

Riku Sänkiaho

## **TULOILMAN ESILÄMMITYS MAAPIIRILLÄ**

# TULOILMAN ESILÄMMITYS MAAPIIRILLÄ

Riku Sänkiaho  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Riku Sänkiaho  
Opinnäytetyön nimi: Tuloilman esilämmitys maapiirillä  
Työn ohjaaja: Mikko Niskala  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017  
Sivumäärä: 25 + 5 liitettä

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia maapiirin soveltuvuutta tuloilman lämmittämiseen talvisin. Työn tilaaja oli Oulun ammattikorkeakoulu ja kohteena oli Oulun alueelta omakoti- ja jonoasunto, johon on asennettu 150 metrin pituinen maapiiri vaakatasoon noin 1,5 metrin syvyyteen. Lämmönsiirtonesteinä käytettiin 50-prosenttista etyleeniglykoli-vesiliuosta.

Työn alussa tutkittiin lämmönsiirtonesteen ominaisuuksia ja valittiin maapiirin komponentteja, jotka asennettiin tammi-helmikuun välisenä aikana. Asennusten jälkeen mitattiin maapiirin meno- ja paluulämpötiloja sekä ilmanvaihdon tuloilman lämpötiloja esilämmityspatterin molemmin puolin. Mittaustulosten avulla voitiin laskea maapiirin ilmanvaihtoon tuoma lämmitysteho. Mittaukset suoritettiin lämpötila-antureilla, jotka jätettiin mittaamaan ilman ja vesi-glykoliliuoksien lämpötiloja viikon mittaisina jaksoina.

Saatujen tulosten avulla laskettiin esilämmityspatteriin tuodut tehot eri ulkolämpötiloilla ja verrattiin niitä kiertovesipumpun käyttämiin tehoihin. Järjestelmä todettiin hyvin toimivaksi ja energiatehokkaaksi. Käyttökustannuksia arvioitiin ja pohdittiin automaation käyttöä liiallisen jäähdyttämisen estämiseksi. Lopuksi todettiin, että mittauksia tulisi jatkaa jäähdytystehon selvittämiseksi, minkä jälkeen tiedettäisiin tarkemmin turhaan jäähdytykseen kuluvan energian määrä ja voitaisiin verrata sitä automaation asennuskustannuksiin.

---

Asiasanat: maapiiri, maalämpö, ilmanvaihto, esilämmitys, energia

# SISÄLLYS

	TIIVISTELMÄ.....	3
	SISÄLLYS.....	4
1	JOHDANTO .....	5
2	MAALÄMPÖ .....	6
	2.1 Käyttö ilman esilämmityksessä .....	7
	2.2 Maakylmän käyttö maalämmön tukena.....	7
3	ILMANVAIHTO JA ILMASTOINTI.....	8
	3.1 Ilmanvaihtokone .....	8
	3.2 Esilämmityspatteri .....	9
4	KOHTEEN TIEDOT .....	10
	4.1 Lämmönsiirtoneste .....	10
	4.2 Pumppu.....	11
	4.3 Paisuntasäiliö .....	13
	4.4 Varoventtiili.....	14
5	MITTAUKSET .....	15
	5.1 Mittalaitteet.....	15
	5.2 Lämpötilamittaukset .....	15
6	TULOKSET.....	17
7	POHDINTA .....	23
	LÄHTEET.....	24

Liite 1 Kytkenäkaavio

Liite 2 Lämmönsiirtoaineen ominaisuudet CoolPack -ohjelmistosta

Liite 3 Mittaustulokset

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ilmaston tuloilman esilämmitystä maapiirin avulla ja sillä saavutettuja tehoja. Työn tilaaja on Oulun ammattikorkeakoulu. Työn kohteena on oululaiseen omakotitaloon asennettu 150 metrin pituinen maapiiri ja siihen kytketty erillinen tuloilman esilämmitin. Keruupiiri on 40 mm:n paksuista polyeteeniputkea ja sen asennussyvyys on keskimäärin 1,5 metriä. Keruupiirin lämmönsiirtonesteinä käytetään vesi-etyleeniglykoliliuosta.

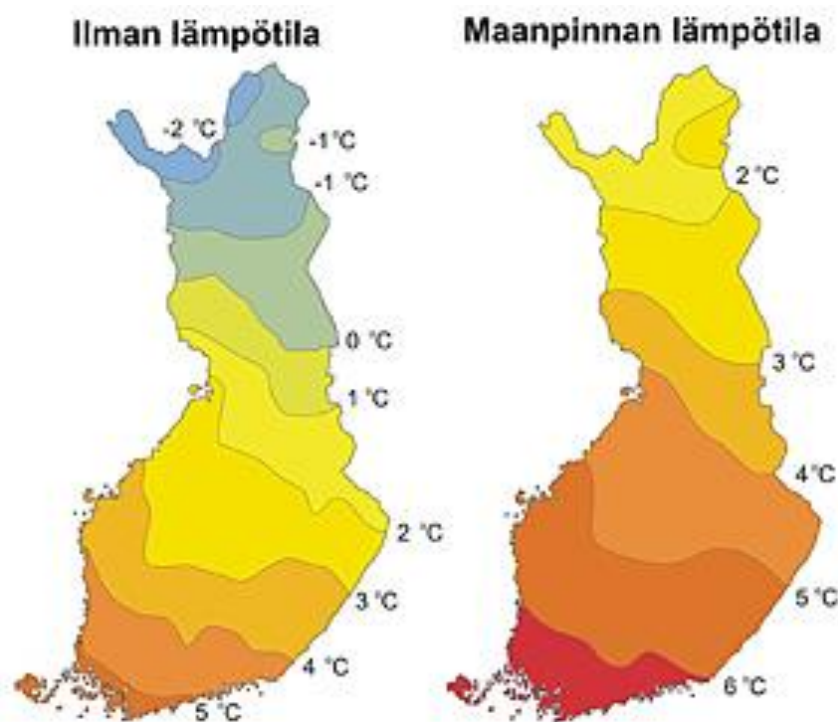
Työn alkuun kuului keskeneräisen maapiirin komponenttien mitoitus ja suunnittelua. Työn päävaihe oli asennusten jälkeinen mittausjakso, jolloin tavoitteena oli tutkia maapiirin meno-paluulämpötiloja ja tuloilman lämpötiloja ennen esilämmityspatteria ja esilämmityspatterin jälkeen.

Työn toisessa puoliskossa analysoidaan mittaustuloksia ja lasketaan saavutettuja tehoja. Lisäksi arvioidaan järjestelmän vuosittaisia käyttökustannuksia ja pohditaan parannusmahdollisuuksia.

## 2 MAALÄMPÖ

Maalämmöllä tarkoitetaan prosessia, jossa hyödynnetään maaperään varastoitunutta lämpöä. Suurin osa lämmöstä on peräisin auringon säteilystä ja loput maan sisäisistä radioaktiivisista reaktioista. Suomessa maaperän keskilämpötila on suhteellisen alhainen ja vaihtelee leveyspiirin mukaan. Ilman keskilämpötilaan verrattuna maaperä on kuitenkin lämpimämpää maan pohjoisosissaakin, joten maalämmön hyödyntäminen on mahdollista koko maassa. (1.)

Lämpö otetaan maasta talteen lämmönkeruuputkistolla ja maalämpöpumpulla. Lämmönkeruussa käytetään joko kallioon porattua lämpökaivoa tai suuremmalle alueelle levittyvää vaakaputkistoa, joka asennetaan yleensä 1,5 metrin syvyyteen (2). Vaakaputkiston tehokkuuteen vaikuttavat leveysasteiden lisäksi maaperän ominaisuudet. Kosteaa savimaa on lämmönluovutuksen kannalta tehokkain ja kuiva hiekkamaa heikoin maalaji, kun taas kivinen maaperä saattaa vahingoittaa putkistoa roudan liikuttaessa kiviä. (3) Keruupiiri on mahdollista asentaa myös vesistön pohjaan. Kuvassa 1 on esitetty ilman ja maanpinnan keskilämpötiloja Suomessa.



