

JOKIMAAN
MAAPERÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
ENERGIATEHOKKUUS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristöteknologia
Ympäristötekniikka
8.1.2011
Nelli Autere

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikka

AUTERE, NELLI:

Jokimaan maaperäntutkimuslaitoksen
energiatehokkuus

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 55 sivua, 10 liitesivua

Syyskuu 2010

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa sähkönkulutuksen jakautuminen lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon välillä Jokimaan maaperäntutkimuslaitoksella ja sitä kautta arvioida sähkölämmityksen korvaavan uuden lämmitysjärjestelmän kannattavuutta sekä kehittää yksinkertaisia ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseksi rakenteissa ja käyttötottumuksissa. Sähkönkulutus on ollut kohteessa suurta, ja laitoksen omistajan tavoitteena on saada menoja pienemmiksi parantamalla energiatehokkuutta kohteessa.

Tarkastelussa laitoksen tärkeimmiksi energiankuluttajiksi oletettiin lattialämmitys, jäähdytys ja ilmanvaihdon lämmitys. Lattialämmityksen ja jäähdytyksen osuus laskettiin selvittämällä laitteistojen tehot ja arvioimalla niiden käyntiajat. Ilmanvaihdon lämmitys taas laskettiin käyttämällä Rakennusmääräyskokoelman osassa D5 Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta annettua lämmitysenergiantarpeen laskukaavaa. Tuloksia verrattiin sähkölaskuista saatuun vuoden kokonaiskulutukseen.

Laskelmien tulokseksi saatiin, että lattialämmitys vie suurimman osan energiasta, noin 40 %, ja ilmanvaihdon lämmitys sekä jäähdytys vievät kumpikin noin 25 %. Näiden tuloksien avulla arvioitiin, onko kannattavaa vaihtaa lämmitysjärjestelmä ilmalämpöpumppuun, maalämpöpumppuun tai pellettilämmitykseen. Tulokseksi saatiin, että pellettilämmitys ei sovi kohteeseen ja maalämpöpumpun takaisinmaksuaika on taas liian pitkä. Vaihtoehtoista ainoastaan ilmalämpöpumppu oli tarpeeksi kannattava investointi, ja sillä voidaan korvata ilmanvaihdon lämmitys.

Työn tärkeimpänä havaintona todettiin, että pienillä käyttötottumuksien muutoksilla ja panostamalla laitteiden oikeanlaiseen käyttöön, voidaan saada suuriakin säästöjä, tässä tapauksessa erityisesti lattialämmityksen suhteen.

Avainsanat: Energiatehokkuus, energiansäästö, LVI-tekniikka, uusiutuva lämmitysenergia

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

AUTERE, NELLI:

Energy efficiency at the Ground research
institute of Jokimaa

Bachelor's Thesis in Environmental Technology, 55 pages, 10 appendices

Autumn 2010

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate how the use of energy is divided between heating, cooling and ventilation at the Ground research institute of Jokimaa to estimate the cost-effectiveness of renewing the heating system and to develop simple solutions to improve the energy efficiency in structural materials and use of equipment. Energy consumption is high at this institute, and the owner wants to improve energy efficiency and thus increase cost-effectiveness.

In this study the most important energy consumers were assumed to be underfloor heating, cooling system and the heating of the ventilation. By solving the power and estimating the time being used, the share of the underfloor heating and cooling could be estimated. The share of the heating of the ventilation was calculated by using the Building regulations D5's view. The results were compared to the total consumption per year.

The results were that the underfloor heating makes about 40% and both cooling system and the heating of the ventilation about 25 % of the year's energy consumption. With the help of these results and studying the different heating systems, it is estimated that peat energy system is not useful in this institute and geothermal heating is not cost-effective enough. Only the air heat pump was cost-effective and it could replace the electric heating of the ventilation.

The most important result of the work was the fact that little improvements in the use of the equipment can have a major impact in energy consumption. In this case the biggest change was with the heating of the floor.

Key words: Energy efficiency, energy saving, renewable energy, ventilation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	3
2	ERILAISIA JÄÄHDYTYS- JA LÄMMITYSTEKNIIKOITA	5
2.1	Maalämpöpumppu	5
2.1.1	Toimintaperiaate	7
2.1.2	Käytön rajoitukset	8
2.1.3	Kustannukset	9
2.2	Ilmalämpöpumppu	9
2.2.1	Toimintaperiaate	9
2.2.2	Käytön rajoitukset	10
2.2.3	Kustannukset	10
2.3	Pellettilämmitys	11
2.3.1	Toimintaperiaate	11
2.3.2	Käytön rajoitukset	12
2.3.3	Kustannukset	12
3	JOKIMAAN PILOT-LAITOS	13
3.1	Nykytilanne	14
3.1.1	Energiankulutus	15
3.1.2	Lämmitysenergian tarve pilot-laitoksella	16
3.1.3	Tuloilma	21
3.1.4	Lämmitys ja jäähdytys	22
3.1.5	Lysimetrien eristys	25
3.2	Parannusehdotuksia	27
3.2.1	Tuloilma	27
3.2.2	Lämmitys ja jäähdytys	28
3.2.3	Maalämpöpumppu	32
3.2.4	Ilmalämpöpumppu	35
3.2.5	Eristys	38
4	TULOSTEN TARKASTELU	42
4.1	Energiankäytön jakautuminen	42
4.2	Lämmitysjärjestelmä	43
4.3	Maalämpöpumppujärjestelmän kannattavuus	46

		2
4.4	Ilmalämpöpumppujärjestelmän kannattavuus	49
4.5	Digitaalisen ajastintermostaatin kannattavuus	50
4.6	Lisäselvityksiä	51
5	YHTEENVETO	52

1 JOHDANTO

Jokimaan maaperäntutkimuslaitos on maaperäntutkimuksen ainoa pohjoismainen pilot-mittakaavan tutkimuslaitos. Tästä syystä vastaavanlaisen laitoksen energiatehokkuuden tehostamisesta kylmissä olosuhteissa ei ole vielä riittävästi tietoa ja kokemusta. Laitoksen ongelmana ovat suuret lämmityskulut talvisin ja kesäisin suuret jäähdetykset. Suurta lämmönhukkaa laitoksessa aiheuttavat maanalaisen tutkimustilan ja maanpinnan välissä olevat lysimetrit. Lysimetrien ja maan väliin jäävästä raosta karkaa lämpöä talvisin, ja kesäisin taas lämmintä ilmaa pääsee tutkimustiloihin. Tällä hetkellä laitoksessa on sähkölämmitys, minkä takia sähkönkulutus on suurta.

Tutkimusongelmaksi muodostui erityisesti ilmastoinnin ja jäähdetyksen energiatehokkuuden parantaminen maanalaisissa tiloissa. Normaalisti maaperä ylläpitää tiettyä lämpötilaa maanalaisissa kylmätiloissa, mutta tuotaessa ulkoilmaa huoneeseen vaikutetaan lämpötilatasapainoon. Maaperäntutkimuslaitoksen tapauksessa on erityisen tärkeää pysyä ympäröivän maaperän lämpötilassa, jotta koetulokset eivät vääristy. Tutkimuslaitoksella lämmitetään tuloilmaa, jäähdetään sisäilmaa sekä lämmitetään lattiaa. Eri toimintoihin vaikuttavat ulko- ja sisälämpötilojen lisäksi huonekosteus, joka ei saa nousta liian korkeaksi, jotta tutkimuksissa käytettävät mittauslaitteet eivät vahingoitu.

Opinnäytetyön tarkoitus oli myös kartoittaa mahdollisia energiatehokkaampia lämmitys- ja jäähdetystekniikoita, joita voitaisiin hyödyntää pilot-laitoksella. Parhaiten soveltuville laitteistoille tehtiin kustannusarviot ja kannattavuuslaskelmat.

Tärkeää oli myös kartoittaa laitoksen nykyistä energiankulutusta ja arvioida, mitkä tekijät vaikuttavat siihen. Opinnäytetyössä keskityttiin lattialämmityksen, tuottilman lämmityksen sekä jäähdytyksen osallisuutta sähkönkulutukseen. Kartoittamalla energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä saatiin ideoitua pienempiä investointeja, joiden avulla energiankulutusta voidaan pienentää.

Ilmastoinnin ja lämmityksen ongelmia lähdettiin kartoittamaan tutustumalla pilotlaitoksen LVI-suunnitelmiin sekä sähköpiirustuksiin. LVI-suunnitelmien avulla voitiin laskea karkea lämmitysenergiantarve käyttämällä rakennusmääräyskoelman osassa 5D esitettyjä laskentamalleja. Lämmitysenergiantarpeen avulla voitiin laskea uudelle lämmitysjärjestelmälle karkea takaisinmaksuaika ja näin arvioida sen kannattavuutta.

Kohdekäynneillä pyrittiin arvioimaan rakennuksen ongelmakohtia, jotka vaikuttavat merkittävästi kohteen energiatehokkuuteen. Haastatteleamalla tutkimuslaitoksen suunnittelijoita sekä käyttäjiä saatiin yleiskuvaa nykyisten lämmitys- ja jäähdytyslaitteistojen tarkoituksellisuudesta ja käyttötottumuksista.

Laskemalla lämmitysenergiantarve sekä arvioimalla haastattelujen pohjalta jäähdytyksen ja lattialämmityksen päälläoloa saatiin karkea arvio energiankulutuksen jakautumisesta eri tekijöiden välillä.

Haastatteleamalla myös erityisesti tutkimuslaitoksen LVI-suunnittelijoita sekä erilaisten lämmitysjärjestelmien asiantuntijoita saatiin kehittämisideoita sekä tietoa eri järjestelmien soveltuvuudesta kyseiseen kohteeseen.

2 ERILAISIA JÄÄHDYTYS- JA LÄMMITYSTEKNIIKOITA

2.1 Maalämpöpumppu

Maalämpö on aurinkoenergiaa, joka varastoituu maahan ja kallioperään aurinkosäteilyn, lämpimän ilman ja vesisateiden välityksellä. Suomen lämpöpumppuyhdistyksen mukaan noin 3 % maahan varastoituneesta aurinkoenergiasta riittäisi vuotuisen lämmitysenergiantarpeemme tuottamiseen maalämmöllä. Suomessa on käytettävää varastoitunutta aurinkoenergiaa, sillä talvisin auringon lämmittävä vaikutus on pohjoisilla leveysasteilla hyvin vähäistä. (Sulpu Ry 2010.)

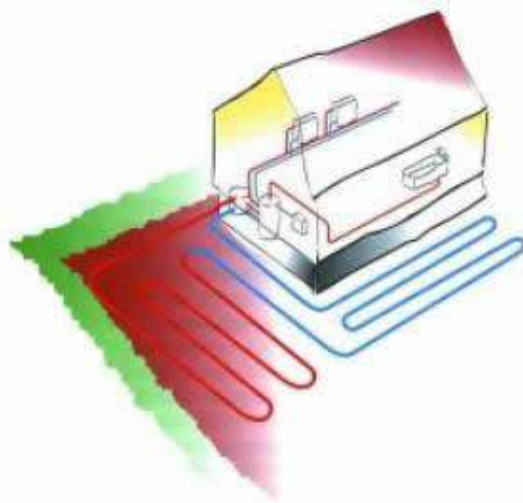
Maasta saatava lämpöenergia riippuu paljon maa-aineksesta sekä maantieteellisestä sijainnista. Mitä pohjoisempaan mennään, sitä vähemmän maasta saadaan lämpöenergiaa. Maa-aineksista savi sitoo parhaiten lämpöä itseensä ja hiekka huonoiten, kuten taulukosta 1 nähdään. (Sulpu Ry 2010.)

TAULUKKO 1. Ohjeellisia arvoja maasta vuotuisesti saatavalle lämpöenergialle. (Sulpu Ry 2010.)

Sijainti	Savi [kWh/m]	Hiekka [kWh/m]	Huomatus
Etelä-Suomi	50...60	30...40	Linjan Kokkola – Savonlinna eteläpuoli
Keski-Suomi	40...45	15...20	
Pohjois-Suomi	30...35	00...10	Lappia lukuun ottamatta

Vaakasuora lämmönkeruuputkisto

Maalämpöpumpun vaakasuora lämmönkeruuputkisto vaatii melko suuren maa-alueen, mutta tekniikan kehittyessä maantarve on pienentynyt (Hautala & Peltonen 2005, 194). Putkisto asennetaan 1,2–1,7 m syvyyteen ja putkilenkkien etäisyys toisistaan tulee olla noin 1,5 m. Etelässä putkisto voidaan asentaa matalammalle kuin pohjoisessa. Karkeana ohjeellisena arvona putkimäärälle pidetään noin 1-2 m putkea lämmitettävää rakennuskuutiota kohden, ja jokaista putkimetriä kohden tarvitaan noin 1,5 m² maa-alaa. (Sulpu Ry 2010.)

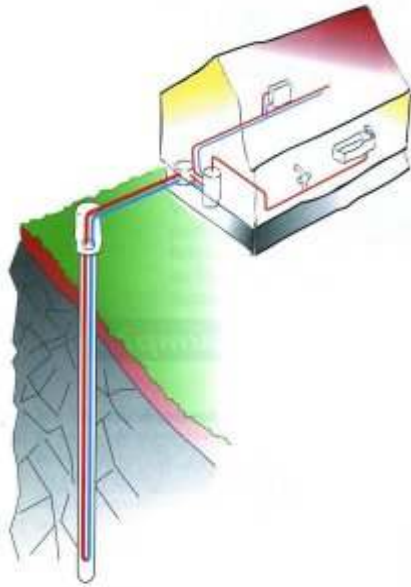


KUVIO 1. Vaakasuora putkisto (Sulpu Ry 2010.)

Porakaivo

Maalämpöputkisto voidaan asentaa myös porakaivoon, jonka etuina ovat vaakasuoraan lämmönkeruuputkistoon verrattuna reilusti pienempi tarvittava asennuspinta-ala, tasainen lämpötila, routimattomuus sekä helposti ilmattava järjestelmä. Porakaivon energiasaanto on lisäksi jopa kaksinkertainen asennettavaa putkimetriä kohden verrattuna maahan kaivettuun lämmönkeruuputkistoon. (Sulpu Ry 2010.) Kuvissa 1 ja 2 näkyvät vaakasuoran lämmönkeruuputkiston ja porakaivon erot.

