 Paineilmakompressorit

Paineilmakompressorit tuottavat lämpöä käydessään, ja niitä on jäähdytettävä toiminnan varmistamiseksi. Kompressoreiden nestejäähdyttimestä vapautuvaa lämpötehoa on tarkoituksena käyttää flokkauksen ja hallin ilman lämmittämiseen. Kompressoreiden lämmöntalteenotto varustetaan sellaisella automatiikalla, että kesällä tai jos lämpöä ei pystytä muuten hyödyntämään, käytetään katolle sijoitettavaa 130 kW:n nestejäähdytintä, jolla kompressorille palaava neste saadaan jäähdytettyä.

Kompressorilla lämmennyt vettä käytetään flokkauksella ja uusilla kiertoilmapuhaltimilla, jonka jälkeen vesi jäähtyy lämmönsiirtimessä luovuttaessaan lämmön 35-asteiselle nestelauhdutinpiiriin nesteelle. Nestelauhduttimessa neste jäähtyy luovuttaessaan lämmön ilmaan, jonka jälkeen se palaa taas lämmönsiirtimelle.

Flokkausta käytetään levykoneilla sementtiseoksen liuottamiseen, jotta seos ei jähmettyisi koneisiin. Flokkauksessa käytetään liukasteaineena Fennopolia, joka saa kiintoaineet erottumaan. Fennopol sekoitetaan veteen ennen käyttöä, ja jotta liuos olisi koostumukseltaan oikeanlaista, liuos täytyy lämmittää noin 40 °C:seen.

Kompressoreiden lämmöntalteenoton kytkentäkaavio on liitteessä 1.



Kuva 14. Atlas Copcon jäähdytyskuivain FD 700.

Jäähdytyskuivaimella poistetaan paineilmaasta kosteus niin, että prosessien käyttöön saadaan puhdasta ja kuivaa ilmaa, kuva 14. Tämä jäähdyttimeen siirtyvä lämpöteho on tarkoitus jäähdyttää lämmöntalteenoton avulla ja hyödyntää se muualla tehtaalla, kuten flokkauksella ja ilman lämmityksessä.

5.4 Kompressoreiden LTO:n investoinnin hinta

Paineilmakompressoreiden lämmöntalteenoton hinta muodostuu lämmönsiirtimistä, kierrätysilmalämmittimistä, nestejäähdyttimestä, putkistosta, pumpuista, säätölaitteista ja näiden asennustyöstä. Valmistajien antamien tarjouksien mukaan kompressoreiden LTO:n investoinnin hinnaksi saadaan noin 31 470 €. Investoinnissa on otettu huomioon nestejäähdyttimen, kiertoilmapuhaltimien ja lämmönsiirtimen hinta asennustöineen ja -tarvikkeineen sekä putkistoineen.

6 Lämmöntalteenotolla saavutettavat säästöt

Lämmöntalteenottojärjestelmä on jo suunniteltu vuonna 2008 kuivauslinjalle ja tuolloin on asennettu kuvassa 15 esitetty lämmönsiirrin kattoon varauksena kuivureiden lämmön talteenottolaitteistolle. Hanke on kuitenkin jäänyt kesken lamasta johtuen.



Kuva 15. Aikaisemmin asennettu vanhemman kuivaimen Alfa Laval CB200 -lämmönsiirrin ja lämmitysverkoston paluupuolelle lähtevä putkisto.