KUVA 1. Ilman ja maanpinnan keskilämpötiloja (1)

Keruupiirissä kiertävä jäätymätön neste lämpenee muutaman asteen kierroksen aikana. Maapiirin lämmön hyödyntämiseen käytetään yleensä maalämpöpumppua, sillä kiertävä neste on lämmenneenäkin yleensä alle kymmenasteista. Maalämpöpumpussa oleva kylmäaine höyrystetään keruupiiristä saadulla lämmöllä, minkä jälkeen sen painetta nostetaan kompressorilla. Paineen noustessa myös höyrystyneen kylmäaineen lämpötila nousee. Kylmäaine ajetaan lauhduttimeen, jossa se lauhtuu nesteeksi ja luovuttaa lämpöä lämmitysverkostoon. Tällä tavoin maalämpöä voidaan käyttää ensisijaisena lämmitysmuotona ja käyttöveden lämmityksessä. (4.)

Maalämpöpumppujen suosio on kasvanut viime vuosikymmenen aikana, sillä niiden tuottamasta lämpöenergiasta noin 2/3 saadaan ”ilmaiseksi” maasta ja loput tuotetaan sähköllä. Halpuuden lisäksi maasta saatava lämpö ei ole ympäristölle haitallista. Maapiiriä on kuitenkin mahdollista hyödyntää myös ilman lämpöpumppua, jolloin se soveltuu tukemaan muita lämmitysmuotoja. Tässä työssä keskitytään erityisesti maapiirin soveltamiseen ilman esilämmityksessä.

## **2.1 Käyttö ilman esilämmityksessä**

Talon teknisessä tilassa oleva maapiirin nousu kytketään suoraan esilämmityspatteriin kupariputkella. Nousun ja patterin väliin asennetaan kiertovesipumppu kierrättämään piirin nestettä, painunta-astia nesteen lämpölaajenemisen hallintaan, varoventtiili ehkäisemään liiallista ylipainetta ja täyttöventtiiliryhmä nesteen lisäämiseen. Lisäksi asennetaan painemittari ja mahdollisesti lämpömittareita meno- ja paluupuolelle järjestelmän toiminnan seuraamiseen. Järjestelmän komponenteista ainoastaan kiertovesipumppu vaatii sähköä; muita käyttökustannuksia ei ole.

## **2.2 Maakylmän käyttö maalämmön tukena**

Maapiiriä voidaan käyttää myös viilennykseen, sillä maapiirin nesteen lämpötila on verrattain alhainen myös kesällä. Mikäli systeemissä on käytössä maalämpöpumppu, maakylmän käyttö vaatii erillisiä asennuksia (3). Suoraan tuloilman esilämmityspatteriin kytkettäessä maapiiri toimii automaattisesti sekä maalämmön että maakylmän lähteenä ulkolämpötilasta riippuen.

Maakylmän käyttö maalämmön rinnalla on yleensä kannattavaa, sillä ne tehostavat toistensa toimintaa. Viilennyskaudella maapiiri varastoi lämpöä maaperään auttaen sitä palautumaan lämmityskauden aikana alenneista lämpötiloista. Samalla se pitää maapiirin lämpimämpänä lämmityskauden alussa ja parantaa maalämpöpumpun hyötysuhdetta, mikäli sellaista käytetään. (5.)

### **3 ILMANVAIHTO JA ILMASTOINTI**

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan puhtaan ilman tuomista tilaan ja likaisen ilman poistoa tilasta. Ilmanvaihdon tarkoituksena on pitää sisäilma terveellisenä ja viihtyisänä. Yleisimmin ilmanvaihto toteutetaan joko painovoimaisesti, jolloin ilma liikkuu tuulen sekä ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen vaikutuksesta, tai koneellisesti, jolloin pelkkää poistoilmaa tai sekä tulo- että poistoilmaa liikutetaan puhaltimilla tai huippuimureilla. (7, s. 160.)

Ilmanvaihdossa tuloilmaa tuodaan ns. puhtaisiin tiloihin kuten olohuoneisiin ja makuuhuoneisiin, eli tiloihin joissa ihmiset yleensä viettävät aikaansa. Poistoilmaa viedään likaisemmista tiloista kuten WC-tiloista tai pesuhuoneista. Keittiössä on yleensä liesituuletin tai vastaava ratkaisu käryjen poistoa varten.

Ilmastoinnilla tarkoitetaan hyväksyttävän sisäilman laadun ylläpitämistä. Tämä tapahtuu käsittelemällä ilman lämpötilaa, kosteutta ja puhtautta ilmanvaihtokoneessa, joka yhdessä kanavien ja ilmanjakolaitteiden kanssa muodostaa ilmastointijärjestelmän (7, s. 180). Sopivan lämpötilan ylläpitäminen on ratkaisevaa viihtyvyyden kannalta.

#### **3.1 Ilmanvaihtokone**

Ilmanvaihtokoneella tiloihin tuodaan sopiva määrä lämmitettyä, jäähdytettyä, kostutettua tai kuivattua ilmaa tilanteesta riippuen. Kesällä liian kuumaa ja kosteaa ilmaa viilennetään ja kuivataan, talvipakkasilla taas lämmitetään ja kostutetaan.

Ilmanvaihtokoneen keskeisimmät komponentit ovat tulo- ja poistopuhaltimet, ilmansuodattimet, lämmöntalteenotto eli LTO sekä jälkilämmityspatteri. Näiden lisäksi järjestelmään voivat kuulua esimerkiksi ilmankostutin, jäähdytyspatteri sekä esilämmityspatteri. Ilmanvaihtokoneet ja niiden erilliset komponentit sijoitetaan yleensä kodinhoituhuoneeseen tai läheiseen tekniseen tilaan.



### 3.2 Esilämmityspatteri

Esilämmityspatterilla (kuva 2) lämmitetään ilmanvaihtokoneeseen tulevaa raiteilmaa ennen lämmöntalteenottoa. Tämä auttaa estämään LTO-kennon huurtumista, vähentää sulatuksen tarvetta ja mahdollistaa näin LTO:n paremman käyttöajan kovemmilla pakkasilla (6, s. 298). Verrattain pienikin määrä esilämmitystä voi vähentää huurtumisenestosta ja sulatuksesta johtuvia käyttökatkoja ja säästää energiaa.