Erityisesti kylmien tilojen jäähdytyksessä porakaivo on vaakasuoraa lämmönkeruuputkistoa parempi vaihtoehto, sillä syvemmissä maassa lämpötila pysyy tasaisempana 4-5 °C:ssa, kun taas pintamaan lämpötila voi kesäisin nousta jopa 15 °C:een. (Ahvenainen 2010.)



KUVIO 2. Porakaivo (Sulpu Ry 2010.)

2.1.1 Toimintaperiaate

Maalämpöpumppulaitos perustuu kylmäaineen kiertoprosessiin. Pumppu kierrättää keräilyputkistossa jäätymätöntä liuosta, joka on usein veden ja alkoholin seosta. Ympäröivä maaperä lämmittää liuosta, jolloin neste lämpenee noin 2-3 °C. Neste siirtyy lämpöpumpun höyrystimeen, jossa se luovuttaa lämpöään kylmäainelle ja jäähtyy noin 2-3 °C sekä palaa takaisin maaputkistoon lämmitäkseen uudelleen. (Harju 2005, 103.)

Höyrystimen kylmäaine höyrystyy vesi-alkoholiliuoksen luovuttaman lämpöenergian avulla ja kompressorin aiheuttaman paineen avulla. Näin lämpö saadaan talteen nostamalla se korkeampaan lämpötilaan, eli noin 60 °C:een. Lämpö voidaan siirtää jakelulaitteistossa kulkevaan veteen, jolla lämmitetään käyttövettä tai käytetään esimerkiksi lattia- tai ilmalämmityksessä. Lämpöpumpun hyötysuhde riippuu jakelujärjestelmän lämpötilasta. Esimerkiksi vesikiertoisen lattialämmityksen lämpötila on alhainen, jolloin lämpöpumpun hyötysuhde paranee. (Harju 2010, 103.)

Maalämpöputkistoa voidaan käyttää kesäisin myös jäähdytykseen suhteellisen edullisesti. Tuloilma voidaan jäähdyttää kytkemällä tuloilmakanavan patteri maalämpöpumpun liuospiiriin, jolloin kierrätetään maapiiriä tuloilmapatterin kautta. (Sulpu Ry 2010.) Lämpöpumppulaitoksen kannattavuus paranee, kun sitä käytetään myös jäähdytykseen (Seppänen & Seppänen 1997, 142).

2.1.2 Käytön rajoitukset

Vaakasuora lämmönkeruuputkisto vaatii suuren maa-alan ja mittavat kaivuutyöt. Porakaivoa taas ei voida kaivaa paikkaan, jossa peruskallio ei ole tarpeeksi lähellä maanpintaa. Jos esimerkiksi savinen maaperä jatkuu liian syvälle, on porakaivoa vaikea kaivaa kyseiselle paikalle. (Sääksjärvi 2010.)

Saneerauskohteessa asentaminen vaatii hintavia lisätöitä. Tuloilmaa lämmittävän sähköisen kanavalämmittimen paikalle on asennettava vesikiertoinen kanavalämmitin ja sähköpattereiden paikalle on vaihdettava vesikiertoiset patterit. Laitteiden asennuksen lisäksi täytyy tehdä myös tarvittavat LVI-työt. (Sääksjärvi 2010.)

2.1.3 Kustannukset

Lämpöpumpun käyttökustannukset muodostuvat kompressorin tarvitsemasta sähköenergiasta. Maalämpöpumpun energiatehokkuutta kuvataan lämpökertoimella. Jos lämpöpumpun lämpökerroin on esimerkiksi 3, saadaan siitä 1 kW sähkönkulutuksella noin 3 kW:n lämmitysteho sähköenergian muuttuessa laitteistossa lämpöenergiaksi. Lämpöpumppujen lämpökertoimien arvot vaihtelevat yleensä 2,5–3,5 välillä lämmönlähteestä ja koneistosta riippuen. (Harju 2005, 103.)

Oilon Home Oy:n Timo Ahvenaisen mukaan hinta-arvio on 12 000-14 000 € sisältäen lämpöpumpun ja sen asennuksen sekä keruuputkiston ja kaivuutyöt. Lahden Lämpötekniikka Oy:n Ari Tarkkonen arvioi lattialämmityksen asentamiskustannukseksi noin 3360 € sisältäen arvonlisäveron (22 %), jolloin neliötä kohden hinta olisi noin 20 €. Ari Tarkkosen mukaan maalämpöpumpun hinta-arvio olisi noin 10 500 €, mutta arvio ei sisällä kaivuutyötä, jolloin lopullinen arvio on hyvin lähellä Timo Ahvenaisen antamaa.

Keskimääräinen hinta-arvio normaalikohteissa on siis 13 000 €, johon kuuluu lämpöpumppu, asennus, keruuputkisto sekä kaivuutyöt. Jos tähän lisätään vielä lattialämmityksen asennuskustannukset, noin 3000 €, saadaan maalämpöpumpun karkeaksi hinta-arvioksi 16 000 €.

2.2 Ilmalämpöpumppu

2.2.1 Toimintaperiaate

Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin maalämpöpumpun, mutta lämmön keruu tapahtuu ulkoilmasta. Ulkona sijaitseva höyrystin kerää lämpöä ilmasta ja luovuttaa sen sisällä sijaitseville yhdelle tai useammalle lauhdutinyksikölle. Ilmalämpöpumppu toimii siis sisäilman lämmittäjänä. (Sulpu Ry 2010.)

2.2.2 Käytön rajoitukset

Ilmalämpöpumppu toimii toisen lämmitysjärjestelmän rinnalla, ja päälämmityslähde on mitoitettava rakennuksen suurimman lämmöntarpeen mukaan. Tämä johtuu siitä, että ilmalämpöpumpun hyötysuhde laskee liian alhaiseksi, mikäli ulkolämpötila laskee alle -25 °C :en. (Sulpu Ry 2010.)

Ilmalämpöpumppua ei voida hyödyntää jäädytyksessä kovin tehokkaasi, sillä ilman lämpötila on liian suuri. Ilmalämpöpumpun viilennysteho vastaa jäädytyskoneiden jäädytystehoa, jolloin saneerauskohteessa olevien jäädytyskoneiden vaihtaminen ilmalämpöpumppuun ei ole kannattavaa. Ilmalämpöpumppu vaatii lisäksi oman yksikkönsä sisätilaan, jonka paikka on valittava huolella. (Sääksjärvi 2010.)

2.2.3 Kustannukset

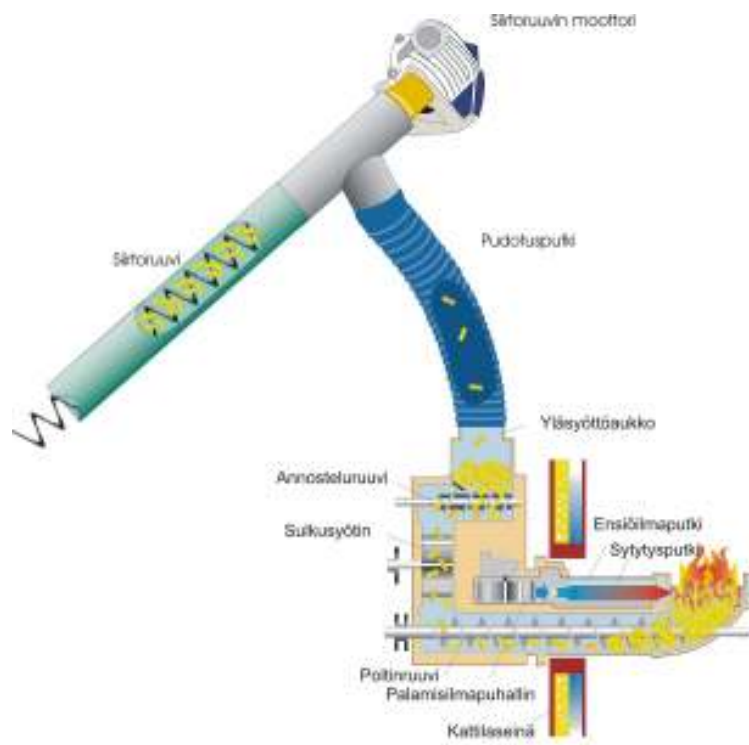
Käyttökustannuksiin vaikuttaa kompressorin energiantarve, jota kuvataan lämpökertoimella. Ilmalämpöpumppujen lämpökerroin vaihtelee Suomessa välillä 1,8–2,2. (Sulpu Ry 2010.) Tämä tarkoittaa sitä, että jos lämpöpumpun lämpökerroin on 2, saadaan 1 kW:lla sähköenergiaa tuotettua 2 kW lämpöenergiaa, jolloin sähköenergian kulutus lämmityksessä laskee puoleen. (Harju 2005, 103.)

Ilmalämpöpumppujen hinnat vaihtelevat yleensä 700–2900 euron välillä, riippuen laitteiden teknisistä ominaisuuksista. Keskimääräiseksi lämpöpumpun hinnaksi tulee noin 1300 €. Hintaa nostaa kuitenkin laitteen kylmätekniinen asennus, joka maksaa 50–700 € sekä sähkötyöt, jotka maksavat 10–200 €. Lopulliseksi hinnaksi tulee siis 1200–3500 €, jolloin ilmalämpöpumpun todellinen keskimääräinen hinta tulee olemaan noin 2 350 €. (Kuluttajavirasto 2009.)

2.3 Pellettilämmitys

2.3.1 Toimintaperiaate

Pelletillä lämmitettäessä tehokkainta on vesikiertoinen lattia- tai patterilämmitys. Kiertävä vesi lämmitetään lämmityskattilassa, josta vesi lähtee kiertoon rakennuksen patteri- tai lattiaputkistoon. Lämmityskattilan luukussa tai sisällä oleva poltin synnyttää tulen, jolla poltetaan siilosta ruuvikuljettimella tuodut pelletit. (Pellettienergiayhdistys 2010.) Kuvassa 4 näkyy yksityiskohtaisesti pellettipolttimen rakenne.



KUVIO 3. Pellettipolttimen rakenne
(Pellettienergiayhdistys 2010.)

2.3.2 Käytön rajoitukset

Pellettilämmitys vaatii aktiivista toimintaa lämmityskohteessa, sillä poltin on puhdistettava kaksi kertaa kuukaudessa. Myös nuohous on tehtävä vuosittain, ja laitteiden säädöt on tarkastettava säännöllisin määräajoin. Jos paikalla ei käydä usein, on palkattava huoltomies. (Pellettienergiayhdistys 2010.)

2.3.3 Kustannukset

Pellettilaitteiston hinta on noin 3000 €, johon täytyy vielä lisätä vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän asentaminen (Satanen.com 2010). Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän asentaminen ja LVI-työt voivat maksaa jopa 15 000 € (Sääksjärvi 2010).

Jos lämmitysenergiankulutus on noin 18 000 kWh vuodessa ja pellettien hinta on tällä hetkellä 5,1 snt/kWh, saadaan pellettilämmityksen käyttökustannuksiksi vuodessa noin 918 €. Sähkölämmityksen käyttökustannuksiksi taas saadaan 1 872 €, jos sähkön hinta on 10,4 snt/kWh. (Vapo Oy 2010.)

3 JOKIMAAN PILOT-LAITOS

Lahden Jokimaalla Meisselikadulla sijaitsee pilot-mittakaavan maaperäntutkimuslaitos, jonka omistaa Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy. Lahden tiede- ja yrityspuisto vuokraa tiloja maaperäntutkimuskäyttöön. Pilot-laitoksessa on 16 tilavuudeltaan kahden kuutiometrin kokoista lysimetriä. Tutkimuslaitokseen kuuluu myös kaksi 220 m² kokoista tutkimuskenttää sekä kaksi 20 m² kokoista tutkimussiiloa. (Määttä 2009.)



KUVIO 4. Pilot-laitoksen huoltorakennus.

(Ryynänen 2010.)

Maaperäntutkimuslaitos koostuu maanalaisesta tilasta, jonka kerrosala on 183 neliömetriä ja toimistorakennuksesta, jonka kerrosala on noin 44,5 neliömetriä (LVI-piirustukset). Lysimetrit sijaitsevat maanalaisen tilan ja maanpinnan läpi kulkevissa aukoissa. Kellaritila pyritään pitämään samassa lämpötilassa kuin ympäröivä maaperä, eli noin 7-9 °C:sa (Ryynänen 2010.).



KUVIO 5. Pilot-laitoksen maanalainen tila lysimetreineen.

(Ryynänen 2010.)

Sähkönkulutus on ollut kohteessa suurta, minkä takia omistaja on harkinnut uudenlaisen lämmitysjärjestelmän hankkimista sekä muiden sähköä säästävien toimenpiteiden kartoittamista. Uudessa lämmitysjärjestelmässä on myös tärkeänä tekijänä sen ekologisuus.

3.1 Nykytilanne

Tärkeintä tutkimuslaitoksessa on pitää olosuhteet stabiileina ja samankaltaisina kuin ympäröivässä maaperässä. Siksi lämpötila pyritään pitämään 7-9 °C:en välillä, kuten normaalisti maaperässäkin. Tärkeää on myös pitää tutkimustila mahdollisimman kuivana, jotta kosteudelle herkät mittauslaitteet eivät vahingoitu. (Ryynänen 2010.)

Yleensä maanalaisissa tiloissa lämpötila pysyy melko tasaisena ja samanarvoisena kuin maaperässä, sillä ympäröivä maa tasoittaa lämpötilaeroja. Kun maanalaisessa tilassa on koneellinen ilmanvaihto, eli tuloilma tuodaan ulkoa, ei kellarin lämpötila enää pysykään samanarvoisena kuin ympäröivän maaperän.

Jokimaan pilot-laitoksella tuloilmakone tuo talvisin kylmää ilmaa, minkä takia ilma on lämmitettävä ennen sen pääsyä kellaritilaan. Kesäisin taas lämmintä ilmaa tuodaan kellariin, jolloin kellaria on jäähdytettävä. Jäähdytyskoneet myös kuivattavat kellaritilaa sitomalla kosteutta magneettiventtiileihinsä. (LVI-piirustukset)

3.1.1 Energiankulutus

Energiankulutus laskettiin sähköntoimittajan tasauslaskuista, joista näkyy todellisen sähkönkulutus tietyillä ajanjaksoilla. Seuraavassa taulukossa on kuvattu tasauslaskuista saatujen ajanjaksojen energiankulutus.

