

Jussi Koirikivi

ABSORBEX-LINJAN SÄHKÖTILOJEN ILMASTOINTI

Opinnäytetyö
Talotekniikka

2017



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät Jussi Koirikivi	Tutkinto Talotekniikka (AMK)	Aika Huhtikuu 2017
Opinnäytetyön nimi Absorbex-linjan sähkötilojen ilmastointi		45 sivua 0 liitesivua
Toimeksiantaja Kotkamills Oy		
Ohjaaja Heikki Salomaa		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön ensimmäinen keskeinen asia oli kartoittaa Kotkamills Oy:n Absorbex-linjaa palvelevien sähkötilojen sisäilmasto-olosuhteita. Olosuhteina huomioitiin sähkötiloissa vallitsevat lämpötilat, ilman suhteellinen- ja absoluuttinen kosteus sekä sähkötilojen ylipaineistus. Absorbex-linjaa palvelee yhteensä 11 eri sähkötilaa, joista yhdeksässä pystyttiin suorittamaan mittauksia.</p> <p>Tilojen lämpötila- ja kosteusmittaukset suoritettiin käyttämällä EBI-TH 20 dataloggereita, jotka tallensivat mittaustuloksia puolen tunnin välein. Paine-eromittaukset suoritettiin Tinytag-dataloggerilla, joka tallensi mitattavan sähkötilan ja sitä ympäröivän prosessitilan välistä paine-eroa puolen tunnin välein. Mittaustulosten perusteella havainnointiin sähkötiloissa vallitsevia sisäilmastollisia puutteita, joihin tulisi kiinnittää huomiota.</p> <p>Opinnäytetyön toinen keskeinen asia oli yhden Absorbex-linjaa palvelevan sähkötilan jäähdytystehontarpeen määrittäminen ja jäähdytysjärjestelmän valitseminen. Jäähdytysjärjestelmän valintaan vaikuttivat hankintahinta, toimitusaika, luotettavuus ja energiatehokkuus.</p> <p>Opinnäytetyötä tullaan hyödyntämään sähkötilan jäähdytysjärjestelmän valinnassa ja tämän lisäksi toimeksiantaja saa laajan käsityksen Absorbex-linjaa palvelevien sähkötilojen vallitsevista sisäilmaolosuhteista sekä niissä havaituista puutteista.</p>		
Asiasanat ilmastointi, jäähdytys, teollisuus		

Author (authors)	Degree	Time
Jussi Koirikivi	Building services engineering	April 2017
Thesis Title		
Air conditioning in the electrical spaces of Absorbex line		45 pages 0 pages of appendices
Commissioned by		
Kotkamills Oy		
Supervisor		
Heikki Salomaa		
Abstract		
<p>The first key point of the thesis was to survey the indoor climate conditions of the electric spaces Kotkamills Oy's Absorbex-line. As a condition, the prevailing temperatures in the electric spaces, the relative and absolute humidity of the air and the overpressure of the electric spaces were taken into consideration. The Absorbex line serves a total of 11 different power modes, nine of which were capable of performing measurements.</p>		
<p>Temperature and humidity measurements were performed using EBI-TH 20 dataloggers that recorded the measurement results every half hour. Pressure differential measurements were performed with a Tinytag data logger, which stored the pressure difference between the measured electrical state and the proxy state surrounding it, every half hour. Based on the measurement results, the air-conditioning deficiencies in electrical facilities were assessed, which should be taken into consideration.</p>		
<p>Another key point of the thesis was the determination of the cooling energy needs of a single electric space of Absorbex-line and the selection of the cooling system. The selection of the cooling system was influenced by the purchase price, delivery time, reliability and energy efficiency.</p>		
<p>The thesis will be used in the selection of the cooling system of the electrical space and in addition, the commissioner will get a broad understanding of the prevailing indoor air conditions in the electric spaces serving the Absorbex line and the shortcomings observed therein.</p>		
Keywords		
air conditioning, cooling, industry		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KOTKAMILLS OY.....	6
3	SELLUN- JA LAMINAATTIPAPERIN VALMISTUS.....	7
4	SÄHKÖILOJEN ILMASTOINTI.....	7
4.1	Ilmastointiratkaisuna erillisjäähdytys.....	8
5	JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT.....	9
5.1	Haihdotusjäähdytys.....	9
5.2	Suora höyrystys.....	9
5.3	Välillinen jäähdytys.....	9
5.4	Vapaa jäähdytys.....	9
5.5	Kompressorijäähdytys.....	10
5.5.1	Kierukkakompressori.....	10
5.5.2	Mäntäkompressori.....	11
5.5.3	Ruuvikompressori.....	11
5.5.4	Keskipakokompressori.....	11
5.5.5	Lamellikompressori.....	11
5.5.6	Turbokompressori.....	11
5.6	Absorptiojäähdytys.....	12
5.6.1	Absorptiojäähdytyksen käyttökohteet.....	13
6	KYLMÄAINEET.....	14
6.1	Uusien suorahöyrystyskoneikkojen kylmäaineet.....	15
6.2	R-134a.....	15
6.3	R-407C.....	15
6.4	R-410A.....	15
6.5	R-744.....	16
7	SÄHKÖILOISSA SUORITETUT MITTAUKSET.....	16
8	SÄHKÖILOJEN MITTAUSTULOKSET.....	17

8.1	Sähkötöila 25	17
8.2	Ristikytkentätöila 201	18
8.3	Sähkötöila 36	20
8.4	Sähkötöila 37	21
8.5	Sähkötöila 38	22
8.6	Sähkötöila 59	24
8.7	Sähkötöila 3802	25
8.8	Ristikytkentätöila 301	26
8.9	Sähkötöila 30	28
9	MITTAUSTEN YHTEENVETO	30
10	SÄHKÖTÖILAN 3802 JÄÄHDYTYSTEHOHTARPEEN MÄÄRITYS	31
10.1	Sähkötöilan 3802 kytketyt sähkötehot	31
10.2	Sähköjärjestelmien aiheuttamat laskennalliset lämpökuormat.....	32
10.3	Ulkoiset lämpökuormat	33
11	JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN VALINTA.....	38
11.1	Vapaaäähditys	38
11.2	Absorptioäähditys	39
11.3	Koneellinen jäähditys.....	40
12	POHDINTA	41
12.1	Lämmöntalteenotto	41
12.2	Vapaaäähditys ilmalla	43
12.3	Jäähdytyskompressorin lauhdelämpö.....	45
	LÄHTEET.....	46

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Absorbex-linjaa palvelevien sähkötilojen sisäilmasto-olosuhteita, sekä määrittää yhden Absorbex-linjaa palvelevan sähkötilan jäähdytystehontarve ja valita sopiva jäähdytysjärjestelmä.

Sähkötilojen ilmastonin tärkein tehtävä on pitää sähkötilojen lämpö- ja kosteusolosuhteet sellaisina, ettei prosessin toiminta häiriinny. Sähkötilojen lämpökuorma aiheutuu tilojen sähkölaitteista, sekä prosessin aiheuttamista ulkoisista lämpökuormista ja kesätilanteessa ulkoilman aiheuttamista lämpökuormista. Sähkötiloille haitallisia kosteuskuormia saattaa aiheutua tuotantoprosessista vapautuvista vesihöyryistä ja kuumista lauhdevesistä, sekä ulkoilmasta, joka korostuu tehtaan sijaitessa meren välittömässä läheisyydessä.

Absorbex-linjaa palvelee yhteensä 11 sähkö- ja ristikytkentätilaa, joista yhdeksässä pystyttiin suorittamaan sähkötilojen sisäilmaan liittyviä mittauksia.

Jäähdytysjärjestelmä tuli mitoittaa sähkötilaan, joka sijaitsi Absorbex-linjan kuivassa päässä. Kuivanpään lämpö- ja kosteusolosuhteet eivät ole suunnittelun kannalta hankalimmat mahdolliset. Suunnitteluvaiheessa kartoitettiin erilaisia mahdollisuuksia sähkötilan jäähdyttämiseksi, joista valittiin edullisin ja toimintavarmin ratkaisu.

2 KOTKAMILLS OY

Kotkamills Oy:n omistaa suomalainen Mb-sijoitusrahastot. Kotkamills Oy:lla on tehtaita Kotkassa, Tainionkoskella ja Malesiassa. Kotkamills Oy:n kotkansaaren tehdasintegraatin historia ulottuu aina 1800-luvulle, jolloin Hanz Gutzeit perusti Kotkansaarelle sahan vuonna 1872. Kotkansaarella on ollut tästä lähtien puunjalostustoimintaa. Kotkansaaren tehtaat ovat yhtiön suurin tuotantoyksikkö, jossa työskentelee noin 500 henkilöä. Kotkansaarella on tuotannossa kesällä 2016 käynnistynyt elintarvikekartonkia valmistava kartonkikone, laminaattipaperia valmistava paperikone ja sellutehdas. Sellutehdas käyttää raaka-aineenaan sahanpurua ja kaikesta sellutehtaan tuottamasta sellusta valmistetaan laminaattipaperia. Lisäksi Kotkansaaren tehdasintegraatissa on

Imprex – laitos laminaattipaperin jatkojalostusta varten. Integraatissa toimii myös saha, jossa tuotetaan puutavaraa. /12./ /13./

3 SELLUN- JA LAMINAATTIPAPERIN VALMISTUS

Kotkamills Oy:n Kotkansaaren paperikone tuottaa laminaattipaperia, jonka raaka-aineena käytetään sellutehtaan tuottamaa sahanpurusellua. Laminaattipaperin brändinimitys on Absorbex. Paperikoneen vuosituotanto on 160 000 tonnia laminaattipaperia vuodessa. Absorbex laminaattipaperi on väriltään ruskeaa, sillä sellumassaa ei ole valkaistu.

Sellua valmistetaan puukuituja lipeässä keittämällä. Puukuitu sisältää selluloosaa, hemiselluloosaa sekä ligniiniä. Keittoprosessin tarkoituksena on erottaa puunsidosaine ligniini puun muista kuiduista. Keittoprosessi tapahtuu sellukatiloissa, joissa ligniini liukenee puun muista kuiduista. Keittoprosessin jälkeen massa pestään massapesureissa. Pesun jälkeen massa lajitellaan massalajittimissa, josta tuotantokelpoinen massa pumpataan massatorniin. Massatorni toimii varastona, minkä ansioista pienet selluntuotantokatkokset eivät vaikuta laminaattipaperin valmistukseen. Massatornista sellumassa pumpataan laminaattipaperia valmistavalle paperikoneelle. /15./

Paperikone voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, märkähään ja kuivaan päähän. Märkähää koostuu viiraosasta ja puristinosasta. Kuivaan päähän kuuluvat paperikoneen kuivatusosa, rullain ja erillisenä pituusleikkuri.