*KUVA 2. Vallox MLV Multi 200 -esilämmityspatteri*

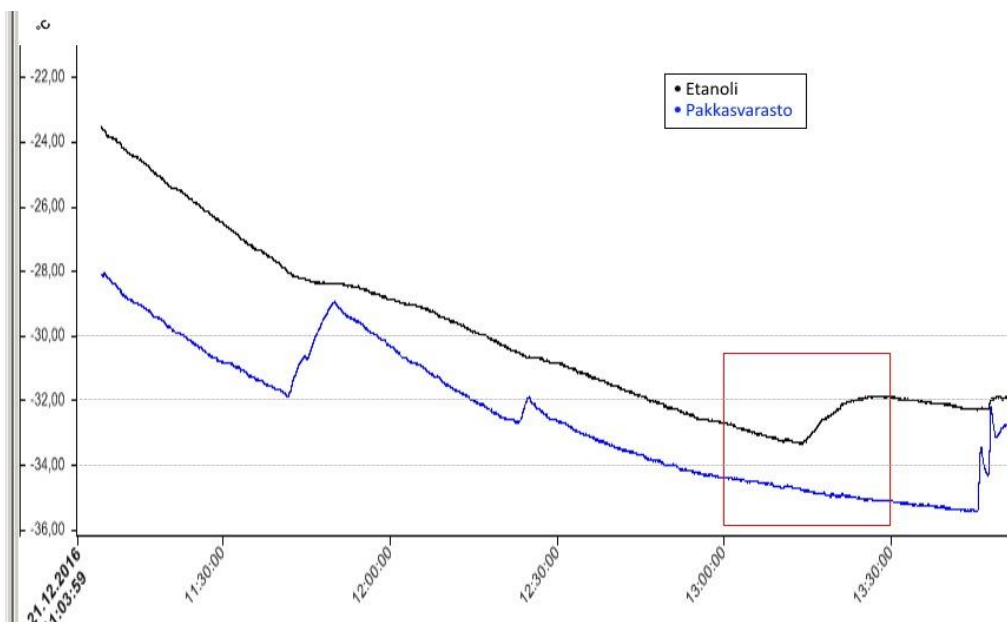
## 4 KOHTEEN TIEDOT

Työn kohde on omakotitalo Oulun seudulta. Maapiirin pituus on 150 m ja asennussyvyys pääasi-  
allisesti 1,5 m, mutta paikoitellen jopa 3 m. Putkimateriaali on polyeteeniä jonka paksuus on 40  
mm. Maaperä on kostea hiekkaa.

Maapiirin asennus oli tehty ennen työn alkua, mutta ainoastaan putkisto oli asennettu. Maapiiristä  
puuttuivat kaikki muut komponentit eikä tekniseen tilaan tulevaa nousua ollut yhdistetty mihinkään.  
Ennen mittauksia maapiirin piti valita kiertovesipumppu, paisuntasäiliö, varoventtiili ja täyttöventtiili.  
Lämmönsiirtonesteen koostumusta ei tiedetty tarkkaan, joten työ aloitettiin sen tutkimisella.

### 4.1 Lämmönsiirtoneste

Maapiiri oli täytetty vesi-etyleeniglykoliliuoksella. Liuoksen pitoisuus selvitettiin laittamalla sitä pieni  
määrä pakkasvarastoon, jossa sen jäätymistä seurattiin sensoreilla. Pakkasvaraston alkuperäinen  
lämpötila oli 23 °C. Näyte sensoreineen siirrettiin tilaan ja huoneen lämpötilaksi asetettiin -35 °C.  
Näytteen jäätyminen on esitetty sensorista saadulla datalla kuvassa 3, josta nähdään liuoksen käy-  
rän tekevän notkahduksen noin -33 °C lämpötilassa. Liuos on tällöin alkanut jäätyä.



KUVA 3. Etyleeniglykoli-vesiseoksen ja kylmähuoneen lämpötilat ajan funktiona

Seoksen jäätympisteeseen selvittyä sen pitoisuus pystyttiin selvittämään Coolpack-ohjelmiston avulla. Jäätympisteeseen perusteella seoksen etyleeniglykolipitoisuus oli noin 48 %, jolloin käytännössä voidaan käyttää 50%:n seoksen ominaisuuksia laskennassa.

## 4.2 Pumppu

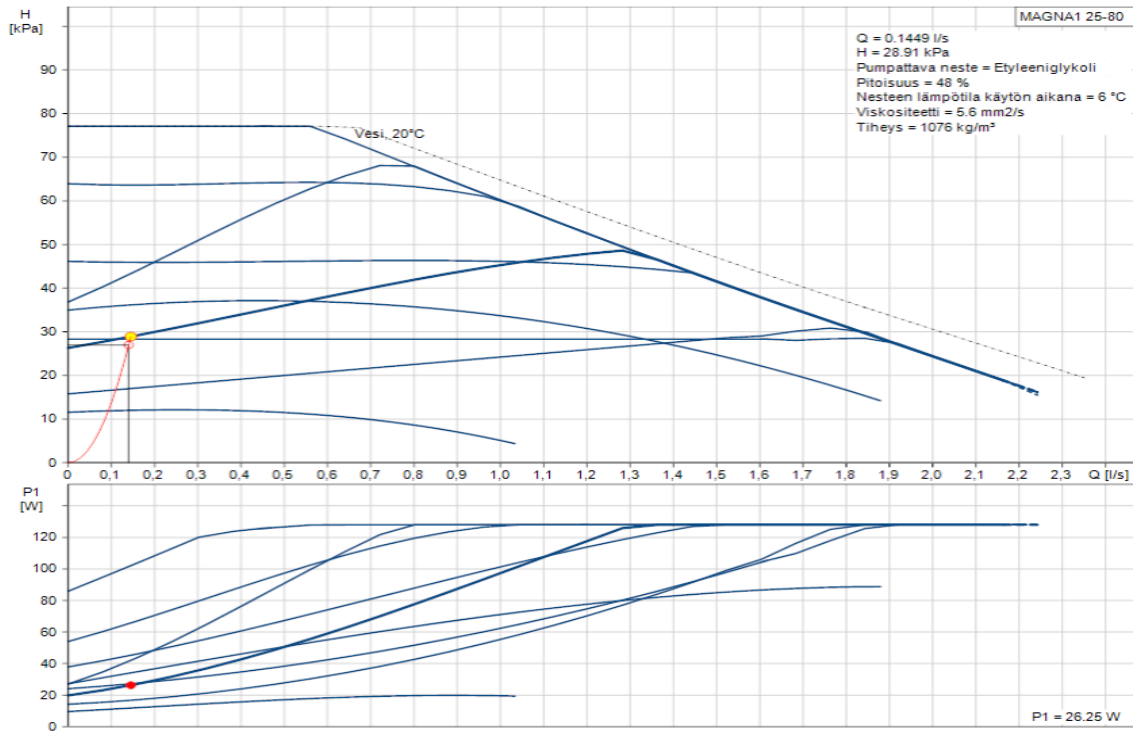
Työhön kuului sopivan kiertovesipumpun valinta maapiirin. Valinnassa apuna käytettiin Grundfos-pumpunvalintatyökalua ja CoolPack-ohjelmistoa.

Virtaamalla 0,1 l/s järjestelmän kokonaispainehäviöksi arvioitiin noin 42 kPa, kun otettiin huomioon esilämmityspatterin painehäviö. Näin alhainen virtaama on laminaarista jolloin lämmönsiirto ei ole yhtä tehokasta kuin turbulentsissa virtauksessa. Turbulenttiseen virtaukseen vaadittaisiin yli 0,4 l/s, joka nostaisi painehäviön yli 100 kPa:n.

Pumpuksi päädyttiin valitsemaan Grundfosin MAGNA1 25-100, joka kykenisi tarvittaessa nostamaan virtauksen turbulentsiin lukemiin. Systemin asennusvaiheessa päädyttiin kuitenkin hankkimaan kustannussyistä MAGNA1 25-80 (kuva 4), jolla turbulentsin virtaaman tuottaminen on haasteellista (kuva 5). Toisaalta pumppu on hieman ylitehoinen laminaarisen virtauksen ylläpitämiseen, sillä samaan virtaamaan päästäisiin pienemmällä pumpulla ja paremmalla hyötysuhteella.