TAULUKKO 2. Energian kulutus tietyillä ajanjaksoilla

Päivämäärät	Energian- kulutus [kWh]	Keskimääräinen energiakulutus [kWh/kk]	Energiakus- tannus, alv 0% [€/kk]	Energiakus- tannus, alv 0% [€/a]
20.6.07 - 31.12.07	26 271	4 379	393	4716
1.1.08 - 18.9.08	36 782	4 277	384	4610
20.6.07–18.9.08	63 053	4 204	378	4531
19.9.08 - 30.9.08	1 896			
1.10.08 - 31.12.08	15 884	5 295	476	5707
1.1.09 - 30.11.09	55 649	5 059	454	5453
19.9.08 - 30.11.09	73 429	5 245	471	5654
20.6.07–30.11.09	136 482	4 706	423	5073

Keskimääräinen siirtomaksu 3,469 snt/kWh ja keskimääräinen myyntihinta 5,514 snt/kWh.

Pilot-laitoksen keskimääräinen energiankulutus on ollut vuosina 2006–2009 noin 4 700 kWh/kk, mutta kulutus on vaihdellut suuresti vuosien välillä. Ensimmäisten viidentoista kuukauden aikana kulutus on ollut noin 4 200 kWh/kk ja viimeisten neljäntoista kuukauden aikana noin 5 250 kWh/kk, joten sähkönkulutus on nousut keskimäärin yli 1000 kWh/kk. (Lahti Energia 2009.) Ero voi mahdollisesti johtua siitä, että laitos on vasta aloittanut toimintansa, eikä ensimmäisen vuoden aikana toiminta ole vielä vakiintunut. Ero voi myös johtua sääoloista, eli siitä, millä teholla on jouduttu käyttämään jäähdytys- ja lämmityslaitteita.

3.1.2 Lämmitysenergian tarve pilot-laitoksella

Rakennusmääräyskokoelman osassa D5 Rakennusten lämmityksen tehon- ja energiantarpeen laskenta, Ohjeet 1985 on annettu rakennusten energiantarpeelle seuraava laskukaava (Ympäristöministeriö 2003a)

$$Q = (Q_{\text{joht}} + Q_{\text{joht.maa}} + Q_{\text{iv}} + Q_{\text{vuotoiv}} + Q_{\text{lv}} - Q_{\text{s}}) / \eta \quad (1)$$

Q	lämmitysenergiatarve, kWh
Q_{joht}	rakenteiden läpi johtuva energia, kWh
$Q_{\text{joht.maa}}$	maahan johtuva energia, kWh
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
Q_{vuotoiv}	vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh
Q_{lv}	käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia, kWh
Q_{s}	sisäisistä lämmönlähteistä ja auringon säteilystä hyödynnettävä energia, kWh
η	lämmöntuoton hyötysuhde laskentajaksolla

Pilot-tutkimuslaitos on kuitenkin niin monimutkainen lämmitys- ja jäähdytystarpeiltaan, joten laskennassa pyritään yksinkertaistamaan lauseketta. Sisäisistä lämmönlähteistä ja auringon säteilystä hyödynnettävä energia sekä vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia ovat vaikea arvioida ja lämmitetyn veden käyttö on hyvin vähäistä, joten niiden muuttujia ei lasketa mukaan lausekkeeseen.

Lämpötila pyritään pitämään samassa lämpötilassa kuin maaperän lämpötila, jolloin teoriassa lämpöenergiaa ei pääse maaperään, joten lausekkeesta voidaan poistaa myös maahan johtuva energia. Näin saadaan yksinkertaisempi lauseke, jolla voidaan karkeasti arvioida lämmitysenergiatarvetta

$$Q = (Q_{\text{joht}} + Q_{\text{iv}}) / \eta \quad (2)$$

Rakenteiden läpi johtuva energia lasketaan kaavasta

$$Q_{\text{joht}} = \Sigma (U_i A_i 24 S) / 1000 \quad (3)$$

Q_{joht}	rakenteiden läpi johtuva energia, kWh
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
S	lämmitystarveluku, Kd
24	kerroin, jolla muunnetaan lämmitystarveluku astetunneiksi, h/d
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, W/kWh

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lasketaan kaavasta (Ympäristöministeriö 2003a)

$$Q_{\text{iv}} = \rho c q t 24 S r t_v - Q_{\text{LTO}} = \rho c q t 24 S r t_v - \eta_a (\rho c q t 24 S r t_v) = (1 - \eta_a) \rho c q t 24 S r t_v \quad (4)$$

Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
Q_{LTO}	lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettava ja hyödynnettävä energia, kWh
ρ	ilman tiheys, kg/ m ³
c	ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kg K)
q	ilmanvaihdon ilmavirta, m ³ /s
t	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/24h
24	kerroin, jolla muunnetaan lämmitystarveluku astetunneiksi, h/d
S	lämmitystarveluku, Kd
r	kerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan
t_v	Ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/7 vrk
η_a	poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Kuukauden lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen päivien ulko- ja sisälämpötilojen erotus ja vuoden lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kuukausien lämmitystarveluvut. Vertailupaikkakuntien lämmitystarveluvut löytyvät esimerkiksi Motivan julkaisemasta lämmitystarvelukutaulukosta, joka löytyy liitteestä 6. Lämmitystarveluvut on laskettu olettamalla sisälämpötilan olevan +17 °C. (Motiva 2010a.)

Pilot-laitoksen tutkimustiloissa lämpötila on kuitenkin keskimäärin +7 °C, jolloin lämmitystarveluvuista on vähennettävä 10 °C. Laskennassa oletetaan, että lämmitystä tarvitaan niinä kuukausina, jolloin kuukauden keskilämpötila on alle +6 °C. Muina kuukausina lämmitys ei ole päällä. Kuukauden keskilämpötilat Lahdessa löytyvät liitteestä 10. Saadaan yhteensä seitsemän kuukautta, joiden keskilämpötila on alle +6 °C. Lämmitystarveluku lasketaan liitteen 1 arvojen mukaan seuraavasti

$$737 \text{ Kd} + 686 \text{ Kd} + 615 \text{ Kd} + 419 \text{ Kd} + 394 \text{ Kd} + 533 \text{ Kd} + 674 \text{ Kd} = 4\,058 \text{ Kd}$$

Kuukaudessa päiviä on noin 30, jolloin saadusta lämmitystarveluvusta vähennetään

$$7 * 30 \text{ d} * 10 \text{ K} = 2100 \text{ Kd}$$

Maanalaisen tilan lämmitystarveluvuksi saadaan

$$4058 \text{ Kd} - 2100 \text{ Kd} = 1958 \text{ Kd}$$

Lasketaan ensin maanalaisen tilan vuoden lämmitysenergiantarve sähkölämmitykselle. Tutkimustilassa ei ole lämmön talteenottoa, joten lausekkeesta voidaan poistaa muuttuja Q_{LTO} . (Ympäristöministeriö 2003a.) Rakennuksen U-arvot saadaan liitteestä 9 ja ilmavirta LVI-piirustuksista.

$$Q = (\sum (U_i A_i 24 S) / 1000 + \rho c q t 24 S r t_v) / \eta \quad (5)$$

$$U_{YP2} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{YP2} = 157 \text{ m}^2$$

$$U_{AP2} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{AP2} = 157 \text{ m}^2$$

$$U_{US2} = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{US2} = 160 \text{ m}^2$$

$$S = 1958 \text{ Kd}$$

$$\rho = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c = 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$q = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 24 \text{ h}/24 \text{ h} = 1$$

$$r = 1$$

$$t_v = 7 \text{ vrk}/7 \text{ vrk} = 1$$

$$\eta = 1$$

$$Q = ((24 * 1958 \text{ Kd} * (0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 157 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 157 \text{ m}^2 + 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 160 \text{ m}^2)) / 1000 + 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * 0,04 \text{ m}^3/\text{s} * 24 * 1958 \text{ Kd}) / 1$$

$$= 8 487 \text{ kWh} \approx 8 500 \text{ kWh}$$

Lasketaan huoltorakennuksen lämmitysenergiantarve sähkölämmitykselle. Oletetaan, että ilmanvaihdon vuorokautinen käyntiaika on 8 h/vrk, ajalla 10.00–18.00. Vuorokautinen näennäiskäyntiaika on tällöin $\Delta t_{\text{vrk}} = 17,91 - 10,79 \text{ h} = 7,12 \text{ h}$. Näennäiskäyntiajat saadaan rakennusmääräyskokoelman osassa 5D olevasta näennäiskäyntiaikojen taulukosta, joka löytyy liitteestä 7. (Ympäristöministeriö 2010, 61.) Huoltorakennuksen vuoden lämmitystarveluku on liitteen 6 taulukon mukaan 4512.

$$Q = (\sum (U_i A_i 24 S) / 1000 + (1 - \eta_a) \rho c q t 24 S r t_v) / \eta \quad (5)$$

U_{YP1}	$= 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{YP1}	$= 52,5 \text{ m}^2$
U_{AP1}	$= 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{AP1}	$= 52,5 \text{ m}^2$
U_{US1}	$= 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{US1}	$= 72,5 \text{ m}^2$
S	$= 4512 \text{ Kd}$
ρ	$= 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$
c	$= 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
q	$= 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$
t	$= 8 \text{ h} / 24 \text{ h} = 0,33$
r	$= 7,12 \text{ h} / 8 \text{ h} = 0,89$
t_v	$= 2,33 \text{ vrk} / 7 \text{ vrk} = 0,33$
η_a	$= 0,45$
η	$= 1$

$$\begin{aligned}
 Q &= ((24 * 4512 \text{ Kd} * (0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 52,5 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 52,5 \text{ m}^2 + \\
 &0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 72,5 \text{ m}^2)) / 1000 + (1 - 0,45) * 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * \\
 &0,12 \text{ m}^3/\text{s} * 0,33 * 24 * 4512 \text{ Kd} * 0,89 * 0,33) / 1 \\
 &= 5\,198 \text{ kWh} \approx 5\,200 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

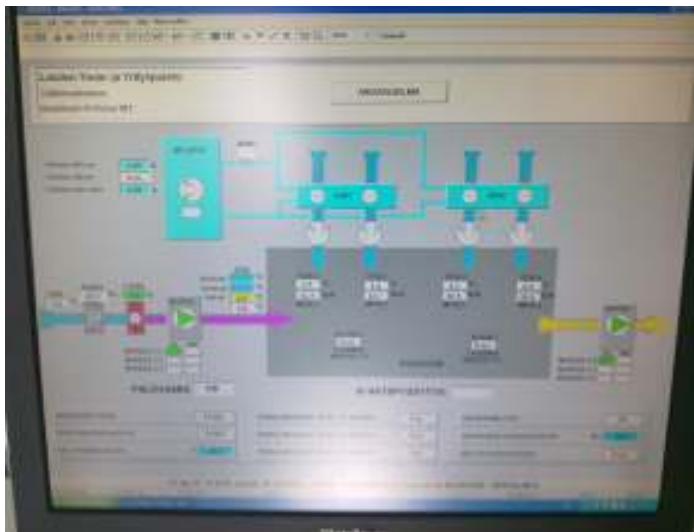
Lämmitysenergiantarve sähkölämmitykselle on yhteensä koko tutkimuslaitoksella

$$8\,500\text{ kWh} + 5\,200\text{ kWh} = 13\,700\text{ kWh}$$

3.1.3 Tuloilma

Kellaritilan tuloilmakone käy normaalisti 1/3 teholla. Jos tilassa työskennellään, laitetaan kone 2/3 tai 3/3 teholle, riippuen ihmisten lukumäärästä (LVI-piirustukset 2007). Käyttäjä arvioi, että kone käy 2/3 teholla vain noin viisi kertaa vuodessa noin kahdeksan tunnin ajan (Ryynänen 2010a). Kyseinen aika on niin häviävän pieni osa koneen käyttöajasta, joten koneen voi tarkastelussa olettaa käyvän aina 1/3 teholla.

Tuloilmakoneen tuottama ilmamäärä on 3/3 teholla 120 l/s, eli useimmiten sen läpi kulkee ilmaa vain 40 l/s (LVI-piirustukset 2007). Ilmamäärä on niin pieni, että kellaritilan ilmastoinnissa ei ole lämmön talteenottoa (Kuosa 2010). Tuloilma lämmitetään Systemairin sähköisellä kanavalämmittimellä +6 °C:een ulkolämpötilan ollessa alle +6 °C. Kun ulkolämpötila ylittää +6 °C:en, kanavalämmitin ei enää lämmitä tuloilmaa. Lämpiminä vuodenaikoina tuloilmaa ei jäähdytetä lainkaan vaan tilan jäähdytys hoidetaan sisällä olevilla jäähdytyskoneilla. (LVI-piirustukset.)



KUVIO 6. IV-koneen säätöohjelma. (Levan 2010.)

Tuloilmaputkisto kulkee kellaritiloihin menevän rappukäytävän kautta. Tämän rappukäytävän seinät koostuvat pääasiassa lasista, jolloin auringonpaiste voi lämmittää tilaa voimakkaastikin. Rappukäytävää ei ole suojattu auringonpaisteelta ja ilmaputkistoja ei ole eristetty tai koteloitu, jolloin tuloilma lämpenee entisestään. (Levan 2010.) Esimerkiksi kohdevierailulla ulkolämpötila oli IV-koneen säätöohjelman mukaan +4 °C, mutta tutkimustilaan kulkeneen ilman lämpötila oli +8 °C. Ilma oli siis lämmennyt tuloilmakoneessa ja – putkistossa +4 °C.



KUVIO 7. Tulo- ja poistoilmaputkistot rappukäytävässä.
(Ryynänen 2010.)

3.1.4 Lämmitys ja jäähdytys

Tuloilma lämmitetään sähköpatterilla +6 °C:si ja sähkövastuksinen lattialämmitys pidetään termostaatin avulla +5 °C:ssa. Poistoilmakone jäähdyttää myös tilaa. Kun huonelämpötila nousee yli termostaatin asetteluarvon, eli +7 °C, poistoilmakone käynnistyy ja poistaa lämmintä ilmaa huoneesta. Kun lämpötila palautuu takaisin halutulle arvolle, poistoilmakoneen puhallin sulkeutuu. (LVI-piirustukset 2007.)