4 SÄHKÖTILOJEN ILMASTOINTI

Teollisuuden sähkötiloissa esiintyy suuria lämpökuormia ja mahdollisesti korroosiota aiheuttavia epäpuhtauksia, joita pyritään hallitsemaan ilmastoinnilla. Ilmastoinnin avulla pyritään sähkötiloissa ylläpitämään käyttötarkoituksen mukaiset ilman kosteus-, lämpö- ja puhtausolosuhteet. Teollisuuden sähkötilojen läheisyydessä saattaa esiintyä paljon pölyä, joten pölyn pääsy sähkötiloihin on estetty tilan ylipaineistuksella ja tuloilman suodatuksella. Tilojen lämpötila ja kosteus on pidettävä sellaisissa arvoissa, ettei tilassa tai sen laitteissa ja kojeissa esiinny kosteuden tiivistymistä, eli kondensoitumista tai laitteistojen ja kojeiden ylikuumenemista. /1, s. 2./

Ilmastointijärjestelmää valittaessa tulee ottaa huomioon monia erilaisia seikkoja, joista tämän opinnäytetyön kohteissa merkittävin on järjestelmän käyttövarmuus. Ilmastointijärjestelmän pettäminen saattaa tarkoittaa koko tuotantoprosessin alasajoa, jolloin puhutaan suurista taloudellisista tappioista. Tästä syystä sellaiset sähkötilat, joiden jäähdytyslaitteistojen vikaantuminen aiheuttaa prosessin alasajon, tulisi varustaa kaksinkertaisin jäähdytyslaittein. Seuraava huomioitava seikka on laajennusvara. Laajennusvaralla tarkoitetaan järjestelmän mitoittamista sopivassa määrin ylisuureksi, jolloin tilan sähkölaitteiden lisääntyessä ei jokaisen uudistuksen takia tarvitse uusia jäähdytysjärjestelmää. Laajennusvaramitoituksessa tulee varmistua järjestelmän taloudellisesta toiminnasta myös osakuormilla. /2, s. 5./

4.1 Ilmastointiratkaisuna erillisjäähdytys

Kaikissa tutkittavissa sähkötiloissa on jäähdytysratkaisuna käytetty erillisjäähdytystä, jolloin jäähdytysenergia tilaan tuotetaan muutoin kuin pelkästään tuloilmaa jäähdyttämällä. Erillisjäähdytyksessä sähkötilan lämpötilaa säädellään esimerkiksi suorajäähdytyksellä, jonka avulla lämpötilana pyritään pitämään 20 °C, joka on sähkötiloille ohjeistettu optimaalinen käyttölämpötila. Tiloja palvelee jäähdytyksen lisäksi tuloilmakoneet, joilla pyritään luomaan tiloihin noin 20 Pascalin ylipaine. Ylipaineen lisäksi tuloilmakoneen avulla pitäisi tilassa ilman vaihtua noin 2,5 kertaa tunnissa. Sähkötiloja rasittava kosteuskuorma tulee yleensä ulkoilmasta, mistä syystä tuloilmakone olisi hyvä varustaa jäähdytyspatterilla. Jäähdytyspatterin tehtävä on viilentää ja kuivata tuloilmaa. /2, s. 3./

Sähkötilassa vallitseviin lämpöolosuhteisiin vaikuttaa vahvasti jäähdytysjärjestelmän toiminta. Jäähdytysjärjestelmää valittaessa tulee varmistua, että tilassa saavutetaan vaaditut olosuhteet. Jäähdytyslaitteina on perinteisesti käytetty vakioilmastointikoneita, puhallinkonvektoreita sekä jäähdytyspalkkeja. Jäähdytyspalkkeja käytettäessä on varmistuttava, ettei palkkien ja putkien pinnoilla tapahdu kondensoitumista.

5 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT

5.1 Haihdutusjäähdytys

Jäähdyttäminen voi yksinkertaisimmillaan perustua kosteuden haihtumiseen, jolloin haihtuminen sitoo itseensä lämpöenergiaa ympäröivästä ilmasta ja ilman lämpötila laskee. Haihdutusjäähdytysratkaisuja tavataan yleensä teollisuudessa, missä jäähdytystehot ovat suuret ja kesän mitoitusolosuhteissa veden lämpötilatasot ovat 5 – 8 °C ulkoilman lämpötilaa alempia. /3, s. 241./

5.2 Suora höyrystys

Ilmastoinnin jäähdytys voidaan toteuttaa suoran höyrystyksen menetelmällä. Suoran höyrystyksen ideana on, että höyrystimessä virtaava kylmäaine jäähdyttää välittömästi höyrystimen läpi kulkevaa ilmavirtaa. Kylmäaine ottaa höyrystymislämmön ilmavirrasta ja ilmavirran lämpötila laskee. Höyrystin on yleensä sijoitettu suoraan tuloilmakojeeseen tai erilliseen puhallinyksikköön, joka sijaitsee jäähdytettävässä tilassa. Suoran höyrystyksen jäähdytysenergia tuotetaan kompressorilla. /4, s. 330./

5.3 Välillinen jäähdytys

Välillisessä järjestelmässä käytetään fluidia lämmönsiirtoaineena, joka on useimmiten kylmäliuosta tai vettä. Fluidi kiertää jäähdytyspatterin läpi, joka voi olla sijoitettuna tuloilmakoneeseen tai jäähdytettävään huonetilaan. Jäähdytyspalkeilla toteutettu jäähdytysjärjestelmä on eräänlainen välillisen jäähdytyksen muoto. Välillinen jäähdytysjärjestelmä on yleisesti suurempien laitosten ratkaisu ja usein käytetty ilmamääräsäätöisissä jäähdytysjärjestelmissä. /4, s. 334./

5.4 Vapaa jäähdytys

Jäähdytysenergiaa tuotettaessa on energiatehokasta hyödyntää luonnon tarjoamia viileitä kohteita. Tällaisia ovat esimerkiksi, joet, järvet, meri ja ulkoilma. Vapaa jäähdytyksellä saadaan suuri osa jäähdytysenergian tarpeesta sekä

merkittävä osa jäähdytystehosta. Vesistöt ovat edullinen jäähdytyksen perustehonlähde lämpiminäkin vuodenaikoina. Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen on ympäristöystävällinen ja energiatehokas jäähdytysenergian tuotantomuoto, jota täydennetään muilla jäähdytysenergian tuotantomuodoilla. /6, s. 531./

5.5 Kompressorijäähdytys

Kompressorijäähdytyksestä saatava jäähdytysteho perustuu kylmäaineen faasimuutokseen. Faasimuutoksessa kylmäaine sitoo ja luovuttaa maksimaalisen määrän lämpöenergiaa. Kompressorijäähdytysprosessissa kylmäaine höyrystyy sekä lauhtuu. Höyrystymisellä tarkoitetaan kylmäaineen muuttamista nesteestä höyryksi ja lauhtumisella kylmäaineen muuttamista höyrystä takaisin nesteeksi. Jäähdytysjärjestelmän pääkomponentit ovat paisuntaventtiili, höyrystin, kompressori ja lauhtutin. /3, s. 244./

Kompressorijäähdytyksessä kylmäaine höyrystyy höyrystimessä, jossa kylmäaineen paine on matala. Kylmäaineen höyrystävä lämpö tuodaan höyrystimelle suoraan jäähdytettävästä tilasta. Kompressorin tehtävänä on nostaa kylmäainehöyryn painetta, jolloin höyry lauhtuu ja luovuttaa faasimuutoksen seurauksena lauhtuttimessa lämpöenergiaa väliaineeseen, esimerkiksi veteen. Lauhtuneen kylmäainenesteen painetta lasketaan paisuntaventtiilissä, jonka jälkeen nestemäinen kylmäaine virtaa jälleen höyrystimelle. Prosessia pyörittävä käyttövoima tehdään yleisesti sähkömoottorilla, joka pyörittää kompressoria. Kompressorikoneissa käytettävät kylmäaineet ovat yleensä ympäristölle haitallisia aineita. /6, s. 531./ /3, s. 241./

5.5.1 Kierukkakompressori

Kierukkakompressorissa, eli scroll-kompressorissa on kaksi kierukkaa. Toinen on kiinteä ja toinen kierukka pyörii kiinteän kierukan sisällä epäkeskeisesti. Pyörimisliikkeen avulla kierukat koskettavat muutamissa kohdissa toisiaan, jolloin kierukoiden väliin muodostuu kammioita. Kammiot pienenevät pyörimisliikkeen mukana ja kylmäaineen paine nousee. Kierukkakompressori on yleisimmin käytetty kompressorityyppi ilmastointilaitteissa ja lämpöpumpuissa. /4, s. 149./

5.5.2 Mäntäkompressor

Mäntäkompressorissa on nimensä mukaisesti mäntä, joka liikkuu edestakaisin. Mäntä puristaa kylmäainetta paineessa nesteeksi. Mäntäkompressorია käytetään alle 1,5 MW:n koneissa. /6, s. 532/

5.5.3 Ruuvikompressor

Ruuvikompressoreita käytetään etenkin jäähdytysjärjestelmissä, joissa kylmäaineena on ammoniakki. Ruuvi puristaa kylmäaineen paineeseen, josta prosessi saa käyttövoimansa. Ruuvikompressoreissa pyörii kaksi tai useampia ruuveja, jotka pyörivät limittäin. Tilavuuden pienentyessä kylmäaineen paine nousee. Ruuvikompressoreja käytetään alle 10 MW:n järjestelmissä. /6, s. 532/

5.5.4 Keskipakokompressor

Keskipakokompressor toimii keskipakopumpun tavoin. Keskipakokompressorissa on juoksupyörä joka painaa kylmäaineen juoksupyörän ulkokehälle. Ulkokehältä kylmäaine poistuu pesän purkuaukosta putkistoon, josta se virtaa höyrystimelle. Keskipakokompressor toimii hyvällä hyötysuhteella, jopa osakuormituksella. Hyvänä puolena voidaan pitää myös pientä tilantarvetta, sekä yhdestä yksiköstä saatavaa jopa 25 MW:n tehoa. /6, s. 532./

5.5.5 Lamellikompressor

Lamellikompressoreissa mäntä pyörii sylinterissä epäkeskeisesti. Epäkeskeisyyden seurauksena kylmäainehöyryn tilavuus pienenee, jolloin paine nousee. Lamellit muodostavat männän takana sylinteriin kammioita, joiden tilavuus pienenee pyörimissuunnassa, jolloin paine nousee. /6, s.532./

5.5.6 Turbokompressor

Turbokompressorin toiminta perustuu kylmäaineen liike-energiaa. Turbokompressoreissa on juoksupyörä, jolla luodaan kylmäaineelle liike-energiaa ja liike-

energian avulla painetta. Turbokompressorien hyötysuhde on täydellä teholla hyvä, mutta laskee selvästi osatehoilla käytettäessä. /6, s. 533./

5.6 Absorptiojäähdytys

Absorptioprosessilla tarkoitetaan kaasun liukenemista nesteeseen. Absorptioprosessi on lämpöä vapauttava reaktio, eli eksoterminen reaktio. Absorptiojäähdytysprosessissa hyödynnetään entalpian muutosta, joka on liukenemisen ja lauhtumislämmön summa. /7, s.11./

Absorptiojäähdytyksen energialähteenä voidaan käyttää yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotettua lämpöä, jota ei kesäaikana tarvitse käyttää lämmitysenergiana. Jäähdytysenergialähteenä voidaan käyttää myös teollisuuden prosesseissa syntyvää hukkalämpöä. /5, s. 42./

Jäähdytysprosessi perustuu absorbentin, eli työaineen ominaisuuksiin sekä työaineen ja sen aineparin käyttäytymiseen liuoksena. Lämpötilan ja paineen ollessa tiettyjä vakioita vallitsee kaasun ja ainepariin absorboituneen kaasun välillä tasapainotila. Lämpötilan tai paineen muuttuessa prosessin tasapainotila muuttuu, jolloin kaasua höyrystyy aineparista tai sitoutuu ainepariin. Tasapainotila esitetään yleisesti Clausius – diagrammissa, jossa vakioipitoisuus-suorat ovat lineaarisia lähes kaikilla ainepariseoksilla, minkä vuoksi diagrammia käytetään yleisesti kuvatessa jäähdytysprosessien toimintaa. /7, s.12/

Yksinkertaisimmillaan jäähdytysprosessia voidaan verrata tunteeseen vedestä nousemiselle uimisen jälkeen. Uimisen jälkeen iholla oleva vesi haihtuu ihmisen iholta. Haihtumisprosessissa tapahtuu faasimuutos nesteestä höyryksi, jolloin energiantarve on suurimmillaan ja höyrystymiseen tarvittava energia otetaan ihmisen iholta. Tällaisessa prosessissa aineparina toimii vesi ja ilma, jossa vesi liukenee ilmaan.