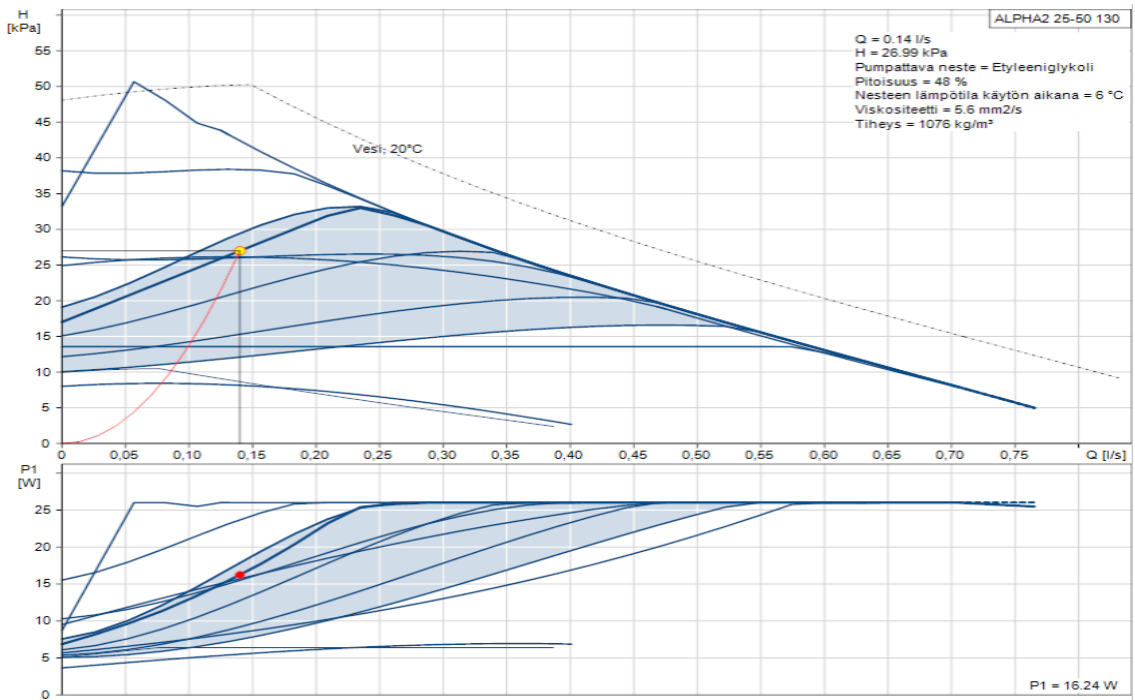


KUVA 4. MAGNA1 25-80 asennettuna, varoventtiilin ulospuhallusputki vielä asentamatta

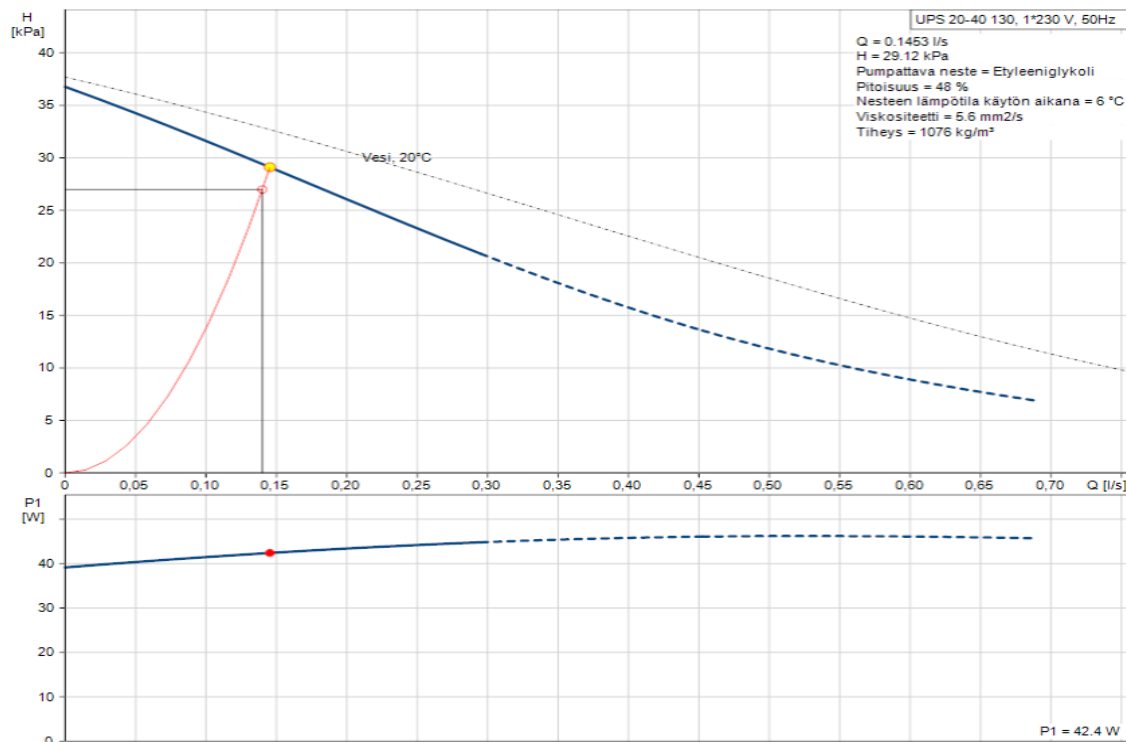


KUVA 5. MAGNA1 25-80:n toimintapiste

Vertailun vuoksi on valittu myös Grundfosin ALPHA2 25-50 ja UPS 20-40 kiertovesipumput, jotka ovat pienitehoisempia ja kykenevät ainoastaan laminaariseen virtaamaan (kuva 6; kuva 7).



KUVA 6. ALPHA2 25-50:n toimintapiste



KUVA 7. UPS 20-40:n toimintapiste

### 4.3 Paisuntasäiliö

Paisuntasäiliön esipaine määräytyy verkoston korkeudesta ja varmuudesta. Esipaine lasketaan kaavalla 1 (8, s. 7).

$$P_{EP} = H_V + 2 m_{VP} \quad \text{KAAVA 1}$$

$P_{EP}$  = verkoston esipaine [ $m_{VP}$ ]

$H_V$  = verkoston korkeus [ $m_{VP}$ ]

$$P_{EP} = 2,7 + 2 m_{VP} = 4,7 m_{VP} = 0,5 \text{ bar}$$

Verkoston minimikäyttöpaine valittiin kaavalla 2 (8, s. 7).

$$P_{AP} = P_{EP} + 0,3 \text{ bar} \quad \text{KAAVA 2}$$

$P_{AP}$  = verkoston minimikäyttöpaine [bar]

$$P_{AP} = 0,5 + 0,3 \text{ bar} = 0,8 \text{ bar}$$

Verkoston normaali käyttöpaine valittiin varoventtiilin avautumispaineen perusteella kaavalla 3 (8, s. 7)..

$$P_{YP} = P_W - 0,3 \text{ bar} \quad \text{KAAVA 3}$$

$P_{YP}$  = verkoston normaali käyttöpainne [bar]

$P_{VV}$  = varoventtiilin avautumispaine [bar]

$$P_{YP} = 1,5 \text{ bar} - 0,3 \text{ bar} = 1,2 \text{ bar}$$

Verkoston nestetilavuus on noin 135 litraa ja lämpölaajenemiseksi arvioitiin noin 1,5%. Lasketaan verkoston nesteen lämpölaajenemistilavuus kaavalla 4 (8, s. 8).

$$\Delta V = V \times L_{\%} \quad \text{KAAVA 4}$$

$\Delta V$  = verkoston nesteen lämpölaajenemistilavuus [l]

$V$  = verkoston tilavuus [l]

$L_{\%}$  = lämpölaajeneminen

$$\Delta V = 135 \text{ l} \times 0,015 = 2 \text{ l}$$

Nyt paisuntasäiliön nimellistilavuus  $V_N$  voidaan laskea kaavalla 5 (8, s. 8).

$$V_N = P_{YP} \times P_{AP} / (P_{EP} \times (P_{YP} - P_{AP})) \times \Delta V \quad \text{KAAVA 5}$$

$V_N$  = paisuntasäiliön nimellistilavuus [l]

$$V_N = 1,2 \text{ bar} \times 0,8 \text{ bar} / (0,5 \text{ bar} \times (1,2 - 0,8) \text{ bar}) \times 2 \text{ l} = 9,6 \text{ l}$$

Valittiin nimellistilavuuden perusteella 12-litrainen Reflex -paisuntasäiliö.