Tilaa myös jäähdytetään ja kuivataan jäähdytyskoneilla kierrättämällä huoneilmaa, jolloin ylimääräinen kosteus irtoaa höyrystimien alhaisen pintalämpötilan takia (LVI-piirustukset 2007). Jäähdytyskoneita täytyy sulattaa tietyin väliajoin, jos ne ovat jatkuvassa toiminnassa. Jäähdytyskoneiden sulatusjaksot ovat 30 minuuttia joka neljäs tunti. (Levan 2010.)



KUVIO 8. Jäähdytyslaitteiston höyrystinyksikkö.
(Ryynänen 2010.)

LVI-suunnitelmien mukaan höyrystimien puhaltimet ovat jatkuvasti päällä, mutta magneettiventtiili avautuu vain, kun kellaritilan lämpötila nousee yli 7 °C:en. Puhaltimet ovat jatkuvasti päällä, jotta ilma liikkuu huoneessa ja tasaa näin tutkimustilan lämpötilaeroja (Sihvonen 2010). Suurin energiankäyttö tapahtuu kuitenkin jäähdyttimen kompressorissa laitteen jäähdyttäessä huoneilmaa. Kompressori nostaa höyrystimen kylmäaineen painetta, jolloin kylmäaine höyrystyy ja siirtyy ulkopuolella olevaan lauhduttimeen jäähtymään. (Harju 2005, 102.) Höyrystin ei siis kuluta paljoakaan sähköä pelkkien puhaltimien ollessa päällä.

Jäähdytyskompressorin teho on 3,2 kW (LVI-piirustukset 2007). Jos oletetaan, että seitsemänä kuukautena, jolloin keskilämpötila on alle +6 °C, jäähdytyskone käy 4 tuntia päivässä ja viitenä kuukautena, kun keskilämpötila on yli +6 °C, kone käy 12 tuntia päivässä, on jäähdytyksen energiantarve seuraava:

$$7 * 30 * 4h * 3,2 \text{ kW} + 5 * 30 * 12h * 3,2 \text{ kW} = 8\ 448 \text{ kWh}$$

Jos taas oletetaan, että jäädytyskone käy kylmimpinä kuukausina 8 tuntia päivässä ja lämpimimpinä kuukausina 16 tuntia päivässä, saadaan jäädytyksen energiantarpeeksi

$$7 * 30 * 8h * 3,2 \text{ kW} + 5 * 30 * 16h * 3,2 \text{ kW} = 13\ 056 \text{ kWh}$$

Jäädytys ei siten kuluta paljoakaan energiaa, vaikka se olisi päällä lähes jatkuvasti. Sen sijaan lattialämmitys kuluttaa todennäköisesti reilusti energiaa.

Lattialämmityksen teho on noin 12 kW (Sähköpiirustukset 2007). Lattialämmityksen termostaatti tarkkailee huoneen lämpötilaa, ja kun lämpötila laskee alle +5 °C, lattialämmitys menee päälle. Lattialämmityksen tarkoitus on kuivattaa lattiaa, sillä lysisimetreistä kerääntyy kosteutta lattialle ja kylmä lattiapinta kerää helposti kosteutta itseensä. Lattialämmityksen termostaatti on myös hyvin epätarkka, sillä se on käsin säädettävä, jossa asteikon tarkkuus on 5 °C. Jos termostaatti on säädetty yli 7 °C:en, lämmittää lattialämmitys tilaa liikaa, jolloin jäädytyskoneet menevät päälle, mikä aiheuttaa lisää sähkönkulutusta. (Ryynänen 2010.)



KUVIO 9. Lattialämmityksen termostaatti.
(Ryynänen 2010.)

Jos oletetaan, että seitsemänä kuukautena, kun keskilämpötila on yli +6 °C, lattialämmitys on päällä 12 tuntia ja viitenä kuukautena, kun keskilämpötila on yli +6 °C, lattialämmitys on päällä 4 tuntia, kuluttaa lattialämmitys energiaa seuraavasti:

$$7 * 30 * 12h * 12kW + 5 * 30 * 4h * 12 kW = 37\ 440\ kWh$$

Jos taas oletetaan, että kylmimpinä kuukausina lattialämmitys on vain 8 tuntia päällä ja lämpimimpinä kuukausina 2 tuntia, on lattialämmityksen energiankulutus

$$7 * 30 * 8h * 12kW + 5 * 30 * 2h * 12 kW = 23\ 760\ kWh$$

Lattialämmitys kuluttaa siis reilusti energiaa, vaikka sen oletettaisiin olevan päällä vain harvoin.

Huoltorakennuksessa lämpötilaa pidetään noin 15 °C:ssa, kun laitoksessa ei työskennellä. Myös tuloilmakone käy vain 1/3 teholla lähes jatkuvasti. (Ryynänen 2010.) Huoltorakennuksen ilmanvaihto ja lämmitys, eivät siis suurestikaan vaikuta laitoksen energiankulutukseen.

3.1.5 Lysimetrien eristys

Lysimetreille ei ole suunniteltu kunnan eristystä, jolloin kylmä ja lämmin ilma pääsevät kulkemaan melko vapaasti lysimetrin ja maaperän välisestä tilasta kellarin ja maanpinnan välillä. Käyttämättömien lysimetrien päällä on maanpinnalla muoviset kannet, jotka estävät sadeveden pääsyn lysimetriin, mutta eivät varsinaisesti estä lämpöä karkaamasta. Lysimetrejä on kokeiltu eristää lasivillalla, mutta villa kerää jonkin verran kosteutta itseensä. (Ryynänen 2010.)



KUVIO 10. Lysimetrien eristys. (Ryynänen 2010.)

Käyttämättömät lysimetrit on eristetty päältä paksulla polyuretaanisella tuulensuojalevyllä ja lysimetrin ja maaperän väliin on laitettu polyuretaania ja lasivillaa eristeeksi. Tällä hetkellä lysimetrejä on tyhjänä kaksi, käytössä kahdeksan ja käyttämättömänä kuusi. (Ryynänen 2010.)

Suurin lämmön siirtyminen kuitenkin tapahtuu todennäköisesti itse lysimetrin kautta. Lysimetri on hapon kestävästä terästä, jonka lämmönjohtavuus on 15 W/mK (Euro inox 2010). Tavalliseen teräkseen verrattuna hapon kestävä teräksen lämmönjohtavuus on melko pieni, sillä teräksen lämmönjohtavuus voi olla jopa 50 W/mK . Mutta muoviin verrattuna lämmönjohtavuus on suurta, muovin lämmönjohtavuuden ollessa $0,2\text{--}0,3 \text{ W/mK}$. (Heikkinen 2010.)

3.2 Parannusehdotuksia

3.2.1 Tuloilma

Tuloilmaa voidaan jäähdyttää ilma- tai maalämpöpumppua hyväksi käyttäen, mutta myös pienillä muutoksilla voidaan pitää tuloilma hieman viileämpänä sen mennessä tutkimustilaan. Tulo- ja poistoilmaputkisto kulkevat lasiseinäisen rappukäytävän läpi, jonka lämpötila nousee kesäisin erityisesti aurinkoisina päivinä korkeaksi. Rappukäytävän ikkunat voitaisiin peittää sälekaihtimilla, jotta lämpötila ei nousisi niin korkeaksi. Tulo- ja poistoilmaputket taas voitaisiin koteloida ja eristää, jolloin lämpötila pysyisi tasaisempana ja poistoilma samalla viilentäisi tuloilmaa (Levan 2010).



KUVIO 11. Rappukäytävän ikkunat. (Ryynänen 2010.)

Talvisin taas voidaan pitää verhoja auki, jolloin auringonpaiste lämmittää kylmää rappukäytävää ja samalla tuloilmaa. Talvisin myös kotelon sisällä poistoilma lämmittäisi tuloilmaa.

On kuitenkin vaikea arvioida, kuinka voimakkaasti kotelointi vaikuttaisi tuloilman lämpötilaan ja toisaalta jäähdytyskompressorin sähköteho on vain 3,2 kW, joten se ei vie paljon energiaa. Erityisesti kesäisin tuloilman lämpötila on koteloinnillakin niin suuri, että jäähdytyskoneet käyvät jatkuvasti. Koteloinnin vaikutus näkyisi todennäköisesti vain keväisin ja syksyisin.

3.2.2 Lämmitys ja jäähdytys

Tutkimuslaitokselle oli tarkoitus miettiä uudenlainen lämmitysjärjestelmä. Aluksi tarkasteltiin kolmea Suomessa hyvin yleistä vaihtoehtoista lämmitysratkaisua, jotka ovat maalämpöpumppu, ilmalämpöpumppu ja pellettilämmitys.

Pellettilämmityksen kannattavuus ja investointikustannukset päätettiin jättää tarkastelusta pois, sillä pellettilämmitys on näistä kolmesta vaihtoehdosta käytössä vaativin. Tutkimuslaitoksella työskennellään satunnaisesti ja melko harvoin, jolloin lämmitysjärjestelmän on toimittava hyvin yksinäänkin ja mahdollisimman pienellä vaivalla. Pellettilämmityksessä ei myöskään ole jäähdytysmahdollisuutta kuten maa- ja ilmalämpöpumpuissa.

Maalämpöpumpun ja ilmalämpöpumpun avulla voidaan siis myös jäähdyttää tilaa, jolloin voidaan vähentää jäähdytyskoneiden käyttöä. Ensin on kuitenkin otettava selvää, onko energiatehokkaampaa jäähdyttää tuloilma joko ilmalämpöpumpulla tai maalämpöpumpulla alhaisempaan lämpötilaan vai jäähdyttää sisäilma jäähdytyskoneilla.

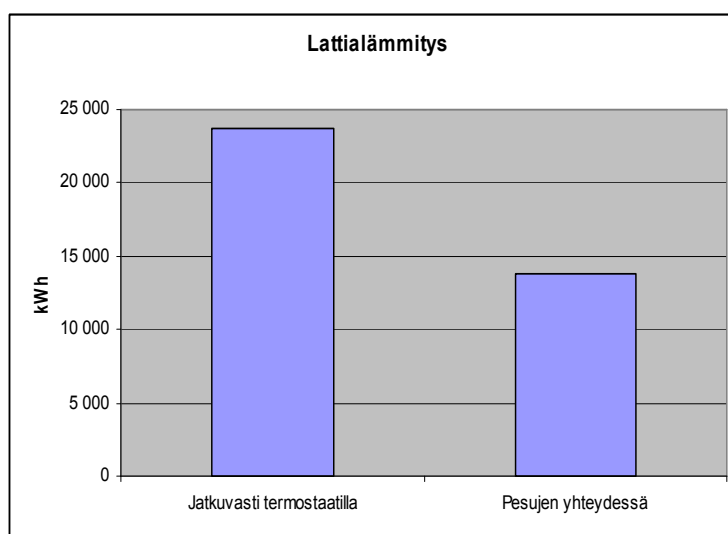
Lämmitysjärjestelmän valinnassa tulee myös ottaa huomioon se, että tilassa on oltava lattialämmitys. Lattialämmitystä tarvitaan kuivattamaan lattiaa, johon kertyy paljon kosteutta, sillä lysimetreistä lähtevä neste johdetaan putkia pitkin suoraan lattialle, josta se valuu lattakaivon kautta vedenkäsittelyyn. Lattialämmityksen päälläoloa voidaan kuitenkin vähentää, jolloin sitä käytettäisiin ainoastaan tilaa tai lysimetrejä pestäessä (Ryynänen 2010). Myös asentamalla nykyisen termostaatin tilalle tarkempi, esimerkiksi digitaalinen termostaatti, saadaan lattialämmitys pysymään paremmin toivotussa lämpötilassa.



KUVIO 12. Osa vedestä kerätään näytteiksi ja osa tippuu suoraan lattialle.
(Ryynänen 2010.)

Lattialämmitys kuluttaa energiaa hyvin paljon vähäiselläkin käytöllä. Jos lattialämmityksestä luovuttaisiin lähes kokonaan, eli sitä käytettäisiin vain lattiaa ja lysimetrejä pestäessä, säästettäisiin paljon energiaa. Jos lattialämmitys olisi kuu-
kauden aikana päällä vain yhteensä neljä päivää eli 96 tuntia, kuluttaa lattialämmitys energiaa vuodessa vain

$$12 \text{ kk} * 96\text{h/kk} * 12 \text{ kWh} = 13\,824 \text{ kWh}$$

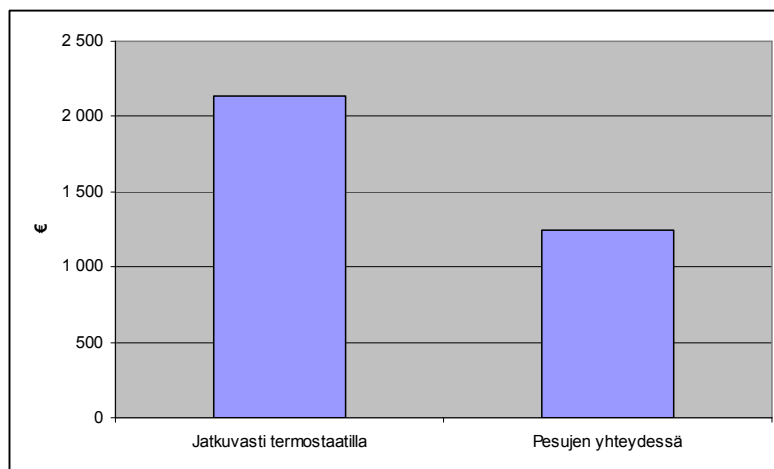


KUVIO 13. Lattialämmityksen jatkuvan käytön viemän energian ero satunnaisempaan käyttöön.

Aikaisemmin energiankulutukseksi saatiin 23 760 kWh, kun oletettiin, että kylmimpinä kuukausina lattialämmitys on vain 8 tuntia päällä ja lämpimimpinä kuukausina 2 tuntia. Energiankulutusta saataisiin siis vähennettyä lähes 10 000 kWh. Jos käytetään sähkölaskuista saatuja energian myynti- ja siirtomaksuja, saadaan vuotuisesti säästöksi

$$10\,000 \text{ kWh} * 0,03469 \text{ €/kWh} + 10\,000 \text{ kWh} * 0,05514 \text{ €/kWh} = 898,3 \text{ €}$$

Säästöä voidaan siis jopa saada 900 € vuodessa, jos kiinnitetään huomiota lattialämmityksen päälläolon rajoittamiseen. Tämä on tietysti hyvin karkea arvio, sillä lattialämmityksen päälläoloa on hankala arvioida tarkasti. Muutoksen jälkeistä sähkönkulutusta verrattiin kuitenkin hyvin vähäiseen lattialämmityksen käyttöön, jolloin säästöt saattavat olla jopa suurempia kuin edellä esitetyt.