Saunoessa ihminen tuntee olonsa kuumaksi, joka johtuu kiukaalla höyrystyneestä vedestä. Kiukaalla höyrystetty vesi tekee saunan ilmankosteuden suureksi, jolloin kosteus tiivistyy ihmisen viileän ihon pinnalle. Tiivistyessään vesihöyry luovuttaa latenttilämpönsä ihmisen iholle, mikä saa olon tuntumaan kuumalta. /8, s. 104./

Absorptiojäähdytysprosessissa perinteisen lämpöpumpun tekemän työn korvaa höyrystin ja lauhdutin. Lauhduttimelta kylmäaine virtaa paisuntaventtiilille, minkä jälkeen se virtaa höyrystimelle. Kylmäaineesta osa höyrystyy paisuntaventtiilillä ja loppu höyrystyminen tapahtuu vasta höyrystimellä. Imeyttimessä höyry absorboidaan absorbenttiin, eli liuottimeen ja absorbentti paineistetaan takaisin korkeammalle painetasolle. Tällä prosessilla säästetään lämpövoimakoneen suorittama työ ja se korvaa kompressorin tekemän työn. Imeytin tarvitsee jäähdytystä liukenemisesta ja lauhtumisesta aiheutuvan lämmön kompensoimiseksi. Keittimessä kylmäaine vapautetaan liuksesta keittämällä, jonka jälkeen väkevöity liuos palautetaan imeyttimelle lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiin kautta. /7, s.13./

Absorptiojäähdytysprosessissa höyrystimen tarvitsema lämpö otetaan jäähdytettävästä nestevirrasta. Keittimelle tuotu lämpö toimii prosessia pyörittävänä käyttöenergiana. Prosessin moitteettoman toiminnan takia imeytintä ja lauhdutinta tarvitsee yleensä jäähdyttää. Jäähdytysvetenä voidaan käyttää jäähdytystornissa vapaa-jäähdytettyä vettä tai esimerkiksi merivettä tai raakavettä. Kuumen ja väkevän liuksen lämpöä siirretään liuoslämmönsiirtimessä imeyttimeiltä lähtevään laimentuneeseen liukseen, mikä nostaa absorptiolämpöpumpun hyötysuhdetta, eli COP - kerrointa. /7, s. 14./

Höyrystimessä on höyrystinputkia, joiden sisällä jäähdytettävä vesi virtaa. Höyrystimeen sisältyvät myös jäähdytysaineen suihkuputket sekä jäähdytysaineen kokooma-allas. Absorptioaine ruiskutetaan imeyttimessä jäähdytettävän veden putkille, joista laimentunut liuos valuu kokooma-altaaseen. Keittimen ensiöputkisto, joka luovuttaa höyrystymislämpöä on sijoitettu laimean liuksen suihkutusputkiston kanssa kiehutusaltaaseen. Lauhdutin on lämmönsiirrin, jossa kiertää jäähdytysvesi sekä lauhdutettava kylmäaine. /7, s. 14./

5.6.1 Absorptiojäähdytyksen käyttökohteet

Absorptiojäähdytys on yleistynyt Suomessa kaukolämpölaitosten rinnalla tuottamaan kesäaikana kaukojäähdytysenergiaa. Kaukojäähdytysenergia tuotetaan kesäaikana kaukolämpövedestä saatavalla lämpöenergialla absorptiojäähdytysmenetelmällä. Kaukojäähdytys on tehokas ja ympäristöystävällinen tapa tuottaa suuria määriä jäähdytysenergiaa lämpöenergialla joka muuten

menisi hukkaan. Kaukojäähdytyksen hyötysuhde, eli COP - kerroin voi olla jopa 0,8, mikä tarkoittaa, että järjestelmään tuodulla 1 kW:n lämpöenergialla saadaan tuotettua 0,8 kW:a jäähdytysenergiaa. /3, s. 260./

6 KYLMÄAINEET

Kylmäaineen tarkoituksena on siirtää lämpöä jäähdytysjärjestelmässä, joten se toimii järjestelmässä lämmönsiirron väliaineena. Kylmäaineen lämmönsiirtokyky perustuu faasimuutoksiin jäähdytysjärjestelmässä, jolloin se sitoo lämpöä ympäristöstä tai luovuttaa sitä ympäristöön. Kylmäaineen ominaisuuksiin vaikutetaan kylmäaineita paineistamalla, jolloin sen lämpötila muuttuu. /10, s. 1./

Kylmäaineiden kehitystä ohjaa nykyisin kasvihuonepäästöt ja kylmäaineiden haitallisuus otsonikerrokselle. Kylmälaitteistoista voi vuotojen seurauksena vapautua vaarallisia kylmäaineita, jotka vaikuttavat kasvihuoneilmiöön ja otsonikerroksen tuhoutumiseen. EU:ssa on annettu määräykset lopetettujen kylmälaitosten sisältämien kylmäaineiden talteenottamista ja hävittämistä varten. Asiasta ei kuitenkaan ole voimassa maailmanlaajuisia määräyksiä, jonka seurauksena kaikissa maissa ei suoriteta asiallista kylmäaineiden talteenottoa ja hävittämistä. Otsonikerrokselle haitallisia kylmäaineita on pyritty poistamaan järjestelmistä ja korvaamaan ne uusilla kylmäaineilla. /9, s.1./

Kylmäaineiden vaikutusta kasvihuoneilmiöön kuvataan niiden GWP-arvolla (Global Warming Potential). Käytössä olevien CFC, HFC ja HCFC-kylmäaineiden GWP-arvot liikkuvat lukujen 1300 – 3260 välillä. Mitä suurempi GWP-arvo on, sitä suurempi haitallinen vaikutus sillä on ilmaston lämpenemiseen. /9, s. 2./

ODP-luvulla (Ozone Depletion Potential) kuvataan kylmäaineen suhteellinen haitallisuus otsonikerrokselle. ODP-luvun asteikko on 0 – 1,0. Mitä suurempi luku on, sitä suurempi haittavaikutus kylmäaineella on otsonikerrokselle. /10, s. 1./

TEWI-luvulla (Total Equivalent Warming Impact) kuvataan kylmälaitoksen tuottamaa hiilidioksidin määrää kilogrammoina sen elinkaaren aikana. TEWI-

luku ilmoitetaan normaalisti vuoden ajanjaksolle laskettuna ja TEWI-luvun asteikko alkaa nollostä. TEWI-luvullakin suurempi luku kertoo suuremmasta haitallisuudesta. /10, s. 1./

Kylmälalalla paljon käytetyt CFC ja HCFC kylmäaineet, eli halogenoidut hiilivedyt ovat poistumassa tai poistuneet käytöstä otsonikerrosta tuhoavan vaikutuksensa vuoksi. Otsonikerrosta tuhoavan vaikutuksensa lisäksi ne ovat myös voimakkaita kasvihuonekaasuja. HFC-kylmäaineet eivät ole haitallisia otsonikerrokselle, mutta ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. /9, s.1./

Ilmakehän kannalta edellä mainittuja kylmäaineita parempia ovat luonnolliset hiilivedyt. Näitä hiilivetyjä ovat esimerkiksi propaani, propeeni, isobutaani, sekä yleisimpänä hiilidioksidi. Ammoniakki on ilmakehän kannalta hyvä kylmäaine, mutta se on haitallinen ympäristölle. /9, s.3./

6.1 Uusien suorahöyrystyskoneikkojen kylmäaineet

6.2 R-134a

Kylmäainetta R-134a käytetään muun muassa ajoneuvojen ilmastoinneissa. Se soveltuu myös erityisen hyvin kiinteisiin jäähdytyskoneikkoihin, jotka sijaitsevat tiloissa, joissa on korkea ympäristön lämpötila. /3, s. 249./

6.3 R-407C

R-407C on ollut yleisin poistuneen HCFC-kylmäaine R22:en korvaaja. Tätä kylmäainetta voidaan pitää erilaisten jäähdytyslaitteiden yleiskylmäaineena sen suuresta lämpötilaliukumasta huolimatta. /3, s. 249./ /15. s. 109./

6.4 R-410A

Kylmäainetta R-410A käytetään yleensä pienemmissä ja siirrettävissä kylmälaitteissa, kuten esimerkiksi ilmalämpöpumpuissa. /3, s. 249./

6.5 R-744

R-744 kylmäaine tunnetaan paremmin hiilidioksidina, joka on pitkän käyttökatkon jälkeen palaamassa takaisin käyttöön. Ensimmäisinä käyttökohteina ovat olleet ajoneuvojen jäähdytyslaitteissa. /3, s. 249./

7 SÄHKÖTILOISSA SUORITETUT MITTAUKSET

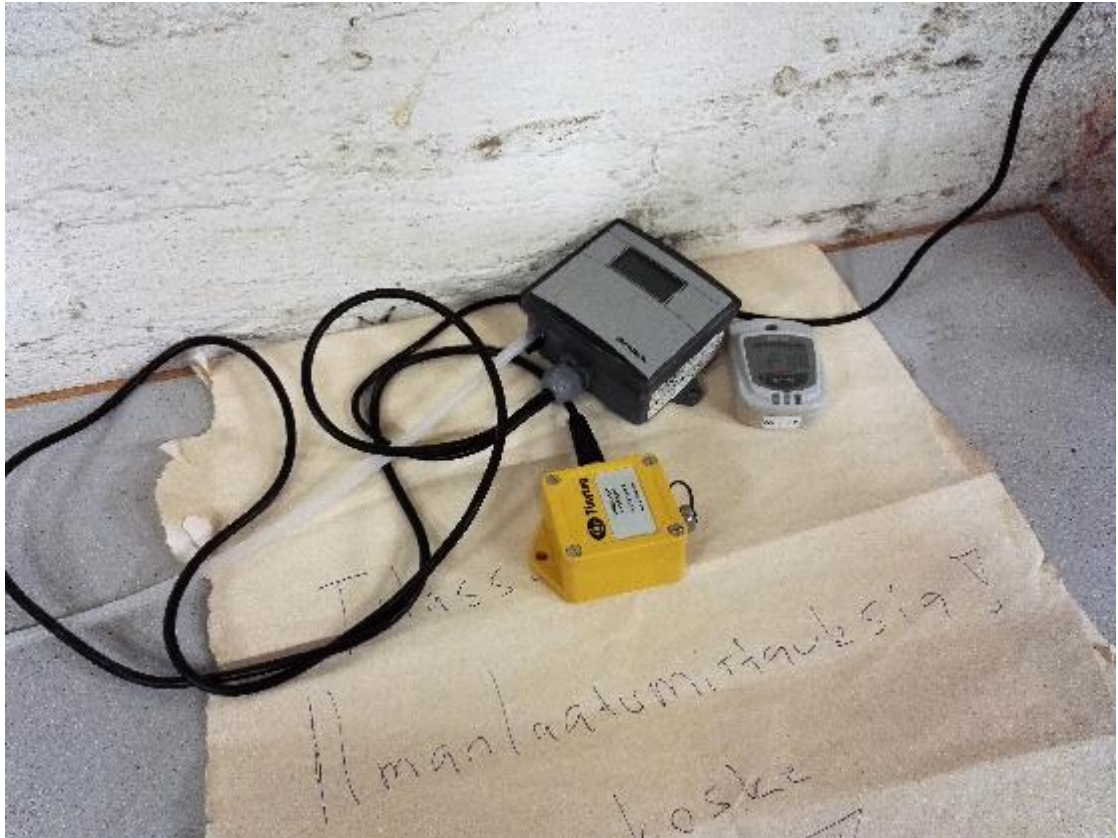
Absorbex - linjaa palvelee yhteensä 11 sähkö- ja ristikytkentätilaa, joista yhdeksässä päästiin suorittamaan lämpötila-, kosteus-, ja paine-eromittauksia. Kahdessa sähkötilassa ei ryhdytty suorittamaan paine-eromittauksia sähkötilojen hyvän tiiviyyden vuoksi, mistä johtuen paine-eroletkun vienti prosessitiloihin ei olisi ollut järkevää.

Lämpötila- ja kosteusmittauksessa käytettiin EBI-20 TH dataloggereita, jotka tallensivat lämpötila- ja kosteuslukemat puolen tunnin välein. Yhdellä loggerilla mitattiin myös ulkoilman lämpötilaa ja kosteutta, jotta sähkötilojen lämpö- ja kosteusolosuhteiden riippuvuutta ulkoilmaan pystyttiin analysoimaan.

Paine-eromittaukset suoritettiin käyttäen Tinytag dataloggereita, jotka tallensivat sähkö- ja prosessitilan välillä vallitsevan paine-eron puolen tunnin välein.

Mittaustuloksia on taulukoitu ja esitetty jokaisen sähkötilan kohdalla erikseen. Taulukoiden avulla voi havainnoida lämpötilan ja ylipaineisuuden sekä suhteellisen- ja absoluuttisen kosteuden muutoksia sähkötiloissa. Kaikki mittausvälineet on esitetty kuvassa yksi.

Ihanteellisinta olisi ollut suorittaa mittaukset kesätilanteessa, jolloin ulkoilman lämpötila- ja kosteus ovat korkeimmillaan. Aikataulullisista syistä tämä ei ollut mahdollista, joten mittaukset sähkötiloissa suoritettiin helmikuussa 9.2 – 22.2.2017, jolloin sää oli suurimmaksi osaksi leuto talvisää. Ulkoilman lämpötila oli alimmillaan 10.2.2017, jolloin lämpötila oli -10,3 °C ja ilman suhteellinen kosteus 77,7 %. Korkeimmillaan ulkoilmanlämpötila oli 18.2.2017, jolloin lämpötila oli 5,9 °C ja ilman suhteellinen kosteus 72,2 %.