Säiliöön tulevan liuoksen tilavuus verkoston paineen noustessa minimikäyttöpaineeseen lasketaan kaavalla 6 (8, s. 8).

$$\Delta V_T = V_N \times (P_{AP} - P_{EP}) / P_{AP} \quad \text{KAAVA 6}$$

$\Delta V_T$  = säiliöön tulevan liuoksen tilavuus minimikäyttöpaineessa [l]

$$\Delta V_T = 9,6 \text{ l} \times (0,8 \text{ bar} - 0,5 \text{ bar}) / 0,8 \text{ bar} = 3,6 \text{ l}$$

Hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 7 (8, s. 8).

$$\eta = (\Delta V_T + \Delta V) / V_N \quad \text{KAAVA 7}$$

$\eta$  = paisuntasäiliön hyötysuhde

$$\eta = (3,6 \text{ l} + 2 \text{ l}) / 12 \text{ l} = 0,46$$

Hyötysuhde on hyväksyttävissä rajoissa.

#### 4.4 Varoventtiili

Varoventtiiliksi valittiin Oras DN15 avautumispaineella 1.5 bar. Suurin sallittu teho valmistajan mukaan on 72 kW, joka on enemmän kuin tarpeeksi.

## 5 MITTAUKSET

Mittaukset suoritettiin keväällä 2017, välillä 28.3.–17.4.2017. Kohteessa mitattiin tuloilman lämpötilaa ennen esilämmityspatteria ja esilämmityspatterin jälkeen, sekä maapiiriliuoksen lämpötilaa meno- ja paluupuolelta. Tämän lisäksi mitattiin kertaluontoisesti tuloilmakanavan ilmavirtaa. Ilmastointikoneen tehoasetus pidettiin samana koko mittausjakson ajan. Pumpun ottamaa sähkötehoa mitattiin sähköenergiamittarilla.

### 5.1 Mittalaitteet

Maapiiriliuoksen ja tuloilman lämpötilojen mittauksissa käytettiin KIMON Kistock KT110 -loggeria. Loggeriin yhdistettiin neljä lämpötila-anturia, jotka mittasivat maapiiriliuoksen meno- ja paluupuolen lämpötiloja sekä tuloilman lämpötilaa ennen esilämmityspatteria ja sen jälkeen. Ilmavirran mittauksessa käytettiin Pitot-putkea ja kuumalanka-anemometriä yhdistettynä TSI VelociCalc -mittalaitteeseen.

Pitot-putki on yleisin tapa mitata kanavien ilmavirtoja. Sen käyttö perustuu virtauksen kokonaispaineen ja staattisen paineen mittaamiseen kanavan sisältä. Kokonaispaineen ja staattisen paineen erotuksesta voidaan selvittää ilman nopeus. (9.)

Kuumalanka-anemometrin toiminta perustuu herkkään mittausjohtimeen, joka asetetaan kanavaan ilmavirtaa vasten. Ilmavirta jäädyttää johdinta ja mittalaite laskee tämän perusteella ilman nopeuden. Ilmavirta voidaan laskea, kun tiedetään sekä nopeus että kanavan poikkipinta-ala. TSI VelociCalc laskee ilmavirran automaattisesti, jos kanavan koko on annettu.

### 5.2 Lämpötilamittaukset

Loggeri ohjelmoitiin mittaamaan lämpötiloja ja tallentamaan tulokset kahden minuutin välein viikon mittaisina jaksoina. Jaksojen välissä mittaus tulokset siirrettiin tietokoneelle ja loggeri ohjelmoitiin uudelleen. Tulokset annettiin lämpötilataulukkoina ja -kaavioina ajan suhteen.

Maapiiriliuoksen meno- ja paluupuolen anturit asennettiin putken pintaan lämpöeristeen alle ilmastointiteipin avulla. Ilman lämpötila-anturit asennettiin esilämmityspatterin molemmille puolille, kanaaviin porattuihin reikiin. Anturit sijoitettiin mahdollisimman keskelle kanavaa.



## 6 TULOKSET

Työn tavoitteena oli selvittää maapiiristä saatava lämmitysteho ja verrata sitä käytettyyn sähkötehoon. Lisäksi tarkastellaan esilämmityksen vaikutusta LTO-patterin huurtumiseen ja automaation tarvetta.

Sekä maapiiriin että esilämmityspatterin tuottaman tehon laskennassa käytetään kaavaa 8 (6, s. 193).

$$\dot{Q} = C_p \times \rho \times q_v \times \Delta T$$

KAAVA 8

$\dot{Q}$  = teho [ kW ]

$C_p$  = etyleeniglykoliliuoksen / ilman ominaislämpökapasiteetti [ kJ / kg°C ]

$\rho$  = etyleeniglykoliliuoksen / ilman tiheys [ kg / m<sup>3</sup> ]

$q_v$  = etyleeniglykoliliuoksen / ilman tilavuusvirta [ m<sup>3</sup> / s ]

$\Delta T = ( t_2 - t_1 )$  = lämpötilaero

$t_1$  = etyleeniglykoliliuoksen / ilman matalampi lämpötila

$t_2$  = etyleeniglykoliliuoksen / ilman korkeampi lämpötila

Coolpack-ohjelmalla saadaan etyleeniglykoliliuoksen ominaislämpökapasiteetiksi noin 3,32 kJ/kg°C ja tiheydeksi 1086 kg/m<sup>3</sup>, kun liuoksen lämpötila on 6 °C ja pitoisuus 48%.

Ilmavirta saadaan laskemalla mitattujen ilmavirtojen keskiarvo.

Lasketaan paine-eromenetelmällä saatujen tulosten keskiarvo.

$$70 + 71 + 70 + 74 + 88 = 74,6 \text{ l/s}$$

Lasketaan kuimalanka-anemometrillä saatujen tulosten keskiarvo.

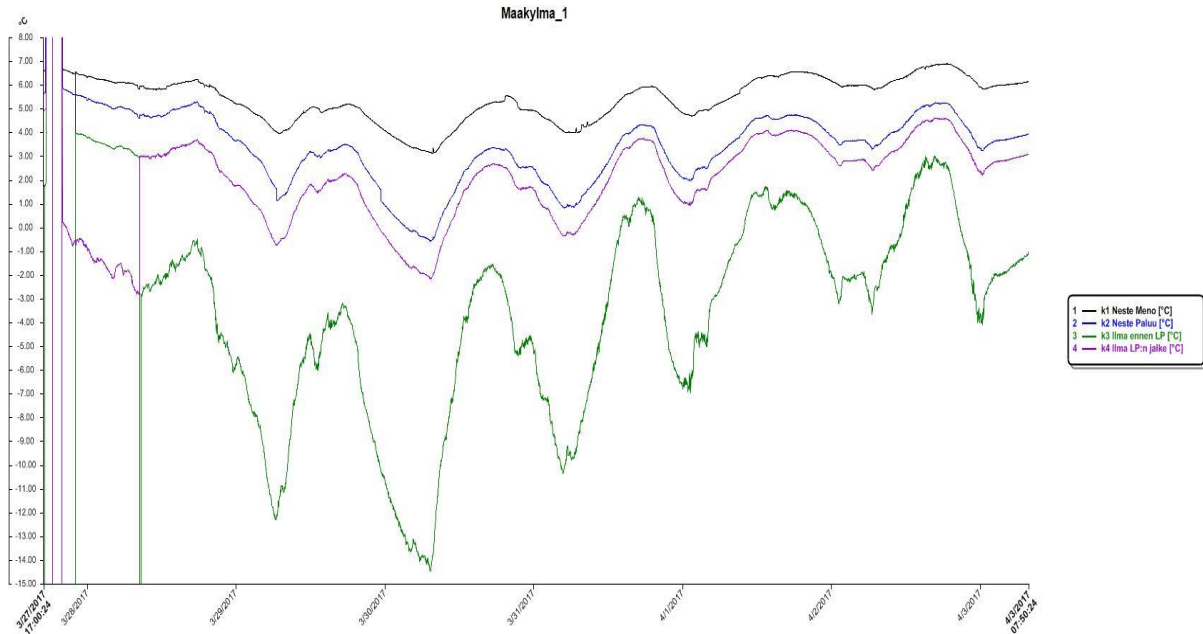
$$75 + 79 + 77 + 82 + 90 = 80,6 \text{ l/s}$$

