



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

JAKELUAUTOPESELÄN ENERGIASELVITYS, SÄÄSTÖPOTENTIAALI JA SANEERAUSVAIH- TOEHDOT

Ville Nykänen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI - talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

NYKÄNEN, VILLE:

Jakeluautopesulan energiaselvitys, säästöpotentiaali ja saneerausvaihtoehdot

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 16 sivua
Huhtikuu 2016

Opinnäytetyön tilaajana on Atria Suomi Oyj:n Nurmon tuotantolaitos. Tässä työssä selvitettiin Atrian Nurmon tuotantolaitoksen energiankulutuksen jakautumista jakeluautopesulassa työn tilaajan kulutusseurantojen perusteella, kiinteistön energiansäästöpotentiaalia ja saneerausratkaisuja, joilla energiansäästöt saavutetaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko jakeluautopesulan LVI-järjestelmää taloudellisesti järkevää saneerata energiatehokkuuden parantamiseksi.

Tämän hankkeistetun työn tiedonhaussa hyödynnettiin LVI-alan kirjallisuutta, verkkosivuja ja asiantuntijahaastatteluita. Teoriaosuudessa käytettiin lähteitä, joiden avulla perusteltiin LVI-tekniikan lainalaisuuksia sekä haettiin eri vaihtoehtoja saneeraukseen. Asiantuntijahaastatteluiden avulla selvitettiin järjestelmien sopivuutta ja mitoituksia kohteeseen. Laitemitoitukset ovat opinnäytetyön liitteinä.

Työn pohjana toiminut energiaselvitys antoi suunnan siihen, mihin kiinteistö kuluttaa suurimman osan energiankulutuksestaan ja mistä voidaan säästää eniten energiaa. Energiansäästöt kohdistuivat lämpimän käyttöveden valmistukseen ja kiinteistön lämmitykseen. Ilmanvaihdon saneeraustoimenpiteet ovat suurimmaksi osaksi tilakäyttäjien työskentelyolosuhteiden parantamista.

Pääideana oli tarkastella tilaajan tuotantolaitoksella käytössä olevan lämmöntalteenottoverkoston hyödyntämistä lämmönlähteenä. Lämmöntalteenottoverkko käyttää tuotantoprosessien yllämpöä ja jäähdytysjärjestelmien lauhdelämpöjä, joita ei kyetä tuotantolaitoksella kokonaan hyödyntämään. Tässä tapauksessa voidaan siis puhua ilmaisenergioiden hyödyntämisestä, koska muutoin lauhdelämpöverkon yllämmöt poistetaan lauhduttimien kautta ulkoilmaan. Työssä pyrittiin ehdottamaan tilaajalle järkevää saneerausvaihtoehtoa ja esittämään suuntaa antava kustannusarvio saneerauksesta. Opinnäytetyössä energiankulutustiedot ja muut kiinteistön energiankulutukseen liittyvät tiedot ovat salaisia, joten ne on työssä muutettu suhdeluvuiksi.

Opinnäytetyön tutkimusaihetta voisi syventää rakennuksen mallintamisella ja simuloinnilla. Näin kyettäisiin selvittämään virtausmallinnuksen avulla ilmanjaon vaikutuksia sisäilman ja kosteuden kerrostumiseen tilassa sekä ilmanjaon vaikutusta ilmanvaihdon määrään ja energiatehokkuuteen.

Asiasanat: lvi, lämmöntalteenotto, ilmaisenergiat, lämpöpumput, ilmanvaihto,

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC - service

NYKÄNEN VILLE:

Delivery Truck Wash Energy Report, Saving Potential and Renovation Options

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 16 pages

April 2016

This thesis was commissioned by Atria Finland PLC production facility of Nurmo. The goal of this thesis was to define how the energy consumption was divided in the delivery truck wash building by using consumption tracking data provided by the employer. Also the mission was to research the energy saving potential and any possible renovation options regarding the HVAC systems in the building. Eventually, the main goal was to find out if it would be economically viable to complete the possible HVAC renovations.

The information retrieval in this thesis was carried out by examining literature, studying websites of different operators in the branch and two interviews of experts in the field. The aim of the expert interviews was to define if certain planned solutions would work in a real situation. Also the sizing of the heat pumps and ventilation systems. The literature was used to examine the suitability of techniques.

By finding out how the energy was divided between HVAC systems and other energy using components, it was revealed that most of energy was consumed in making warm service water and in heating of the building.

The main idea in the planning of the renovation was to study how the heat recovery system of the facility could be used in heating. The heat recovery system of the facility has been built because of the condensation water of cooling systems and process heats have to be moved away from the location they are created in. This could be referred to as free energy. The aim of the work was to suggest a sensible renovation solution for the employer including cost calculations. The energy consumption data used in the thesis is classified. The exact values have been changed to a different manner of representation.

The study could be expanded to building simulation and modeling in order to conduct controlled fluid dynamics modelling. With aid of CFD modelling about the air distribution influences to sedimentation of indoor air, humidity or pollutants in the air. Further study could also explain the influence of air distribution to the amount of exhaust and supply air amounts and further to energy efficiency.

Key words: hvac, heat recovery, free energies, heat pumps, ventilation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TYÖN TEORIA	7
2.1	Ilmanvaihtojärjestelmä.....	7
2.1.1	Kostea ilma.....	7
2.1.2	Ilmanjakotavat.....	8
2.1.3	Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto.....	9
2.2	Lämpöpumput	9
2.3	Ilmaisenergioiden hyödyntäminen.....	10
2.4	Oviaukot.....	11
2.4.1	Oviaukkojen suojaus	13
3	KOHTEEN ESITTELY	15
4	TUTKIMUS	18
4.1	Energiaselvitys.....	19
4.2	Energiansäästöpotentiaali	21
4.2.1	Lämmitys	23
4.2.2	Oviaukot.....	24
4.3	Saneerausvaihtoehdot	25
4.3.1	Ilmanvaihto	25
5	TULOKSET	31
5.1	Lämmitysjärjestelmät.....	32
5.2	Ilmanvaihto	32
6	POHDINTA.....	34
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET	37
	Liite 1. Mittauspöytäkirja 9.12.2015	37
	Liite 2. Ilmanvaihdon kuivausefekti ajan suhteen.....	38
	Liite.3 Retermia koneajot	42
	Liite 4. Ilmanvaihdon tasokuvat	51
	Liite 5. LVI-Järjestelmän periaatekaavio	53

ERITYISSANASTO

Absoluuttinen kosteus	Ilmoittaa kuinka paljon vesihöyryä on yhdessä kilossa kuivaa ilmaa [g/kg]
Alilämpöinen ilma	Huoneeseen tuotavaa ilmaa, jonka lämpötila on huoneilmaa alhaisempi.
Ilmaislämpö	
Ilman entalpia	Ilman kokonaislämpösisältö. [kJ/kgC]
Ilmanjakomenetelmä	On menetelmä, jolla tuloilma johdetaan huonetilaan tavoitteena halutut olosuhteet tilassa.
LVI	Lyhenne sanoista Lämpö, Vesi ja Ilma
Suhteellinen kosteus	Ilmoittaa vesihöyryn määrän ilmassa suhteessa siihen, kuinka paljon kyseisessä lämpötilassa vesihöyryä mahtuu ilmaan [%RH]
Oleskeluvyöhyke	Sisätilasta rajattu alue joilla käyttäjien oletetaan toimivan. 0,6 m seinistä ja 1,8 m lattiasta.

1 JOHDANTO

Toimeksiantaja Atria Suomi Oyj:n henkilökunta oli havainnut ongelmia yrityksen jakeluautopesulassa. Ongelmat alkoivat, kun Nurmon tuotantolaitoksen jakeluautopesulaan menevät kaukolämpöputket rikkoutuivat. Tämä johti siihen, että kaukolämmön alajako-keskus jouduttiin korvaamaan sähkökattilalla. Ratkaisuun päädyttiin siksi, koska putkia ei hankalan sijainnin vuoksi ollut mahdollista korjata. Tilakäyttäjiltä saadun palautteen perusteella hallin sisäilma käy huonon ilmanvaihdon vuoksi sietämättömäksi pesujen aikana. Tällä hetkellä suoran sähkölämmityksen ja puutteellisen ilmanvaihdon vuoksi pesuhalli kuluttaa enemmän energiaa, kuin mitä se kuluttaisi paremmilla LVI-ratkaisuilla.

Tämä hankkeistettu opinnäytetyö toteutettiin Atrian Nurmon tuotantolaitokselle. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää työn tilaajalle, onko jakeluautopesulaan kannattavaa kohdistaa saneeraustoimenpiteitä LVI-tekniikan osalta. Tarkoituksena on myös selvittää, kuinka tuotantolaitoksen ilmaisenergioita voitaisiin kohteessa hyödyntää. Ilmanvaihdon osalta kohteeseen tavoitellaan järjestelmää, joka parantaisi sisätilan olosuhteita käytön aikana.

Työn tavoitteena on tuottaa opinnäytetyön tilaajalle jakeluautopesulan energiaselvitys, jonka pohjalta tutkitaan kiinteistön energiansäästöpotentiaalia. Luvussa ”Saneerausratkaisut” tutkitaan järjestelmiä, joilla energiansäästöt saavutetaan. Tuotantolaitos pyörii kolmessa vuorossa. Näistä kaksi on tuotantovuoroja ja yksi on laitoksen puhdistusvuoro. Jakeluautojen kuljettajat käyttävät pesutilaa ajovuorojensa jälkeen. Suurin käyttöaste pesuhallilla on, kun ajokelit ovat huonoja ja kalusto likaantuu hyvin nopeasti. Jakeluautopesulan energiankulutus riippuu pelkästään käyttöajasta ja käyttöaika riippuu käyttäjien määrästä sekä heidän henkilökohtaisista käyttötottumuksistaan.

2 TYÖN TEORIA

2.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmällä pyritään hallitsemaan jonkin tilan sisäilmaa siten, että saavutetaan tilassa haluttu ilman laatutavoite. Ilmanvaihto toteutetaan poistamalla puhaltimien ja kanavistojen avulla epäpuhtauksia ja tuomalla erillisessä kanavistossa puhdasta ulkoilmaa sisään. Pääosin ilmanvaihtojärjestelmiä rakennetaan asuinrakennuksiin, mutta nykyään myös erillinen ilmastointijärjestelmä asuinrakennuksissa ei ole tavaton. Ilmastointijärjestelmä nimikettä käytetään silloin, kun hallitaan lämpöoloja ja sisäilman laatutavoitteita. (Sandberg & Ripatti 2014, Ilmanvaihtojärjestelmät, 113.)

Ilmanvaihtojärjestelmiä voidaan luokitella niiden toteutustavan perusteella. Mikäli jonkin kiinteistön ilmanvaihtokoneet on sijoitettu samaan paikkaan, puhutaan keskitetystä järjestelmästä. Mikäli taas tulo- ja poistoilmakoneet sijaitsevat eri paikoissa, puhutaan hajautetusta järjestelmästä.

2.1.1 Kosteaa ilmaa

Ilmassa on lähestulkoon aina mukana myös kosteutta eli vesihöyryä. Ilman vesisisältöä mitataan kahdella eri suureella, suhteellisella ja absoluuttisella kosteudella. Suhteellinen kosteus kertoo, kuinka paljon on vesihöyryä suhteessa täysin kylläiseen ilmaan. Absoluuttinen kosteus puolestaan kertoo, kuinka paljon vesihöyryä on yhdessä kilogrammassa ilmaa. Sisä- ja ulkoilmojen kosteussisältö ilmoitetaan yleensä suhteellisena kosteutena, mutta kosteuden vaikutukset ilmanvaihto- ja prosessitekniikassa käsitellään absoluuttisena kosteutena. (Sandberg 2014, Kosteus ilmassa, 81.)

Vesihöyrylle korkea energiasisältö on ominaista, joten mitä enemmän kosteutta on ilmassa, sitä enemmän yksi yksikkö kostea ilmaa sisältää energiaa. Ilman sisältämään vesihöyryyn sitoutunutta energiaa kutsutaan latentiksi lämmöksi. Eli kun ilman kosteus kasvaa, niin samalla latentti lämpömäärä kasvaa. Kuivaksi lämmöksi kutsutaan sitä, kun ilman lämpötila nousee eikä kosteuden muutoksia tapahdu. (Sandberg 2014, Kosteus ilmassa, 81.)

2.1.2 Ilmanjakotavat

Eri ilmanjakotavoilla pyritään saavuttamaan tilaan tilanteeseen sopivat lämpötila-, kosteus-, ja epäpuhtausjakaumat. Pääpiirteittäin ilmanjakotavat jaotellaan neljään eri luokkaan, jotka ovat mäntä-, kerrostuma-, vyöhyke-, ja sekoitusperiaate. Näillä menetelmillä voidaan tilanteesta riippuen vaikuttaa ilman epäpuhtauksien leviämiseen eri tiloissa. Näin ollen voidaan vaikuttaa tehokkaastikin tilakäyttäjien oleskeluvyöhykkeen ilmanlaatuun. Tilan epäpuhtauslähteiden luonne, sisäilman tavoitearvot ja päätelaitteiden sijoitusmahdollisuudet vaikuttavat ilmanjakotavan valintaan. (Kosonen & Sandberg 2014, Tilailmastointi ja ilmanjaon mitoitus, 256–257.)

Näitä edellä mainittuja ilmanjakotapoja sovelletaan sekä tavanomaisissa julkisissa tiloissa, että teollisuuden prosessitilojen ilmanvaihdossa. Mäntäperiaatteella pyritään luomaan homogeeninen virtaus läpi koko tilan, esimerkiksi tuomalla tuloilma lattiasta ja poistoilma katosta koko tilan alalta. Tällä tavalla päästään kauttaaltaan tasaiseen sisäilmanlaatuun. Kerrostumaperiaatteella pyritään tuomaan tuloilma oleskeluvyöhykkeelle pienellä nopeudella ja lievällä alilämmöllä suhteessa oleskeluvyöhykkeeseen, jossa ilma pääsee lämpenemään. Tällä tavoin on mahdollista poistaa oleskeluvyöhykkeen epäpuhtaudet konvektiovirtausten mukana pois vyöhykkeeltä. (Kosonen & Sandberg 2014, Tilailmastointi, 226.)