Kuva 1. Mittauksissa käytetyt dataloggerit

8 SÄHKÖTILOJEN MITTAUSTULOKSET

8.1 Sähkötila 25

Sähkötila 25 palvelee sellutehtaan kuitulinja kakkosta. Sähkötilan lämpötila oli ollut alimmillaan 20,7 °C ja korkeimmillaan 22,5 °C, jolloin lämpötilavaihtelu mittausaikana oli ollut pientä. Ilman suhteellinen kosteus oli ollut alimmillaan 14,8 % ja korkeimmillaan 24,4 %. Ilman suhteellisen kosteuden mittausarvoja voidaan pitää hiukan alhaisina optimaalisiin arvoihin verrattuna. Sähkötilan paine-ero prosessitilaan verrattuna oli ollut hetkellisesti parhaimmillaan noin 1,8 Pascalia ja heikoimmillaan 0,2 Pascalia. Tulosten perusteella voi sanoa sähkötilan ylipaineistuksen olevan puutteellinen, joka voi johtua esimerkiksi tuuloilmapuhaltimen käyntihäiriöistä. Sähkötila on esitetty kuvassa kaksi ja sähkötilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa yksi.



Kuva 2. Sähkötila 25

Taulukko 1. Ulkoilman ja sähkötilan 25 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			ST 25			
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
9.2.2017 13.30.00	59,9	-9,1	1,52	14,8	22,1	2,90	0,6 Pa
9.2.2017 14.00.00	65,1	-9,3	1,63	15,1	21,3	2,82	0,6 Pa
9.2.2017 18.30.00	70,4	-9,3	1,76	15,1	22,5	3,03	0,6 Pa
9.2.2017 20.00.00	72,2	-9,9	1,72	15	22,5	3,01	0,2 Pa
10.2.2017 2.00.00	75,7	-9,7	1,83	15,4	22,3	3,05	0,6 Pa
10.2.2017 8.00.00	74,2	-8,8	1,92	16,1	21,6	3,06	0,6 Pa
10.2.2017 14.00.00	77,1	-4,9	2,66	18,1	22,3	3,59	1,8 Pa
10.2.2017 20.00.00	80,5	-5,1	2,73	19,6	21,5	3,71	0,6 Pa
11.2.2017 2.00.00	79	-6,7	2,39	18,3	22,2	3,61	1,0 Pa
11.2.2017 8.00.00	76,2	-8,1	2,08	16,8	22,2	3,31	0,6 Pa
11.2.2017 14.00.00	78,2	-5,5	2,58	18,2	21,3	3,40	0,6 Pa
11.2.2017 20.00.00	77	-4,7	2,69	19,5	21,5	3,69	1,0 Pa
12.2.2017 2.00.00	77,3	-3,5	2,94	20,1	21,8	3,87	0,6 Pa
12.2.2017 8.00.00	79,1	-3	3,12	20,8	21,7	3,98	0,6 Pa
12.2.2017 14.00.00	73,1	-0,6	3,41	22,3	21,2	4,15	1,0 Pa
12.2.2017 20.00.00	77,7	-1,8	3,34	22,4	21,1	4,14	1,0 Pa
13.2.2017 2.00.00	78,1	-0,6	3,65	23,3	21,2	4,33	1,0 Pa
13.2.2017 3.30.00	80,5	-0,4	3,79	24,4	20,8	4,43	0,6 Pa
13.2.2017 5.00.00	80,1	-0,5	3,77	24,3	20,7	4,39	1,0 Pa
13.2.2017 8.00.00	79,6	0,5	4,01	24,2	21,2	4,50	0,6 Pa

8.2 Ristikytkentätila 201

Ristikytkentätila 201 palvelee kuitulinja ykköstä. Haastatteluissa selvisi, että kyseisessä ristikytkentätilassa oli esiintynyt sähkölaitteiden hapettumista ja tähän ongelmaan toivoin löytäväni mittausten avulla ratkaisuja. Sähkötilan lämpötila oli ollut alimmillaan 21,5 °C ja korkeimmillaan 23,7 °C. Ilman kosteus oli

vaihdellut 12,2 % ja 22,8 % välillä, joka on sähkötiloille hiukan matala kosteuspitoisuus. Mittausten perusteella voi sanoa tilan ylipaineistuksen olevan kunnossa, sillä tilan ylipaine on vaihdellut 26,5 ja 29,2 Pascalin välillä. Ristikytken-tätila on esitetty kuvassa kolme ja ristikytken-tätilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa kaksi.



Kuva 3. Ristikytken-tätila 201

Taulukko 2. Ulkoilman ja ristikytken-tätilan 201 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			RK 201			
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
9.2.2017 14.00.00	65,1	-9,3	1,63	13	21,6	2,47	26,1 Pa
9.2.2017 20.00.00	72,2	-9,9	1,72	13,4	21,5	2,54	27,3 Pa
9.2.2017 21.30.00	73	-10,2	1,7	22,8	21,8	4,39	27,3 Pa
10.2.2017 2.00.00	75,7	-9,7	1,83	13,2	23,1	2,74	28,0 Pa
10.2.2017 6.00.00	73,2	-9,1	1,85	12,2	23,5	2,59	27,6 Pa
10.2.2017 8.00.00	74,2	-8,8	1,92	12,4	23,7	2,66	28,0 Pa
10.2.2017 14.00.00	77,1	-4,9	2,66	16,4	23,2	3,42	28,0 Pa
10.2.2017 20.00.00	80,5	-5,1	2,73	18,8	23,2	3,92	28,4 Pa
11.2.2017 2.00.00	79	-6,7	2,39	16,9	23	3,49	28,0 Pa
11.2.2017 8.00.00	76,2	-8,1	2,08	16,9	23,1	3,51	27,6 Pa
11.2.2017 14.00.00	78,2	-5,5	2,58	17,5	23,1	3,63	28,0 Pa
11.2.2017 20.00.00	77	-4,7	2,69	17,9	23,1	3,71	28,0 Pa
12.2.2017 2.00.00	77,3	-3,5	2,94	19,3	23,1	4,00	28,0 Pa
12.2.2017 8.00.00	79,1	-3	3,12	20,7	23,2	4,32	28,0 Pa
12.2.2017 14.00.00	73,1	-0,6	3,41	21,1	23,2	4,40	28,4 Pa
12.2.2017 20.00.00	77,7	-1,8	3,35	21,5	23,3	4,51	28,0 Pa
13.2.2017 2.00.00	78,1	-0,6	3,65	21	23,4	4,43	26,9 Pa
13.2.2017 8.00.00	79,6	0,5	4,01	22,2	23,4	4,68	27,6 Pa

8.3 Sähkötila 36

Kyseinen sähkötila sijaitsee paperikone ykkösen märässä päässä. Sähkötilan lämpötiloja ja kosteutta voidaan pitää normaaleina. Sähkötilan lämpötila oli ollut korkeimmillaan 21,1 °C ja matalimmillaan 19,1 °C, jolloin lämpötilan vaihteluväliksi muodostuu 2 °C. Ilman suhteellinen kosteus oli mittaussjakson aikana ollut alimmillaan 25,7 % ja korkeimmillaan 39 %. Ilman suhteellisen kosteuden mittaustuloksia voidaan pitää normaaleina. Sähkötilan ylipaineistus oli toiminut mittaussjakson aikana kohtuullisesti. Tilan ylipaine prosessitiloihin nähden oli ollut alimmillaan 12,7 Pascalia ja korkeimmillaan 24,1 Pascalia. Mittaustuloksien vaihteluväli on hiukan suuri, mutta tämä voi selittyä esimerkiksi sähkötilojen ovien avautumisella. Sähkötila on esitetty kuvassa neljä ja sähkötilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa kolme.



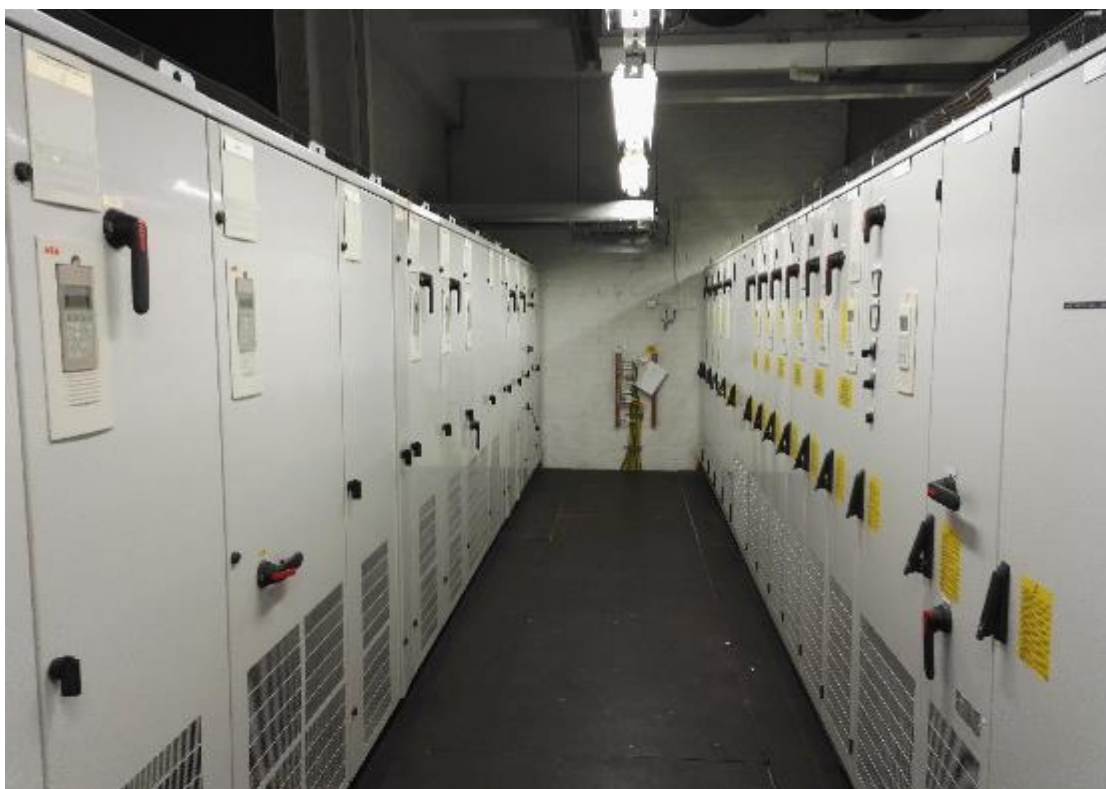
Kuva 4. Sähkötila 36

Taulukko 3. Ulkoilman ja sähkötilan 36 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			ST 36			
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
13.2.2017 14.00.00	78,5	3,6	4,88	34,8	20,5	6,21	15,5 Pa
13.2.2017 20.00.00	83,2	3,6	5,17	36,4	19,2	6,02	19,0 Pa
13.2.2017 21.00.00	83,7	3,6	5,2	36,8	19,1	6,05	20,6 Pa
14.2.2017 1.00.00	81	4,4	5,31	39	19,2	6,45	15,9 Pa
14.2.2017 2.00.00	81,3	4,1	5,22	38	19,5	6,40	15,5 Pa
14.2.2017 4.30.00	81,7	3,7	5,11	33,5	21,1	6,19	18,6 Pa
14.2.2017 8.00.00	82,8	3,4	5,08	35,5	19,5	5,98	18,2 Pa
14.2.2017 14.00.00	58,5	5,6	4,15	31,9	21	5,86	21,8 Pa
14.2.2017 20.00.00	58,2	4,4	3,81	30,5	19,7	5,20	17,1 Pa
15.2.2017 2.00.00	68,9	1,3	3,66	30,2	19,5	5,09	19,4 Pa
15.2.2017 8.00.00	73,4	-0,5	3,45	25,7	19,8	4,41	16,7 Pa

8.4 Sähkötila 37

Sähkötila 37 palvelee paperikone ykkösen kuivaa päätä. Kyseisen sähkötilan lämpötilavaihteluja voidaan pitää normaaleina, sillä sähkötilan lämpötila oli ollut alimmillaan 21,3 °C ja korkeimmillaan 22,2 °C. Sähkötilan ilman suhteellisen kosteuden arvoja voidaan myös pitää normaaleina. Ilman suhteellinen kosteus oli ollut alimmillaan 22,2 % ja korkeimmillaan 33,7 %. Tilassa suoritettujen paine-eromittauksien perusteella voi todeta tilan ylipaineisuuden olevan osittain puutteellinen. Tilan ylipaine suhteessa prosessitiloihin oli ollut alimmillaan 6,9 Pascalia ja korkeimmillaan 16,7 Pascalia. Sähkötila on esitetty kuvassa viisi ja sähkötilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa neljä.