Lopulliseksi keskiarvoksi saadaan 77,6 l/s. Ilmanvaihtokonetta pidettiin samalla tehoasetuksella koko mittauksen ajan. Ilman lämpötilat vaihtelivat välillä +8...-15 °C, joten tiheytenä käytetään 1,3 kg/m<sup>3</sup> ja ominaislämpökapasiteettina 1 kJ/kg°C (12).

Liuoksen virtaamaa ei mitattu, vaan se voidaan laskea tapauskohtaisesti ilmavirtaan siirtyneen tehon avulla kaavalla 1. Lämpöhäviöiden esilämmityspatterissa oletetaan olevan mitättömiä, jolloin maapiiristä saatava teho on yhtä suuri kuin tuloilmaan siirtyvä teho.

$\dot{Q}_{\text{maapiiri}} = \dot{Q}_{\text{lämmitys}}$

Esimerkkinä lasketaan maapiiriliuoksen virtaus kaikkien mittauskausien kylmimpänä ajankohtana. Ulkolämpötila oli alimmillaan  $-14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  yöpakkasten aikana 30.3. Esilämmityspatterin jälkeen ilman lämpötila oli  $-2,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (kuva 8.)



KUVA 8. Ensimmäisen viikon mittau tulokset.

Lasketaan ensin esilämmityspatterin raitisilmaan siirtämä teho kaavalla 8.

$$\dot{Q}_{\text{lämmitys}} = 0,0776\text{ m}^3/\text{s} \times 1,3\text{ kg/m}^3 \times 1\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times (-2,15 - 14,5)\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q}_{\text{lämmitys}} = 1,24\text{ kW}$$

Liuksen meno- ja paluulämpötilat samalla hetkellä olivat  $3,18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $-0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Sovelletaan kaavaa 8.

$$Q_v = \dot{Q}_{\text{maapiiri}} / (\rho \times C_p \times \Delta T)$$

$$Q_v = \dot{Q}_{\text{maapiiri}} / (1086\text{ kg/m}^3 \times 3,32\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times (3,18 - (-0,56))\text{ }^{\circ}\text{C})$$

Oletetaan että lämpöhäviöitä ei ole, eli  $\dot{Q}_{\text{maapiiri}} = \dot{Q}_{\text{lämmitys}} = 1,24\text{ kW}$ .

$$Q_v = 1,24\text{ kW} / (1086\text{ kg/m}^3 \times 3,32\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \times (3,18 - (-0,56))\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$Q_v = 0,00012\text{ m}^3/\text{s} = 0,09\text{ l/s}$$

Kylmimmän ajanjakson aikana saatiin samalla mittauksen maksimiteho. Tässä lämpötilassa pumpun virtaama on laskenut noin 33% mitoitetusta virtaamasta, sillä liuksen lämpötila ja viskositeetti ovat muuttuneet. Taulukossa 1 on esitetty mittausjaksojen aikana saavutettuja tehoja.

TAULUKKO 1. Korkeimpien ja matalimpien lämpötilojen mittaustulokset

**Mittausjakso 27.3. - 3.4**

korkein ulkolämpötila	3.0 °C	matalin ulkolämpötila	-14.5 °C
ilma ELP:n jälkeen	4.6 °C	ilma ELP:n jälkeen	-2.1 °C
ilman lämpötilan muutos	1.6 °C	ilman lämpötilan muutos	12.4 °C
liuoksen meno	6.9 °C	liuoksen meno	3.1 °C
liuoksen tulo	5.3 °C	liuoksen tulo	0.6 °C
liuoksen muutos	-1.6 °C	liuoksen muutos	-2.5 °C
liuoksen virtaama	0.03 l/s	liuoksen virtaama	0.09 l/s
teho	160 W	teho	1241 W

Keskimääräinen teho	589 W
---------------------	-------

**Mittausjakso 3.4 - 10.4**

korkein ulkolämpötila	7.8 °C	matalin ulkolämpötila	-6 °C
ilma ELP:n jälkeen	6.5 °C	ilma ELP:n jälkeen	1.6 °C
ilman lämpötilan muutos	-1 °C	ilman lämpötilan muutos	8 °C
liuoksen meno	7.9 °C	liuoksen meno	5.5 °C
liuoksen tulo	7 °C	liuoksen tulo	2.5 °C
liuoksen muutos	-1 °C	liuoksen muutos	-3 °C
liuoksen virtaama	0.04 l/s	liuoksen virtaama	0.07 l/s
teho	-134 W	teho	768 W

Keskimääräinen teho	304 W
---------------------	-------

**Mittausjakso 10.4 - 17.4**

korkein ulkolämpötila	6 °C	matalin ulkolämpötila	-11.6 °C
ilma ELP:n jälkeen	5.8 °C	ilma ELP:n jälkeen	-0.9 °C
ilman lämpötilan muutos	0 °C	ilman lämpötilan muutos	11 °C
liuoksen meno	7.4 °C	liuoksen meno	4.2 °C
liuoksen tulo	6.2 °C	liuoksen tulo	0.5 °C
liuoksen muutos	-1 °C	liuoksen muutos	-4 °C
liuoksen virtaama	0.01 l/s	liuoksen virtaama	0.08 l/s
teho	-12 W	teho	1074 W

Keskimääräinen teho	485 W
---------------------	-------

On huomattava, että ulkolämpötilan noustessa maapiirin lämpötilaa korkeammaksi esilämmityspatterin toiminta muuttuu päinvastaiseksi ja se alkaa viilentämään tuloilmaa. Viilennykselle ei kui-

tenkaan yleensä ole tarvetta omakotitaloissa alle 18–20 °C ulkolämpötiloissa, joten energiansäästämisen kannalta olisi järkevää sulkea keruupiiri automatiikalla näinä aikoina. Jäähdytystehon voidaan olettaa nousevan moninkertaiseksi ulkolämpötilan noustessa.