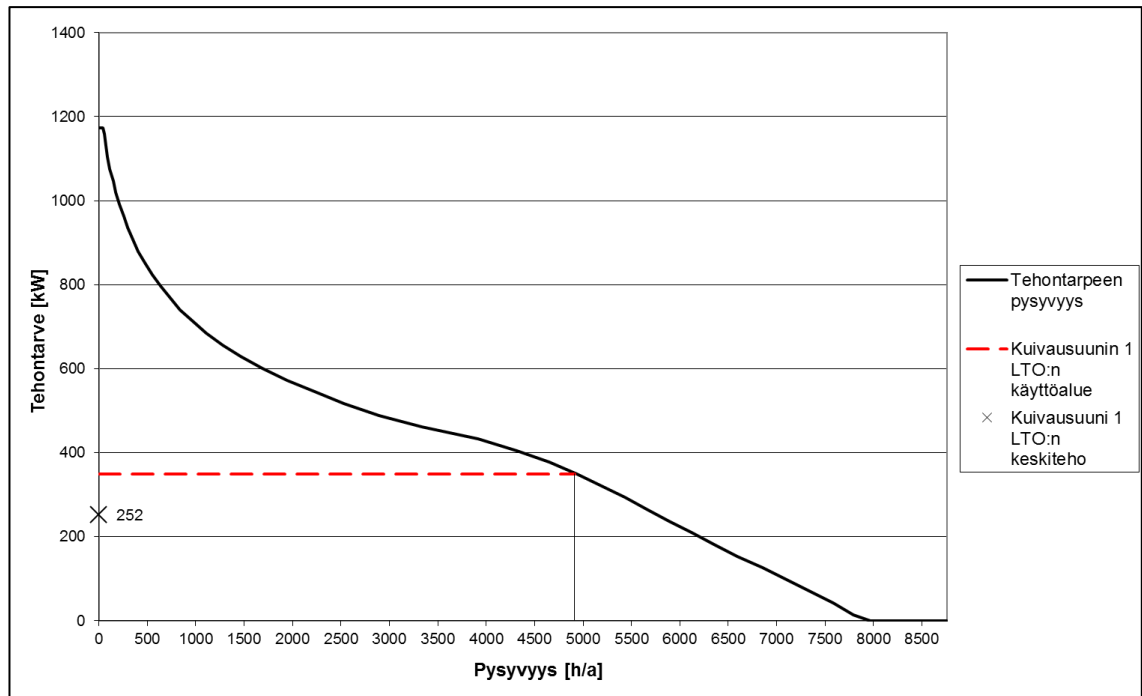
Lämmöntalteenoton lisäys vaikuttaa myös sähköenergian kulutukseen. Vaikka LTO-järjestelmät säästävätkin lämmitysenergiaa, nousee sähköenergian kulutus jonkin verran.

6.1 Kuivausuunit

Laskettaessa kuivaimelta saatavaa säästöä täytyy ottaa huomioon lämmitystehontarve. Myös ajat jolloin kuivausuunit eivät ole käytössä otetaan huomioon, eli toisin sanoen aika jolloin hukkalämpöä ei synny. Vuoden 2010 tuotannonraportoinnin mukaan vanhempi kuivausuuni oli käytössä 2 308,40 tuntia ja uudempi kuivausuuni 2 941,60 tuntia vuodessa. Laskelmissa käytetään kuivausuunien ja vuodessa olevien tuntien suhdelukua, jossa on otettu huomioon noin kahden viikon seisonta-aika koneilla. Todennäköisesti kuitenkin kuivausuunien käyntituntien määrä kasvaa tulevaisuudessa, kun tuotannonmäärän on arvioitu kasvavan, jolloin myös voidaan ottaa lämpöenergiaa talteen pidempiä ajanjaksoja.

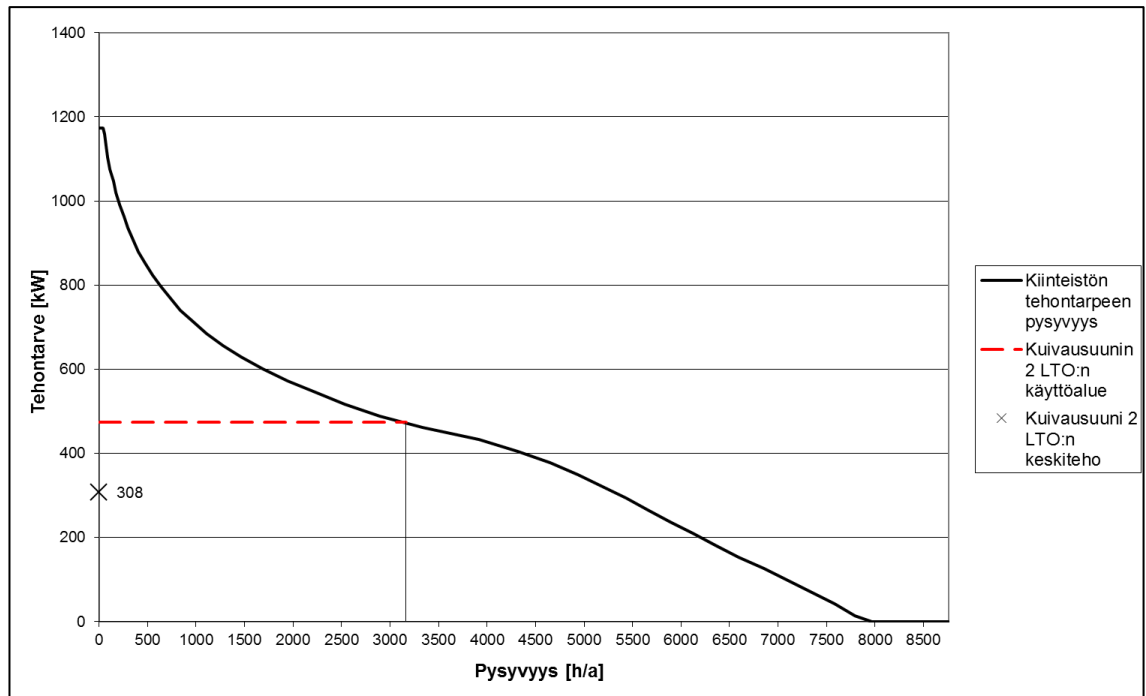
Vanhemman kuivausuunin lämmönsiirtimien yhteisteho on 350 kW ja uudemman 474 kW. Kun nämä tehot kerrotaan kuivausuunien käyttötunneilla lämmityskaudella, voidaan laskea lämmityksessä teoreettisesti säästettävissä oleva energiamäärä. Talteen otettava energiamäärä kuitenkin vaihtelee, sillä kuivausuunit voivat olla yhtä aikaa päällä tai eri aikaan, eikä kaikkea lämpöä aina voida hyödyntää.