Kuva 5. Sähkötila 37

Taulukko 4. Ulkoilman ja sähkötilan 37 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			ST 37			
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
15.2.2017 12.30.00	69,6	0,3	3,46	22,2	22	4,32	13,9 Pa
15.2.2017 14.00.00	74,3	0,5	3,74	25,8	22,1	5,05	10,4 Pa
15.2.2017 20.00.00	86,1	-0,7	3,99	27,6	22,2	5,44	14,3 Pa
16.2.2017 2.00.00	84,3	1	4,39	30,3	21,8	5,83	11,2 Pa
16.2.2017 8.00.00	80,6	1,4	4,32	25,6	21,7	4,90	13,5 Pa
16.2.2017 14.00.00	77,7	2,6	4,51	30,5	21,7	5,84	10,8 Pa
16.2.2017 20.00.00	83,3	1,9	4,62	28,8	21,5	5,45	14,7 Pa
17.2.2017 2.00.00	85,7	1,8	4,72	31,2	21,5	5,90	11,6 Pa
17.2.2017 6.00.00	89,2	1,7	4,88	33,6	21,3	6,28	12,4 Pa
17.2.2017 7.00.00	90	1,9	4,99	33,7	21,5	6,38	12,0 Pa
17.2.2017 8.00.00	90,2	2,1	5,07	33	21,6	6,28	7,6 Pa

8.5 Sähkötila 38

Kyseinen sähkötila palvelee paperikone ykkösen kuivaa päätä. Lämpötilamittausten perusteella voi todeta lämpötilojen olevan selkeästi muiden sähkötilojen lämpötiloja korkeampia. Sähkötilan lämpötila oli ollut alimmillaan 26,8 °C ja korkeimmillaan 27,3 °C. Tulokset kertovat sähkötilan lämpötilajakauman olevan erittäin tasainen, sillä lämpötilojen vaihteluväli on vain 0,5 °C. Pienestä lämpötilan vaihtelusta johtuen myös ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu oli ollut pientä. Ilman suhteellinen kosteus oli ollut alimmillaan 21,2 % ja korkeimmillaan 28,7 %. Näiden mittaustuloksien perusteella suhteellisen kosteuden

vaihtelu oli ollut 7,5 %. Sähkötilan paine-eromittausten perusteella voi todeta tilan ylipaineistuksen olevan hiukan puutteellinen. Tilan ylipaine suhteessa prosessitiloihin oli ollut alimmillaan 12,4 Pascalia ja korkeimmillaan 20,6 Pascalia. Tilassa mitattu korkein arvo on sellainen, joka voidaan todeta hyväksi. Arvo on kuitenkin vain hetkellinen ja tilassa tulisi vallita koko ajan kyseisen arvon kaltaiset ylipaineolosuhteet. Sähkötila on esitetty kuvassa kuusi ja sähkötilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa viisi.



Kuva 6. Sähkötila 38

Taulukko 5. Ulkoilman ja sähkötilan 38 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			ST 38			
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
15.2.2017 12.30.00	69,6	0,3	3,45	21,2	27	5,48	15,5 Pa
15.2.2017 14.00.00	74,3	0,5	3,74	24,4	26,9	6,27	16,3 Pa
15.2.2017 20.00.00	86,1	-0,7	3,99	25,8	27	6,66	17,5 Pa
16.2.2017 2.00.00	84,3	1	4,39	26,9	27,2	7,03	16,7 Pa
16.2.2017 8.00.00	80,6	1,4	4,32	23,1	27,1	6,00	17,8 Pa
16.2.2017 14.00.00	77,7	2,6	4,51	26,6	27,3	6,99	14,3 Pa
16.2.2017 18.00.00	81,8	1,8	4,5	25,9	26,8	6,62	17,5 Pa
16.2.2017 20.00.00	83,3	1,9	4,62	26,2	27	6,77	17,5 Pa
17.2.2017 2.00.00	85,7	1,8	4,72	27,4	27	7,08	15,5 Pa
17.2.2017 6.30.00	89,4	1,8	4,92	28,5	27,3	7,48	16,3 Pa
17.2.2017 7.30.00	90,1	2	5,03	28,7	27,2	7,50	13,1 Pa
17.2.2017 8.00.00	90,2	2,1	5,07	28,1	27,2	7,34	12,4 Pa

8.6 Sähkötila 59

Sähkötila numero 59 palvelee paperikoneen pituusleikkuria kaksi. Sähkötilan lämpötilat ovat kolmen vuorokauden mittaustulosten perusteella vaihtelevia. Lämpötila oli ollut alimmillaan 18,7 °C ja hetkellisesti korkeimmillaan 22,5 °C, joten tilan lämpötilavaihtelu oli ollut 3,8 °C. Sähkötilan suhteellisen kosteuden vaihtelua voi pitää normaalina. Ilman suhteellinen kosteus tilassa oli ollut alimmillaan 26,4 % ja korkeimmillaan 34,4 %. Mittaustulosten perusteella suhteellisen kosteuden vaihtelu oli ollut 8,0 %. Paine-eromittausten perusteella voi todeta sähkötilan ylipaineistuksen olevan puutteellinen. Paine-ero sähkötilan ja prosessitilan välillä oli alimmillaan ollut 2,2 Pascalia ja hetkellisesti korkeimmillaan 8,0 Pascalia, joka sekin on riittämätön ylipaineistus. Sähkötila on esitetty kuvassa seitsemän ja sähkötilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa kuusi.



Kuva 7. Sähkötila 59

Taulukko 6. Ulkoilman ja sähkötilan 59 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			ST 59			
	RH %	°C	Abs. Kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. Kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
17.2.2017 14.00.00	85,1	3,7	5,32	29,1	22,4	5,80	4,1 Pa
17.2.2017 16.00.00	85,2	3,5	5,26	33,2	18,7	5,33	4,5 Pa
17.2.2017 20.00.00	87	3	5,19	33,1	18,7	5,32	8,0 Pa
18.2.2017 2.00.00	86,9	2,3	4,95	28,5	22,4	5,70	4,5 Pa
18.2.2017 8.00.00	85,3	1,3	4,54	28,9	19,7	4,92	4,5 Pa
18.2.2017 12.30.00	78,6	3,8	4,95	26,4	21,4	4,97	4,5 Pa
18.2.2017 14.00.00	75,5	5	5,15	26,4	21,8	5,08	7,6 Pa
18.2.2017 17.00.00	73,8	5,4	5,17	26,8	22,5	5,37	3,3 Pa
18.2.2017 20.00.00	75,7	4,5	4,99	27	22,3	5,35	3,7 Pa
19.2.2017 2.00.00	83,9	2,7	4,91	30,4	19,5	5,12	4,1 Pa
19.2.2017 8.00.00	88	2,5	5,09	32,5	19	5,31	4,9 Pa
19.2.2017 14.00.00	88,8	3,5	5,48	30,8	21,5	5,83	3,7 Pa
19.2.2017 16.30.00	89,2	3,6	5,54	34,4	18,8	5,56	4,1 Pa
19.2.2017 20.00.00	88,6	3,3	5,39	34	19	5,56	4,1 Pa
20.2.2017 2.00.00	88,3	3,5	5,45	34,1	18,7	5,48	3,7 Pa
20.2.2017 8.00.00	75	2,6	4,36	28,6	18,7	4,59	4,1 Pa

8.7 Sähkötila 3802

Sähkötila 3802 sijaitsee paperikoneen kuivassa päässä ja palvelee tehtaan pakkaamoa. Tämän sähkötilan mittaustulokset olivat erityisen tärkeitä myöhemmin tässä työssä tapahtuvaa jäähdytysjärjestelmän mitoitusta silmällä pitäen. Mittaustulosten perusteella voi todeta sähkötilan lämpöolojen olevan varsin hyvät. Lämpötilavaihtelu sähkötilassa oli ollut vain 2,3 °C, jota voi pitää pienenä vaihteluna. Tilan lämpötila oli ollut alimmillaan 20,9 °C ja korkeimmillaan 23,2 °C. Lämpöolojen pieni vaihtelu voi johtua sähkötilan sijainnista. Prosessitilojen lämpötila sähkötilan ympärillä ei ole kovin korkea, jolloin ulkoiset lämpökuormat pysyvät hillittyinä. Ilman suhteellinen kosteus tilassa oli ollut normaali ja kosteusvaihtelu pientä. Ilman suhteellinen kosteus oli vaihdellut 24,1 % ja 28,7 % välillä. Ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu oli ollut pientä, mikä johtuu sähkötilan pienestä lämpötilan vaihtelusta. Tilan paine-eromittausten perusteella voi sanoa tilan ylipaineistuksen olevan pahoin puutteellinen. Mittaustuloksia tarkastellessa voi huomata tilan olleen jopa alipaineinen prosessitilaan verrattuna, jolloin prosessitilan mahdolliset lämpökuormat ja epäpuhtaudet on voinut kulkeutua sähkötilaan. Sähkötilan paine-ero prosessitilaan verrattuna oli ollut alimmillaan -0,2 Pascalia alipaineinen ja korkeimmillaan 1,0 Pascalia ylipaineinen. Sähkötila on esitetty kuvassa kahdeksan ja sähkötilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa seitsemän.



Kuva 8. Sähkötila 3802

Taulukko 7. Ulkoilman ja sähkötilan 3802 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			ST 3802				
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa	
17.2.2017 14.00.00	85,1	3,7	5,32	26,7	21,7	5,11	0,6 Pa	
17.2.2017 20.00.00	87	3	5,19	27,9	21	5,13	0,2 Pa	
18.2.2017 2.00.00	86,9	2,3	4,95	27	21,6	5,14	0,6 Pa	
18.2.2017 8.00.00	85,3	1,3	4,54	24,8	22,3	4,91	0,2 Pa	
18.2.2017 14.00.00	75,5	5	5,15	24,1	22,7	4,89	-0,2 Pa	
18.2.2017 16.30.00	73	5,6	5,18	26,9	20,9	4,92	0,6 Pa	
18.2.2017 20.00.00	75,7	4,5	4,99	25,5	22,3	5,05	0,6 Pa	
19.2.2017 2.00.00	83,9	2,7	4,91	25,8	22	5,02	0,6 Pa	
19.2.2017 5.30.00	87,1	2,1	4,89	24,4	23,2	5,09	0,6 Pa	
19.2.2017 8.00.00	88	2,5	5,08	27,1	21,6	5,16	0,6 Pa	
19.2.2017 14.00.00	88,8	3,5	5,48	27,1	21,8	5,22	0,2 Pa	
19.2.2017 20.00.00	88,6	3,3	5,39	27,3	22,3	5,41	0,2 Pa	
20.2.2017 0.30.00	87,9	3,5	5,43	28,7	21,5	5,43	0,6 Pa	
20.2.2017 2.00.00	88,3	3,5	5,45	26,7	22,8	5,44	-0,2 Pa	
20.2.2017 8.00.00	75	2,6	4,36	24,7	23	5,09	0,2 Pa	

8.8 Ristiyhtätila 301

Ristiyhtätila 301 sijaitsee paperikoneen märässä päässä ja on pinta-alaltaan hyvin pieni. Tilassa suoritettujen mittausten perusteella voi todeta tilan lämpöolojen olevan hallinnassa. Lämpötila oli ollut alimmillaan 21,2 °C ja korkeimmillaan 24 °C, jolloin tilan lämpötilavaihteluksi muodostuu 2,8 °C. Ilman

suhteellisen kosteuden vaihtelu on hyvinkin suurta lämpötilan muutoksiin suhteutettuna. Ilman suhteellinen kosteus oli ollut alimmillaan 14,6 %, mikä on hiukan alhainen sähkötilojen ilman suhteelliseksi kosteudeksi. Suhteellinen kosteus oli ollut korkeimmillaan 26,2 %, joka on sähkötiloille hyvä ilman suhteellisen kosteuden sisältö. Paine-eromittauksen perusteella voi todeta tilan ylipaineistuksen olevan puutteellinen prosessitiloihin verrattuna. Tilan paine-ero suhteessa prosessitiloihin oli ollut alimmillaan 1,4 Pascalia ylipaineinen ja korkeimmillaan 5,7 Pascalia ylipaineinen. Ristikytöntätila on esitetty kuvassa yhdeksän ja ristikytöntätilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa kahdeksan.