KUVIO 14. Lattialämmityksen käytön rajoittamisen vaikutus sähkömaksuihin.

Lattialämmityksen päälläoloa on helpompi rajoittaa digitaalisen termostaatin avulla, jolla saa tarkemmin säädettyä halutun lämpötilan ja johon voi asettaa myös ajastimen. Jos halutaan kuivattaa lattiaa päivittäin, voidaan ajastimella laittaa lattialämmitys päälle esimerkiksi kahden tunnin ajaksi kerran päivässä. Tällöin lattian lämpötila voisi olla korkeampi hetkellisesti, mikä parantaisi kuivatusta. Näin kuluisi energiaa vain

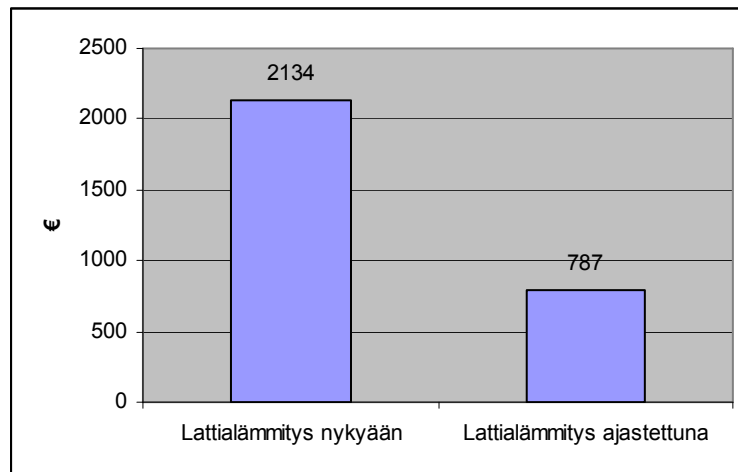
$$12 \text{ kWh} * 365 \text{ d} * 2 \text{ h/d} = 8\,760 \text{ kWh}$$

Energiankulutuksesta saataisiin vähennettyä

$$23\,760 \text{ kWh} - 8\,760 \text{ kWh} = 15\,000 \text{ kWh}$$

Rahaa säästyisi

$$15\,000 \text{ kWh} * (0,03469 \text{ €/kWh} + 0,05514 \text{ €/kWh}) = 1\,347 \text{ €} \approx 1\,300 \text{ €}$$



KUVIO 15. Lattialämmityksen ajastamisen vaikutus sähkömaksuihin.

Jäähdytyskoneet joutuisivat tietysti jäähdyttämään tilaa enemmän, kun lattialämmitys on kovemmalla kahden tunnin aikana, mutta niiden teho on niin pieni, ettei se vaikuttaisi kuitenkaan paljon. Jäähdytyksen teho on vain 3,2 kW, kun taas lattialämmityksen noin 12 kW (Sähköpiirustukset 2007).

Lysimetrien lämpötilaan hetkellisen tutkimustilan lämmön nousun ei pitäisi vaikuttaa, sillä niissä on maata noin 2 m^3 . Maa ei johda hyvin lämpöä, joten se pitää saman lämpötilan lysimetreissä melko pitkään. (Ryynänen 2010.)

3.2.3 Maalämpöpumppu

Pyydettiin maalämpöpumpulle karkeaa hinta-arviota neljältä jälleenmyyjältä ja tiedusteltiin myös voiko lämpöpumppua käyttää lämpiminä vuodenaikoina viilennykseen. Saatiin kahdelta jälleenmyyjältä hinta-arviot sekä arviot viilennyskäytöstä. Keskimääräiseksi hinta-arvioksi saatiin 13 000 € sisältäen lämpöpumpun ja sen asennuksen sekä keruuputkiston ja kaivuutyöt.

Jos maalämpöpumppua halutaan käyttää myös viilennykseen, suositeltavaa olisi hankkia porakaivo, sillä pintamaan lämpötila voi kesäisin nousta jopa 10–15 °C:een, jolloin ei saada paljoakaan viilennystehoa. Porakaivossa lämpötila taas on aina noin 4-5 °C. (Ahvenainen 2010.) Porakaivolle tulee hintaa noin 15 000 €, ja lisähintaa antavat vesikiertoisen kanavalämmittimen sekä huoltorakennuksen pattereiden asennus ja LVI-työt, joiden karkea hinta on 15 000 €. Kokonaishinta olisi siis jopa 30 000 €. (Sääksjärvi 2010.)

Viileää liuosta voitaisiin kierrättää viilennyskonvektoreissa tai turvautua luonnollisen viilennyksen kiertopiiriin. Luonnollisen viilennyksen kiertopiiri on hyvin edullinen, sillä sitä käytettäessä ei tarvita kompressoriviilennystä vaan kylmää nestettä kierrätetään suoraan porakaivosta. Nykyiset jäähdytyslaitteet voisivat jäädä kuivattamaan ja viilentämään tarpeen vaatiessa huoneilmaa. (Sääksjärvi 2010.)

Maalämpöpumppua voidaan myös käyttää tuloilman lämmitykseen, jolloin sähköinen kanavalämmitin korvataan vesikiertoisella kanavalämmittimellä (Ahvenainen 2010). Näitä vesikiertoisia kanavalämmittimiä saa esimerkiksi samalta valmistajalta kuin tämänhetkinen sähköinen kanavalämmitin on hankittu (Systemair 2010). Lattialämmitystä ei kannata lähteä korvaamaan vesikiertoisella, sillä se on hyvin hintavaa, ja ilmalämmitys on riittävä kylmissä tiloissa (Sääksjärvi 2010).

Huoltorakennukseenkaan ei tarvitse asentaa lattialämmitystä, vaan vesikiertoiset patterit riittävät, sillä lämpötila pidetään talvisin vain +15 °C:ssa, jolloin ei haittaa, vaikka pattereiden lämpötila ei ole korkea. Normaalisti suositellaan lattialämmitystä, jolla saadaan pienemmälläkin lämmöllä sama huonelämpötila aikaan kuin patterilämmityksellä. (Sääksjärvi 2010.)

Maanalaisen tilan lämmitysenergiantarve maalämpöpumpulle

$$Q = (\sum (U_i A_i 24 S) / 1000 + \rho c q t 24 S r t_v) / \eta \quad (5)$$

$$U_{YP2} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{YP2} = 157 \text{ m}^2$$

$$U_{AP2} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{AP2} = 157 \text{ m}^2$$

$$U_{US2} = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{US2} = 160 \text{ m}^2$$

$$S = 1958 \text{ Kd}$$

$$\rho = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c = 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$q = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 24 \text{ h}/24 \text{ h} = 1$$

$$r = 1$$

$$t_v = 7 \text{ vrk}/7 \text{ vrk} = 1$$

$$\eta = 2,5$$

$$Q = ((24 * 1958 \text{ Kd} * (0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 157 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 157 \text{ m}^2 + 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 160 \text{ m}^2)) / 1000 + 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * 0,04 \text{ m}^3/\text{s} * 24 * 1958 \text{ Kd}) / 2,5$$

$$= 3 395 \text{ kWh} \approx 3 400 \text{ kWh}$$

Huoltorakennuksen lämmitysenergiantarve maalämpöpumpulle

$$Q = (\sum (U_i A_i 24 S) / 1000 + (1 - \eta_a) \rho c q t 24 S r t_v) / \eta \quad (5)$$

U_{YP1}	$= 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{YP1}	$= 52,5 \text{ m}^2$
U_{AP1}	$= 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{AP1}	$= 52,5 \text{ m}^2$
U_{US1}	$= 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{US1}	$= 72,5 \text{ m}^2$
S	$= 4512 \text{ Kd}$
ρ	$= 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$
c	$= 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
q	$= 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$
t	$= 8 \text{ h} / 24 \text{ h} = 0,33$
r	$= 7,12 \text{ h} / 8 \text{ h} = 0,89$
t_v	$= 2,33 \text{ vrk} / 7 \text{ vrk} = 0,33$
η_a	$= 0,45$
η	$= 2,5$

$$\begin{aligned}
 Q &= ((24 * 4512 \text{ Kd} * (0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 52,5 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 52,5 \text{ m}^2 + \\
 &0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 72,5 \text{ m}^2)) / 1000 + (1 - 0,45) * 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * \\
 &0,12 \text{ m}^3/\text{s} * 0,33 * 24 * 4512 \text{ Kd} * 0,89 * 0,33) / 2,5 \\
 &= 2\,079 \text{ kWh} \approx 2\,100 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Lämmitysenergiantarve maalämpöpumppulämmitykselle koko tutkimuslaitoksessa

$$3\,400 \text{ kWh} + 2\,100 \text{ kWh} = 5\,500 \text{ kWh}$$

3.2.4 Ilmalämpöpumppu

Kellaritilan ilmaa on mahdollista lämmittää ilmalämpöpumpulla. Myös kesäisin sitä on mahdollista käyttää ilman jäähdyttämiseen, jolloin tuloilma on viileämpää kuin nykyisin. Lämpöpumpun kannattavuus lisäksi paranee, kun samalla laitteistolla tuotetaan jäähdytysteho (Seppänen & Seppänen 1997, 142).

Tutkimuslaitoksessa päälämmityslähteenä on tuloilmakoneen kanavalämmitin, joka lämmittää ilman +6 °C:een (LVI-piirustukset 2007). Ilmalämpöpumpulla on mahdollista korvata tuloilmakone, sillä se lämmittää tilaa sekä puhdistaa ja kuivattaa ilmaa ja tuloilman lämmitys olisi näin myös energiatehokkaampaa (Sulpu Ry 2010). Tällöin jäähdytyskoneidenkaan ei tarvitse olla päällä niin usein, sillä ilma pysyy kuivempana.

Ilmalämpöpumpulla ei kuitenkaan voi kokonaan korvata sähkölämmitystä, sillä kellaritilassa on oltava lattialämmitys, joka kuivattaa kosteaa lattiaa (Ryynänen 2010). Kylmissä oloissa ilmalämpöpumppu onkin vain osana rakennuksen lämmitystä, koska sillä ei pysty korvaamaan täysin muita lämmitysmuotoja. Se kuitenkin säästää lämmitysenergiakuluissa etenkin suorasähkölämmitteisissä rakennuksissa. (Sulpu Ry 2010.)

Alle -25 °C:ssa ilmalämpöpumppua ei kannata käynnistää lainkaan. Ilmalämpöpumppua voidaan kuitenkin ohjata kaukosäätimellä, mikä on tarpeen erityisesti tutkimuslaitoksen tapauksessa, sillä laitoksella ei käydä päivittäin. (Sulpu Ry 2010.)

Maanalaisen tilan lämmitysenergiatarve ilmalämpöpumpulle

$$Q = (\sum (U_i A_i 24 S) / 1000 + \rho c q t 24 S r t_v) / \eta \quad (5)$$

$$U_{YP2} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{YP2} = 157 \text{ m}^2$$

$$U_{AP2} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{AP2} = 157 \text{ m}^2$$

$$U_{US2} = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$A_{US2} = 160 \text{ m}^2$$

$$S = 1958 \text{ Kd}$$

$$\rho = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$c = 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$q = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 24 \text{ h} / 24 \text{ h} = 1$$

$$r = 1$$

$$t_v = 7 \text{ vrk} / 7 \text{ vrk} = 1$$

$$\eta = 1,8$$

$$\begin{aligned} Q &= ((24 * 1958 \text{ Kd} * (0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 157 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 157 \text{ m}^2 + 0,40 \\ &\text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 160 \text{ m}^2)) / 1000 + 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * 0,04 \text{ m}^3/\text{s} * 24 * \\ &1958 \text{ Kd}) / 1,8 \\ &= 4 715 \text{ kWh} \approx 4 700 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Huoltorakennuksen lämmitysenergiantarve ilmalämpöpumpulle

$$Q = (\sum (U_i A_i 24 S) / 1000 + (1 - \eta_a) \rho c q t 24 S r t_v) / \eta \quad (5)$$

U_{YP1}	$= 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{YP1}	$= 52,5 \text{ m}^2$
U_{AP1}	$= 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{AP1}	$= 52,5 \text{ m}^2$
U_{US1}	$= 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
A_{US1}	$= 72,5 \text{ m}^2$
S	$= 4512 \text{ Kd}$
ρ	$= 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$
c	$= 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
q	$= 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$
t	$= 8 \text{ h} / 24 \text{ h} = 0,33$
r	$= 7,12 \text{ h} / 8 \text{ h} = 0,89$
t_v	$= 2,33 \text{ vrk} / 7 \text{ vrk} = 0,33$
η_a	$= 0,45$
η	$= 1,8$

$$\begin{aligned}
 Q &= ((24 * 4512 \text{ Kd} * (0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 52,5 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 52,5 \text{ m}^2 + \\
 &0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 72,5 \text{ m}^2)) / 1000 + (1 - 0,45) * 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg K}) * \\
 &0,12 \text{ m}^3/\text{s} * 0,33 * 24 * 4512 \text{ Kd} * 0,89 * 0,33) / 1,8 \\
 &= 2 888 \text{ kWh} \approx 2 900 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Lämmitysenergiantarve ilmalämpöpumppulämmitykselle koko tutkimuslaitoksessa

$$4 700 \text{ kWh} + 2 900 \text{ kWh} = 7 600 \text{ kWh}$$

3.2.5 Eristys

Lämpöenergia kulkee tutkimuslaitoksessa pääsääntöisesti johtumalla lysimetrien metallissa ja kulkeutumalla ilman mukana lysimetrien ja maan väliin jäävien rakojen välistä. Hapon kestävästä terästä on vaikea lähteä vaihtamaan lämpöä vähemmän johtavaan materiaaliin, sillä lysimetrien on kestävä hyvin syövyttäviäkin liuoksia. Lysimetrien ja maaperän väliin jäävän raon eristäminen on kuitenkin mahdollista.