Vyöhykeperiaatteessa pyritään jakamaan tila selkeästi kahteen eri osaan: vyöhykkeeseen, johon vaaditaan hyvää ilmanlaatua sekä vyöhykkeeseen, johon kaikkien epäpuhtauksien annetaan kerrostua. Vyöhykeperiaatteessa tilan tuloilma pyritään tuomaan tilaan likaisen vyöhykkeen alapuolelta. Lisäksi tuloilman on oltava huomattavasti viileämpää, kuin oleskeluvyöhykkeen tavoitelämpötila. Samassa tilassa olevat lämpöä tuottavat laitteet aiheuttavat nostevirtauksen, joka kuljettaa ylitämmön ja epäpuhtaudet tilan yläosaan, johon niiden kerrostuminen sallitaan. Tällaisesta tilasta poistetaan sekä kerrostunut ylitämpö että muut epäpuhtaudet poistoilman avulla. (Kosonen & Sandberg 2014, Tilailmastointi, 227.)

Sekoitusperiaatteella pyritään tuottamaan kaikkialle tasaiset olosuhteet. Tällä periaatteella tuloilma pyritään tuomaan tilaan suurnopeuslaitteilla ja ilman suuri liikenopeus sekoittaa ilman tasaiseksi epäpuhtauksien osalta. Tätä ilmanjakotapaa käytetään yleensä,

kun havaittavissa ei ole suuria epäpuhtauskuormia tai pistemäisiä epäpuhtauslähteitä. Sekoittavaa ilmanjakoa käytetään yleensä matalissa tiloissa ja se on helppo toteuttaa. (Kosonen & Sandberg 2014, Ilmanjako ja ilmanpoistomenetelmät, 228.)

2.1.3 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

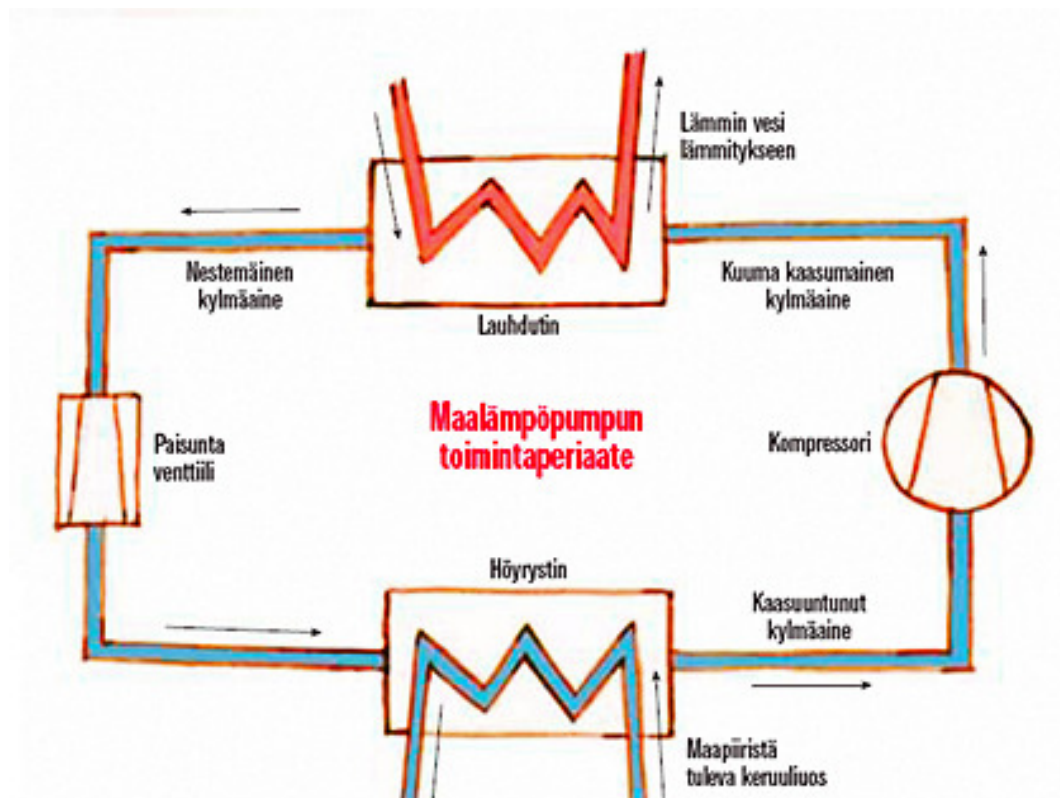
Poistoilman lämmöstä voidaan hyödyntää huomattavia osuuksia käyttäen hyödyksi erinäisiä lämmöntalteenottolaitteita. Poistoilman lämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi tuloilman esilämmityksessä, jolloin käyttäjä säästää huomattavan osan varsinaisesta tuloilman lämmityksestä. Lämpöä voidaan ottaa talteen suoraan ilmavirroista, erottelemalla ne välilevyjen avulla. Tällöin puhutaan rekuperatiivisesta lämmönsiirtimestä. Puhuttaessa epäsuorasta rekuperatiivisesta lämmönsiirtimestä tarkoitetaan sitä, että lämmönsiirtimek sijaitsevat eri paikoissa ja lämpö niiden välillä siirretään väliaineen avulla. Mikäli hyödynnettävää lämpöä varataan kiinteään massaun, joka vuoroin lämpenee ja jäähtyy, tarkoitetaan regeneratiivista lämmönsiirintä. (Seppänen 1996, 285.)

Lämmöntalteenottolaitteiden teho määritellään yleensä lämpötilahyötysuhteena. Tällä tarkoitetaan sitä, kuinka iso osuus tulo- ja poistoilman välisestä lämpötilaerosta saadaan hyödynnettyä. Energiankulutusten tarkastelussa voidaan puhua myös vuosihyötysuhteesta, mikä tarkastelee kuinka paljon energiaa on otettu talteen verrattuna puhaltimiin ja lisälämpöön kulutettuun energiaan. (Intervent Oy, 12–13.)

2.2 Lämpöpumput

Erilaiset lämpöpumput ovat nousseet suureen suosioon Suomessa 2000-luvun alusta lähtien. Vuonna 2005 Suomessa lämpöpumppujen kokonaismäärä oli 100 000 kappaletta sisältäen kaikki variaatiot lämpöpumppujärjestelmistä. Vuonna 2013 maassamme oli pelkästään maalämpöpumppuja noin 100 000 kappaletta, ilmalämpöpumppuja noin 450 000 kappaletta sekä ilma/vesi- ja poistoilmalämpöpumppuja noin 50 000 kappaletta. Yhteensä noin 600 000 kappaletta Carnot-prosessia hyödyntävää lämpöpumppulaitetta. (www.motiva.fi.)

Lämpöpumpputerjestelmä perustuu suljettuun kiertojärjestelmään, jossa kierrätetään kylmäainetta (kuva 1). Kylmäaineeseen tuodaan ulkopuolelta höyrystimeen lämmönlähteestä lämpöenergiaa, joka aiheuttaa kylmäaineen kaasuuntumisen. Ennen lauhduttimelle saapumista kaasumaisen kylmäaineen paine korotetaan kompressorilla. Kylmäaine luovuttaa höyrystimestä ja kompressorista sitoutuneen lämpöenergian lauhduttimeen eli lämmitettävään kohteeseen. Ennen uudelleen saapumista höyrystimelle kylmäaine palautetaan nestemäiseksi paisuntaventtiilissä ja kierto alkaa uudestaan. Kiertoprosessista saatu lämpöenergia on siis yksinkertaisesti lauhduttimesta ja kompressorityöstä tuotetun lämpöenergian summa. (Seppänen 2001, 377.)



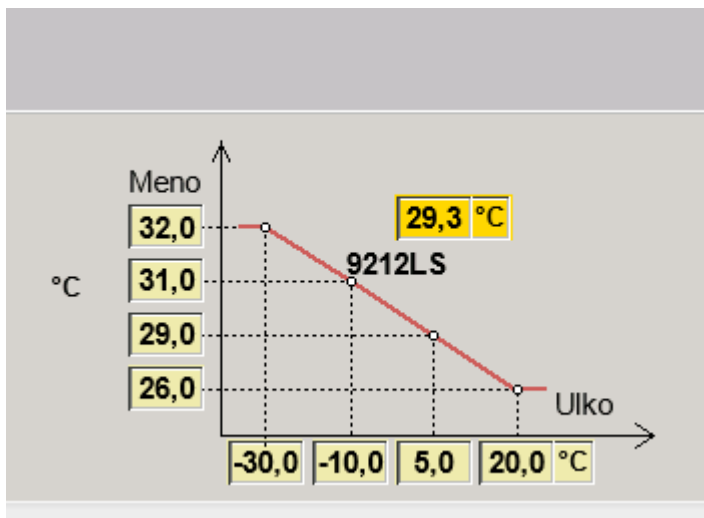
KUVA 1. Lämpöpumpun kierto-prosessi (www.motiva.fi)

2.3 Ilmaisenergioiden hyödyntäminen

Opinnäytetyön tilaaja on Suomen johtava elintarviketeollisuuden toimija ja Nurmon tuotantolaitoksessa löytyy lähes kaikki mahdolliset LVI-tekniikan ratkaisut aina ilmanvaihdosta höyrytekniikkaan. Laitoksen luonteen vuoksi siellä on kokeiltu useita eri ratkaisuja ja kokemusten perusteella on löydetty toimivat ratkaisut prosessien toiminnan ja työsken-

telyolosuhteiden kannalta. Kylmä- ja pakkastiloja löytyy laitoksesta useita ja niiden jäähdyttämisestä syntyvää lauhdetta pyritään hyödyntämään mahdollisimman kattavasti. Keskähelteillä tilanne on kuitenkin se, että lauhdelämpöä on saatavilla liikaa ja jäähdytysnestet joudutaan lauhduttamaan lauhdutinkenttien kautta suoraan ulos.

Verkosto kattaa laajasti koko tuotantolaitoksen ja putkistot kulkevat myös ulkona, joten verkoston nesteenä käytetään konsentraatioiltaan 40 % vesi-etyleeniglykolia. Verkoston lämpötilatrendi ulkolämpötilan (kuva 2) on kuvattu ulkolämpötilan välillä -30 °C – $+20\text{ °C}$.



KUVA 2. Lauhdelämpöverkon lämpötilatrendi (Atria Oyj)

Tämän verkoston lämpöä sitonutta nestettä voidaan hyödyntää useisiin kohteisiin, esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmien tuloilman esilämmitykseen tai lämpimän käyttöveden valmistukseen lämpöpumppuprosessin yhteydessä. Tuotantolaitoksen lauhdelämmön hyödyntäminen on työn tilaajalle kannattavaa, koska sitä voidaan käytännössä käsitellä ilmaisenergiana.

2.4 Oviaukot

Teollisuuslaitosten tiloissa on yleensä käytössä suuria nosto-ovia, jotka ovat erinäisiä aikoja auki. Etenkin talviaikaan, kun ulkolämpötila laskee, ovia avatessa kylmä ilma alkaa virrata oviaukosta sisälle ja tilanteesta riippuen sisäilma virtaa ulos. Tämä kasvattaa luonnostaan tilan lämmitystarvetta, heikentää tilan olosuhteita ja voi haitata ilmanvaihdon

suunniteltua toimintaa. (Valkeapää 2014, Teollisuus- ja erikoisilmastoinnin suunnittelun periaatteita, 551–552.)

Oviaukon virtaukseen vaikuttavat useatkin seikat, muun muassa sisä- ja ulkolämpötilaeroista johtuvat tiheuserot, ilmanvaihdon ilmatase sekä ulkopuolella puhaltava tuuli. Mikäli lämpötilaeroja ei ole, tulo- ja poistoilma ovat tasapainossa eikä ulkopuolella tuule, ei oviaukossa tapahdu virtauksia oven ollessa avoinna. Suurimmillaan virtaukset ovat silloin, kun sisä- ja ulkolämpötilojen erot ovat suurimmillaan. Ilman virratessa sisään ja ulos, löytyy oviaukosta myös niin sanottu neutraalikorkeus, jossa ei tapahdu virtausta. Neutraalitasen korkeus voi olla missä tahansa lattia- ja kattopinnan välissä. Sen korkeus määräytyy aina tilan ilmavuotojen ja ilmataseen seurauksena. Kun ovia pidetään avoinna, virtaa ilma neutraalitasen alapuolelta sisään ja yläpuolelta ulos. Näiden ilmavirtojen summat ovat yhtä suuret. (Valkeapää 2014, Teollisuus- ja erikoisilmastoinnin suunnittelun periaatteita, 551–552.)