Kuvissa 16, 17 ja 18 on esitetty lämmöntalteenottojen käyttöalue verrattuna kiinteistön tehontarpeeseen. Kuivausuuneilla näihin kuvaajiin ei ole huomioitu seisonta-aikoja vaan ne on laskettu erikseen käyntiaikojen suhteilla. Tehontarpeen pysyvyyssäyrä osoittaa kiinteistön lämmitystehontarpeen muuttumisen vuoden aikana. Pysyvyyssäyrä perustuu Rakentamismääräyskokoelman osan D5 liitteeseen L1.10, jossa on esitetty ulkoilman lämpötilojen esiintymistiheys pysyvyyssarvoina säävyöhykkeellä I. Eli lämmitystä tarvitaan 7 973 tuntia vuodessa kuvaajan mukaan. Tehtaalla on kuitenkin paljon sisäisiä lämmönlähteitä, jotka nostattavat sisälämpötilan arvoa jolloin voidaan arvioida, ettei lämmityskauden pituus ole niin pitkä kuin kuvissa 16, 17 ja 18 on esitetty. Maksimi tehontarve kiinteistössä 1 173 kW on laskettu luvussa 4.1.



Kuva 16. Kuivausuuni 1:n lämmöntalteenoton käyttöalue kiinteistön tehontarpeen pysyvyyskäyrällä.

Kuvasta 16 voidaan katsoa, että vanhemmalta kuivausuunilta saataisiin 2 210 MWh hyödynnettävää energiaa talteen ilman seisonta-aikoja, kun kerrotaan kuivausuunin teho sen käyttöajalla. Huomioidessa uunin käyttöaika 2 308 tuntia vuodessa on kuivausuunilta 1 hyödynnettävän lämpöenergian määrä 582 MWh lämmityskaudella.



Kuva 17. Kuivausuuni 2:n lämmöntalteenoton käyttöalue kiinteistön tehontarpeen pysyvyyskäyrällä.

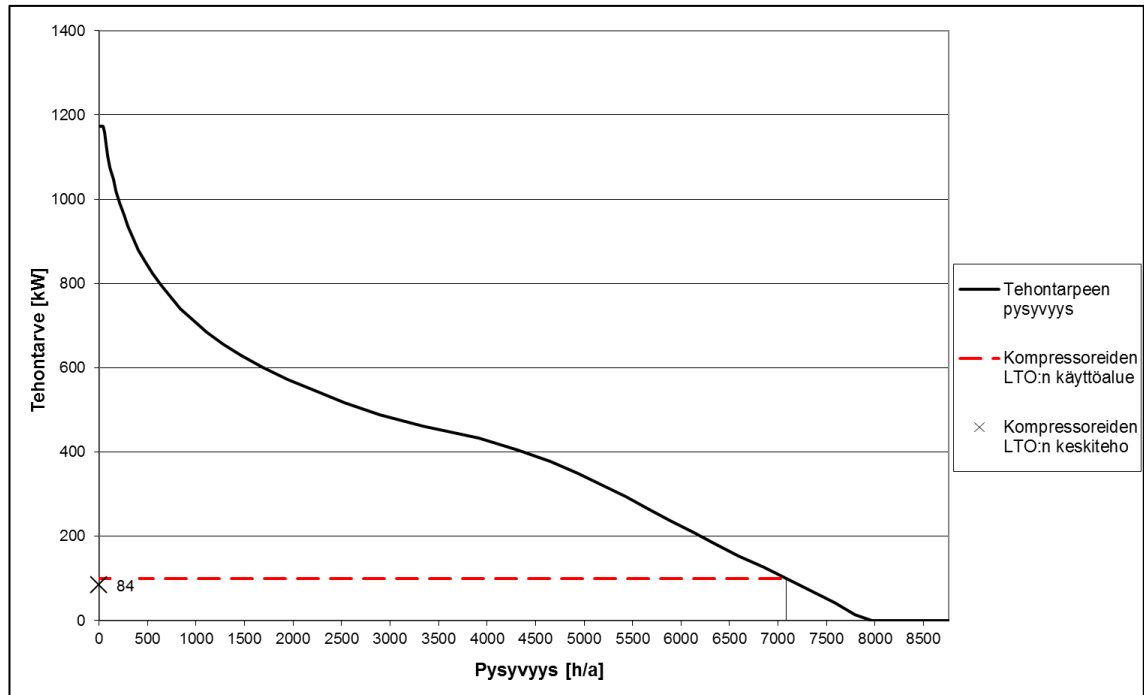
Uudemman kuivausuunin tehontarpeen pysyvyyskuvaajasta (kuva 17) voidaan nähdä talteen otettavan energian määrä 2 697 MWh vuodessa ilman että otetaan huomioon seisonta-ajat. Kun uunin käyttöaika 2 942 tuntia vuodessa otetaan huomioon, voidaan hyödynnettävän lämpöenergian määräksi laskea 905 MWh lämmityskaudella.