Pumpun energiankulutukseksi mitattiin 26 W virtaamalla 0,1 l/s. Energiankulutus vaihtelee virtaaman muuttuessa, joka taas johtuu liuoksen lämpötilan ja viskositeetin vaihteluista. Virtaamien keskiarvojen avulla pumpun käyttämän energian määrää voidaan kuitenkin arvioida (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Virtaamien keskiarvoja ja pumpun tehoja kyseisillä virtaamilla

<b>Mittausjakso 27.3. - 3.4</b>	
Liuoksen virtaaman keskiarvo	0.08 l/s
Pumpun teho	25 W
<b>Mittausjakso 3.4 - 10.4</b>	
Liuoksen virtaaman keskiarvo	0.04 l/s
Pumpun teho	21 W
<b>Mittausjakso 10.4 - 17.4</b>	
Liuoksen virtaaman keskiarvo	0.06 l/s
Pumpun teho	23 W

Keskiarvoilla lasketaan pumpun mittausjaksojen aikana käyttämä energia kaavalla 9 (14, s. 27).

$$\emptyset \times t = E$$

KAAVA 9

$\emptyset$  = pumpun käyttämä sähköteho [kW]

$t$  = käyttöaika [h]

$E$  = käytetty energia [kWh]

$$0,025 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 7 = 4,2 \text{ kWh}$$

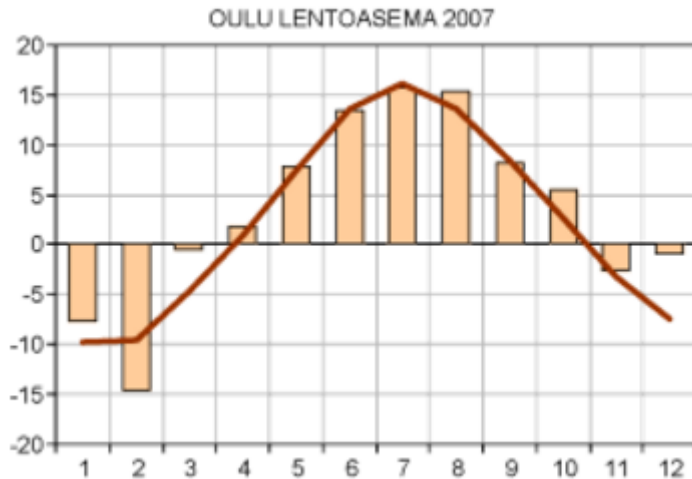
$$0,023 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 7 = 3,9 \text{ kWh}$$

$$0,021 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 7 = 3,5 \text{ kWh}$$

Ulkolämpötilan ollessa maapiirin nestettä lämpimämpää mutta haluttua tuloilmaa kylmempää maapiirin käyttö ei ole kannattavaa. Käytännössä touko-syyskuun välisenä aikana maapiirillä ei voida tai ei ole tarvetta lämmittää tuloilmaa. Heinä-elokuussa maapiiriä voidaan käyttää jäähdytykseen, mutta sitä ei oteta näissä laskuissa huomioon.

Jos pumpun käyttöajaksi oletetaan lokakuun alusta huhtikuun loppuun kestävä kausi, jolloin keskilämpötila on alle kuusi astetta, saadaan käyttöajaksi n. 5000 tuntia (kuva 8). Käytetty energia voidaan laskea pumpun keskimääräisellä käyntiteholla ja käyntiajalla.

$$0,026 \text{ kW} \times 5000 \text{ h} = 130 \text{ kWh}$$



KUVA 8. Oulun lentoaseman keskilämpötilat kuukausittain. Käyrä esittää vuosien 1971-2000 vertailukauden keskiarvon. (10.)

Jos kuluttajasähkön hinnaksi siirtoineen ja veroineen arvioidaan 14 st/kWh, tulee pumpun vuosittaiseksi käyttökustannukseksi 18,2 euroa lämmityksen osalta. Lämmitysenergian tuotoksi voidaan mittaustulosten perusteella arvioida noin 1 kW jatkuvaa tehoa, joka vastaa 5000 kWh per vuosi.

Lasketaan lämpökerroin kaavalla 10 (15).

$$COP = \text{lämmöntuottoteho} / \text{käytetty sähköteho}$$

KAAVA 10

$$COP = \text{lämpökerroin}$$

$$COP = 1000 \text{ W} / 26 \text{ W} = 38,5$$

Vertailun vuoksi ALPHA2 25-50 ottaa 16 W tehoa samalla virtaamalla ja painetasolla. Lasketaan vuotuinen energiankulutus käyttöajalla 5000 h kaavalla 9.

$$0,016 \text{ kW} \times 5000 \text{ h} = 80 \text{ kWh}$$

$$0,14 \text{ st/kWh} \times 80 \text{ kWh} = 11,2 \text{ euroa}$$

Vertailun pienin pumppu UPS 20-40 ottaa tehoa 42 W, saman verran kuin muut yhteensä. Käyttökustannukset nousevat moninkertaisiksi.

$$0,042 \text{ kW} \times 5000 \text{ h} = 210 \text{ kWh}$$

$$0,14 \text{ st/kWh} \times 210 \text{ kWh} = 29,4 \text{ euroa}$$

Paremmalla pumppuvalinnalla säästöä olisi tullut noin 11,5 euroa vuodessa, jos eriäviä huoltokustannuksia ei lasketa.

Lopuksi selvitetään esilämmityspatterin rekuperaatioaste, joka kuvaa paljonko lämpöä on mahdollista saada talteen teoreettisesta maksimista (11). Rekuperaatioaste lasketaan kaavalla 11 (13, s. 4).

$$\varepsilon = \Delta T_{max} / \theta_0$$

KAAVA 11

$\varepsilon = \text{rekuperaatioaste}$

$\Delta T_{max} = \text{suurempi kylmän ja kuumen virran lämpötilamuutos}$

$\theta_0 = \text{suurimman ja pienimmän lämpötilan erotus}$

Käytetään ensimmäisen mittausjakson alimman ulkolämpötilan arvoja. Tuloilma lämpeni 12,4 astetta. Ulkolämpötila  $-14,5 \text{ }^\circ\text{C}$  oli pienin lämpötila ja liuoksen menolämpötila  $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$  oli korkein.

$$\varepsilon = 12,4 / (3,1 - (-14,5)) = 0,704$$

Rekuperaatioaste on 0,7.

## 7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää maapiirin soveltuvuutta tuloilman lämmittämiseen talvikausina mitaamalla hyödyksi saatavaa lämpöenergiaa. Mittauskohteena oli omakotitalo Oulun alueelta.

Työ aloitettiin selvittämällä käytetyn lämmönsiirtonesteen ominaisuudet. Lämmönsiirtoneste jäädettiin pakastimessa anturin mitatessa aineen lämpötilaa. Anturin antaman tiedon perusteella päätettiin lämmönsiirtonesteen jäätympiste ja täten seoksen vahvuus.

Maapiiriin valittiin pumppu, paisuntasäiliö ja varoventtiili työn tilaajalta saatujen piirustusten perusteella. Laitteet asennettiin tammi-helmikuun välisenä aikana. Mittausanturit kalibroitiin ja asennettiin maapiiriliuksen meno- ja paluupuolelle sekä tuloilmakanavaan esilämmityspatterin molemmiin puolin. Myös ilmavirta tulokanavasta mitattiin kerran IV-koneen oikean toiminnan varmistamiseksi. Pumpun oli tarkoitus toimia vakiokierrosluvulla, jotta maapiirin virtaama olisi pysynyt vakiona ja tehonlaskenta tarkempana, mutta erehdyksen kautta päädyttiin ajamaan pumppua sen keskimmaisella suhteellisella painekäyrällä. Virtaama vaihteli huomattavasti mittausten aikana, kun liuksen lämpötila ja viskositeetti muuttuivat.

Mittaukset suunniteltiin alun perin tehtäväksi koko talven mittaisiksi mutta asennustöiden viivästykset rajoittivat mittaukset maalisi-huhtikuun väliselle ajalle, joten tuloksia alhaisilta ulkolämpötiloilta ei saatu. Ilma pysyi kuitenkin huomattavan kylmänä pitkälle keväaseen ja yöpakkasten aikana lähestyttiin talven keskilämpötiloja.

Valittu pumppu ei ollut optimaalinen, mutta käyttökustannuksiltaan se ei eroa huomattavasti paremmin soveltuvista pumpuista. Mittausten perusteella maapiirijärjestelmä toimii ja on energiatehokas. Käyttökustannukset ovat minimaaliset saatuun lämmitysenergiaan verrattuna, jos verrataan esimerkiksi suorasähköllä lämmittämiseen.