Oviaukon läpi kulkevia ilman massavirtoja voidaan laskea, kun tiedossa on oviaukon neutraalitasen korkeus oven ollessa auki. Oviaukon alaosan massavirta saadaan selville kaavalla 1 ja oviaukon yläosan massavirta kaavalla 2. (Valkeapää, Teollisuus- ja erikoisilmastoinnin suunnittelun periaatteita 2014, 556.)

$$q_{m,u} = \frac{2}{3} * C_d * L * z_{na}^{3/2} * \sqrt{2 * g * \rho_u * (\rho_u - \rho_s)} \quad (1)$$

Jossa,	$q_{m,u}$	= Massavirta oviaukon alaosasta sisään ($\frac{kg}{s}$)
	C_d	= Oviaukon suutinkerroin (0,6 - 0,7)
	L	= Oviaukon leveys (m)
	z_{na}	= Oviaukon neutraalitasen korkeus (m)
	g	= Gravitaatiovakio ($9,81 \frac{m}{s^2}$)
	ρ_u	= Ulkoilman tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)
	ρ_s	= Sisäilman tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

$$q_{m,s} = \frac{2}{3} * C_d * L * (H - z_{na})^{3/2} * \sqrt{2 * g * \rho_u * (\rho_u - \rho_s)} \quad (2)$$

Jossa, H = Oviaukon korkeus (m)

Virtaus tapahtuu koko oviaukon osalta ulkoa sisälle, mikäli oviaukon neutraalitaso on oven yläreunan yläpuolella. Tällaisessa tilanteessa oviaukon virtaus ratkaistaan kaavalla 3. (Valkeapää 2014, Teollisuus- ja erikoisilmastoinnin suunnittelun periaatteita, 556.)

$$q_{m,u} = \frac{2}{3} * C_d * L * (z_{na}^{3/2} - (z_{na} - H)^{3/2}) * \sqrt{2 * g * \rho_u * (\rho_u - \rho_s)} \quad (3)$$

Selvitettäessä oviaukon virtauksista aiheutuvaa lämpöhäviötä, tarkastellaan ensin onko kaavan 1 vai 2 massavirta suurempi. Näistä suurempaa käytetään kaavassa 4. (Valkeapää, Teollisuus- ja erikoisilmastoinnin suunnittelun periaatteita 2014, 556.)

$$\phi_{ovi} = q_{m,max} * c_{pi} * (t_s - t_u) \quad (4)$$

Jossa, ϕ_{ovi} = Oviaukon lämpöhäviö (kW)
 c_{pi} = Ilman ominaislämpökapasiteetti ($\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$)
 t_s = Sisäilman lämpötila ($^\circ C$)
 t_u = Ulkoilman lämpötila ($^\circ C$)

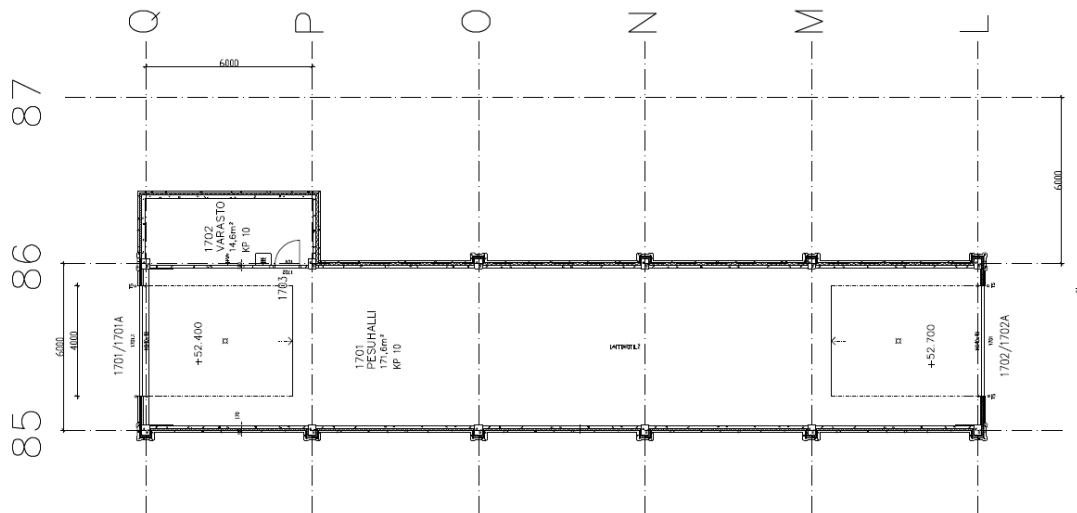
2.4.1 Oviaukkojen suojaus

Oviaukkojen auki olemisesta aiheutuvia lämpöhäviöitä ja työviihtyvyyttä haittaavia tekijöitä voidaan yrittää minimoida käyttämällä fyysisiä esteitä. Esteenä voidaan käyttää esimerkiksi läpinäkyviä muoviliuskasuikaleita, pikarullaovia tai tuulikaappeja, joissa on vuorottain avautuvat ovet. Näillä toimilla voidaan pienentää oviaukon virtauspinta-alaa ja sitä kautta myös suoraan oven läpi kulkevia virtauksia. Mikäli edellä mainittuja toimia ei ole mahdollista käyttää, otetaan yleensä käyttöön ilmaverho oviaukossa. (Valkeapää 2014, Teollisuus- ja erikoisilmastoinnin suunnittelun periaatteita, 558.)

Ilmaverho tai yleisemmin oviverhopuhallin tarkoittaa vaak- tai pystysuunnassa rakomaisesta puhallusaukosta voimakkaasti puhallettua ilmaa, jolla pyritään estämään oviaukkojen virtauksia ja lämpöhäviöitä. Oviverhopuhaltimien tehokkuutta tarkastellaan niiden ilmaverhon tiiviydellä. Tiiviydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon aukon läpi tapahtuvaa virtausta kyseisellä tavalla voidaan estää. Tiiviys lasketaan oviaukon ilmavirtaus oviverhon ollessa päällä verrattuna tilanteeseen ilman oviverhopuhallinta. Optimitilanteissa oviverhopuhaltimilla päästään 45–80 % tiiviyteen. (Valkeapää 2014, Teollisuus- ja erikoisilmastoinnin suunnittelun periaatteita, 559.)

3 KOHTEEN ESITTELY

Opinnäytetyön kohde sijaitsee Seinäjoen Nurmossa Atria Oyj:n teollisuusalueella. Työn kohteena on siis hallitila, joka on tarkoitettu Atrian tuotteita kuljettavien jakeluautojen pesuun. Suurimmat tilassa pestävät kulkuneuvot ovat täysperävaunuyhdistelmiä. Autojen pesussa käytetään keskitettyä korkeapainepesuria, jonka paineenkorotusasema sijaitsee teknisessä tilassa ja pesukahvat liikkuvat kiskoilla päätilassa. Pesuveden lisäksi käytetään myös liuotinpesuainetta, joka on tarkoitettu ajoneuvojen pesuun. Pesuhallin pohjaratkaisu on esiteltyä kuvassa 3.



KUVA 3. Autopesuhallin pohjaratkaisu (Atria Oyj)

Halli on rakennettu läpiajoperiaatteella, eli käyttäjät ajavat vasemman puoleisesta ovesta sisään ja oikeanpuoleisesta ulos (kuva 3). Pohjakuvassa ei ole näkyvillä pesutilaan sijoitettua lattiaviemäriä, joka sijaitsee moduulien 85 ja 86 keskikohdassa ja ulottuu koko matkalle moduulien P ja M väliin. Tekninen tila on sijoitettu moduulien Q ja P väliin ulko-nevaksi pesutilasta. Moduulien välit ovat kuvassa 6000 millimetriä. Tekniseen tilaan on sijoitettu sähkökeskus, korkeapaine- ja pesuainepumppuasema sekä lämmöntuotantolaitteet.

Pesutilan pinta-ala on 171,6 m² ja korkeus 6,5 metriä toteuttaen rakennustilavuuden 1115,4 m³. Hallin molemmat päädyt on varustettu 4 m x 4 m kokoisilla moottorikäyttöisillä nosto-ovilla. Rakennuksen vaippa on betonisandwich-elementtiä, jossa eristevillaa on 80 millimetriä ja katto on huopapäällystettyä betonia.

Pesuhallin nykyinen LVI-järjestelmä koostuu yhdestä sähkökattilasta, jolla valmistetaan lämmintä käyttövedettä pesutarpeeseen, sekä hallin lämmityksen tarpeisiin asennetuista vesikiertoisista kiertoilmapuhaltimista. Sähkökattila on varustettu kolmella lämminvesikierukalla, joista kaksi valmistaa käyttövedettä ja yksi lämmittää suljetun lämmityspiirin vettä. Lämminvesipuolella on myös sisäänrakennettu lämminvesivaraaja, jonka tilavuus on tyyppikilven mukaan 0,5 m³. Ilmanvaihto on toteutettu kahdella Kojia HI FEK 50 – 3/6 huippuimurilla, joiden ilmavirta täydellä teholla on $1,25 \frac{m^3}{s}$. Näin ollen molempien käydessä täydellä teholla kokonaispoistoilmavirta on $2,5 \frac{m^3}{s}$. Korvausilmaa varten toiseen päätyyn on asennettu moottoripelti, joka aukeaa puhaltimien käynnistyessä.

Alun perin rakennuksen lämmitys on hoidettu Atrian oman kaukolämpöverkon avulla. Kaukolämmön liittynät ovat edelleenkin teknisessä tilassa esillä, mutta ne on jouduttu sulkemaan. Tämä johtuu siitä, että asfaltoidun tien alla olevat putket ovat rikkoutuneet, eikä mahdollisuutta niiden korjaamiseen ole ollut vilkasliikenteisen tien vuoksi. Oletettavasti putket ovat rikkoutuneet kohdasta, jossa ne alittavat tien ja nousevat kallion seinämää pitkin hallin alle. Kyseistä tietä käyttää suurimmaksi osaksi raskas kuljetuskalusto, joka on painanut putkia tien alla alaspäin. Tämä aiheuttaa putkiin suurta kuormitusta, jonka seurauksena ne ovat rikkoutuneet. Samassa kaivannossa sijaitsee myös käyttöveden runkojohto, joka tuntemattomasta syystä on säilynyt toistaiseksi ehjänä. Itse pesuhalli on rakennettu kallion päälle, paljon tietä korkeammalle.

LVI-järjestelmä on yksinkertaisuudessaan periaatteessa toimiva. Kuitenkin pakkasilla tilakäyttäjien olosuhteet ovat surkeat, sillä poistoilmapuhaltimia ei voida pitää päällä esikäsittlemättömänä sisään johdettavan ulkoilman takia. Tällöin lämmityksen kiertoilmapuhaltimet eivät kykene kattamaan kylmästä ulkoilmasta johtuvaa hetkellistä lämmityskuormaa. Toisekseen, kun pesutilaa käytetään, siirtyy noin 10 % painepesurin tuottamasta vedestä höyryä sisäilmaan. Jos tilaan tuodaan tässä vaiheessa kylmää ilmaa sisään, alkaa etenkin oleskeluvyöhykkeellä näkyvyys olla erittäin heikko höyrystä johtuen. Hallin työkentelyolosuhde pesun aikana on esitettyinä kuvassa 4.



KUVA 4. Näkymät pesutilassa pesun aikana (kuva: Ville Nykänen 2016)

Kuvan 4 perusteella voidaan jo todeta, että sisäilman suhteellinen kosteus nousee lähes 100 %:iin eli ilma on niin sanotusti kylläistä. Tämä hankaloittaa tilassa työskentelyä. Lisäksi se on betonirakenteille erittäin kuormittavaa, varsinkin kun rakenteilla ei ole juuri mahdollisuutta kuivua käytön ulkopuolella. Haasteelliset olosuhteet ovat myös olleet taakkana kiertoilmapuhaltimille, jotka ovat hyvinkin nopeasti kuluneet loppuun ja tilalle on tuotu sähkölämmitteisiä kiertoilmapuhaltimia.

Kohteessa ei ole lämmöntalteenottojärjestelmiä ja käytännössä kaikki lämmitysenergian tarpeesta tuotetaan suoraan sähköllä. Voidaan siis olettaa, että on mahdollista saavuttaa energiansäästöjä järkevillä takaisinmaksuajoilla sekä tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla tuottaen tilakäyttäjille paremmat työskentelyolosuhteet.

4 TUTKIMUS

Työn tutkiminen aloitettiin kokoustamalla Atrian edustajan Veli Holman ja opinnäytetyöohjaajani Eero Kulmalan kanssa Atria Oyj:n tiloissa. Kokouksen yhteydessä tutustuttiin myös itse opinnäytetyön kohteeseen. Atria kerää kaikista kiinteistöistään kulutustietoja ja juuri näiden tietojen avulla työtä lähdettiin tutkimaan. Jakeluautopesulan kuukausittaiset energiankulutukset ja käyttöajat ovat koottuna taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Pesulan energian ja vedenkulutukset mittaritietoina

Kulutusseurannan tulokset	<i>Energiankulutus</i>	<i>Kylmä vesi</i>	<i>Lämmin käyttövesi</i>	<i>Laskennallinen käyttöaika</i>
	%	%	%	%
TAMMI	9 %	3 %	8 %	7 %
HELMI	8 %	9 %	12 %	11 %
MAALIS	8 %	7 %	11 %	10 %
HUHTI	7 %	8 %	8 %	8 %
TOUKO	8 %	8 %	8 %	8 %
KESÄ	7 %	6 %	7 %	7 %
HEINÄ	6 %	7 %	7 %	7 %
ELO	4 %	6 %	7 %	7 %
SYYS	4 %	6 %	6 %	6 %
LOKA	10 %	13 %	8 %	9 %
MARRAS	14 %	16 %	9 %	10 %
JOULU	15 %	10 %	9 %	9 %
YHTEENSÄ	100 %	100 %	100 %	100 %

Ongelmana jakeluautopesulan kohdalla on se, että kaukolämpö vaihdettiin sähkölämmitykseen alkuperäisten kiinteistöön tulleiden kaukolämpöjohtojen rikkoontuessa. Aikaisemmin kaukolämmöllä lämmitettiin sekä lämmin käyttövesi, että lämmityslaitteina toimineiden kiertoilmapuhaltimien lämmönsiirtoneste. Toinen ongelma tilaan on ilmennyt, kun kiertoilmapuhaltimet on havaittu liian pienitehoisiksi ja ne ovat rikkoutuneet hyvin nopeasti kosteiden olosuhteiden johdosta. Tämän tultua ilmi on jakeluautopesulassa siirrytty vesikiertoisista kiertoilmapuhaltimista sähkökäyttöisiin.

Kiinteistön lämmitysjärjestelmänä on siis suora sähkölämmitys ja ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poisto. Energian suoran häviämisen lisäksi koneellinen poistoilma

luo sisälle kehnot olosuhteet käyttäjille kylmillä keleillä. Korvausilma otetaan ovien vierestä korvausilmapelleistä, jotka avautuvat puhaltimien käynnistyessä ja korvausilma tulee tilaan käsittelemättömänä. Tilakäyttäjät ovatkin lähestulkoon lopettaneet poistoilmakoneiden käytön pesun aikana juurikin kylmän korvausilman takia.

4.1 Energiaselvitys

Energiaselvityksen tavoitteena on selvittää, kuinka paljon energiaa kuluu autopesulassa. Tilaajalta saaduista kulutustiedoista käy ilmi autopesulan päiväkohtaiset lämpimän ja kylmän käyttöveden kulutukset ja sähköenergiankulutus. Näistä tiedoista oli mahdollista eritellä eri laitteiden nimellistehojen ja arvioidun käyttöajan perusteella. Kulutustietojen perusteella voidaan todeta, että pesuhallin käyttö on suurimmillaan silloin, kun ajokelit ovat huonot, eli kun ulkolämpötilat liikkuvat hieman 0 °C molemmin puolin.