Kuivausuunien toimiessa aina eri aikaan on hyödynnettävä lämmitysenergia 1 487 MWh vuodessa. Näin ollen vanhemman kuivausuunin lämmöntalteenottoalueilta saadaan lämmitysenergiaa 582 MWh. Kustannuksissa tämä tarkoittaa 26 070 € säästöä vuodessa. Uudemman kuivausuunin lämmöntalteenotolla voidaan saavuttaa 40 544 €:n säästö, kun hyödyksi käytettävän lämpöenergian määrä on 905 MWh.

Laskettaessa yhteen molempien kuivureiden teoreettiset säästöt voidaan arvioida polttoainekustannuksien säästöksi yhteensä 66 620 € vuodessa. Lämmitysenergian säästönä tämä tarkoittaa 1 490 MWh säästöä kokonaisuudessaan.

6.2 Paineilmakompressorit

Laskettaessa lämmöntalteenottoa kompressoreilta otetaan huomioon lämmityskauden pituus. Lisäksi huomioidaan aika jolloin lämpöä olisi tarjolla enemmän kuin kiinteistön lämmitystarve vaatii.



Kuva 18. Kompressoreiden lämmöntalteenoton käyttöalue kiinteistön tehontarpeen pysyvyyssäyrällä.

Kompressoreiden lämmöntalteenoton tehontarpeen pysyvyys kuvasta 18 saadaan kompressoreiden talteenotettavan energian määrä, joka voidaan hyödyntää kiinteistön lämmityksessä. Tämä on 740 MWh vuodessa, kun kompressorit käyvät pysähtymättä. Lisäksi voidaan flokkauksella hyödyntää 252 MWh tuntia vuodessa, kun lämmityskauden pituus ei vaikuta lämmöntarpeeseen, huomioon otettu vain kahden viikon seisonta-aika. Yhteensä kompressoreilta voidaan ottaa talteen lämmitysenergiaa 992 MWh vuodessa, mikä tarkoittaa 44 440 € säästöä maakaasun kulutuksessa.

6.3 Vuotuiset säästöt yhteensä

Vuotuisia säästöjä verrataan normaalivuoden lämmönkulutuksen lukuihin. Silloin luvut ovat vertailukelpoisempia ja laskennat vastaavat keskimääräistä vuoden säästöä. Vuodessa voidaan säästää lämmitysenergiaa kuivausuuneilta ja kompressoreilta yhteensä laskettuna 2 480 MWh, jolloin polttoainekustannuksissa on mahdollisuus säästää 111 060 €. Kun lasketaan mukaan lisälämmittimien vähentämisestä aiheutuva huomattava säästö 103 447 €, on yhteen laskettu vuotuinen säästö noin 214 500 €.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q} \quad (4)$$

η_a on energian talteenoton vuosihyötysuhde
 Q_{LTO} on LTO:lla lämmitetty energiamäärä
 Q on rakennukseen tuotu lämmitysenergia ennen LTO:a.