Kuva 9. Ristikytöntätila 301

Taulukko 8. Ulkoilman ja ristikytkeätilan 301 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			RK 301			
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
20.2.2017 13.00.00	80,6	2,8	4,75	26,2	23	5,40	2,2 Pa
20.2.2017 14.00.00	79,9	2,8	4,71	24	23,5	5,09	2,9 Pa
20.2.2017 16.00.00	81,9	1,9	4,54	24,4	24	5,33	2,5 Pa
20.2.2017 20.00.00	82,8	0,5	4,17	23,9	23,5	5,07	2,9 Pa
21.2.2017 2.00.00	86,3	-0,7	4	23,5	22,6	4,74	3,3 Pa
21.2.2017 8.00.00	80,8	-1,7	3,49	20,2	22,7	4,10	4,5 Pa
21.2.2017 14.00.00	64,8	0	3,15	18,4	22,7	3,73	3,7 Pa
21.2.2017 20.00.00	70,8	-3,1	2,77	16,9	22,3	3,35	5,3 Pa
22.2.2017 2.00.00	73,9	-6	2,35	15,8	22	3,08	4,1 Pa
22.2.2017 8.00.00	75	-8,3	2,03	14,6	21,2	2,72	4,5 Pa

8.9 Sähkötila 30

Sähkötila 30 on pinta-alaltaan suuri ja se sijaitsee paperikoneen märässä päässä ja se palvelee paperikoneen jauhinosaatosta. Lämpötilamittauksia tutkaillessa voi todeta tilan lämpötilojen olevan lähellä optimialuetta. Lämpötila oli ollut tilassa alimmillaan 20 °C ja korkeimmillaan 23 °C, jolloin lämpötilavaihtelua on tapahtunut 3 °C. Mittaustuloksia tarkastellessa voi huomata lämpötilavaihtelun tapahtuvan hitaasti, jota voi pitää hyvänä asiana. Tilan ilman suhteellinen kosteus oli ollut koko mittausjakson ajan hyvällä tasolla. Ilman suhteellinen kosteus oli ollut alimmillaan 19 % ja korkeimmillaan 28,3 %, jolloin vaihtelua on tapahtunut 9,3 %. Paine-eromittaustuloksia tutkiessa voi todeta sähkötilan ylipaineistuksen olevan hiukan puutteellinen ja mittaustuloksissa olevan suurta hajontaa. Sähkötila oli ollut pienimmillään ylipaineinen suhteessa prosessitiloihin 2,5 Pascalia ja suurimmillaan 19,4 Pascalia, jolloin sähkötilan ylipaineistuksen vaihtelu oli ollut 16,9 Pascalia. Tilassa mitattu 19,4 Pascalin ylipaine olisi sähkötiloille lähes optimaalinen ylipaineistus, jollaiseen ylipainetilaan tulisi pyrkiä. Sähkötila on esitetty kuvassa kymmenen ja sähkötilan ja ulkoilman mittaustuloksia taulukossa yhdeksän.



Kuva 10. Sähkötila 30

Taulukko 9. Ulkoilman ja sähkötilan 30 mittaustuloksia

Päivämäärä	ULKOILMA			ST 30			
	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	RH %	°C	Abs. kosteus g/m ³	Ylipaine Pa
20.2.2017 14.00.00	79,9	2,8	4,71	28,1	22,7	5,70	8,8 Pa
20.2.2017 16.30.00	82,6	1,7	4,52	28,3	22,7	5,74	8,4 Pa
20.2.2017 20.00.00	82,8	0,5	4,17	27,4	22,8	5,59	8,4 Pa
21.2.2017 1.00.00	86,8	-0,7	4,02	26,6	23	5,49	10,0 Pa
21.2.2017 2.00.00	86,3	-0,7	4	27,2	22	5,30	8,4 Pa
21.2.2017 6.00.00	83,6	-1,9	3,56	27,4	20	4,75	11,2 Pa
21.2.2017 8.00.00	80,8	-1,7	3,49	25,2	20,9	4,61	15,5 Pa
21.2.2017 14.00.00	64,8	0	3,15	23,6	21,7	4,52	13,5 Pa
21.2.2017 20.00.00	70,8	-3,1	2,77	21,4	21,5	4,05	19,0 Pa
22.2.2017 2.00.00	73,9	-6	2,35	20,4	21,2	3,79	14,3 Pa
22.2.2017 8.00.00	75	-8,3	2,03	19	21	3,49	12,7 Pa

9 MITTAUSTEN YHTEENVETO

Mittaustulosten perusteella kaikkien sähkötilojen ilman suhteellista kosteutta voi pitää normaalina, sillä kaikkien tilojen suhteellinen kosteus oli pienempi, kuin 40 %. Tuloksien perusteella voi todeta, että ulkoilman absoluuttisen kosteuden vaihtelut vaikuttavat suoraan sähkötilojen absoluuttiseen kosteuteen.

Sähkötilojen käyttölämpötilat olivat normaaleja, lukuun ottamatta sähkötilaa 38, jossa lämpötila oli ollut alimmillaankin 26,8 °C. Sähkötiloille ohjeistettu maksimikäyttölämpötila on 25 °C.

Sähkötiloissa oli selvästi eniten puutteita tilojen ylipaineistuksen kanssa. Ristiyhteyksissä 301 sekä sähkötiloissa 25, 59 ja 3802 ylipaineistus oli ollut puutteellinen. Sähkötilojen ylipaineistus on luokiteltu puutteelliseksi, jos tilojen ylipaine prosessitiloihin nähden oli ollut vähemmän, kuin kymmenen Pascalia.

Sähkötilojen ja ulkoilman mittaustulosten vaihteluväli on esitetty taulukossa kymmenen.

Taulukko 10. Sähkötilojen mittaustulosten vaihteluväli

Sähkötila	Sähkötilojen mittaustulokset				Ulkoilman mittaustulokset		
	°C	RH %	Abs. Kos. g/m ³	Pa	°C	RH %	Abs. Kos. g/m ³
ST 25	20,7 - 22,5	14,8 - 24,4	2,82 - 4,50	0,2 - 1,8	-9,9 - 0,5	59,9 - 80,5	1,52 - 4,01
RK 201	21,5 - 23,7	12,2 - 22,8	2,47 - 4,68	26,5 - 29,2	-9,3 - 0,5	65,1 - 80,5	1,63 - 4,01
ST 36	19,1 - 21,1	25,7 - 39	4,41 - 6,45	12,7 - 24,1	-0,5 - 5,6	58,2 - 83,7	3,45 - 5,31
ST 37	21,3 - 22,2	22,2 - 33,7	4,32 - 6,38	6,9 - 16,7	-0,7 - 2,6	69,6 - 90,2	3,46 - 5,07
ST 38	26,8 - 27,3	21,2 - 28,7	5,48 - 7,50	12,4 - 20,6	-0,7 - 2,6	69,6 - 90,2	3,46 - 5,07
ST 59	18,7 - 22,5	26,4 - 33,4	4,59 - 5,83	2,2 - 8,0	1,3 - 5,4	73,8 - 89,2	4,36 - 5,54
ST 3802	20,9 - 23,2	24,1 - 28,7	4,89 - 5,44	(-0,2) - 1,0	1,3 - 5,6	73 - 88,8	4,36 - 5,48
RK 301	21,2 - 24,0	14,6 - 26,2	2,72 - 5,40	1,4 - 5,7	-8,3 - 2,8	64,8 - 86,3	2,03 - 4,75
ST 30	20,0 - 23,0	19,0 - 28,3	3,49 - 5,74	2,5 - 19,4	-8,3 - 2,8	64,8 - 86,3	2,03 - 4,75

10 SÄHKÖTILAN 3802 JÄÄHDYTYSTEHONTARPEEN MÄÄRITYS

Toinen opinnäytetyöni keskeinen asia oli jäähdytystehontarpeen määrittäminen ja jäähdytysjärjestelmän valinta pakkaamon sähkötilaan, eli sähkötilaan 3802. Jäähdytysjärjestelmää valittaessa tuli huomioida sähköjärjestelmien tilaan aiheuttamat sisäiset lämpökuormat, sekä tilaa rasittavat ulkoiset lämpökuormat. Sähkötilassa toimivien sähköjärjestelmien tehot on toimittanut sähkösuunnittelija.

Lämpökuormien laskennassa mitoittavina lämpötiloina on käytetty seuraavia arvoja:

Sähkötila = 20 °C

Ulkolämpötila = 30 °C

Prosessitilat = 30 °C

10.1 Sähkötilan 3802 kytketyt sähkötehot

Keskus P2 (400 V)

Virrat mittareista	200 A	Sulakkeita ja kontaktorilähtöjä
	210 A	Maksiminäyttämät
	150 A	145kW

Keskus 3802 (500 V)

Moottorilähdöt	55 kW	
Sulakelähdöt	162,81 kW	188 A

49A01, Pesimal (400 V)

Taajuusmuuttajat	361 kW	
------------------	--------	--

A526, Corelink (400 V)

Taajuusmuuttajat	33 kW	
Jarruvastukset	0,99 kW	
Rexroth servo	9 kW	13 A

ATK-sähkö (400 V)	1 kW	R2, pelkkiä sulakkeita
-------------------	------	------------------------

Prosessisähkö (400 V)	1 kW	430J-1, pelkkiä sulakkeita
Muuntaja (400/500) V	1,6 kW	Muuntajan 31,5 kVA lämpöhäviö
Omakäyttö	1,5 kW	Valaistus ja tilan muut sähköasennukset

ABB:n ACS880 esitteen nimellisarvoista taajuusmuuttajan lämpöhäviöksi/häviötehoksi on laskettu noin 3 – 4 %, joista käytetään arvoa 4 %.

ABB Strömberg MD – keskuksen suunnitteluoppaassa keskuksien häviöteho on 0,3 – 0,5 % läpimenevästä tehosta.

Käytetään arvoja	0,5 %	Moottorilähdöillä
	0,5 %	Sulake ja automaattilähdöillä

10.2 Sähköjärjestelmien aiheuttamat laskennalliset lämpökuormat

Sähköjärjestelmien aiheuttamat lämpökuormat voidaan määrittää yhtälöstä yksi.

$$\varnothing_{\text{lämpökuorma}} = \varnothing_{\text{sähköjärjestelmä}} \cdot \% \quad (1)$$

Keskus P2 (400 V)

$$\varnothing_{\text{sulakelähdöt}} = 145 \text{ kW} \cdot 0,005 = 0,725 \text{ kW}$$

Keskus 3802 (500 V)

$$\varnothing_{\text{moottorilähdöt}} = 55 \text{ kW} \cdot 0,005 = 0,275 \text{ kW}$$

$$\varnothing_{\text{sulakelähdöt}} = 162,81 \text{ kW} \cdot 0,005 = 0,814 \text{ kW}$$

49A01, Pesmél (400 V)

$$\varnothing_{\text{taajuusmuuttaja}} = 361 \text{ kW} \cdot 0,04 = 14,44 \text{ kW}$$

A526, Corelink (400 V)

$$\Phi_{\text{taajuusmuuttaja}} = 33 \text{ kW} \cdot 0,04 = 1,32 \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{rexroth-servo}} = 9 \text{ kW} \cdot 0,04 = 0,36 \text{ kW}$$

ATK-sähkö (400 V)

$$\Phi_{\text{sulakelähdöt}} = 1 \text{ kW} \cdot 0,005 = 0,005 \text{ kW}$$

Prosessisähkö

$$\Phi_{\text{sulakelähdöt}} = 1 \text{ kW} \cdot 0,005 = 0,005 \text{ kW}$$

Laskettujen arvojen lisäksi tulee huomioida omakäytön (1,5 kW), muuntajan (1,6 kW) sekä jarruvastuksien (0,99 kW) aiheuttamat jatkuvat lämpökuormat.

Sähköjärjestelmien tuottamaksi lämpökuormaksi muodostuu:

$$\Phi_{\text{total}} = 22,034 \text{ kW} \approx 22 \text{ kW}$$

10.3 Ulkoiset lämpökuormat

Sähkötilaa rasittavissa ulkoisten lämpökuormien laskennallisessa mitoituksessa käytettiin stationääristä laskentatapaa. Sähkötilan rakenteista vain yksi seinä rajoittuu ulkoilmaan, jolloin sen kautta ei aiheudu talvella lämpökuormia. Lisäksi tilassa on maanvastainen lattia, jonka kautta ei aiheudu tilaan jäähdytystehontarvetta. Sähkötilan loput seinät ja katto rajoittuvat prosessitiloihin, joissa lämpöolosuhteet ovat ympäri vuoden lähes vakiot. Jäähdytystehontarve määritettiin maksimimitoituslämpötiloilla ja tämän perusteella mitoitusmenetelmäksi valikoitui stationäärinen laskentatapa.

Ulkoisten lämpökuormien määrittämisessä mitoittavana maksimiulkolämpötilana on käytetty 30 °C ja mitoittavana sähkötilojen lämpötilana 20 °C. Mitoitustilanteessa sähkötilaa ympäröivien prosessitilojen lämpötilana on käytetty kokeusperäisesti 30 °C. Laskennassa on noudatettu ja sovellettu rakennusmääräyskokoelman osan C4 ohjeita.