Pesuhallin käyttöajat on arvioitu laskennallisesti pesussa käytettävän lämpimän käyttöveden määrän korkeapainepesurin tilavuusvirran avulla. Laskiessa ongelmia tuotti korkeapainepesurin teknisten tietojen puuttuminen; konekilpi oli syöpyntyn lukukelvottomaksi ja teknisiä dokumentteja ei ollut olemassa. Lisäksi pesurin valmistaja oli lopettanut toimintansa. Tilavuusvirtaa arvioidessa oli turvauduttava muiden laitevalmistajien antamiin tilavuusvirtoihin suunnilleen samankokoisille kiinteille painepesulaitteille. Tilavuusvirtana käytettiin lopulta arvoa $0,35 \frac{dm^3}{s}$, jonka jälkeen päivittäinen käyttöaika laskettiin kaavan 5 avulla.

$$T = \frac{V_{lkv}}{Q_{vpp} * 3600} \quad (5)$$

Jossa,	T	= Aika (h)
	V_{lkv}	= Lämpimän käyttöveden määrä (m ³)
	Q_{vpp}	= Painepesurin tilavuusvirta ($\frac{m^3}{s}$)

Kaikkien eri laitteiden sähköenergiankulutukset on laskettu käyttöaikaa hyödyntäen. Kaikkien muiden laitteiden käyttöaikaan, paitsi painepesujärjestelmän ja käyttöveden

valmistuksen käyntiaikaan, on lisätty 15 minuuttia. Kiertoilmalaitteille on laskettu 30 minuuttia. Eri laitteiden energiankulutukset on laskettu konekilvissä ilmoitettujen nimellistehojen avulla kaavalla 6.

$$Q = (T + 1,25) * P_{nim} \quad (6)$$

Jossa,	Q	= kWh
	T	= Aika (h)
	P_{nim}	= Laitteen nimellisteho kW

Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutus selvitettiin kulutetun määrän perusteella, kun veden lämpötilaa nostetaan +4 °C:sta +55 °C:een käyttäen kaavaa 7.

$$Q_{LKV} = \frac{\rho_v * c_p * V * \Delta t}{3600} \quad (7)$$

Jossa,	Q_{LKV}	= Lämpimän käyttöveden energiankulutus, kWh
	ρ_v	= Veden tiheys, $1000 \frac{kg}{m^3}$
	V	= Kulutetun lämpimän veden tilavuus, m^3
	c_p	= Veden ominaislämpökapasiteetti, $\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$
	Δt	= Vesijohto- ja lämpimän käyttöveden lämpötilaero, °C

Taulukossa 2 on esitetty laitteiden kulutukset megawattitunteina. Laskennassa hyödynnettiin taulukon 1 tietoja sekä kaavoja 5, 6 ja 7. Tarkasteluun huomioitiin kaikki laitteet, joiden nimellisteho kyettiin selvittämään. Taulukon (2) tulosten perusteella voidaan huomata, että suurin osa energiasta kuluu lämpimän käyttöveden valmistukseen, sähköisten kiertoilmakojien käyttöön ja painepesurin korkeapainapumpun käyttöön. Lämmityspuolen pumput, huippuimurien puhaltimet, vesikiertoiset kiertoilmapuhaltimet ja valaistus kuluttavat noin 10 % osuuden rakennuksen koko energiankulutuksesta.

TAULUKKO 2. Pesulan eri laitteiden energiankulutukset

Kulutusseurannan tulokset	Osuus	Q(kv)	Q(sähkö)	Q(pp-järjestelmä)	Q(Muut)
	%	%	%	%	%
TAMMI	9 %	4 %	3 %	0 %	2 %
HELMI	8 %	6 %	4 %	1 %	-2 %
MAALIS	8 %	5 %	4 %	1 %	-1 %
HUHTI	7 %	4 %	3 %	1 %	0 %
TOUKO	8 %	4 %	3 %	1 %	1 %
KESÄ	7 %	3 %	2 %	0 %	1 %
HEINÄ	6 %	3 %	2 %	0 %	0 %
ELO	4 %	3 %	2 %	0 %	-2 %
SYYS	4 %	3 %	2 %	0 %	-1 %
LOKA	10 %	4 %	3 %	1 %	3 %
MARRAS	14 %	4 %	4 %	1 %	5 %
JOULU	15 %	4 %	3 %	1 %	6 %
YHTEENSÄ	100 %	48 %	36 %	6 %	10 %

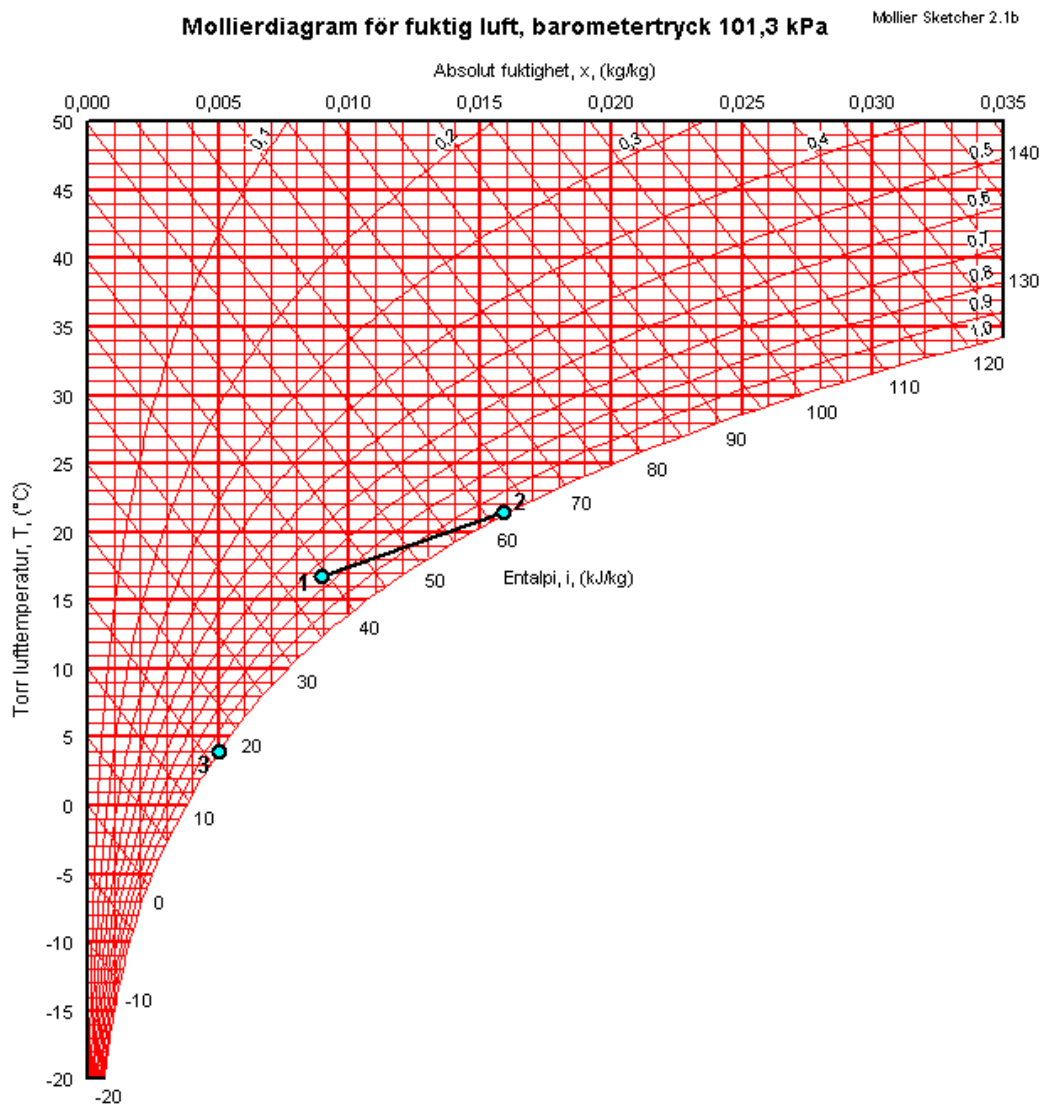
Tässä tilanteessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että käyttöajat ovat oletettu yhdenaikaisiksi, mikä voi aiheuttaa lopputuloksiin virheitä. On hankala todeta, onko sähkölämmittimiä pidetty jatkuvasti päällä, miten huippumureita on käytetty ja niin edelleen. Automaattia ei tilassa ole, joten kaikkien laitteiden käyttö riippuu hyvin paljon tilan käyttäjistä. Mitattujen ja laskennallisten kulutusten välinen erotus pysyy hyvin lähellä taserajaa, joten saatuihin tuloksiin voidaan luottaa. Merkityksellisimpiä ovat ne laitteet, jotka kattavat suurimman osan kiinteistön energiankulutuksesta.

4.2 Energiansäästöpotentiaali

Kiinteistön tämänhetkiset ratkaisut johtavat siihen, että kaikki sisään tuotu energia poistuu käytännössä suoraan eri tavoin ympäristöön. Käyttäjän ajaessa kuljetusautonsa sisään, on yksi nosto-ovi auki, jolloin hallissa ollut lämpöä häviää avonaisen oviaukon kautta ulkoilmaan. Pesun aikana auto puhdistetaan +55-asteisella pesuvedellä, josta noin 90 prosenttia valuu suoraan viemäriin ja loppu jää höyrynä sisätilaan.

Mittaukset suoritettiin pesutilanteessa hallissa 9.12.2015. Yli tunnin kestävän pesukerran aikana hallin lämpötila nousi 16,8 °C:sta 21,4 °C:een ja suhteellinen kosteus nousi 75 %:sta 99 %:iin. Mittauksen mittauspöytäkirja löytyy liitteestä 1. Lämpötilan ja kosteuden

noususta johtuen myös sisäilman entalpia kohosi lähtötilanteen arvosta $39,5 \frac{kJ}{kg}$, arvoon $61,9 \frac{kJ}{kg}$. Sisäilman energiasisältö nousi siis pesun aikana 1,56-kertaiseksi. Sisäilman muutoksia kuvaa kuva 5, joka on saatu syöttämällä mittaustiedot IV-Produkt AB:n Molliersketcher ohjelmaan. Piste 1 kuvaa ulkolämpötilaa, piste 2 kuvaa sisälämpötilaa ennen pesua ja piste 3 kuvaa sisäilman lämpötilaa pesun lopussa (kuva 5).



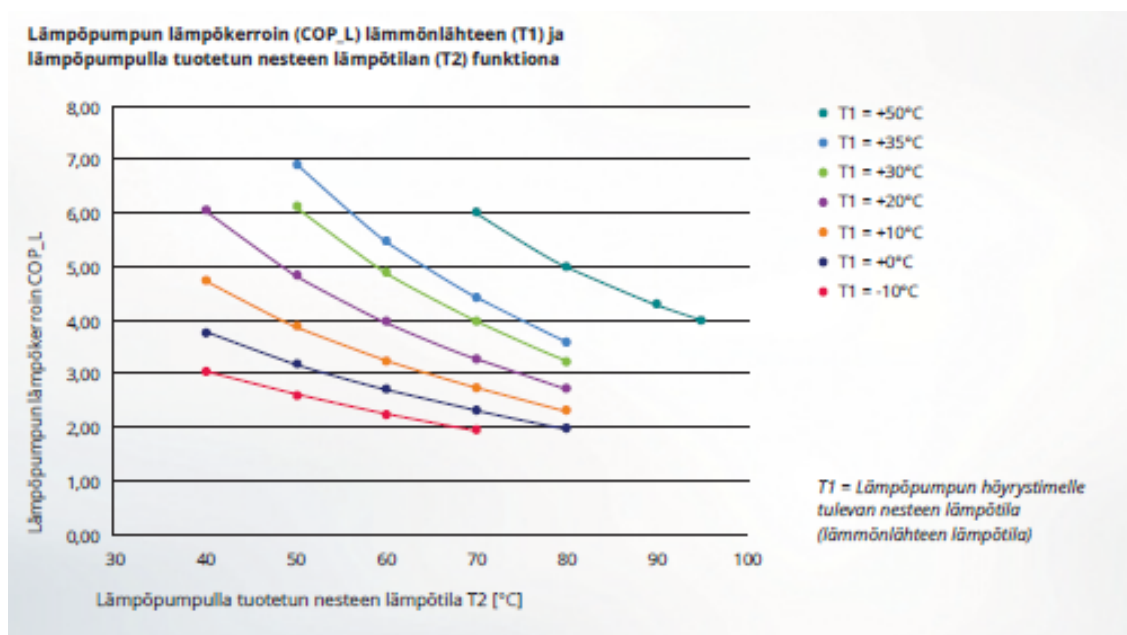
KUVA 5. Hallin sisäilman muutokset pesun vaikutuksesta

Rekkapesulan lähtötilanteesta johtuen säästöpotentiaali on suuri. Lämpimän käyttöveden valmistustavan muuttaminen ja sähköisten kiertoilmapuhaltimien korvaaminen oikein mitoitetuilla vesikiertoisilla kiertoilmapuhaltimilla tulee säästämään energiankulutuksessa huomattavia määriä. Nykyisen poistoilmajärjestelmän muuttaminen tulo- poisto järjestelmäksi on oleellisempi työskentelyolosuhteiden ja rakennuksen käyttöiän kannalta,

kuin energiansäästön. Mikäli poistojärjestelmä päivitettäisiin pelkästään lämmöntalteenotolla, niin se voitaisiin huomioida kokonaisenergiesäästöissä. Tuloilmakoneen lisääminen järjestelmään kuitenkin tuottaa käytännössä energiatarjontakannalta uuden energiaa kuluttavan elementin lisää.