Suosittelavaksi eristeeksi valittiin lasivilla, sillä se on ominaisuuksiltaan käyttökelpoista ja kustannuksiltaan edullista (Heikkinen 2010). Lasivillaa on myös käytössä pilot-laitoksessa tälläkin hetkellä, jolloin sen käsittely on ennestään tuttua laitoksessa työskenteleville (Ryynänen 2010).



KUVIO 16. Lähikuva lysimetrien lasivillaeristeestä.
(Ryynänen 2010.)

Lasivilla valmistetaan nimensä mukaisesti lasista, joka murskataan ennen valmistuksen aloittamista. Lasimurska sulatetaan muiden raaka-aineiden kanssa sähköllä noin 1400 celsiusasteen lämpötilassa. Sulatettu lasimassa kuidutetaan noin tuhannessa celsiusasteessa, minkä jälkeen siihen lisätään sideaine. Sideaineellinen kuidutettu lasivillamatto kypsytetään muotoonsa kypsytyksuunissa, jossa lämpötila on noin 250 °C. (Saint-Gobain Isover 2010.)

Lasivilla on käyttökelpoinen eristemateriaali lysimetrien ja maan väliin. Sen ominaisuudet kuitenkin heikkenevät, jos se pääsee kastumaan. Siksi voisi olla hyvä asentaa kuminen palje lysimetrin yläosaan, jolloin ulkoa tuleva kosteus ei pilaa lasivillaeristettä. (Heikkinen 2010.) Käyttämättömät lysimetrit on suojattu muovisin kansin, jotka estävät lumen ja sadeveden pääsyn lysimetrin ja maan raosta kellaritilaan. Käytössä olevia lysimetrejä ei ole suojattu, joten niiden ja maaperän välisistä raoista pääsee sadevettä ja mahdollisesti lunta tutkimustilaan. (Ryynänen 2010.)

Eristystä tehostamaan harkittiin kumista paljetta, joka estäisi kosteuden pääsyn lysimetrien ja maan välissä oleviin lasivillaeristeisiin. Kuminen palje tulisi siis lysimetrin ja maan väliin lysimetrin yläosaan, jossa se ei estä lysimetristä tutkimustiloihin menevien johtojen kulkua.

Palje on suunniteltava lysimetrin ja maan läpi menevän reiän mittojen mukaan. Lysimetrin halkaisija on 104 cm, ja reiän halkaisija on 114 cm (Ryynänen 2010). Lysimetrin ja reiän väliin jää siten viiden senttimetrin levyinen kaistale. Palkeen sisäreunan halkaisijan on oltava sama kuin lysimetrin, jotta se menee tiiviisti sen ympärille. Halkaisija ei saa olla pienempi kuin lysimetrin, sillä muuten sitä ei voi mahduttaa lysimetrin ympärille.

Palje suunniteltiin mahdollisimman yksinkertaiseksi, eli se olisi pyöreä kumilevy, jonka ulkoreunan halkaisija olisi noin 120 cm ja sisäreunan halkaisija olisi 104 cm. Näin palkeen leveys on 16 cm, jolloin palje asetetaan kuperasti ja tiiviisti lysimetrin ja reiän väliin. (Heikkinen 2010.)

Sopiva kumilaatu on styreenikumi, joka on pakkas- ja kulutuskestävyydeltään hiukan huonompaa kuin luonnonkumi, mutta selvästi edullisempaa (Heikkinen 2010). Styreenikumien käyttölämpötila on $-20\dots+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten se kestää melko hyvin korkeitakin pakkasia. Se on erittäin elastista, mutta samalla sitkeää ja kestää hyvin hankaavaa kulutusta. Styreenikumilla on hyvät vanhenemisominaisuudet, sen kovuus on 65 ± 5 Shore ja tiheys $1,50\text{g/cm}^3$. (Etra Oy 2010.)

Tarkasteltavaksi kumiksi valittiin Etra Oy:n styreenikumilevy SBR Standard, joka on paksuudeltaan 5 mm, leveydeltään 1400 mm ja jota saa hankittua 10 000 millimetrin rullissa. Tämä kumilevy maksaa $40,09\text{ €/m}^2$, jolloin yhden palkeen hinnaksi tulee noin

$$1,2\text{ m} * 1,2\text{ m} * 40,09\text{ €/m}^2 = 57,7\text{ €}.$$

Kun lysimetrejä on 16 kappaletta, koko tutkimuslaitoksen eristämiseksi palkeilla tulee hintaa

$$16 * 57,7\text{ €} = 923,6\text{ €}.$$

Kun otetaan huomioon todennäköisesti kumilevyistä jäävät ylimääräiset palat, tulee palkeille hintaa yhteensä noin 1000 euroa.

Kuminen palje vaikutti aluksi hyvältä idealta, sillä se estäisi kosteuden pääsyn lasivillaeristeisiin. Kosteus heikentää lasivillan eristysominaisuuksia ja talvisin jäätyminen voi estää lysimetrien massan punnitsemisen. (Heikkinen 2010.) Käyttämättömien lysimetrien päällä kuitenkin käytetään muovisia kansia, jotka estävät suoran vesisateen pääsyn lysimetrin ja seinämän väliin. Talvisin yleensä kylmimpinä kuukausina lumipeite toimii eristeenä lysimetrien päällä, mikä taas osaltaan vähentää lämmönhukkaa.

Kesäisin taas lämpimämpi ilmamassa on kellaritilan yläpuolella. Vaikka lämpöenergia kulkee lämpimästä kylmempään, ei lämmin ilmamassa laskeudu alaspäin kellaritilaan. Lämmin ilma muuttuu kylmää ilmaa kevyemmäksi ja nousee ylöspäin, jolloin on hyvin epätodennäköistä, että lämmin ilma päätyisi tutkimuslaitoksen kellaritilaan muuten kuin koneellisesti. (Heikkinen 2010.)

Lämpöenergia kulkee kuitenkin teräksistä lysimetriä pitkin kellaritilaan, mutta kumisella palkeella ei pystytä estämään lämmön johtumista. Kuminen palje olisi hyödyllinen ainoastaan talvisin, mutta silloinkin suurin osa kosteudesta pystytään pitämään ulkona muovisen kannen sekä lumipeitteen avulla.

Palje voi myös heikentää lysimetrin punnitsemista. Vaikka materiaali onkin hyvin elastista, se voi toimia myös tukkeena lysimetrin ja seinän välissä. Ei siis suositella investoimista palkeeseen, sillä sen tuottama hyöty on hyvin pieni. Jos lasivilla halutaan pitää mahdollisimman kuivana, sen yläreunaan voi esimerkiksi laittaa muovikelmaa.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Energiankäytön jakautuminen

Energiaa kuluu tutkimuslaitoksella keskimäärin 56 400 kWh vuodessa. Jäähdytyskoneiden arvioitiin kuluttavan noin 13 000 kWh vuodessa ja rakennuksen lämmitysenergiantarpeeksi arvioitiin 13 700 kWh vuodessa. Lattialämmityksen tarkoituksena ei ole varsinaisesti lämmittää huoneilmaa, vaan kuivattaa lattiaa, joten lattialämmitystä tarkasteltiin erikseen ja se kuluttamaksi energiaksi arvioitiin noin 23 800 kWh, kun lattialämmitys on päällä seitsemänä kuukautena 8 h/d ja viitenä kuukautena 2 h/d.

Rakennuksen lämmitys, jäähdytys ja lattialämmitys kuluttavat siis energiaa vuodessa

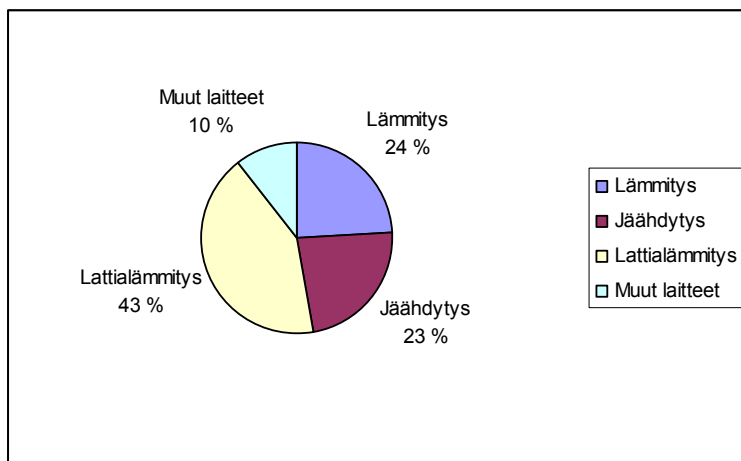
$$13\,700\text{ kWh} + 13\,000\text{ kWh} + 23\,800\text{ kWh} = 50\,500\text{ kWh}$$

Keskimääräinen energiankulutus on tutkimuslaitoksella ollut sähkölaskujen mukaan vuodessa

$$4\,700\text{ kWh} * 12 = 56\,400$$

Muut laitteet ovat siis kuluttaneet vuodessa energiaa keskimäärin

$$56\,400\text{ kWh} - 50\,500\text{ kWh} = 5\,900\text{ kWh}$$



KUVIO 17. Energiankäytön jakautuminen maaperäntutkimuslaitoksella.

Eniten huomiota kannatta siis kiinnittää lattialämmitykseen, sillä se vie suurimman osan energiasta. Lattialämmityksen ongelmahan on se, että aina sen lämmitäessä lattiaa, se käy täydellä teholla (Sääksjärvi 2010). Jos siis huoneen lämpötila laskee usein alle termostaattiin asetetun rajan, lisääntyy lattialämmityksen käyttämä energia nopeasti. Termostaatin raja-arvoa ei kuitenkaan kannata asettaa liian alhaiseksi, sillä muuten lattialämmitys ei kuivata enää lattiaa.

4.2 Lämmitysjärjestelmä

Tarkasteltujen lämmitysjärjestelmien edut ja haitat listattiin taulukkoon, josta on helpompi arvioida soveltuvuutta lämmityskäyttöön. Listauksen perusteella selkeästi kannattavin vaihtoehto, on maalämpöpumppu porakaivoputkistolla. Tällä lämmitysjärjestelmällä pystytään tuottamaan halpaa jäähdytystehoa luonnollisen jäähdytyksen kiertopiirin avulla (Sääksjärvi 2010).

Koska jäähdytys ja lämmitys ovat molemmat tärkeitä tekijöitä tutkimuslaitoksen energiankulutuksessa, on hyvä saada laitteisto, jolla voidaan sekä jäähdyttää, että lämmitää tehokkaasti. Nykyiset jäähdytyslaitteet jäisivät vain kuivattamaan ilmaa ja antamaan tarvittaessa lisätehoa jäähdytykseen.

Järjestelmien sopivuudessa tutkimuslaitokselle, nousi maalämpöpumppu porakaivoputkistolla ylitse muiden, sillä sen avulla voidaan myös tehokkaasti jäähdyttää tilaa. Ilmalämpöpumppu taas on alkuinvestoinneiltaan hyvin edullinen järjestelmä, joten senkin kannattavuus laskettiin. Ilmalämpöpumpulla tosin ei kannata jäähdyttää tilaa, sillä jäähdytyskoneet toimivat samalla tavalla kuin ilmalämpöpumppu, joten niiden energiatehokkuuskin on samaa luokkaa (Sääksjärvi 2010).

TAULUKKO 3 Yhteenvedo lämmitysjärjestelmien eduista ja haitoista

	Maalämpö: Vaakasuoja putkisto	Maalämpö: Porakaivo	Uimalämpö	Pellettilämmitys
Käytön mahdollisuudet	<ul style="list-style-type: none"> - Edullisempi kuin porakaivo - Luotettava lämmitysjärjestelmä - Toimii itsenäisesti - Ei tarvitse aktiivista huoltoa 	<ul style="list-style-type: none"> - Jäähdytyskäyttöön luonnollisen jäähdytyksen kiertopiiriä hyödyntäen - Tasainen lämpötila - Luotettava lämmitysjärjestelmä - Toimii itsenäisesti - Ei tarvitse aktiivista huoltoa 	<ul style="list-style-type: none"> - Edullinen - Puolittaa tuloilman lämmitykseen kuluvan energian 	<ul style="list-style-type: none"> - Ei tarvitse rinnalle muita lämmitysjärjestelmiä - Käyttökustannukset edullisia
Käytön rajoitukset	<ul style="list-style-type: none"> - Vaatii paljon tilaa - Käyttö jäähdytyksessä rajallinen Tällä ei voi korvata täysin jäähdytystä - Rinnalle mitoitettava toinen lämmitysjärjestelmä - Kallis investointi 	<ul style="list-style-type: none"> - Kalliimpi kuin vaakasuoja putkisto - Tarvitsee peruskallion, syvään savimaahan ei voi kaivaa porakaivoa - Rinnalle mitoitettava toinen lämmitysjärjestelmä - Kallis investointi 	<ul style="list-style-type: none"> - Lämpökerron heikkenee ilman kylmetessä - Alle -25 °C:ssa käynnistäminen ei kannata - tarvitsee rinnalle täyden energiantarpeen mukaan mitoitetun lämmitysjärjestelmän 	<ul style="list-style-type: none"> - Vaatii aktiivista käyttöä - Puhdistettava tuhkaista muutaman viikon välein - Ei jäähdytysmahdollisuutta - Vaatii pelletivaraston
Kustannukset	<ul style="list-style-type: none"> - Lämpöpumppujärjestelmä kaivauksineen: 13 000 € - LVI-työt laitteistoineen: 15 000 € 	<ul style="list-style-type: none"> - Lämpöpumppujärjestelmä kaivonpotauksineen: 15 000 € - LVI-työt laitteistoineen: 15 000 € 	<ul style="list-style-type: none"> - Keskimääräinen hinta LVI- ja sähkötoineen: 2 350 € - Vaihteluväli: 1200 € -3500 € 	<ul style="list-style-type: none"> - Laitteiston hinta noin 3000 € - Hintaan lisättävä vielä LVI-työt laitteistoineen

4.3 Maalämpöpumppujärjestelmän kannattavuus

Laskelmien mukaan koko vuoden lämmitysenergian tarve sähkölämmitykselle oli koko tutkimuslaitoksessa noin 13 700 kWh, kun taas maalämpöpumppulaitokselle se oli noin 5 500 kWh. Maalämpöpumppuun vaihdettaessa saataisiin säästöä energiankäytöstä

$$13\,700\text{ kWh} - 5\,500\text{ kWh} = 8\,200\text{ kWh}$$

Kun käytetään viimeisimmästä tasauslaskusta saatuja sähkönhintoja, saadaan rahalliseksi säästökseksi vuodessa

$$8\,200\text{ kWh} * (0,03469\text{ €/kWh} + 0,05514\text{ €/kWh}) = 737\text{ €} \approx 740\text{ €}$$