Kaavalla 4 lasketaan järjestelmien lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, kun kuivaus-
 uunien ja kompressoreiden lämmöntalteenotolla lämmitettävä energiamäärä on
 2 480 MWh ja koko kiinteistöön tuodaan lämmitysenergiaa yhteensä 2 780 MWh vu-
 odesa. Tällöin saadaan energiantalteenotolle vuosihyötysuhteeksi 89 %. Tähän ei ole
 kuitenkaan huomioitu kuivureilla kuivausilman lämmittämiseen käytettävää läm-
 mitysenergiaa.

6.4 Eri vaikutusten huomioiminen

Tekniikkaa ja menetelmiä lisättäessä syntyy usein ristikkäisvaikutuksia (cross media-
 effects). Ristikkäisvaikutuksilla tarkoitetaan sellaisia haitallisia vaikutuksia, jotka synty-
 vät ympäristön suojelun tai energian säästön kannalta myönteisen toiminnon seurauk-
 sena. Esimerkiksi tässä tapauksessa lämmöntalteenotto vähentää toisaalta energia-
 päästöjä ja maakaasun kulutusta, mutta toisaalta sähkön kulutus kasvaa lämmöntal-
 teenottoa lisättäessä. Sähkön valmistamisessa syntyy myös päästöjä ja kuluu energiaa,
 mikä vähentää lämmöntalteenotoista saavutettavaa hyötyä. [3, s. 19.]

Ristikkäisvaikutuksia tarkastellessa joudutaan usein pohtimaan arvostuskysymyksiä, kun kokonaisvaikutusten arvioimisessa on asetettava vertailuun esimerkiksi energian kokonaiskulutus ja jätteiden muodostuminen. Kuitenkin vertailtaessa lämmöntalteenottolaitteiston sähkönkulutusta ja näinkin mittavan hukkalämmön määrän hyödyntämistä, jää sähkönkulutus niin pieneksi ettei sillä ole merkittävää vaikutusta lämmöntalteenoton lisäämisessä. [3, s. 19.]

7 Kannattavuus ja takaisinmaksuaika

7.1 Kannattavuus

Kannattavuus perustuu takaisinmaksuajan määrittelyyn. Lämmöntalteenottolaitteiden investointi tulee kannattavaksi, jos nykyiset polttoainekustannukset pienentyvät ja lisälämmittimet tai edes osa niistä voidaan poistaa käytöstä.

7.2 Kulut nykytilanteella

Luvussa 4.3.1 on laskettu lisälämmittimien öljyn kulutus, joka on vuodessa 118 800 litraa öljyä ja maksaa 79 917 €. Kokonaisuudessaan lisälämmittimien kustannukset ovat vuodessa 103 447 € (alv 0 %).

Maakaasua kuluu nykykulutuksella koko kiinteistön lämmitysenergian tuottoon 2 780 MWh vuodessa, joka kustantaa 125 400 € (alv 0 %).

7.3 Säästöt

Lämmöntalteenottoa lisäämällä saadaan hukkalämpö käytettyä hallin lämmitykseen, jolloin säästetään kattiloiden polttoainekuluissa.

Ilmanjakolaitteita lisäämällä voidaan lisälämmittimet poistaa käytöstä ylätehtaalta. Tällöin lisälämmittimien vähentämisestä saavutettava säästö olisi 103 447 €, jolloin öljyä kuluisi 118 800 litraa vähemmän. Energiana tämä tarkoittaa 1 188 MWh, kun öljyn lämpöarvo on noin 10 kWh/litra. Tällä vähennetään myös CO₂-päästöjä 321 tonnia vuodessa, kun poltettaessa yksi litra öljyä syntyy noin 2,7 kg hiilidioksidia.

Kuivausuuneilla vuoden 2010 käyntiaikojen ja tehon pysyvyyden mukaan laskettu vuotuinen säästö olisi yhteensä noin 1 490 MWh. Kuitenkin on mahdollista, että tuotannon määrä kasvaa, jolloin kuivausuuneilta olisi mahdollista saada enemmän lämpöenergiaa talteen.

Kompressoreilta lämpöä on mahdollista saada talteen noin 990 MWh. Kompressorit käyvät jatkuvasti, jolloin lämpöä voidaan ottaa talteen aina, mutta vain flokkauksella lämpöä voidaan hyödyntää ympäri vuoden.