Ulkoiset lämpökuormat voidaan määrittää yhtälöstä kaksi.

$$\Phi_{\text{lämpökuorma}} = U \cdot A \cdot \Delta t \quad (2)$$

Ennen lämpökuormien määrittämistä tarvitsee laskea rakenteelle U-arvo, jonka voi laskea yhtälöstä 3. /11, s. 5./

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

jossa R_T tarkoittaa rakennusosan kokonaislämmönvastusta. R_T voidaan laskea yhtälöllä neljä.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se} \quad (4)$$

jossa

$R_{si} + R_{se}$ on sisä- ulkopuolisen pintavastuksen summa

$$R_{1,2,3} = \frac{d_1}{\lambda_1}$$

jossa d_1 on ainekerroksen paksuus ja λ_1 on lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo, esimerkiksi normaalin lämmönjohtavuus. /11, s. 5./

Ulkoseinän lämmönläpäisykerroin

jossa

R_1 = betonirakenne

R_2 = mineraalivilla

R_3 = betonirakenne

R_4 = tiilirakenne

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,16m}{1,2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} = 0,13 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,10 m}{0,060 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} = 1,66 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,07 m}{1,2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} = 0,06 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0,130 m}{0,60 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} = 0,22 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_T = 2,24 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{2,24 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}} = 0,45 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\Phi_{\text{lämpökuorma,ulkoseinä}} = 0,45 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (5m \cdot 27,3m) \cdot (30^\circ C - 20^\circ C) = 615 W$$

Sähkötilan- ja prosessitilojen väliseinät

Sähkötilan ja prosessitilojen väliset seinät ovat tiilirakenteisia, jolloin seinien lämpökuormaksi muodostuu

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0,130 \text{ m}}{0,60 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} = 0,22 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

jolloin $R_4 = R_T$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,22 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}} = 4,54 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{lämpökuorma, prosessiseinät}} &= 4,54 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (5 \text{ m} \cdot 27,3 \text{ m}) \cdot (30 \text{ } ^\circ C - 20 \text{ } ^\circ C) \\ &= 6197 \text{ W} \end{aligned}$$

Sähkötilan katto

Sähkötilan katto on betonia ja se rajoittuu prosessitilaan, jolloin katon lämpökuormaksi muodostuu

$$R_5 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,4 \text{ m}}{1,2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} = 0,33 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

jolloin $R_5 = R_T$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,33 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}} = 3,03 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{lämpökuorma, prosessikatto}} &= 3,03 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot (108,2 \text{ m}^2) \cdot (30 \text{ } ^\circ C - 20 \text{ } ^\circ C) \\ &= 3278 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{ulkoiset lämpökuormat yhteensä}} &= 3278 \text{ W} + 6197 \text{ W} + 615 \text{ W} = 10090 \text{ W} \\ &\approx \mathbf{10 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Sähkötilan lattia

Sähkötilan lattia on maanvastainen betonilattia, joten lattian kautta ei aiheudu tilaan lämpökuormia.

Tuloilma

Sähkötilan ohjeistuksen mukainen tuloilmavirta 2,5 vaihdolla tunnissa voidaan laskea yhtälöllä viisi.

$$q_v \text{ tuloilmavirta} = (108,2 \text{ m}^2 \cdot 5,0 \text{ m}) \cdot 2,5 \frac{1}{\text{h}} = 1352 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx \mathbf{376 \frac{\text{l}}{\text{s}}} \quad (5)$$

ja tuloilmavirran jäähdytystehontarve yhtälöllä kuusi.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{tuloilmavirta}} &= 0,376 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (30 - 20) \text{ }^\circ\text{C} \quad (6) \\ &= 4512 \text{ W} \approx \mathbf{4,5 \text{ kW}} \end{aligned}$$

jolloin voi todeta tuloilmavirran jäähdytystehontarpeeksi lämpötilaerolla (30 – 20) °C noin 4,5 kW.

Sähkötilaan rakenteiden kautta tulevat lämpökuormat ja tuloilmavirran tuottama lämpökuorma on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Sähkötilan 3802 lämpökuormat

Sähkötilan 3802 maksimilämpökuormat	
Sähkölaitteet	≈ 22 kW
Ulkoseinät	≈ 0,6 kW
Väliseinät	≈ 6,2 kW
Katto	≈ 3,3 kW
Tuloilmavirta	≈ 4,5 kW
Yhteensä	≈ 37 kW

11 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN VALINTA

Jäähdytysjärjestelmää valittaessa keskeisimmät asiat ovat luotettava toiminta, toimitusaika, hankintahinta sekä energiatehokkuus.

Jäähdytysjärjestelmän luotettava toiminta on valinnan kannalta tärkein asia, sillä jäähdytysjärjestelmän pettäminen voi johtaa prosessin alasajoon ja aiheuttaa merkittäviä taloudellisia tappioita.

Luotettavuuden jälkeen täytyy pohtia eri järjestelmien hankintahintaa ja toimitusaikoja. Jäähdytysjärjestelmien hankintahinnat vaihtelevat suuresti ja joidenkin jäähdytysjärjestelmien asennus- ja toimitusajat saattavat olla jopa kuukausia.

Järjestelmän valinnassa tulee myös huomioida energiatehokkuus, vaikka järjestelmän energiankulutus onkin mitätön koko tehtaan energiankulutukseen verrattuna. Uusilla innovatiivisilla ratkaisuilla voi säästää pitkässä juoksussa merkittävän määrän energiaa ja turvata kestävä kehityksen.

Jäähdytyskauden pituus teollisuuden sähkötiloissa on ympärivuotinen sähkölaitteiden aiheuttamasta sisäisestä lämpökuormasta johtuen. Tässä sähkötilassa sähkölaitteiden aiheuttama laskennallinen lämpökuorma on noin 22 kW, joka vastaa lähes neljää 6 kW:n sähkökiuasta. Kesätilanteen mitoituslämpötiloissa voi prosessitilojen ja ulkoilman aiheuttama lämpökuorma olla 15 kW, joka voi nostaa jäähdytystehontarpeen jopa 37 kW:iin. Kesätilanteen mitoituslämpötiloja saavutetaan kuitenkin harvoin, 30 °C hellepäiviä voi olla muutamia vuodessa.

11.1 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksessä voidaan hyödyntää kylmää ulkoilmaa tai vesistöjä. Vapaajäähdytyksen ainut ongelma on, että jäähdytystehontarpeen ollessa suurimmillaan vesistöt ja ilma ovat yleensä lämpimimmillään.

Sähkötiloja jäähdytetään käytännössä jo nyt talviaikaan vapaajäähdytyksellä. Tuloilmapuhaltimella pyritään ylipaineistamaan sähkötila ja luoda ilmanvaihtuvuudeksi 2,5 vaihtoa tunnissa. Jos tuloilman lämpötilaksi on asetettu 18 °C ja ulkona on talviaikana -20 °C pakkasta, niin tuloilmaa tarvitsee lämmittää 38 °C, mikä vaatii energiaa. Suomen ilmaston ollessa suurimman osan vuodesta kylmä, niin vapaajäähdytys ilmalla olisi energiatehokas ratkaisu. Huonona puolena voi pitää tuloilman lämmittämistä, mikä syö vuotuisesti ison määrän energiaa. Energiatehokkaasti ajateltuna tulisi miettiä aiheutuuko tehtaalla hukkalämpöä, jota voisi hyödyntää kylminä vuodenaikoina tuloilman lämmittämisessä.

Vesistöjen hyödyntäminen ilmastoinnin jäähdyttämiseen ja lämmittämiseen olisi energiatehokas ratkaisu. Vesistöjä voisi hyödyntää kylminä vuodenaikoina lämmittämiseen, sekä kesäaikana jäähdyttämiseen. Tehtaan sijaitessa meren ja Kymijoen välittömässä läheisyydessä, olisi järkevää käyttää meri- tai jokiveteen varastoitunutta lämpöenergiaa hyödyksi ilmastoinnin lämmityksen ja jäähdytyksen tarpeisiin. Jokiveden, eli tehtaalle tulevan raakaveden hyödyntäminen ilmastoinnissa olisi meriveden käyttöä järkevämpää. Raakavesi on makeaa vettä, jolloin sitä voisi hyödyntää esimerkiksi ilmanvaihdon tuloilmakoneen lämmitys- ja jäähdytyspatterissa sellaisenaan. Tämän kaltaisen välillisen jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän toteutus yhden sähkötilan tarpeisiin ei kuitenkaan ole järkevää. Isompien kokonaisuuksien jäähdyttämistä varten ratkaisu saattaisi olla energiatehokas ja luotettava, jota voisi täydentää tarvittaessa esimerkiksi kompressorijäähdytyksellä.

11.2 Absorptiojäähdytys

Absorptiojäähdytystä hyödynnetään kaukojäähdytysjärjestelmissä, jonka tuottamiseksi hyödynnetään hukkalämpöä. Hukkalämpö otetaan kaukolämpölaitoksissa kaukolämmön paluuedestä, josta absorptioprosessilla tuotetaan jäähdytysenergiaa. Tehdasympäristössä absorptiojäähdytykseen voisi hyödyntää tuotantoprosessista aiheutuvia kuumia vesiä ja lauhteita, joiden avulla olisi mahdollista tuottaa jäähdytysenergiaa eikä energia menisi näin hukkaan. Isommassa mittakaavassa absorptiojäähdytyksellä olisi mahdollista tuottaa niin paljon jäähdytysenergiaa kesäaikana, että sen avulla olisi mahdollista

vastata koko tehdasintegraatin jäähdytystehontarpeisiin. Kotkan tehdasintegraatti sijaitsee Kotkansaaren kaupunginosan välittömässä läheisyydessä, jolloin kaukojäähdytysjärjestelmän rakentaminen Kotkansaarelle ei olisi täysi mahdottomuus. Absorptiojäähdytysjärjestelmän rakentaminen yhden sähkötilan takia ei ole millään tavalla ajateltuna järkevää, mutta isommassa mittakaavassa ajateltuna kesäaikana tuotetulla jäähdytysenergialla saattaisi olla kaupallisia mahdollisuuksia.

11.3 Koneellinen jäähdytys

Koneellista ilmastoinnin jäähdytystä voidaan käyttää paikallisena tai keskitetynä ratkaisuna. Paikalliset suoraohyrysteiset jäähdytyslaitteet asennetaan useimmiten jäähdytettävään tilaan ja niiden jäähdytysteho perustuu kierrätysilman jäähdyttämiseen. On olemassa myös paikallisen jäähdytyksen välillisiä ratkaisuja, jolloin vedenjäähdytyskoneikon perään on liitetty esimerkiksi puhallinkonvektoreita tai kattopalkkeja.

Keskitetyt jäähdytysratkaisut jäähdyttävät yleensä isompia rakennuksia tai sen osia. Keskitettyjä jäähdytysratkaisuja voidaan toteuttaa suorana tai välillisenä ratkaisuna. Suorassa jäähdytysratkaisussa on yleensä kompressoriin liitetty suoraohyrystyspatteri, jossa tiloihin jaettava ilma jäähdytetään keskitetysti. Välillisessä keskitetyssä jäähdytyksessä kompressorilla jäähdytettyä vettä kierrätetään esimerkiksi puhallinkonvektoreissa, jäähdytyspalkeissa tai tuloilman lämmitys- ja jäähdytyspattereissa. Tällainen välillinen keskitetty jäähdytysjärjestelmä voisi olla järkevä ratkaisu esimerkiksi koko Absorbex – linjan sähkötilojen jäähdytysjärjestelmiä uusittaessa, jolloin jäähdytettäviä kohteita olisi useita.

Jäähdytettävän sähkötilan laskennallisen jäähdytystehontarpeen ollessa kuitenkin vain 37 kW on järkevintä hankkia uusi suoraohyrysteinen kompressorijärjestelmä. Kompressorijärjestelmiä voi pitää toimintavarmoina ja sen lisäksi ne ovat tässä kokoluokassa hankintahinnaltaan edullisimpia vaihtoehtoja. Kompressorijärjestelmän huonona puolena voi pitää kohtuullisen suurta kylmäainetäytöstä, mikä aiheutuu kylmäaineputkien pituudesta.