Jos jäädytyskoneiden käytöstä esimerkiksi 4/5 saadaan korvattua maalämpöpumpun luonnollisella jäädytyksellä, saataisiin energiansäästöä

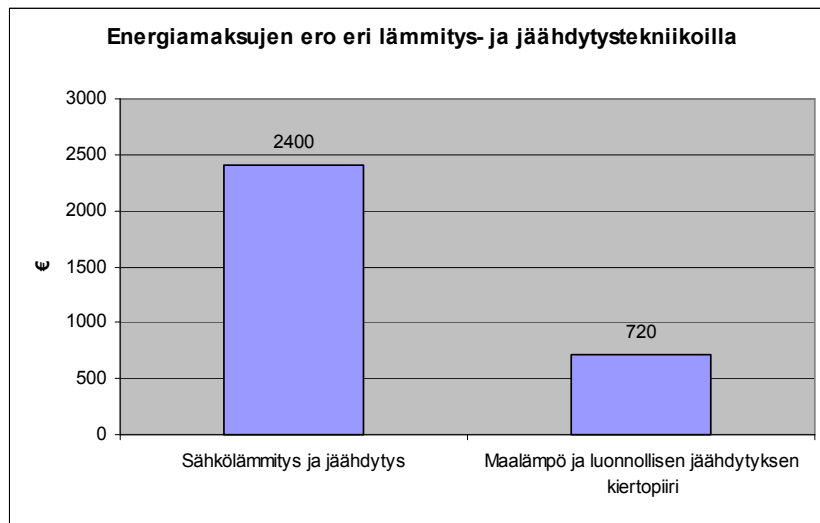
$$13\,100\text{ kWh} * 4/5 = 10\,480\text{ kWh} \approx 10\,500\text{ kWh}$$

Käytettäessä viimeisimmän tasauslaskun sähkönhintoja, saadaan rahallista säästöä vuodessa

$$10\,500\text{ kWh} * (0,03469\text{ €/kWh} + 0,05514\text{ €/kWh}) = 943\text{ €} \approx 940\text{ €}$$

Kun maalämpöpumppua käytetään jäädytykseen ja lämmitykseen, saadaan yhteensä vuodessa säästöä

$$740\text{ €} + 940\text{ €} = 1\,680\text{ €}$$



KUVIO 18. Vaikutus energiamaksuihin vaihdettaessa lämmitys- ja jäähdytystekniikka maalämpöpumppuun.

Takaisinmaksuaika laskettuna yksinkertaisesti jakamalla alkuinvestointi vuodessa syntyvillä säästöillä on seuraava:

$$30\,000\text{ €} / 1\,680\text{ €/a} = 17,9\text{ a} \approx 18\text{ a}$$

Takaisinmaksuaikana 18 vuotta on aivan liian pitkä, sillä nykyään 5 vuoden takaisinmaksuaikaa pidetään sopivana. Maalämpöpumppujen käyttöikä on noin 15–20 vuotta, joten käyttöikänsä kannalta takaisinmaksuaika on liian pitkä (Suomen talotekniikka-portaalit 2010).

Annuiteettimenetelmän avulla voidaan kannattavuus laskea seuraavasti:

Annuiteetti- eli kuoletustekijä lasketaan kaavalla

$$a = i (1 + i)^n / [(1 + i)^n - 1] \quad (6)$$

a annuiteetti- eli kuoletustekijä

i korko

n käyttöikä

Oletetaan, että korkokanta on 4 % ja maalämpöpumpun käyttöikä on 15 vuotta.

$$a = 0,04 (1 + 0,04)^{15} / [(1 + 0,04)^{15} - 1] = 0,0899$$

Lasketaan vuosierä

$$30\,000 \text{ €} * 0,0899 = 2\,697 \text{ €}$$

Maalämpöpumpulla syntyvä säästö on vuodessa 1 680 €, kun taas vuosierä on noin 2 700 €. Viidentoista vuoden käyttöiällä menetetään siten joka vuosi noin 1000 €. Investointi maalämpöpumpuun ei siis ole kannattava.

Tuloksissa on kuitenkin otettava huomioon, että lasketut energiantarpeet ovat vain suuntaa antavia, monien epävarmuustekijöiden takia. Laskelmissa ei otettu huomioon maahan sitoutuvaa energiaa, käyttöveden lämmitykseen tarvittavaa energiaa, sisäisistä lämmönlähteistä ja auringon säteilystä hyödynnettävää energiaa eikä vuotoilman lämmityksen tarvitsemaa energiaa. Vettä käytetään hyvin harvoin, ja maahan sitoutuvaa energiaa, sisäisistä lämmönlähteistä ja auringon säteilystä hyödynnettävää energiaa sekä vuotoilman lämmityksen tarvitsemaa energiaa on vaikea arvioida kyseisellä laitoksella. 18 vuoden takaisinmaksuaika on kuitenkin niin pitkä, että pienet lämmitysenergiantarpeen muutokset eivät todennäköisesti vaikuta takaisinmaksu-aikaan niin paljon, että se laskisi viiteen vuoteen.

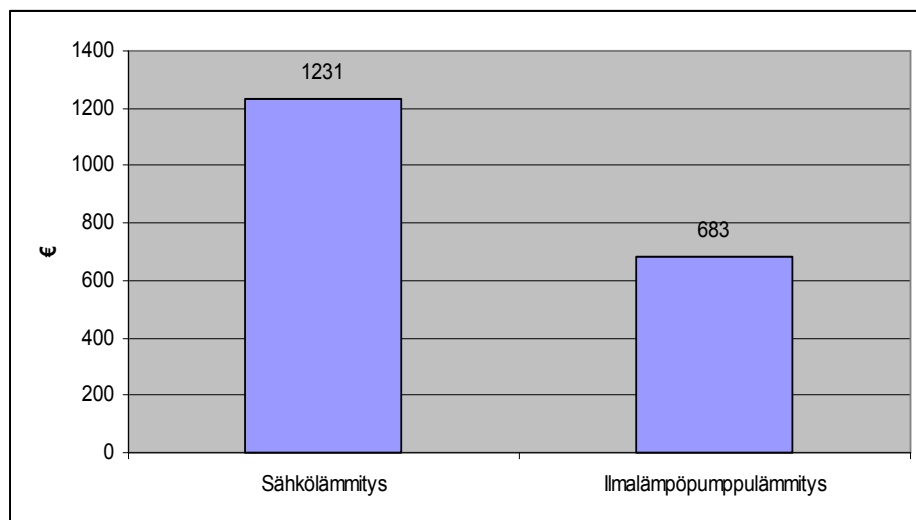
4.4 Ilmalämpöpumppujärjestelmän kannattavuus

Laskelmien mukaan koko vuoden lämmitysenergian tarve sähkölämmitykselle oli koko tutkimuslaitoksessa noin 13 700 kWh, kun taas ilmalämpöpumppulaitokselle se oli noin 7 600 kWh. Ilmalämpöpumppuun vaihdettaessa saataisiin säästöä energiankäytöstä

$$13\,700 \text{ kWh} - 7\,600 \text{ kWh} = 6\,100 \text{ kWh}$$

Verrattaessa viimeisimpiin sähköhintoihin, rahallista säästöä saataisiin vuodessa

$$6\,100 \text{ kWh} * (0,03469 \text{ €/kWh} + 0,05514 \text{ €/kWh}) = 548 \text{ €} \approx 550 \text{ €}$$



KUVIO 19. Vaikutus energiamaksuihin vaihdettaessa lämmitys- ja jäähdytystekniikka ilmalämpöpumppuun.

Takaisinmaksuaika lasketaan yksinkertaisesti jakamalla alkuinvestointi vuodessa syntyvillä säästöillä. Kuluttajavirasto arvioi tiedotteessaan (2009) ilmalämpöpumpun keskimääräiseksi hinnaksi noin 2 350 €. Mutta pilot-laitoksen tapauksessa tarvitaan kaksi sisäyksikköä, yksi huoltorakennukseen ja yksi tutkimustilaan, joten karkeana alkuinvestointina käytetään arvoa 3 000 €. Takaisinmaksuaika on

$$3\,000 \text{ €} / 550 \text{ €/a} \approx 5,5 \text{ a}$$

Takaisinmaksuaikana 5,5 vuotta ei ole kovin pitkä aika, jolloin ilmalämpöpumpun hankkiminen voisi olla kannattavaa. Ilmalämpöpumpun käyttöikä on 10–15 vuotta, joten se maksaisi itsensä takaisin jo reilusti ennen kuin se joudutaan vaihtamaan (Sulpu Ry 2010c).

Lasketaan kannattavuus vielä annuiteetti- eli kuolletusmenetelmällä.

Oletetaan, että korkokanta on 4 % ja ilmalämpöpumpun käyttöikä on 12 vuotta.

$$a = 0,04 (1 + 0,04)^{12} / [(1 + 0,04)^{12} - 1] = 0,1066$$

Lasketaan vuosierä

$$3\,000\text{ €} * 0,1066 = 320\text{ €}$$

Ilmalämpöpumpulla syntyvä säästö on vuodessa 550 €, kun taas vuosierä on noin 320 €. Kahdentoista vuoden käyttöiällä jää ylimääräistä siten joka vuosi noin 230 €. Investointi ilmalämpöpumpuun voisi siis olla kannattava, ja alkuinvestointi on melko edullinen.

4.5 Digitaalisen ajastintermostaatin kannattavuus

Lattialämmitystä on helpompi säädellä digitaalisella termostaatilla, joka on varustettu ajastimella. Näin saadaan paremmin määriteltyä, milloin lattialämmitys on päällä. Halvimpien digitaalisten termostaattien hinnat ovat noin 40 – 50 € (Gigantti 2010) ja hintavampien 150- 200 € (PMK-Electratec 2010). Aina kannattaa toki panostaa laatuun ja korkeammalla hinnalla voi saada parempia ominaisuuksia termostaattiin.

Laskelmissa todettiin, että lämmittämällä lattiaa vain kaksi tuntia vuorokaudessa, voidaan jopa saada säästöä vuodessa 1 300 €. Jos maksaa termostaatista 200 €, sen takaisinmaksussa kuluu vajaa vuosi. Hyvä digitaalinen ajastimella varustettu termostaatti on siis kannattava investointi.

Joko keräämällä kaikista lysimetreistä suotovedet saaveihin tai asentamalla lysimetrien suotovesiputket lattiakaivoon asti ja estämällä siten lattian kastuminen, voidaan myös vähentää lattialämmityksen päälläolon tarvetta. Esimerkiksi 60 l:n saavi maksaa noin 20 €/kpl, jolloin yhteensä kuudelletoista lysimetrille hankittavat saavit maksaisivat esimerkiksi neljä ylimääräistä mukaan luettuna noin 400 €, mikä saataisiin katettua jo yhden vuoden aikana (Puuilo Oy 2010). Putket taas maksaisivat asennuksen kera karkeasti arvioituna noin 200 €, mikä ei ole paljon, jos siten voidaan merkittävästi vähentää lattialämmityksen päälläoloa (Kuosa 2010b). Vesien kerääminen saaveihin on hieman hintavampaa ja käytössä työläämpää, mutta toisaalta lattiakaivoon kulkevat putket saattavat olla tiellä ja siten hankaloittaa työskentelyä tutkimustilassa.

4.6 Lisäselvityksiä

Jos halutaan tarkka energiantarve jäähdytykselle ja lämmitykselle, on tehtävä koejärjestely, jossa asennetaan käyttötuntilaskurit lattialämmitykselle, jäähdytyskoneille sekä ilmanvaihdon lämmityspatterille (Sääksjärvi 2010). Käyttötuntilaskurit voidaan asentaa yhdeksi kesäkuukaudeksi, esimerkiksi heinäkuuksi, jolloin kuukauden keskilämpötila on korkeimmillaan sekä yhdeksi talvikuukaudeksi, esimerkiksi helmikuuksi, jolloin kuukauden keskilämpötila on alhaimmillaan. Kuukauden keskilämpötilat löytyvät liitteestä 10.

5 YHTEENVETO

Suurimman sähkönkulutuksen Jokimaan maaperäntutkimuslaitoksella muodostavat tuloilman lämmitys, sisäilman jäähdytys, sekä lattialämmitys. Työssä pyrittiin kehittämään keinoja parantaa laitoksen energiatehokkuutta muuttamalla tutkimuslaitoksen käyttötottumuksia sekä tarkasteltiin uuden lämmitysjärjestelmän kannattavuutta ja lysimetrien parempaa eristämistä.

Työssä vertailtiin neljää eri lämmitysjärjestelmää, jotka olivat maalämpöpumppu vaakasuoralla putkistolla, maalämpöpumppu porakaivolla, ilmalämpöpumppu, sekä pellettilämmitys. Tärkeää lämmitysjärjestelmissä oli niiden käytön helppous, hinta sekä luotettavuus. Laskelmissa todettiin, että jäähdytykseen kuluu energiaa lähes saman verran kuin lämmitykseen, joten valittavassa lämmitysjärjestelmässä oli myös tärkeää sen mahdollinen käyttö jäähdytyksessä.

Tarkasteltavista lämmitysjärjestelmistä vain maalämpöpumppu porakaivolla sopii myös kesäisin kylmien tilojen jäähdytykseen. Suositeltavimmaksi lämmitysjärjestelmäksi valittiin siten maalämpöpumppu porakaivolla, jossa on lisäosana luonnollisen jäähdytyksen kiertopiiri. Tälle järjestelmälle laskettiin kannattavuus takaisinmaksuajan sekä annuiteetti- eli kuolletustekijän avulla.

Takaisinmaksuajaksi saatiin lähes kahdeksantoista vuotta, mikä on liian pitkä aika, sillä normaalisti takaisinmaksuajan ei kuuluisi olla yli 5 vuotta. Annuiteettitekijän mukaan viidentoista vuoden käyttöiällä, menetetään joka vuosi yli 1000 €. Investointi maalämpöpumppuun ei siis ole kannattava tässä tapauksessa.