7.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika ilmoittaa vuosina sen ajan, jona investointi maksaa itsensä takaisin, eli sen ajan milloin investoinnista on kertynyt nettotuottoa niin, että se maksaa perushankintahintansa. Yksinkertaisesti se lasketaan kaavalla 5.

$$n = \frac{H}{t} \quad (5)$$

n	on takaisinmaksuaika vuosina
H	on investoinnin hinta (tässä tapauksessa LTO:jen hinta yhteensä)
t	on vuosittaiset investoinnista saatavat säästöt (säästöt yhteensä)

Takaisinmaksuaika lasketaan yksinkertaisella menetelmällä kaavan 5 avulla. Investoinnin hinnan ollessa kokonaisuudessaan 91 020 € ja vuosittaisten lämmöntalteenotoilla saavutettavien säästöjen ollessa 111 060 € voidaan investoinnin takaisinmaksuajaksi laskea 0,82 vuotta. Tällöin investointi maksaisi saavutettavilla säästöillä itsensä takaisin alle vuodessa. Takaisinmaksuaikaan ei ole huomioitu lisälämmittimistä saavutettavia säästöjä, koska vasta lämmöntalteenoton ja ilmainvaihdon lisäämisen jälkeen nähdään voidaanko lisälämmittimet jättää kokonaan pois käytöstä lämmityskaudella. Lisäksi investointiin ei ole laskettu ilmastointitöiden hintaa, kun saatavilla ei ole ollut tarvittavia dokumentteja.

8 Teollisuuden energiatehokkuussopimus

8.1 Energiatehokkuussopimus

Suunniteltaessa energiatehokkuuden parantamista nousi esille mahdollisuus liittymisestä vapaaehtoiseen energiatehokkuussopimukseen. Sen tavoitteena on kaikkiaan yhdeksän prosentin suuruinen energian säästö vuoteen 2016 mennessä. Sopimusjärjestelmällä on kansallisen ilmastostrategian mukaisesti tarkoitus vastata Suomen kansainvälisiin sitoumuksiin ilmastonmuutoksen vastaisessa työssä. [12.]

Energiatehokkuussopimukseen liittyessä yhtiölle tulisi suunnitella energiapolitiikka ja sisällyttää se yrityksen toimintastrategiaan. Tällöin yhtiö laatii dokumentoidut tavoitteet energiatehokkuudelle ja ylläpitotoimenpiteet vuosittain päivitettävän energian tehokkuuden tehostamiseksi. Energiatehokkuussopimukseen liittyminen mahdollistaa myös ELY-keskuksien ja työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) myöntämän investointituen anomisen. Energiatehokkuussopimuksella varmistettaisiin jatkuva energian käytön tehostaminen ja valvonta. [13, s. 8–9.]

8.2 Investointituki

Toisena asiana harkittiin ELY-keskuksien ja työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) myöntämän investointituen anomista. Se myönnetään yleensä uutta teknologiaa käyttäviin hankkeisiin, mutta se voidaan myöntää myös energiatehokkuussopimukseen liittyneelle yritykselle tavanomaisiin hankkeisiin jotka edistävät energiansäästöä ja energiatehokkuutta. Tavanomaisen tekniikan hankkeille myönnettävän tuen suuruus on enimmillään 25 %. [12.]

Investointitukihakemusta tehtäessä tarvitaan arviot investoinnilla saatavista säästöistä. Tuettavista hankkeista on laskelmilla selvästi osoitettava koituvan energiansäästöä. Investointitukihakemukseen liitettävä selvitys sisältää laskelmien ja lähtötietojen lisäksi syyn hankkeen toteuttamiselle, hankkeen teknisen kuvauksen ja erittelyn investoinnin kustannuksista. [12.]

8.3 Energiakatselmus

Energiatehokkuussopimukseen liityttäessä on myös harkinnan varaisena asiana energiakatselmuksen toteuttaminen. Katselmuksella kartoitetaan yhdessä asiantuntijan kanssa energian ja veden käyttökohteet ja niiden kannattavat tehostamismahdollisuudet. Usein kustannussäästöjä saadaan jopa ilman investointeja, esimerkiksi säätämällä laitteita ja järjestelmiä sekä muuttamalla toimintatapoja. [15.]

Energiakatselmuksien toteuttamiseen on myös mahdollista saada valtion energiatukea. Pk-teollisuudessa tuen määrä on jopa 50 %. Energiakatselmuksen avulla pystytään luomaan perusta pitkäjänteiselle ja tavoitteelliselle energian kulutuksen seurannalle ja energiatehokkuuden parantamiselle. Motiva on kehittänyt energiatehokkuuden tarkasteluun energia-analyysin, jossa keskitytään tehdaspalvelujärjestelmien ja kiinteistön lisäksi tuotantoprosessin energiatehokkuuden parantamiseen. [15.]