4.2.1 Lämmitys

Kun tarkastellaan käyttöveden ja lämmityksen säästöpotentiaalia ottaen huomioon Atrian tuotantolaitoksen omat lämmönlähteet (kuva 2), huomataan, että tuotantolaitoksella on käytössään 29,3 °C lämpöistä liuosta. Mikäli lämpöpumpun halutaan lämmittävän vettä 60 °C asti käyttämällä lauhdelämpölinjan liuosta lämpöpumpun lämmönlähteenä, olisi mahdollista saavuttaa lämpökerroin 5,5 (kuva 6). Lämpökerroin 5,5 tarkoittaa sitä, että yhden kilowatin sähkötyöllä saadaan 5,5 kilowattia lämmitysenergiaa. Karkeasti arvioituna tällä tavalla olisi mahdollista säästää 80 % käyttöveden lämmityksen energiankulutuksista.



KUVA 6. Teollisuuslämpöpumpujen lämmöntuottoja (www.pemco.fi)

NIBE Oy:n mitoitusohjelman avulla selvitettiin, kuinka paljon käyttöveden ja lämmityksen energiankulutuksista voitaisiin kohteessa säästää. Vertailuksi tehtiin koneajot kolmelle eri lämpöpumpulle. Näistä kahden lämmönlähteenä toimi tilaajalla käytössä oleva

lämmöntalteenottoverkoston neste ja yhdessä tavanomainen porakaivo. Vertailussa (taulukko 3) huomattiin, että ostoenergian määrä lämpöpumpulle on huomattavasti pienempi, kuin mitä se on ollut käyttöveden ja lämmityksen osalta (taulukko 1).

TAULUKKO 3. Lämpöpumpuilla saavutettava energiansäästö

Lämpöpumppu	Lämmönlähde	Liuok- sen lämpö- tila	Alkuperäi- nen kulutus	Energian- säästö
		°C	%	%
NIBE F1345-30	LTO-Verkko	29,3	100 %	74 %
NIBE F1145-17	LTO-Verkko	29,3	100 %	81 %
NIBE F1345-30	Porakaivo	0	100 %	70 %

Muita energiansäästökohteita kohteessa olisi jäteveden lämmöntalteenotto ja oviaukkojen suojaus. Jäteveden talteenotossa ongelmana on pesuhallin jäteveden luonne. Tämä johtuu siitä, että tilakäyttäjien ajoneuvoista irtoaa hyvin paljon irtosoraa ja muuta jätettä, joka todennäköisesti tukkii jätevedentalteenottolaitteen hyvinkin nopeasti. Tilan satunnainen käyttö voi koitua myös ongelmaksi, koska viemärin läpi kulkeva vesimäärä on todennäköisesti liian pieni lämmöntalteenottotarkoitukseen.

4.2.2 Oviaukot

Oviaukkojen osalta hyvä tilanne on se, että ne eivät koskaan ole samanaikaisesti auki. Lisäksi niitä avataan suhteessa harvoin ja ne ovat kerrallaan vain lyhyen aikaa auki. Oviaukkojen paremmalla suojauksella olisi kuitenkin mahdollista päästä 10–15 % säästöihin oviaukkojen aiheuttamissa lämpöhäviöissä. Liitteen 1 ovien mitattujen neutraalitasojen ja painesuhteiden avulla lasketut oviaukon lämpöhäviöt ovat esitettynä excel-laskennalla (taulukko 4). Siihen on myös laskettu vertailuksi oviaukon pienentämisen vaikutus oviaukkojen lämpöhäviöön. Laskenta on mietitty, kuinka paljon yhden asiakkaan käynti tuottaa oviaukoissa lämpöhäviötä. Taulukon 4 laskennat on suoritettu kaavojen 1, 2 ja 3 avulla. Käyttöasteen vuoksi ilmaverhohupaltimet olisivat investointina liian suurien tulojen perustelluksi vaihtoehdoksi.

TAULUKKO 4. Oviaukkojen lämpöhäviöt

Tunnus	Kuvaus	Tu = - 29	Yk- sikkö	Tu +4
Nurmontien pääty	OVIUKON LÄMPÖ- HÄVIÖ	816	kW	118
Tuotantolaitoksen pääty	OVIUKON LÄMPÖ- HÄVIÖ	816	kW	187
<i>Oviaukon koon pienentäminen 63 %:lla muoviliuskoilla</i>				
Nurmontien pääty	OVIUKON LÄMPÖ- HÄVIÖ	612	kW	89
Tuotantolaitoksen pääty	OVIUKON LÄMPÖ- HÄVIÖ	612	kW	140
Säästö oviaukon pienentämisellä		409	kW	77
Suhteellinen säästö		25 %		25%
Oviaukot yhteensä 5 min auki. Säästö kilowattintunteina		34	kWh	6

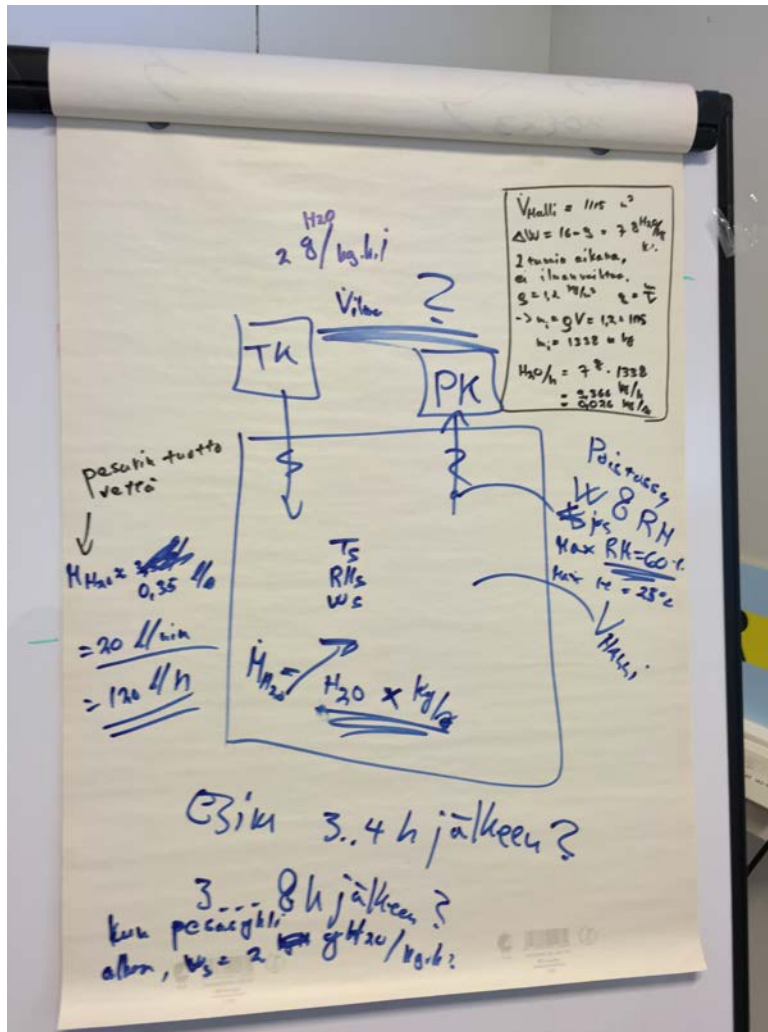
4.3 Saneerausvaihtoehdot

4.3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon mitoitusta kohteeseen pohdiskeltiin asiantuntijahaastattelussa Retermia Oy:n toimitusjohtajan, Markus Castrénin kanssa. Haastattelussa tuli ilmi, että kosteuden poisto on tässä tapauksessa tärkein mitoituskriteeri. Ilmanvaihdon mitoittaminen kattamaan hetkittäisen kosteuskuorman kokonaan sisäilman kosteuden ja lämpötilan muutokset estäen olisi kasvattanut ilmavirtoja huomattavasti. Koneiden mitoitus pyrittiin suorittamaan siten, että tavoitearvot sisäilman kosteuksien osalta saavutettaisiin tietyn ajan päästä käytön loppumisesta. (Castrén 2016.)

Kuivaustavaksi päätettiin ilman vaihtuvuuden sekä tulo- ja poistoilman kosteuserojen hyödyntäminen. Tässä tapauksessa ilman kierrättäminen kuivauspatterin läpi olisi ollut tilan luonteen vuoksi tarpeetonta. Haastattelussa käytiin läpi tilassa tapahtuvaa prosessia pesun aikana, jonka pohjalta pyrittiin selvittämään pesuhallissa tapahtuvia asioita (kuva 7). Hahmottamista helpotti se, että mittauksen aikana poistopuhaltimet eivät olleet päällä (liite 1). Sisäilman kosteuden nousun avulla arvioitiin pesun aikana sisäilmaan tulevan

kosteuskuorman määrä. Ilmanvaihtokoneiden mitoitus suoritettiin, kun mitoitusilmavirrat oli saatu selvitettyä (liite 2). (Castrén 2016.)



KUVA 7. Pohdiskelua kohteen prosessista (Kuva: Ville Nykänen 2016)

Kohteen ilmavirtojen mitoitusta lähdettiin selvittämään pohtien, minkä ajan kuluttua pesuhallin sisäilma on palautunut tavoitetasoon tietyllä ilmavirralla. Laskelman tarkoitus oli ratkaista, kuinka kauan ilmanvaihtojärjestelmällä kestää palauttaa sisäilma tilanteeseen, jossa sisäilma oli ennen kuin pesu aloitettiin. Laskelmat tästä tehtiin kaavoilla 8, 9 ja 10. Näiden pohjalta suoritettiin excel-laskenta ajan suhteen ja tavoitteena oli selvittää pienin mahdollinen ilmanvaihtojärjestelmän maksimi-ilmamäärä. Painepesurin vedentuotosta huomioitiin, että 10 prosenttia siirtyy höyrynä ilmaan ja tämä höyrynä tilaan siirtynyt määrä laskettiin taulukkolaskennassa kaavalla 8.

$$\Delta x = \left(\frac{x_s - x_u}{1000} \right) * \Delta t * 60s * Q_{v,i} * \rho_i \quad (8)$$

Jossa,	Δx	= kuivausefekti (kg)
	x_s	= poistoilman vesisisältö (g/kg)
	x_u	= tuloilman vesisisältö (g/kg)
	Δt	= aikajakso (15 min)
	ρ_i	= ilman tiheys ($1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Painepesusta ilmaan siirtyvä vesimassa.

$$Q_{m,vh} = \Delta t * 60s * (Q_{m,pp} * 0,1) \quad (9)$$

Jossa,	$Q_{m,vh}$	= Pesusta siirtynyt vesimäärä ilmaan (kg)
	$Q_{m,pp}$	= Painepesurin tilavuusvirta (kg/s)

Kaavoista h ja i laskettiin niiden erotus jolloin kaavasta j nähdään, että kostuuko vai kuivuuko sisäilma.

$$Tase = Q_{m,vh} - \Delta x \quad (10)$$

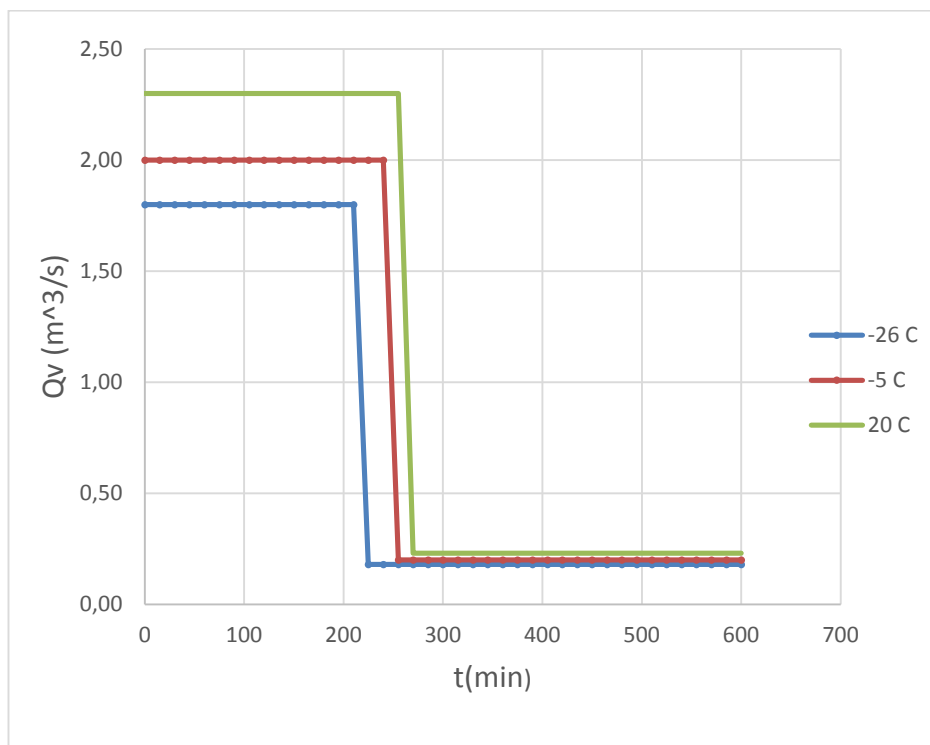
Jossa,	$Tase$	= Veden määrä sisäilmassa (kg)
--------	--------	------------------------------------

Näiden kaavojen mukaan saatiin tulokseksi, että pesun aikainen vesimäärä oli poistettu tilasta aikaväleillä 190, 420 ja 585 min, kun tarkastelun ulkolämpötiloiksi oli valittuna $-26 \text{ }^\circ\text{C}$, $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ (liite 2). Laskentaan vaikutti tuloilman absoluuttinen kosteus. Sisäilmalla on asetettu tavoitetasot eri ulkolämpötilojen mukaan (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Sisäilman tavoitetasot eri ulkolämpötiloilla

T_u	T_s	RH_s	x_s
$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	%	g/kg
-26	+15	70	7,41
-5	+15	70	7,41
+20	+20	70	10,21

Taulukkolaskennan avulla selvitetiin mitoitusilmavirrat tulo- ja poistoilmalle sekä haarukoitiin käyntiaikoja energiatehokkuuden parantamiseksi (liite 2). Näistä muodostettiin kuvaaja. Tämä kuvaaja esittää tarvittavan maksimi-ilmavirran käyntiajan siihen, kunnes sisäilman kosteus on palautunut tavoitetasoon (kuvaaja 1). Kuvaajan 1 perusteella ilmanvaihtokoneiden mitoittavaksi ilmavirraksi valittiin $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$.