12 POHDINTA

12.1 Lämmöntalteenotto

Tässä tapauksessa tulee kiinnittää huomiota myös energiatehokkuuden kannalta oleellisiin seikkoihin, joita voitaisiin parantaa. Talvitilanteessa tuloilman lämmittäminen vaatii paljon energiaa ja tätä energiankulutusta voisi pienentää varustamalla ilmastointijärjestelmän nykyaikaisella LTO-järjestelmällä. Uusien regeneratiivisten, eli lämpöä varaavien LTO-järjestelmien todellinen lämpötilasuhde on jopa yli 60 %, mikä tarkoittaa, että poistettavan ilmapvirran lämpöenergiasta pystytään hyödyntämään 60 %.

Lämmöntalteenotto talvella

Nykyaikaisen lämmöntalteenoton hyötysuhdetta vuoden keskilämpötilalla havainnollistetaan yhtälössä seitsemän. Ulkoilman lämpötila on ilmatieteenlaitoksen ilmoittama Helsingin keskilämpötila vuosilta 1981 – 2010, joka on 5,9 °C.

$$T_{LTO,mit} = 5,9 \text{ °C} + 0,60 \cdot (20 - 5,9) \text{ °C} = \mathbf{14,4 \text{ °C}} \quad (7)$$

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilmavirran lämpötila vuoden keskilämpötilalla olisi 14,4 °C.

Lämmöntalteenoton avulla säästetty lämmitysteho Helsingin vuoden keskilämpötilalla on esitetty seuraavassa yhtälössä.

$$\dot{\Phi}_{tuloilmavirta,LTO} = 0,376 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (14,4 - 5,9) \text{ °C} = 3,8 \text{ kW}$$

Helsingin keskilämpötilalla vuotuinen energiansäästö on esitetty yhtälössä kahdeksan

$$E = 3,8 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} = 33288 \text{ kWh} \approx \mathbf{33,3 \text{ MWh}} \quad (8)$$

Teknologiategollisuus ry:n mukaan vuonna 2016 markkinasähkön keskihinta Suomessa oli 30,4 €/MWh, jolloin lämmöntalteenoton vuotuinen rahallinen säästö Helsingin keskilämpötilalla voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä.

$$\text{€} = 33,3 \text{ MWh} \cdot 30,4 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 1012,32\text{€} \approx \mathbf{1012 \text{ €}}$$

Helsingin vuoden keskilämpötilalla laskettuna lämmöntalteenoton vuotuiseksi rahalliseksi säästökseksi muodostuu noin 1012 €.

Lämmöntalteenotto kesällä

Lämmöntalteenoton vaikutus tuloilman lämpötilaan kesätilanteessa on esitetty yhtälössä yhdeksän

$$T_{LTO,mit} = 30 \text{ °C} + 0,60 \cdot (30 - (+20))\text{°C} = 24 \text{ °C} \quad (9)$$

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilmavirran lämpötila kesätilanteessa olisi 24 °C, jolloin säästettäisiin kuusi °C:ta tuloilmavirran jäähdytystehontarpeesta.

Neljän °C:n lämpötilaerolla tuloilmavirran jäähdytystehontarpeeksi muodostuisi

$$\dot{\Phi}_{tuloilmavirta,LTO} = 0,376 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (24 - 20) \text{ °C} = 1,8 \text{ kW}$$

Jäähdytystehontarpeen pienentyminen on esitetty yhtälössä kymmenen

$$\dot{\Phi}_{tuloilmavirta} - \dot{\Phi}_{tuloilmavirta,LTO} = 4,5 \text{ kW} - 1,8 \text{ kW} = 2,7 \text{ kW} \quad (10)$$

Kesätilanteen mitoituslämpötiloilla vuotuinen energiansäästö on esitetty yhtälössä 11. Ilmatieteenlaitoksen mukaan hellepäiviä Suomessa on keskimäärin noin 30 vuodessa, jolloin tuntimääränä käytetään 720 h.

$$E = 2,7 \text{ kW} \cdot 720 \text{ h} = 1944 \text{ kWh} \approx \mathbf{1,9 \text{ MWh}} \quad (11)$$

Lämmöntalteenoton vuotuinen rahallinen säästö kesän mitoituslämpötiloilla on laskettu seuraavassa yhtälössä.

$$\text{€} = 1,9 \text{ MWh} \cdot 30,4 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 57,76 \text{ €} \approx \mathbf{58 \text{ €}}$$

Kesätilanteen mitoituslämpötiloilla lämmöntalteenoton vuotuiseksi rahalliseksi säästökseen muodostuu noin 58 €.

Laskelmien perusteella voi todeta lämmöntalteenottojärjestelmän olevan energiatehokas ratkaisu niin kesällä kuin talvella. Talvella tuloilmavirran lämpötila nousisi yli nollan celsiusasteen, jolloin pystyttäisiin ehkäisemään ilmastointijärjestelmän jäätymistä.

12.2 Vapaajäähdytys ilmalla

Pakkaamon sähkötilan, eli sähkötilan 3802 sähköjärjestelmien ympärivuotinen lämpökuorma sähkötilaan on noin 22 kW. Vuotuisena energiankulutuksena tämä tarkoittaa noin 193 MWh. Tätä 22 kW:n lämpötehoa olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi tuloilman lämmittämisessä. Aiemmin tässä tutkimuksessa sähkötilan tuloilmavirta esitettiin yhtälössä viisi, joka oli 0,376 m³/s. Seuraava yhtälö on johdettu yhtälöstä kuusi, jossa on havainnollistettu, kuinka paljon tuloilmavirtaa olisi mahdollista lämmittää sähköjärjestelmien lämpökuormalla.

$$\Delta t = \frac{22 \text{ kW}}{0,376 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}}} = 48,75 \text{ } ^\circ\text{C} \approx \mathbf{49 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Yhtälön perusteella voi todeta, että sähköjärjestelmistä vapautuvalla lämpöteolla olisi mahdollista lämmittää talvella -29 °C:n ilma sähkötiloille optimaaliseen 20 °C:n lämpötilaan.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuloilman ollessa lämpimämpää, kuin -29 °C, tarvitsee sähkötila jäähdytystä.

Hyvällä sekoittavalla ilmanjakotavalla saattaisi olla mahdollista hyödyntää sähkötilassa ilmalla toteutettua vapaajäähdytystä. Jos sähkötilaan pystyttäisiin puhaltamaan talvella kylmää ulkoilmaa, niin kovilla pakkasilla erillisjäähdytystä ei välttämättä tarvittaisi lainkaan. Järjestelmän toimivuuden kannalta ehto olisi tehokas sekoittava ilmanjakotapa. Muutoin sähkötilassa saattaisi tapahtua sisäilman kerrostumista ja aiheutua vetoa, jolloin sähkötilan lämpöolot vääristyisivät. Käytännön ratkaisussa pitäisi ottaa huomioon myös tuloilmakanaviston hyvä eristäminen, jotta välttyttäisiin kosteuden tiivistymiseltä kanaviston pinnalle. Tämän vapaajäähdytys ratkaisun suurimmaksi ongelmaksi muodostuisi todennäköisesti tuloilmaventtiileiden ja tuloilmakoneen kastuminen ja jäätyminen, jolloin ilmastointijärjestelmä ei olisi toimiva.

Edellä mainittujen pohdintojen seurauksena voi todeta, että tuloilmavirran lämpötilan on oltava enemmän kuin 0 °C. Tämä tarkoittaa, että tuloilmakone on varustettava lämmityspatterilla tuloilman lämmittämiseksi talvella, minkä seurauksena sähkötilojen jäähdyttämiseltä ei voi välttyä missään lämpöolosuhteissa. Tilanne on energiatehokkuuden kannalta huono. Talvella ulkoilmaa tarvitsee ennen sisäänpuhallusta lämmittää ja tämän jälkeen jäähdyttää, ettei sähkötilan käyttölämpötila nousisi liian korkeaksi.

Tuloilman jäähdytystehoa Helsingin vuotuisella keskilämpötilalla on havainnollistettu seuraavassa yhtälössä.

$$\dot{\Phi}_{tuloilmavirta} = 0,376 \frac{m^3}{s} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,0 \frac{kJ}{kg} \cdot (20 - 5,9) ^\circ C = 6,4 kW$$

jolloin Helsingin vuotuisella keskilämpötilalla laskettuna tuloilman jäähdytystehoa tarvitaan

$$\dot{\Phi}_{sähköjärjestelmät} - \dot{\Phi}_{keskilämpötila} = 22 kW - 6,4 kW = 15,6 kW$$

jolloin vuotuisella keskilämpötilalla laskettuna tuloilman jäähdytysenergiankulutus on

$$E = 15,6 kW \cdot 8760 h = 136656 kWh \approx \mathbf{136,7 MWh}$$

Tuloilman jäädytykseen vuotuisesti kuluva rahamäärä on laskettu seuraavalla yhtälöllä

$$\text{€} = 136,7 \text{ MWh} \cdot 30,4 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 4155,68 \text{ €} \approx \mathbf{4156 \text{ €}}$$

Tuloilman jäädyttämiseen käytetään vuodessa 4156 euroa Helsingin vuotuisella keskilämpötilalla laskettuna.

12.3 Jäädytyskompressorin lauhdelämpö

Teoriassa sähkötilasta olisi mahdollista saada sähköjärjestelmien tuottaman lämpökuorman verran lauhdelämpöä ympäri vuoden, jolloin lauhdelämpöä olisi käytettävissä 22 kW. Lauhdelämpöä olisi mahdollista hyödyntää ilmanvaihtokoneen lämmityspatterissa vesilauhdutuksen avulla. Jäädytysjärjestelmässä kiertävää kylmäainetta lauhdutettaisiin vedellä, jolloin kylmäaineeseen varastoitunut lämpö siirtyisi lauhduttimessa kiertävään veteen. Lauhduttimessa lämmennyt vesi pumpattaisiin tuloilmakoneessa sijaitsevalle lämmityspatterille, jossa vesi lämmittäisi talvella tuloilmaa. Lämmityspatterilta vesi palaisi jäähtyneenä takaisin lauhduttimelle ja kierto alkaisi alusta. Tarvittaessa lauhdutusta olisi mahdollista tehostaa raakaveden avulla.

Seuraavassa yhtälössä on havainnollistettu ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin läpimenevää vesivirtaa 22 kW:n teholla ja 49 °C lämpötilaerolla

$$q_v = \frac{22 \text{ kW}}{49 \text{ °C} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg °C}}} = 0,00011 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx \mathbf{0,11 \frac{\text{l}}{\text{s}}}$$

jolloin lauhduttimessa ja lämmityspatterissa kiertävän veden tilavuusvirta olisi 22 kW:n teholla ja 49 °C lämpötilaerolla noin 0,11 l/s.

LÄHTEET

/1./ ST 53.61. Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys. Sähkötieto ry 2005

/2./ LVI 30-10236. Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Ilmastointijärjestelmät. Rakennustieto Oy 1995

/3./ Heinonen Jarkko, Talotekniikka-Julkaisut Oy, Ilmastointitekniikka. Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät : perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Forssa 2016

/4./ Aittomäki Antero. Kylmätuki. Kylmätekniikka. Jyväskylä 1996

/5./ Jere Salmi 2013. Absorptiojäähdyttimen käytön kannattavuus kaukolämpöjärjestelmässä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94333/Adsorptioj%C3%A4%C3%A4hdyttimen%20k%C3%A4yt%C3%B6n%20kannattavuus%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4ss%C3%A4.pdf?sequence=2>

/6./ Energiateollisuus ry. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki 2006

/7./ Tiina Koljonen & Kari Sipilä 1998. Uudenmaan absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. VTT Energia VTT TIEDOTTEITA. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>

/8./ Ismo Napari ja Hanna Vehkamäki 2013. Termofysiikan perusteet. Helsingin yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavissa http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/termo/termofysiikka2013_hv.pdf

/9./ Esa Aalto 2008. Luonnolliset kylmäaineet – uusi askel ilmakehän suojelussa kylmälalla. Suomen kylmäliikkeiden liitto ry. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.skll.fi/www/att.php?id=44>

/10./ Jani Kianta 2008. Kylmäainetilanne 2008. Suomen kylmäyhdistys ry. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>

/11./ Rakennusmääräyskokoelma C4. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.finlex.fi/data/normit/1931/C4s.pdf>

/12./ Kotkamills Oy 2017. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.kotkamills.com/>

/13./ Wikipedia. WWW-dokumentti. Päivitetty 19.10.2016. Saatavissa https://fi.wikipedia.org/wiki/Kotkan_paperitehdas/

/14./ Wikipedia. WWW-dokumentti. Päivitetty 13.7.2017. Saatavissa <https://fi.wikipedia.org/wiki/Sellutehdas>