9 Yhteenveto

Energiansäästölukemat ovat teoriassa saavutettuja laskennallisia arvioita. Todelliset säästöt voidaan konkreettisesti määrittää vasta, kun laitteet ovat jo käytössä.

Lämmöntalteenoton avulla voidaan lämmityskaudella säästää polttoainekustannuksissa runsaasti, kuitenkin kiinteistön lämmitysjärjestelmän parantamiseksi on mietittävä lisää vaihtoehtoja, sillä LTO:n lisääminen ei poista sitä tosiasiaa, että lämpöä karkaa hallista. Energiankulutusta voidaan kuitenkin pienentää LTO:n avulla. Samalla pienentyvät myös hiilidioksidipäästöt. Öljykäyttöisten lämminilmapuhaltimien poistaminen vähentäisi hiilidioksidipäästöjä radikaalisti.

Arvioidut lämmöntalteenotoilla saavutettavat säästöt energian kulutuksessa ovat yhteensä noin 2 480 MWh vuodessa. Tästä kuivausuunien lämmöntalteenotolla voidaan säästää 1 490 MWh ja kompressoreiden lämmöntalteenotolla 990 MWh. Lämmöntalteenoton määrään vaikuttaa kuivausuunien käyttöaika, sekä lämmityskauden pituus eli aika, jolloin lämpöä pystytään hyödyntämään. Takaisinmaksuajaksi saadaan toteutettaville lämmöntalteenottojärjestelmille 0,8 vuotta, kun investoinnin hinnaksi on arvioitu 91 020 €.

Lämmöntalteenottoa lisättäessä voidaan hallista poistaa käytöstä kaksi lisälämmitintä, jolloin hiilidioksidipäästöt vähentyvät pelkästään tämän ansiosta 321 840 kg vuodessa. Kun otetaan huomioon myös maakaasun polton väheneminen lämmityskattilalla, voidaan hiilidioksidipäästöjä vähentää yhteensä 701 140 kg vuodessa. Vuonna 2010 tehtaassa fossiilisista polttoaineista syntyvät hiilidioksidipäästöt olivat 2 664 580 kg, jolloin fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvia CO₂-päästöjä voitaisiin vähentää 26 %, kun otetaan huomioon vain lämmöntalteenoton lisäyksestä johtuvat päästön alenemiset.

Kuivureiden ja kompressorihuoneen lämmöntalteenotto on vain yksi osa Cembritin teollisuuskiinteistön energiatehokkuuden parantamisessa. Liittymällä energiatehokkuussopimukseen asetetaan tavoitteita energiankäytön tehostamiseksi ja varmistetaan jatkuva energiankulutuksen seuranta.