KUVAAJA 1. Ilmanvaihtojärjestelmän maksimi-ilmavirta ja käyntiaika

Retermia Oy tarjosi valmista kokonaisratkaisua kohteeseen ilmanvaihdon osalta. He ovat kehittäneet LTO-huippuimuriratkaisun, joka hyödyntää heidän patentoimaansa neulaputkipatteriratkaisua. Tämän lisäksi he ovat lanseeranneet uuden MINEX OUT tuloilmakoneen, joka on erityisesti suunniteltu ulkoasennusta vaativiin kohteisiin. Heidän tarjoamaansa ratkaisuun kuuluu ulkoasenteinen LTO-huippuimuri ja ulkoasenteinen MINEX OUT-tuloilmakone. Tulo- ja poistoilmakoneille suoritettiin mitoitusajot (liite 3).

Toinen vaihtoehto ilmanvaihdon toteutukseen kohteeseen olisi valmistaa siirrettävä konehuone, jonka pystyisi sijoittamaan rakennuksen katolle. Tämä ratkaisu on kuitenkin huomattavasti kuormittavampi rakennuksen rakenteille, sillä konehuone on painava ja paino jakautuisi tällöin pienemmälle alueelle. Vastaavanlainen siirrettävä konehuone olisi mahdollista tehdä ja sijoittaa se maan tasalle, mikäli rakenteiden todettaisiin olevan liian heikkoja. Samaan tilaan voisi asentaa myös lämmitysjärjestelmän komponentit.

Ilmanjaon tuottaminen kohteeseen tapahtuu kahdelta sivulta seinän viertä puhaltaen alilämpöistä ilmaa kovalla nopeudella oleskeluvyöhykkeelle. Ilman kova virtausnopeus oleskeluvyöhykkeelle voidaan tässä tapauksessa sallia, koska käyttäjät ovat aina pukeutuneina työvaatteisiin. Lisäksi tilassa vietetty aika on niin vähäinen, ettei vedon tunne ehdi vaikuttamaan.

Pesuhallissa pyritään hyödyntämään syrjäyttävää ja kerrostavaa ilmanjakotapaa. Alilämpöinen ja kuiva ilma tuodaan oleskeluvyöhykkeelle seinää pitkin samalla kuivaten seinän pintaa. Tällöin tuloilma työntää vastaavasti lämmintä ja kosteaa sisäilmaa ylöspäin kohti kattoa ja poistoilmalaitteita. Tämä kerrostaa lämpimän ja kostean ilman katonrajaan, josta se siirtyy poistoilmakoneen kautta ulkoilmaan. Esimerkki ilmanjaosta ja kanavasijoittelusta löytyy liitteestä 4 ja tuloilman päätelaitteesta (kuva 8).



KUVA 8. Tuloilman päätelaite.

Ilmanjaossa tuloilmalaitteilla on suurin merkitys ilmanjaon onnistumisen kannalta. Markkinoilta ei suoraan löydy tähän tarkoitukseen tehtyjä päätelaitteita, joten mittatilaustyönä valmistettu päätelaite oikein mitoitettulla rakopuhalluksella toimii tässä tapauksessa parhaiten. Päätelaitteita on ajateltu sijoitettavan jokaiseen haaraan neljä kappaletta. Kyseiset laitteet ovat 2000 mm pitkiä rakopäätelaitteita, joiden puhallusraon mitoitus on laskettu kaavalla 11 (Kosonen 2014, Sekoittavan ilmanjaon perusteet, 266).

$$\frac{v_x}{v_0} = m * \sqrt{\frac{h}{x}} * k_{sf} * k_{ji} \quad (11)$$

Jossa,	v_x	= suihkun liikeradan nopeus kohdassa x, (m/s)
	v_0	= Suihkun lähtönopeus (m/s)
	x	= Tarkastelupisteen etäisyys (m)
	h	= Puhallusraon korkeus (m)
	m	= Heittopituuskerroin
	k_{sf}	= Seinä- tai kattopinnan vaikutuskerroin
	k_{ji}	= Samansuuntaisten tuloilmavirtojen yhteisvai- kutuserroin

Kaavasta 11 ratkaistiin suihkun lähtönopeus v_0 . Tämän perusteella laskettiin yhden päätelaitteen tilavuusvirran $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$ avulla tarvittava otsapinta-ala ja puhallusraon leveys kaavalla 12.

$$Q_v = v_x * A_0 \quad (12)$$

Jossa,	A_0	= Puhallusraon pinta-ala (m^2)
--------	-------	---

Pesuaineet ja jatkuvasti kosteat olosuhteet syövyttävät terästä ja galvanoitua terästä huomattavan nopeasti. Tämän vuoksi ilmanvaihtojärjestelmän kanaviston materiaalina kannattaisi käyttää ruostumatonta terästä.

Ilmanvaihdon osalta energiansäästöpotentiaalia tässä tapauksessa ei voida arvioida, koska ilmanvaihtojärjestelmän päivitys kohteeseen on enemmän olosuhteisiin, kuin energiansäästöön liittyvää. Luonnollisesti tavoitteena on saada uudesta ilmanvaihtojärjestelmästä mahdollisimman energiatehokas ja minimoida tuloilman lämmityksen ostoenergian määrä tehokkaalla LTO-ratkaisulla.

5 TULOKSET

Energiansäästön kannalta jakeluautopesulan saneeraaminen on kannattavaa, sillä lämmitysjärjestelmän säästöpotentiaali voidaan toteuttaa. Toimivan ilmanvaihtojärjestelmän toteuttaminen parantaisi huomattavasti autonkuljettajien oloja heidän pestessään ajoneuvojaan. Mikäli olosuhdekehitys olisi suuri, voisi pesuhallin käyttöaste kasvaa. Näin ollen veden ja kokonaisenergiankulutus kasvaa, mutta investoinnin kannattavuus paranee.

Suurin haaste saneerausta ajatellen olisi LTO-verkon putkien tuominen kohteeseen, mikäli päädyttäisiin LTO-verkon hyödyntämiseen. LTO-putket täytyisi viedä viereisen rakennuksen seinää pitkin alas maahan ja kaivaa ne maan sisään samaan kohtaan kuin vanhat kaukolämpöverkon putket. Kaivuun aikana haasteena on kyseisen kohdan suuri liikennemäärä. Myös tien vieressä sijaitseva kallio aiheuttaisi omat ongelmansa; putkien kuljettamisen yhteydessä jouduttaisiin todennäköisesti louhimaan, jottei niille käy samalla tavalla, kuin alkuperäisille kaukolämpöputkille.

Toinen vaihtoehto on ilmasillan rakentaminen viereisestä rakennuksesta, jolloin LTO-verkon putket voisi tuoda pesulaan sillan avulla. Samalla kannattaisi myös uusia pesulan vesijohto, koska sen käyttöikä alkaa olla ikänsä puolesta lopussa. Uusimista puoltaa myös vesijohdon sijainti kaukolämpöputkien kanssa samassa kaivannossa tien alla.

Kustannusarvioita kohteesta saatiin eri urakoitsijoilta järjestelmäkohtaisesti. Ilmanvaihdon kustannusarviota tiedusteltiin. Huomioitavaa on, että kustannusarviot ovat suuntaantavia. Kustannusarviot ovat esitettyinä taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kustannusarviot järjestelmittäin

Ilmanvaihto	53 800,00 €
Lämmitysjärjestelmä	28 605,00 €
Automaatio	6 000,00 €
Yhteensä	88 405,00 €

Taulukon 6 kustannusarviot ilmanvaihdon osalta ovat laskettu liitteen 3 ilmanvaihdon tulo- ja poistokoneella sisältäen kanavoinnin, päätelaitteet ja eristykset. Lämmitysjärjes-

telmän osalta arvio sisältää NIBE F1145-17 maalämpöpumpun, VPB-1000 lämminvesivaraajan, UKV-300 puskurivaraajan, modbus-40 automaatioliitännän sekä putkistot ja asennukset.

5.1 Lämmitysjärjestelmät

Lämmitysjärjestelmäksi kohteeseen olisi järkevintä asettaa lämpöpumppu, joka hyödyntää lämmönlähteenä LTO-verkon nestettä. Taulukosta 3 voidaan nähdä, että energiansäästöt kyseisellä järjestelmällä ovat huomattavat. Asennusten jälkeen myös lämpöpumpujärjestelmän huoltokustannukset ovat matalat. Lämmityksen osalta ei ole suositeltavaa muuttaa olemassa olevaa järjestelmää. Parempi ratkaisu onkin vaihtaa vanhat laitteet sellaisiin uusiin kiertoilmapuhaltimiin, joissa on vahvempi suojausluokka ja hieman enemmän lämmitystehoa.

Lämpöpumppu yhdistettynä lämmityksen puskuri- ja lämminvesivaraajaan takaa järjestelmän toiminnan, koska järjestelmätilavuus kasvaa ja lämpöpumpun käyntiajat pitenevät. Näin ollen myös pumpun odotettu käyttöikä kasvaa. Pesuhallin LVI-järjestelmän mahdollisesta uudesta järjestelmästä on muodostettu periaatteellinen kaavio (liite 5).

5.2 Ilmanvaihto

Lopputuloksena ilmanvaihdon osalta on järkevää toteuttaa hajautettu tulo- ja poistojärjestelmä nestekiertoisella lämmöntalteenotolla. Tähän järjestelmään on jo ennestään käytetty ulkoasenteisia koneita, joten ilmanvaihtokoneet voidaan sijoittaa rakennuksen katolle. Katolla ne ovat sisätilaan verrattuna hyvissä olosuhteissa ja lisäksi siellä niitä on helppo huoltaa asianmukaisten huoltotasojen päältä. Kanaviston rakentaminen on myös vesikatolta käsin nopea prosessi niiden eristysten pellityksien tarpeesta huolimatta.

Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän ilmanvaihtojärjestelmässä on lämmityspatterille laskettu koneajossa -10 °C limitys. Patteriin saapuvan liuoksen lämpötilaksi on puolestaan laskettu mitoitussulkolämpötilassa $39,4\text{ °C}$. (liite 3.) Lauhdelämpöverkon nesteen lämpötilaksi saatiin $+32\text{ °C}$ mitoitussulkolämpötilassa (kuva 2). Tämän vuoksi kan-

nattaisi harkita lämmityspatterin käyttävän ainoastaan lauhdelämpöverkon nestettä suoraan tuloilman lämmitykseen. Tällöin tuloilman lämpötila saattaa tippua huippupakkasilla alle suunnitellun $+15\text{ °C}$:een. Kovia pakkaspäiviä on kuitenkin vuodessa hyvin vähän, joten tuloilman lämmitykseen kuluu ainoastaan nestettä pumppaavan pumpun kuluttama energia. Jäätymisenesto kyetään toteuttamaan automatiikan avulla, joten limitystä ei tarvitsisi huomioida. Suositeltavaa on kuitenkin suorittaa tuloilmakoneen lämmityspatterin mitoitus uudelleen.

6 POHDINTA

Jakeluautopesulan suoran sähkölämmityksen käyttö voidaan tämän työn perusteella todeta kannattomaksi. Lämmitysjärjestelmän päivittäminen esimerkiksi porakaivoa hyödyntävään maalämpöpumppuun tuottaisi suuret energiansäästöt lähtötilanteeseen verrattuna. Suosittelisin kuitenkin hyödyntämään LTO-verkosta kohteessa, mikäli putkitusten tuominen ei käy kohtuuttoman kalliiksi. Takaisinmaksuaika määräytyy lopullisten saneeraus- ja tilaajan energiahinnan perusteella. Ilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen tilaan tulisi parantamaan olosuhteita sisätiloissa, mikä taas toivottavasti lisäisi jakeluautopesulan käyttöä sekä sen rakenteiden ikää.

Tulevaisuuden ennakoiminen energiasäädöksiä takia on merkittävä, vaikka jakeluautopesulan energiankulutus on vain murto-osa koko Nurmon tuotantolaitoksen kulutuksesta. Jatkuvasti tiukentuvat energiamääräykset koskevat niin yksityishenkilöitä kuin suuria teollisuuslaitoksiakin. Tulevaisuudessa teollisuuslaitosten osalta joudutaan todennäköisesti huomioimaan myös useita pieniä energiankulutuksen kohteita. Tämän vuoksi jatkossa tullaan todennäköisesti huomioimaan myös ydinprosesseja tukevien toimien energiankulutuksia.

Työssä suoritettu energiaselvitys on kokonaisuudessaan luotettava, sillä kaikki lähtöarvot ovat mitattuja. Kuukausi- ja laitekohtaisten laskelmien paikkansapitävyyttä voi kuitenkin kyseenalaistaa, koska tarkkojen käyttöaikojen selvittäminen ei ole täysin yksioikoista. Kaikkia nykyisiä LVI-järjestelmän laitteita ei välttämättä ole käytetty kuten on suunniteltu. Mielestäni kuitenkin painepesurin tilavuusvirran ja kokonaisvedenkulutuksen avulla tuotetut arviot ovat tarpeeksi lähellä totuutta. Työssä esiintyvät laitemitoitukset ovat mielestäni myös luotettavia, koska ne on laadittu yhteistyössä alan ammattilaisten kanssa. Lopputuloksena todettakoon, että suurimmat säästön kohteet ovat samat kuin alun perin arvioitiin.

LTO-verkoston yhdistäminen lämpöpumpputekniikkaan on aihealue, jota voitaisiin mahdollisesti soveltaa laajemmassa mittakaavassa tilaajan osalta. Yleisesti ottaen kaikki, mitä joudutaan lauhduttamaan ulkoilmaan, on hukkaan heitettyä rahaa ja lämpöenergiaa. Jatkotutkimuksena kohteesta voisi ehdottomasti olla virtausmallinnusten suorittaminen tilaan, jotta todella kyettäisiin selvittämään tuloilman lämpötilan ja ilmanjaon vaikutuksia

ilman kerrostumiseen tilassa. Tutkimuksessa olisi tärkeää selvittää, miten tuloilmasuihkut käyttäytyvät tilan ollessa tyhjä. Siinä voisi selvittää myös pesutilanteen talvella, kun tilassa on 40 tonnia pakkasella olevaa terästä. Toisena jatkotutkimuskohteena voisi myös olla ilmanvaihdon vaikutus betonirakenteen kuivumiseen. Etenkin betonipinnan huuhtelua tuloilmalla voisi jatkotutkimuksessa selvittää.