Maapiirin ympärivuotinen käyttö ei teoriassa ole kannattavaa tarpeettoman jäähdytyksen vuoksi. Käytännössä ei vielä tiedetä maapiirin tarkkoja jäähdytystehoja, joten välikuukausina menetetyn lämpöenergian määrä saattaa olla merkityksettömän pieni. Automaatikalla energian säästäminen paranisi, mutta sen asennuskustannukset saattavat mitätöidä saadun hyödyn. Varmemman tiedon saaminen vaatii jatkomittauksia jäähdytyskaudella.

## LÄHTEET

1. Geoenergia. Geologian Tutkimuslaitos. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>. Hakupäivä 12.4.2017.
2. Maalämpöpiiri. Ewarco. Saatavissa: <http://ewarco.fi/maalampopiiri/>. Hakupäivä 14.4.2017.
3. Maalämmön keruupiiri, osa 2: vaakaputkisto. Ekolämpö. Saatavissa: <https://ekolampo.fi/maalammon-keruupiiri-osa-2-vaakaputkisto/>. Hakupäivä 14.4.2017.
4. Maalämpöpumppu. Motiva. Saatavissa: [www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu\\_mlp](http://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp). Hakupäivä 14.4.2017.
5. Maakylmä. ST1. Saatavissa: [www.st1maalampo.fi/tuotteet/maalampo-oheistuotteet/maakylma/](http://www.st1maalampo.fi/tuotteet/maalampo-oheistuotteet/maakylma/). Hakupäivä 21.4.2017
6. Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, 1. lisäpainos. Suomen LVI-liitto ry.
7. Seppänen Olli – Seppänen Matti 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
8. Niskala, Mikko 2017. Välillisen järjestelmän putkistovarusteet. Esitysmateriaali Suomen Kylmäyhdistys ry:n koulutuspäiviltä 2017. Saatu käyttöön Mikko Niskalalta vuonna 2017.
9. KH 20-00260. 1999. LVI-laitosten mittaukset. Rakennustietosäätiö.
10. Vuoden 2007 säät. Ilmatieteen laitos. Saatavilla: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2007>. Hakupäivä 4.5.2017.
11. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä 31.1.2017.

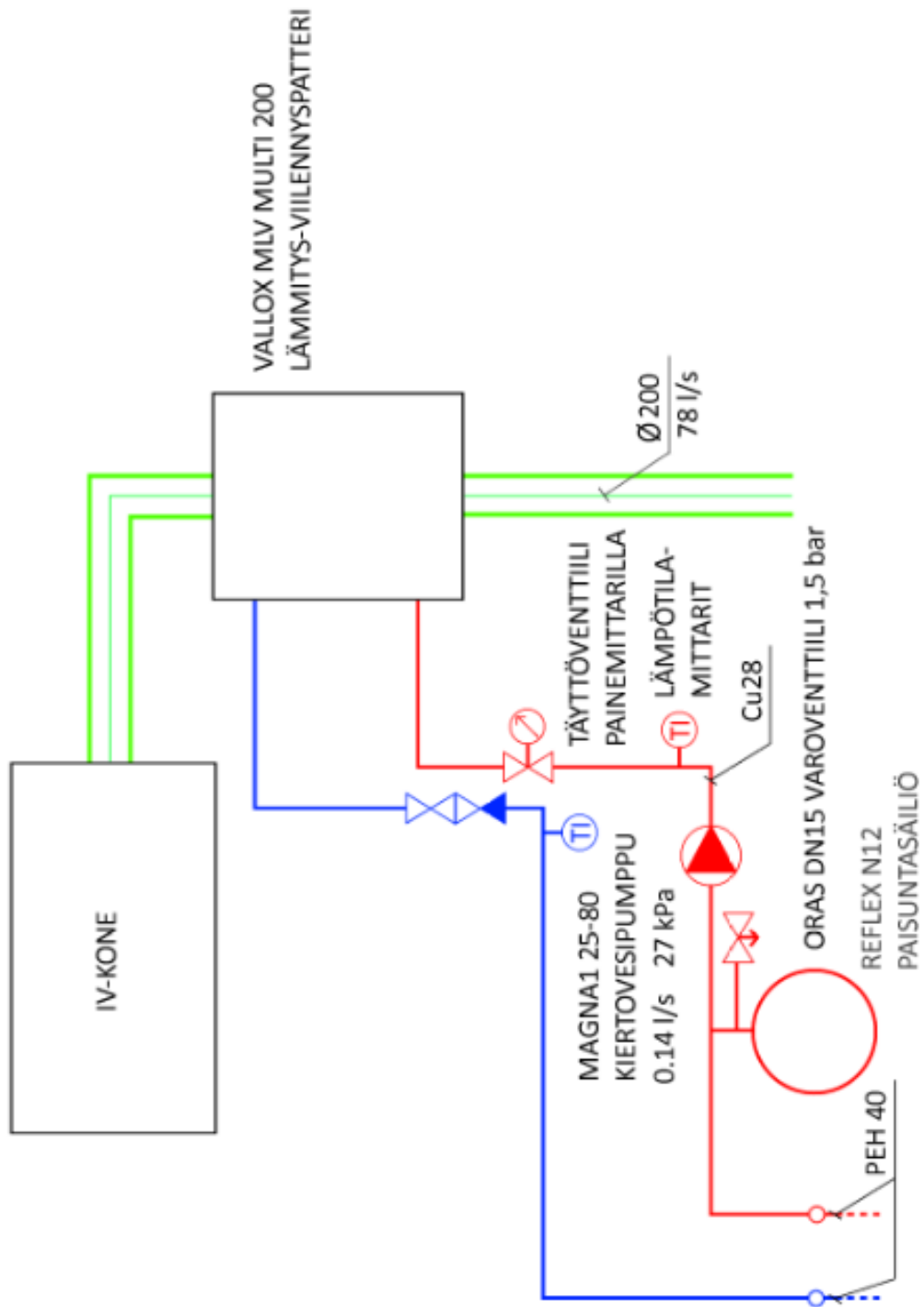


12. Air Properties. The Engineer Toolbox. Saatavissa: [http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d\\_156.html](http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html). Hakupäivä 1.4.2017.

13. Energiatehokas lämmönsiirto. Motiva. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas\\_lammonsiirto\\_opas.pdf](https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf). Hakupäivä 12.5.2017.

14. Suureet ja yksiköt. Suomen standardisoimisliitto. Saatavissa: <http://web.archive.org/web/20120831234747/http://www.sfs.fi/files/70/si-opas.pdf>. Hakupäivä 12.5.2017.

15. COP vs. SCOP – hyötysuhteiden erot. Nilan. Saatavissa: <http://www.nilan.fi/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>. Hakupäivä 12.5.2017.



\*\*\*\*\*

Antifrogen N

Ethylene glycol

Input:

Inlet temperature [°C]: ..... = 6,00

Concentration [vol %] ..... = 48,00

Freeze point [°C] ..... = -34,10

Properties:

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... = 1085,5

Specific heat [kJ/(kg·K)] ..... = 3319,4

Conductivity [W/(m·K)] ..... = 0,4233

Dynamic viscosity [cP] ..... = 7,121

Kinematic viscosity [cSt] ..... = 6,560

Flow

Massflow [kg/h] ..... = 390,8

Volumeflow [m<sup>3</sup>/h] ..... = 0,3600

Velocity [m/s] ..... = 0,1514

Geometry

Length [m] ..... = 160,0

Diameter [mm] ..... = 29,00

Roughness [mm] ..... = 0,01000

Pipe type: PEX PEX-pipes. 40 x 5.5

Pressure drop

Reynolds number [-] ..... = 669,2 (Laminar)

Friction factor [-] ..... = 0,09563

Pressure drop [kPa] ..... = 6,564

Pressure drop [m] ..... = 0,6166

Pressure drop per length [kPa/m] = 0,04102

Hydraulic pump power [W] ..... = 0,6564