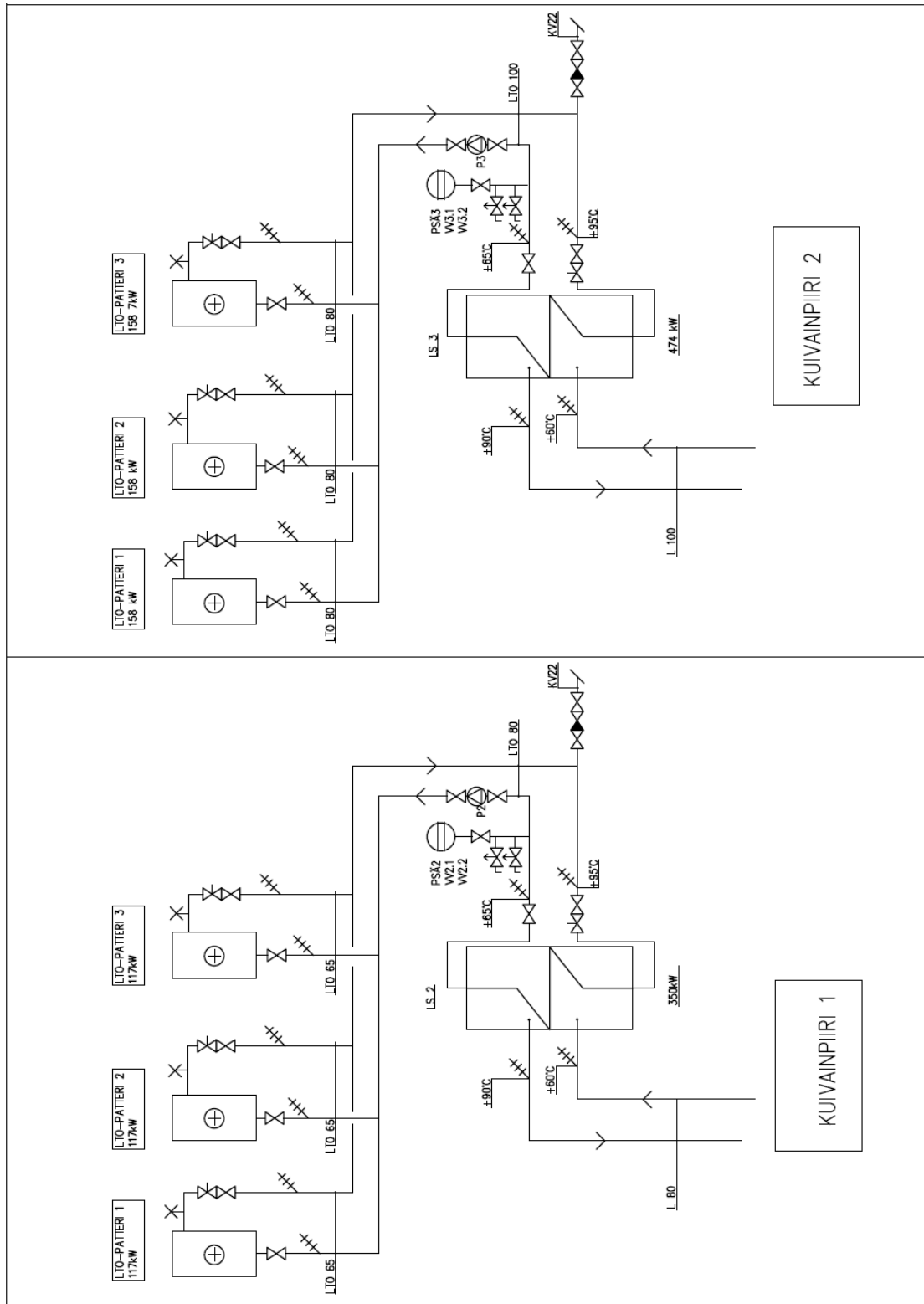
Lähteet

- 1 Energiankäytön tehostamistoimenpiteet. 2011. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energiankaytto>. Luettu: 16.2.2011. Päivitetty: 11.1.2011
- 2 LVI 30-10148. Teollisuusilmanvaihdon suunnittelu, osa 1. 1989. Rakennustietosäätiö.
- 3 Heikkilä Ilkka, Huumo Mikko, Siitoinen Sari, Seitsalo Pirkko, Hyytiä Hille. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Teollisuuden energiatehokkuus. SY 51/2008.
- 4 Tietoa yrityksestä. Verkkodokumentti. Cembrit Oy.
<http://www.cembrit.fi/Tietoa_yrityksesta-22541.as>. Luettu 15.4.2011.
- 5 Tasolevyjen kuivauslinjakansio. 1990. Raute.
- 6 Seppänen Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry, 2. päivitetty painos.
- 7 Compressed Air Manual 7th edition. Atlas Copco.
- 8 Pk-teollisuuden energiansäästöopas. 2000. Motivan julkaisuja 4/2000. Gaia Group Oy ja AX-Suunnittelu Oy.
- 9 LVI-kortti 62-10154 Kondenssikattilat. 1990. Rakennustietosäätiö.
- 10 Teollisuushallin lämmityksen ja ilmastoinnin suunnittelutietoa. 1987. Neste B2. Espoo.
- 11 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton käyttö- ja suunnittelutietoa teollisuudelle. 1987. Neste B1. Espoo.
- 12 Energiakatselmustoiminta. 2011. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<<http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta>>. Päivitetty 31.1.2011. Luettu 18.2.2011.
- 13 Energiatehokkuusjärjestelmä ETJ. Versio 1. 4.12.2007. Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksen energiavaltaisen teollisuuden ja energian tuotannon toimenpideohjelmien liite.
- 14 Federlay Jaana. 2009. Energiatehokas lämmitys ja LTO. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<http://www.motiva.fi/files/2418/Energiatehokas_l_mmitys_ja_LTO.pdf>. Luettu 14.3.2011.

- 15 Säästöjä energiakatselmuksella -tietoisku ja keskustelu Pyry Penttisen kanssa.
Motiva Oy. Teolliset Palvelut -messut 23.3.2011.
- 16 Insinööritoimisto Peltonen. Sähköpostikeskustelu 3.3.2011.
- 17 Energiatilasto – Vuosikirja 2009. Tilastokeskus.

Kytentäkaaviot

Kuivausuunien lämmöntalteenoton kytkentäkaavio [muokattu 16].



Kytentäkaaviot

Kompressorien lämmöntalteenoton kytentäkaavio [muokattu 16].