LÄHTEET

Castrén, M. diplomi-insinööri. 2016. Haastattelu 15.1.2016. Haastattelija Nykänen, V. Heinola. Retermia Oy toimitilat.

IV-Produkt Oy:n opas. Tekniikka & järjestelmät. N/D. Tampere: Intervent Oy.

Kosonen, R. 2014. Sekoittavan ilmanjaon perusteet. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy

Kosonen, R & Sandberg, E. 2014. Ilmanjakomenetelmän valinta. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Kosonen, R & Sandberg, E. 2014. Päätelaitteet ja huonelaitteet. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Kummu, J. koulutus- ja tuotepäällikkö. 2016. Haastattelu 22.1.2016. Haastattelija Nykänen, V. Tampere.

Motivan kotisivut. Lämpöpumput. Luettu 24.2.2016.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput

Pemcon kotisivut. Teollisuuslämpöpumput. Luettu 18.3.2016.
http://www.pemco.fi/09/download/esitteet/Pemco_esite_Lampopumppu_2013.pdf

Pihlajamaa, P & Sandberg, E. 2014. Johdanto. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, E. 2014. Kosteus ilmassa. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, E & Ripatti, H. 2014. Ilmanvaihtojärjestelmät. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo: LVI-kustannus Oy.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. päivitetty painos. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Valkeapää, A. 2014. Teollisuushallien oviaukot ja ilmaverhot. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

LIITTEET

Liite 1. Mittauspöytäkirja 9.12.2015

MITTAUSPÖYTÄKIRJA			
Ville Nykänen			9.12.2015
Atria Oyj, Nurmon tuotantolaitos, Jakeluautopesula			
	Tuotannon pääty	nurmon tien pääty	
Paine- erooven yli lattian tasolla (ovi kiinni)	-1	-5	Pa
Paine-ero oven yli lattian tasolla (ovi auki)	0	0	
Sisäilman kosteus pesutilanteessa	99 / 15,89		rh / x
Sisäilman kosteus odotustilanteessa	75 / 8,94		
Sisäilman lämpötila pesutilanteessa	21,4		°C
Sisäilman lämpötila odotustilanteessa	16,8		
Oviaukon neutraalitaso (ovi kiinni)	0	0	m
Oviaukon neutraalitaso (ovi auki)	2,7	1,8	
Ulkolämpötila	4		°C
rh	100		%
Ilmanpaine	1003		hPa
Mittalaitteet			
Rullamitta 5 m			
Painemittari	TSI Velocicalc 9555-P		
Savukynä			
Kosteus & lämpötilamittari	testo 410-2		

Liite 2. Ilmanvaihdon kuivausefekti ajan suhteen

1(4)

t	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
qv	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Painepesurin vedentuotto	0,00	31,50	31,50	31,50	31,50	31,50	31,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kuivausefekti	0,00	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76	13,76
Tase	0,00	17,74	17,74	17,74	17,74	17,74	17,74	92,66	78,89	65,13	51,36	37,60	23,84
Tiltaan tulut vesimassa ilmaan													
													106,42 kg
m.k.i	1338 kg												
Tu	-26	Xu											
RH,u	95 %		m.v.max	14,24 kg									
Il_ex								15 C					
rh								70 %					
x										7,41 g/kg			
Sisäilman t													

t	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
qv	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Painepesurin vedentuotto	0,00	31,50	31,50	31,50	31,50	31,50	31,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kuivausefekti	0,00	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27
Tase	0,00	19,23	19,23	19,23	19,23	19,23	19,23	103,12	90,85	78,58	66,31	54,04	41,77
Tiltaan tulut vesimassa ilmaan													
													115,39 kg
m.k.i	1338 kg												
Tu	-5 C	Xu											
RH,u	70 %		m.v.max	14,24 kg									
Il_ex								15 C					
rh								70 %					
x										7,41 g/kg			
Sisäilman t													

t	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
qv	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
Painepesurin vedentuotto	0,00	31,50	31,50	31,50	31,50	31,50	31,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kuivausefekti	0,00	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98
Tase	0,00	20,52	20,52	20,52	20,52	20,52	20,52	104,41	93,43	82,45	71,47	60,49	49,51
Tiltaan tulut vesimassa ilmaan													
													123,12 kg
m.k.i	1338 kg												
Tu	20 C	Xu											
RH,u	40 %		m.v.max	19,66 kg									
Il_ex								20 C					
rh								70 %					
x										10,21 g/kg			
Sisäilman t													

1(4)

(jatkuu)

avointen 15/70

	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	435	450	
qv---->	1,80	1,80	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	13,76	13,76	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
	10,07	-3,69	-5,07	-6,44	-7,82	-9,19	-10,57	-11,95	-13,32	-14,70	-16,08	-17,45	-18,83	-20,21	-21,58	-22,96	-24,33	-25,71	

avointen 15/70

	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	435	450	
qv---->	2,00	2,00	2,00	2,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	12,27	12,27	12,27	12,27	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
	29,51	17,24	4,97	-7,30	-8,53	-9,75	-10,98	-12,21	-13,44	-14,66	-15,89	-17,12	-18,34	-19,57	-20,80	-22,02	-23,25	-24,48	

avointen 20/70

	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	435	450	
qv---->	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
	38,53	27,55	16,57	5,59	-5,38	-6,48	-7,58	-8,68	-9,78	-10,87	-11,97	-13,07	-14,17	-15,27	-16,36	-17,46	-18,56	-19,66	

8H

465	480	495	510	525	540	555	570	585	600	615	630	645	660	675	690	705	720
0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
-27.09	-28.46	-29.84	-31.22	-32.59	-33.97	-35.35	-36.72	-38.10	-39.47	-40.85	-42.23	-43.60	-44.98	-46.36	-47.73	-49.11	-50.49

8H

465	480	495	510	525	540	555	570	585	600	615	630	645	660	675	690	705	720
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
-25.70	-26.93	-28.16	-29.38	-30.61	-31.84	-33.07	-34.29	-35.52	-36.75	-37.97	-39.20	-40.43	-41.65	-42.88	-44.11	-45.33	-46.56

8H

465	480	495	510	525	540	555	570	585	600	615	630	645	660	675	690	705	720
0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
-20.76	-21.85	-22.95	-24.05	-25.15	-26.25	-27.34	-28.44	-29.54	-30.64	-31.74	-32.83	-33.93	-35.03	-36.13	-37.22	-38.32	-39.42

735	750	765	780	795	810	825	840	855	870	885	900	915	930	945	960	975
0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
-51.86	-53.24	-54.61	-55.99	-57.37	-58.74	-60.12	-61.50	-62.87	-64.25	-65.63	-67.00	-68.38	-69.75	-71.13	-72.51	

735	750	765	780	795	810	825	840	855	870	885	900	915	930	945	960	975
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
-47.79	-49.01	-50.24	-51.47	-52.70	-53.92	-55.15	-56.38	-57.60	-58.83	-60.06	-61.28	-62.51	-63.74	-64.96	-66.19	

735	750	765	780	795	810	825	840	855	870	885	900	915	930	945	960	975
0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
-40.52	-41.62	-42.71	-43.81	-44.91	-46.01	-47.11	-48.20	-49.30	-50.40	-51.50	-52.60	-53.69	-54.79	-55.89	-56.99	

Liite.3 Retermia koneajot

1(9)

RETERMIA	Projektin nimi:	Atria Pesuhalli
MINEX OUT	Projekti ID:	FIN2016-0008
	LVI-suunnittelu:	TAMK / Ville Nykänen
	Kontaktihenkilö:	Markus Castrén
	8.2.2016	

MINEX OUT, konekoko 1

Ilman tiheys			1,2	kg/m ³						
IV- järjestelmän SFP- luku			1,04	kW/(m ³ /s)						
Tulokone	MINEX OUT, konekoko		1							
	Ilmavirta		2,20	m ³ /s						
	SFP		0,61	kW/(m ³ /s)						
	Kanaviston painehäviö, pst		300	Pa						
Poistokone(et)	Ilmavirta		2,20	m ³ /s						
	SFP		0,43	kW/(m ³ /s)						
Ulkoilma	Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	27,0 C /	50,1	%						
	Entalpia kesällä		55,2	kJ/kgK						
	Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	-29,0 C /	245,0	%						
	Entalpia talvella		-27,2	kJ/kgK						
Tuloilma	Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	15,0 C /	92,4	%						
	Entalpia kesällä		39,6	kJ/kgK						
	Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	18,0 C /	4,8	%						
	Entalpia talvella		19,6	kJ/kgK						
Poistoilma	Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	18,0 C /	39,4	%						
	Entalpia		30,8	kJ/kgK						
Äänen tehotaso	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz	
Ulkoilmaan	70	73	72	71	66	63	60	60	dB	72 dB(A)
Tuloilmakanavaan	57	59	47	33	29	20	20	34	dB	45 dB(A)
Ympäristöön, tulopuhallin	65	71	54	46	47	42	39	31	dB	56 dB(A)
Ympäristöön, yhteisvaikutus	65	71	54	46	47	42	39	31	dB	56 dB(A)

RETERMIA
MINEX OUT

Projektin nimi: Atria Pesuhalli
Projekti ID: FIN2016-0008
LVI-suunnittelu: TAMK / Ville Nykänen
Kontaktihenkilö: Markus Castrén
2016-02-08

MINEX OUT, konekoko

1

LTO- järjestelmä, tiivistelmä

Positio	TKx / LTO	
Lämpöteho	85,3	kW
Ilman tilavuusvirta	2,20	m ³ /s
Ilmapuolen painehäviö mitoitusilmavirralla	49	Pa
Ilman tulolämpötila	-29,0	C
Ilman lähtölämpötila	2,5	C
Nesteen massavirta	0,90	kg/s
Neulalämmönsiirtimistä aiheutuva paineenkorotustarve pumpulle	78	kPa
Nesteen tulolämpötila	9,5	C
Nesteen lähtölämpötila	-17,2	C
LS-neste:	35 %	Etyleeniglykoli

Suodatustoiminto

Suodatinluokka (EN779:2012)	Ecopleat Green GPA	
Suodatinmateriaali	F7	
Suodattimen runko	Lasikuitu Muovi	
Suodattimen nimelliskoko ja lukumäärä		
592 x 592 x 48	5	
592 x 287 x 48	1	
287 x 287 x 48	0	
Nopeus suodatinmateriaalin läpi	0,07	m/s
Mitoituspainehäviö	74	Pa
Alkupainehäviö	49	Pa
Loppupainehäviö	99	Pa
Suodattimet suositellaan vaihdettaviksi 1 krt / vuosi vaikka loppupainehäviötä ei olisi saavutettu.		

RETERMIA
MINEX OUT

Projektin nimi: Atria Pesuhalli
Projekti ID: FIN2016-0008
LVI-suunnittelu: TAMK / Ville Nykänen
Kontaktihenkilö: Markus Castrén
2016-02-08

MINEX OUT, konekoko

1

Lämmityspatteri

Positio	TKx / LTO		
Lämpöteho	69,2		kW
Ilmapuolen painehäviö mitoitusilmavirralla	35		Pa
Nestepuolen painehäviö	13,8		kPa
Neulaputkimäärä	80		m
Rivisyys	2		
Lähtöjen lukumäärä	16		
Pass	2		
Neulaputki	2,5	m	AI / AI
Patterin vesitulavuus	12	dm ³	
Otsapintanopeus	1,44	m/s	
Ilman tulolämpötila	-7,5	C	
Ilman lähtölämpötila	18,0	C	
Tulevan ilman vesisisältö	0,6	g H ₂ O / kg kuivaa ilmaa	
Poistuvan ilman vesisisältö	0,6	g H ₂ O / kg kuivaa ilmaa	
Nesteen massavirta	1,00	kg/s	
Nesteen virtausnopeus	0,45	m/s	
Nesteen tulolämpötila	39,4	C	
Nesteen lähtölämpötila	20,5	C	
DN	DN50/54		
LS-neste:	35 %		Etyleeniglykoli
Kinemaattinen viskositeetti	0,8		m ² /s E-6
Tiheys	1041,2		kg/m ³
Ominaislämpökapasiteetti	3,7		kJ/kgC
Lämmönjohtavuus	0,5		W/mC
Jäätymispiste	-18,9		C

T3.

RETERMIA
MINEX OUT

Projektin nimi: Atria Pesuhalli
Projekti ID: FIN2016-0008
LVI-suunnittelu: TAMK / Ville Nykänen
Kontaktihenkilö: Markus Castrén
8.2.2016

MINEX OUT, konekoko

1

Sulkutoiminto

Painehäviö	1,6	Pa
Toimilaitteen vääntömomentti	15	Nm

Puhallintoiminto

Positio		
SFP	0,61	kW/(m ³ /s)
Puhaltimien ottoteho toimintapisteessä	0,67	kW

Yhden puhaltimen toiminta-arvot

Puhaltimen tyyppi	ER40C-ZID.GG.CR-3.9kW	
Artikkelinumero	114664/A01	
Puhaltimien lukumäärä	2	kpl
Puhaltimen ilmamäärä	1,1	m ³ /s
Staattinen paine	302	Pa
Kokonaispaine	334	Pa
Puhaltimen kokonaishyötysuhde toimintapisteessä	55,1	%
Puhaltimen staattinen kokonaishyötysuhde toimintapisteessä	49,7	%
Puhaltimen pyörimisnopeus toimintapisteessä	1523	1/min
Äänitehotaso imupuolella lineaarinen	76	Lw,5 Db
Äänitehotaso imupuolella A-painotettu	70	Lw(A),5 dB
Äänitehotaso painepuolella lineaarinen	82	Lw,6 dB
Äänitehotaso painepuolella A-painotettu	78	Lw(A),6 dB
Taajuus toimintapisteessä		Hz
Jännite toimintapisteessä	400	V
Virta toimintapisteessä	1,14	A
K-arvo	0,04	m ³ /s
Referenssipaine-ero	661	Pa
Moottori		

Kilpiarvotiedot

Jännitealue	3 ~ 380 - 480	V
Moottorin varmuus	1,3	
Nimellistaajuus	50	Hz
Sähkönsyöttö	3,90	kW
Nimellisvirta	5...6,2	A
Nimellisopeus	2810	1/min
Käyttölämpötila, maks.	55	°C
Suojausluokka	IP54	
Lämpöluokka	THCL155	

RETERMIA
MINEX OUT

Projektin nimi: Atria Pesuhalli
Projekti ID: FIN2016-0008
LVI-suunnittelu: TAMK / Ville Nykänen
Kontaktihenkilö: Markus Castrén
8.2.2016

MINEX OUT, konekoko

1

Äänenvaimennustoiminto

Painehäviö	0								Pa
Vaimenninelementtien pituus	1000								mm
Vaimennusmateriaalin puhdistustettavuus	Kuivapyyhittävä								
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
Äänenvaimennus	14	20	31	43	47	52	49	32	dB

MINEX OUT koneen ulkomitat ja paino

Kokonaispituus	4760	mm
Ilmankäsittelyosan pituus	2060	mm
Puhallinosan pituus	2700	mm
Leveys	2310	mm
Korkeus	850	mm
Koneen kokonaispaino	393	kg
Ilmankäsittelyosan paino	625	kg
Puhallinosan paino	730	kg

Imuosan liitäntäaukon koko

Liitäntäaukon leveys	900	mm
Liitäntäaukon korkeus	655	mm

Puhalliosan liitäntäaukon koko

Liitäntäaukon leveys	900	mm
Liitäntäaukon korkeus	655	mm

Puhallinosan tuloilmakanava liitäntä

Liitäntäaukon leveys	1600	mm
Liitäntäaukon pituus	700	mm
Kanavalähdön suunta	Alas	

Tiivysluokka (EN1886)

Vapaatekstikenttä

RETERMIA
LTO-järjestelmä

Projektin nimi:
Projekti ID:
LVI-suunnittelu:
Kontaktihenkilö:
2016-02-05

Atria Pesuhalli
FIN2016-0008
TAMK / Ville Nykänen
Markus Castrén

ILMA			
	Tuloilma		2,20 m ³ /s
	Poistoilma		2,20 m ³ /s
LS-neste:	35 %	Etyleeniglykoli (Dowcal 100)	0,90 kg/s
Neulaputkimäärä T/P, m		486 m	486 m
Lämpötilasuhde			66,9 %
LTO- piirin lämpöteho			85,3 kW
Neulalämmönsiirtimistä aiheutuva paineenkorotustarve pumpulle			78 kPa
Neulalämmönsiirtimien kokonais nestetilavuus			129 dm ³
Nesteen aineominaisuudet			
Kinemaattinen viskositeetti			5,5 m ² /s E-6
Tiheys			1 054,6 kg/m ³
Ominaislämpökapasiteetti			3,54 kJ/kgC
Lämmönjohtavuus			0,4 W/mC
Jäätymispiste			-18,9 C
Lämpötilat:		Ennen	Jälkeen
Tuloilma		-29,0	2,5 C
Poistoilma		18,0	-6,3 C
Neste tuloilmapatteri		9,5	-17,2 C
Neste poistoilmapatteri		-17,2	9,5 C

RETERMIA
LTO-järjestelmä

Projektin nimi: Atria Pesuhalli
Projekti ID: FIN2016-0008
LVI-suunnittelu: TAMK / Ville Nykänen
Kontaktihenkilö: Markus Castrén
2016-02-05

Tulko C	Ttulo C	Vtulo m ³ /s	Tpoisto C	Vpoisto m ³ /s	T3 C	T4 C	Mneste kg/s	dpneste kPa	Teho kW	ε %
9,7	15,2	2,2	18,0	2,2	16,1	11,6	0,9	78	14,9	66,5
5,0	13,6	2,2	18,0	2,2	15,1	7,9	0,9	78	28,2	66,4
0,0	11,8	2,2	18,0	2,2	13,9	4,1	0,9	78	36,8	65,7
-5,0	10,1	2,2	18,0	2,2	12,9	0,3	0,9	78	46,3	65,8
-10,0	8,7	2,2	18,0	2,2	12,2	-3,4	0,9	78	55,8	66,6
-15,0	7,1	2,2	18,0	2,2	11,6	-7,1	0,9	78	65,2	67,1
-20,0	5,6	2,2	18,0	2,2	10,9	-10,7	0,9	78	74,4	67,3
-25,0	3,9	2,2	18,0	2,2	10,1	-14,3	0,9	78	78,3	67,2
-29,7	2,3	2,2	18,0	2,2	9,4	-17,7	0,9	78	86,8	67,0
-29,0	2,5	2,2	18,0	2,2	9,5	-17,2	0,9	78	85,3	66,9

Tulko=Ulkoilman lämpötila

Ttulo=Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen

Vtulo=Tuloilmavirtaama

Tpoisto=Poistoilman lämpötila

Vpoisto=Poistolmavirtaama

T3=Nesteen tulolämpötila

T4=Nesteen lähtölämpötila

Mneste=Nesteen massavirta

dpneste=Neulalämmönsiirtimistä aiheutuva paineenkorotustarve pumpulle

Teho=Lämpöteho

RETERMIA
LTO-järjestelmä

Projektin nimi:
Projekti ID:
LVI-suunnittelu:
Kontaktihenkilö:
2016-02-05

Atria Pesuhalli
FIN2016-0008
TAMK / Ville Nykänen
Markus Castrén

TULOPATTERIT:

1 laite(tta)

AI / AI

Positio			TKx / LTO	
Tyyppi			MINEX OUT	
Lukumäärä			1	laite(tta)
Lämpöteho			85,3	kW
Ilmapuolen painehäviö mitoitusilmavirralla			49	Pa
Ilmapuolen paineh. ilmavirralla	1,10 m ³ /s		12	Pa
Nestepuolen painehäviö			47	kPa
Patterin leveys			2,310	m
Patterin korkeus			0,850	m
Patterin pituus			2,060	m
Neulaputkimäärä			486	m
Rivisyys			6	
Lähtöjen lukumäärä			18	
Pass			6	
Neulaputki	5,0	4,0	4,50	m
Patterin vesitilavuus			71	dm ³
Ilman tilavuusvirta			2,20	m ³ /s
Otsapintanopeus			0,68	m/s
Ilman tulolämpötila			-29,0	C
Ilman lähtölämpötila			2,5	C
Tulevan ilman vesisisältö			0,8	g H ₂ O / kg kuivaa ilmaa
Poistuvan ilman vesisisältö			0,8	g H ₂ O / kg kuivaa ilmaa
Nesteen massavirta			0,90	kg/s
Nesteen virtausnopeus			0,36	m/s
Nesteen tulolämpötila			9,5	C
Nesteen lähtölämpötila			-17,2	C
Paino			283	kg
Liuoslaippojen sijainti	Alas		Alas	
DN			DN40/42	
Huom!				
Huom2!				
Huom3!				

T3.

RETERMIA
LTO-järjestelmä

Projektin nimi: Atria Pesuhalli
Projekti ID: FIN2016-0008
LVI-suunnittelu: TAMK / Ville Nykänen
Kontaktihenkilö: Markus Castrén
2016-02-05

POISTOPATTERIT:

1 laite(tta)

AI / AI

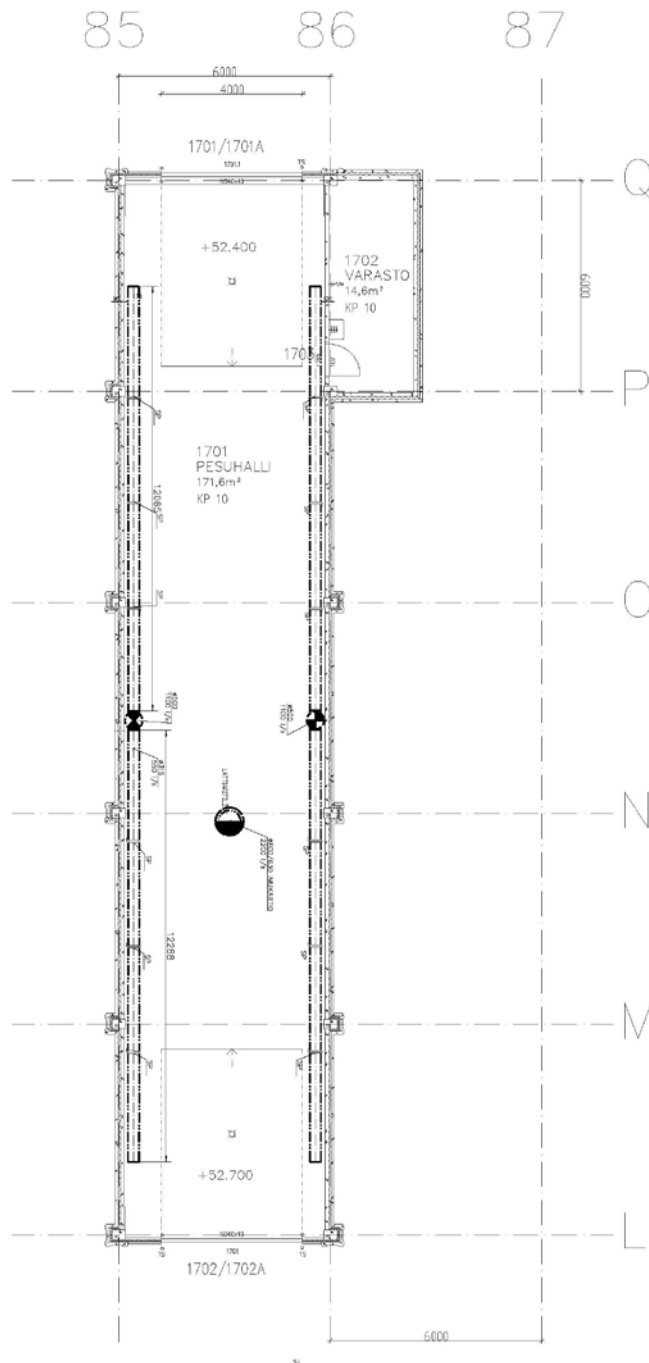
21

			PKx pesuhalli	
			LTO-Huippumuri	
Positio			1	laite(tta)
Tyyppi			85,3	kW
Lukumäärä			54	Pa
Lämpöteho			13	Pa
Ilmapuolen painehäviö mitoitusilmavirralla			47	kPa
Ilmapuolen paineh. ilmavirralla		1,10 m ³ /s	2,100	m
Nestepuolen painehäviö			0,824	m
Patterin leveys			2,200	m
Patterin korkeus			486	m
Patterin pituus			6	
Neulaputkimäärä			18	
Rivisyys			6	
Lähtöjen lukumäärä			4,50	m
Pass			71	dm ²
Neulaputki	4,0	5,0	2,20	m ³ /s
Patterin vesitilavuus			0,71	m/s
Ilman tilavuusvirta			18,0	C
Otsapintanopeus			-6,3	C
Ilman tulolämpötila			5,0	g H ₂ O / kg kuivaa ilmaa
Ilman lähtölämpötila			1,9	g H ₂ O / kg kuivaa ilmaa
Tulevan ilman vesisisältö			0,90	kg/s
Poistuvan ilman vesisisältö			0,36	m/s
Nesteen massavirta			-17,2	C
Nesteen virtausnopeus			9,5	C
Nesteen tulolämpötila			685	kg
Nesteen lähtölämpötila				
Paino				
Liuoslaippojen sijainti	Alas		Alas	
DN			DN40/42	
Huom!				
Huom2!				
Huom3!				
PFx			Eristys 30 mm PUR	
			GR56C-ZID-GG-CR	114656/U01 PA23
			-	-
			-	-

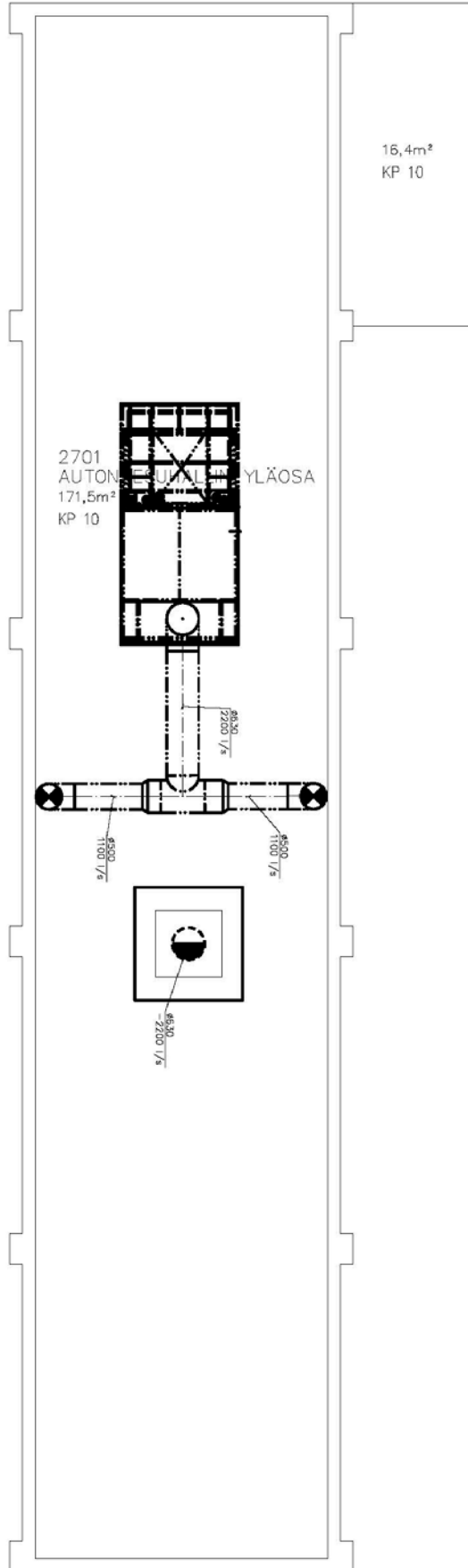
T3. Peltiosat HST, jakotukit ja neulaputket epoxipinnoitettuna.

Liite 4. Ilmanvaihdon tasokuvat

1(2)



(jatkuu)



Liite 5. LVI-Järjestelmän periaatekaavio