Ilmalämpöpumppulämmityksen kannattavuutta tarkasteltiin myös, vaikka sillä ei kannatakaan jäähdyttää tutkimustilaa. Alkuinvestointi ilmalämpöpumppuun on kuitenkin niin pieni, että sitä voi harkita tuloilman lämmittämiseen. Kannattavuuslaskelmissa ilmalämpöpumpulle saatiin takaisinmaksuajaksi 5,5 vuotta, mikä ei ole välttämättä liian pitkä aika, sillä ilmalämpöpumppujen käyttöikä on melko pitkä, noin 10–15 vuotta.

On kuitenkin monia muitakin keinoja, joilla voidaan parantaa laitoksen energiatehokkuutta. Lattialämmitystä ei tarvitse pitää jatkuvasti päällä, mikäli estetään veden valuminen lysimetreistä lattialle. Veden valuminen voidaan estää jatkamalla lysimetrien poistovesiputkia lattiakaivoon asti tai keräämällä jokaisen lysimetrin suotovedet saaveihin. Kun pidetään lattialämmitystä päällä vain välttämättöminä hetkinä, kuten pestäessä lattiaa tai lysimetrejä, voidaan saada säästöä jopa 1000 € vuodessa.

Muita ongelmia olivat tuloilman korkea lämpötila lämpiminä vuodenaikoina, jolloin joudutaan käyttämään jäähdytyskoneita jatkuvasti. Tuloilman lämpötilaa voidaan pienentää koteloimalla ja eristämällä tulo- ja poistoilmaputket rappukäytävässä, jossa lämpötila nousee auringon paistaessa hyvinkin korkealle, sekä asentamalla sälekaihtimet tai muut verhot rappukäytävän suuriin ikkunoihin.

Lysimetreille pyrittiin myös löytää parempi eristeratkaisu, ja ajatuksena oli asentaa kuminen palje lysimetrien yläosaan. Ongelmaksi muodostui kuitenkin se, että lysimetrejä punnitaan jatkuvasti, ja palje voi aiheuttaa virheen punnituksessa. Palkeen tarkoituksena oli estää lasivillaeristeen kastuminen, mutta eriste voidaan myös suojata esimerkiksi muovikelmulla.

Suurimmaksi ongelmaksi tämän selvityksen perusteella kuitenkin havaittiin lattialämmitys. Sen lisäksi, että lattialämmitys on teholtaan hyvin suuri ja kuluttaa paljon energiaa, se aiheuttaa ristiriitaisuuden lämmityksen ja jäähtymisen välille. Lattialämmitystä voidaan hallita paremmin hankkimalla tarkempi termostaatti ja pitämällä lämpötila mahdollisimman alhaisena. Vielä suurempi energiansäästö saadaan, kun säädetään ajastimella lattialämmitys toimimaan vain parina tuntina päivässä, jolloin lämpötilan voi hetkellisesti nostaa korkeammaksikin paremman kuivatustehon aikaansaamiseksi. Nämä toimet eivät edes vaadi suuria investointeja, vain uuden termostaatin ja uudet käyttötottumukset.

TAULUKKO 4. Suositeltavat toimenpiteet.

Toimenpide (Osa toimenpiteistä on vaihtoehtoisia.)	Investointi [€]	Säästö [€/a]	Takaisinmaksuaika [a]
1. Digitaalinen termostaatti ja lattialämmityksen ajastaminen [2h/d]	200	1300	<1
2. Lattialämmityksen päälläpitäminen vain pesujen yhteydessä [96 h/kk]	Ei investointia	900	
3. Lysimetrien suotovesien kerääminen saaveihin (kuiva lattia) (edellyttää toimenpiteitä 1 tai 2)	400	900/1300	<1
4. Lysimetrien suotovesien kerääminen putkilla suoraan lattiakaivoon (edellyttää toimenpiteitä 1 tai 2)	200	900/1300	<1
5. Ilmalämpöpumppu lämmittämään tuloilmaa talvisin	3 000	550	5,5

Toimenpiteet 1 ja 2 ovat vaihtoehtoisia toisilleen. Samoin toimenpiteet 3 ja 4 ovat vaihtoehtoisia toisilleen. Toimenpide 5 voidaan toteuttaa erillään kaikista muista.

Tämän tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä, että energiankäytön vähentämiseksi ei useinkaan tarvita suuria investointeja, kunhan selvitetään tärkein tekijä energiankulutuksessa. Usein pienillä käyttötottumusten muutoksilla voidaan saada aikaan suuriakin säästöjä. Tätä sääntöä voidaan soveltaa niin kotitalouksissa kuin teollisuuskohteissakin, kunhan vain ollaan valmiita käyttäytymiskulttuurin muuttamiseen.

Rakennusten lämmitysjärjestelmillä on tietenkin suuri vaikutus energiankulutukseen. Jos halutaan valita lämmitysjärjestelmäksi sähköä ja usein ympäristöäkin säästävämpi vaihtoehto, kuten maalämpö, kannattaa investointia harkita jo rakennusvaiheessa. Näin lämmitysjärjestelmän investointikustannukset pienenevät kun järjestelmän asentaminen voidaan hoitaa pienemmällä vaivalla, eikä jo olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää tarvitse lähteä muuttamaan.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Hautala, M. & Peltonen, H. 2005. Insinöörin fysiikka. 7. uudistettu painos. Saarijärvi: Offset

Harju, P. 2005. Talotekniikan perusteet 2. 1. painos. Kouvola: Penan Tieto-Opus Oy

Seppänen, O. & Seppänen, M. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Toinen korjattu painos. Helsinki: Sisäilmayhdistys Ry

Ympäristöministeriö. 2003a. Ympäristöopas 106. Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen. Helsinki: Rakennustieto Oy

Elektroniset lähteet:

Etra Oy. 2010. Kumilevy ETRA SBR standard [Viitattu 8.4.2010] Saatavissa: <http://tuotteet.etra.fi/main.html?nodeUid=2649650&catalogUid=2224442&parents=|2649598|2649642|2649646&path=1>

Euro Inox. 2010. Käsikirja- Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa. [Viitattu 20.4.2010] Saatavissa: http://www.euroinox.org/pdf/build/dm/Recommend_FI.pdf

Gigantti. 2010. Adax-ajastintermostaatti. [Viitattu 7.6.2010] Saatavissa: <http://www.gigantti.fi/product/pienkoneet/ilma-ja-lammitys/muutlaitteet/ADAXDT2/adax-termostaatti>

Kuluttajavirasto. 2009. Tiedote: Ilmalämpöpumpun todellinen hinta voi olla yllätys. [Viitattu 25.4.2010] Saatavissa: <http://www.kuluttajavirasto.fi/fi-FI/tiedotteet-09/09/ilmalampopumpun-lopullinen-hinta-voi-olla-yllatys>

Motiva. 2010a. Mitä ovat lämmitystarveluvut? [Viitattu 18.5.2010] Saatavissa:
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/mita_ovat_lammitystarveluvut

Motiva. 2010b. Vertailupaikkakunnat, korjauskertoimet ja normaalivuoden 1971–2000 lämmitystarveluvut. [Viitattu 18.5.2010] Saatavissa:
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/vertailupaikkakunnat_korjauskertoimet_ja_lammitystarveluvut

msn.com. 2010. Sään keskiarvot, Lahti, Etelä-Suomi. [Viitattu 22.5.2010] Saatavissa:
http://saa.fi.msn.com/monthly_averages.aspx?wealocations=wc:17885&q=Lahti%2c+Etel%c3%a4-Suomi+forecast:averagesm

Pellettienergiayhdistys. 2009a. Pellettilämmityksen laitteisto. [Viitattu 20.3.2010] Saatavissa:
http://pellettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=91

Pellettienergiayhdistys. 2009b. Polttimet. [Viitattu 20.3.2010] Saatavissa:
http://pellettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=92

PMK-Electratec. 2010. Termostaatit. [Viitattu 7.6.2010] Saatavissa:
<http://www.electratec.net/tuotteet.html?id=90/>

Puuiilo Oy. 2010. Saavi 60 litraa Orthex. [Viitattu 7.6.2010] Saatavissa:
http://www.puuiilo.fi/cat/product_details.php?p=1090

Saint-Gobain Isover Oy. 2005. Toimintaraportti 2005. [Viitattu 5.4.2010] Saatavissa: http://www.isover.fi/files/files/toimintaraportti_2005.pdf

Satanen.com. 2004. Kauvatsalla lämpöä kaurasta pellettipolttimella. [Viitattu 28.5.2010] Saatavissa:

<http://www.satanen.com/index.php?k=yleista&sivu=show&id=362>

Sulpu Ry. 2010a. Maalämpöpumppu [Viitattu 24.3.2010] Saatavissa:

http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=114

Sulpu Ry. 2010b. Ulkoilmalämpöpumppu. [Viitattu 5.4.2010] Saatavissa:

http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=116

Sulpu Ry. 2010c. Ilmalämpöpumppu – Käyttö ja toiminta. [Viitattu 7.8.2010] Saatavissa:

http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_xfaq&task=answer&Itemid=84&catid=31&aid=222

Suomen talotekniikkaportaali Oy. 2010. Maalämpö. [Viitattu 26.5.2010] Saatavissa: http://www.talotekniikka.eu/asuminen/lammitys/fi_FI/maalampo/

Systemair Oy. 2010 Tuoteluettelo. [Viitattu 18.4.2010] Saatavissa:

<http://catalogue.systemair.com/FI/index.aspx>

Vapo Oy. 2010. Pientalojen edullisin lämmitystapa. [Viitattu 20.3.2010] Saatavissa:

http://www.vapo.fi/fin/yksityisasiakkaat/lammityspoltoaineet/pelletit/pientalojen_edullisin_lammitystapa/?id=1623

Suulliset lähteet:

Heikkinen, R. Muovitekniikan opettaja. Lahden Ammattikorkeakoulu. Haastattelu 6.4.2010.

Kuosa, J. 2010a. LVI-insinööri. Insinööritoimisto Granlund Lahti Oy. Haastattelu 8.2.2010

Kuosa, J. 2010b. LVI-insinööri. Insinööritoimisto Granlund Lahti Oy. Puhelinhaastattelu 26.5.2010.

Levan, R. Kouluttaja. Sykli. Haastattelu 1.4.2010.

Määttä, J. 2009. Johtaja DI. Lahden Tiede- ja Yrityspuisto Oy. Haastattelu 27.10.2009.

Ryynänen, T. 2010a. Tutkimusteknikko. Helsingin yliopisto. Haastattelu 16.2.2010.

Ryynänen, T. 2010b. Tutkimusteknikko. Helsingin yliopisto. Puhelinhaastattelu 26.5.2010.

Sihvonen, V.-M. 2010a. Automaatioinsinööri. Insinööritoimisto Granlund Lahti Oy. Puhelinhaastattelu 10.2.2010.

Sääksjärvi, V. Käyttöpäällikkö. Uusiutuvan energian kehittämiskeskus Energon. Lahden tiede- ja yrityspuisto. Haastattelu 27.5.2010

Muut lähteet:

Ahvenainen, T. 2010. RE: Karkea hinta-arvio maalämpöpumpulle. [Sähköpostiviesti] Vastaanottaja Autere, N. Lähetetty 28.4.2010.

Lahti energia. 2009. Tasauslasku. Pilot-laitos. Meisselikatku.

Insinööritoimisto Granlund Lahti Oy. 2007. LVI-piirustukset: Pilot-tutkimusasema

Ryynänen, T. 2010c. RE: Jokimaan Pilot-tutkimuslaitos. [Sähköpostiviesti] Vastanottaja Autere, N. Lähetetty 22.3.2010.

Ryynänen, T. 2010d. RE: Jokimaan Pilot-laitos. [Sähköpostiviesti] Vastanottaja Autere, N. Lähetetty 7.4.2010.

Sihvonen, V.-M. 2010b. VS: Jokimaan Pilot-tutkimuslaitoksen LVI-suunnitelmat. [Sähköpostiviesti] Vastanottaja Autere, N. Lähetetty 22.3.2010.

Sähköinsinööritoimisto Jussi Mäkelä Oy. 2007. Sähköpiirustukset: Pilot-tutkimusasema

Tarkkonen, A. 2010. Karkea hinta-arvio maalämpöpumpulle. [Sähköpostiviesti] Vastanottaja Autere, N. Lähetetty 27.4.2010.

Ympäristöministeriö. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007

Ympäristöministeriö. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010.

Ympäristöministeriö. 2003b. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C4. Lämmöneristys. Ohjeet 2003.

LIITTEET

LIITE 1. Jäähdytyslaitteiden tekniset tiedot. (Insinööritoimisto Granlund Lahti Oy. 2007.)

LIITTEET 2-5. Tuloilmakoneen, poistoilmakoneen ja jäähdytyslaitteiston automaatiopiirustukset. (Insinööritoimisto Granlund Lahti Oy. 2007.)

LIITE 6. Lämmitystarveluvut. (Motiva. 2010)

LIITE 7. Vuorokautiset näennäiskäyntiajat ilmanvaihdolle. (Ympäristöministeriö. 2007. Rakennusmääräyskokoelma, osa D5.)

LIITE 8. Lämmöntuottolaitteiden vuosihyötysuhteita. (Ympäristöministeriö. 2007. Rakennusmääräyskokoelma, osa D5)

LIITE 9. Pilot-laitoksen rakenteiden U-arvot. (Arkyhtymä Oy. 2006. Pääpirustus.)

LIITE 10. Kuukausien keskilämpötilat, Lahti, Etelä-Suomi. (msn.com. 2010)

LIITE 1

Pilot-tutkimuslaitos

Höyrystimet 2 kpl Fincoil PC-102-7-2-254-1400-1/230/50; kylmäaine R-404A

- kokonaisjäähdytysteho 3,8 kW
- tuntuva jäähdytysteho 2,8 kW
 - olosuhteissa: tuleva ilma +9,0 °C/85 % ja höyrystymislämpötila -3,0 °C
- höyrystimeltä lähtevä ilma +3,7 °C
- ilmamäärä 0,414 m³/s
- puhaltimet 2 kpl 254 mm, 1300 rpm
- puh. ottoteho 2 x 0,06 kW; verkko 1/230/50 Hz
- mitat:
 - pituus 1130 mm
 - leveys 335 mm
 - korkeus 400 mm
 - lamellijako 7,0 mm
 - pinta-ala 7,83 m²
 - sisätilavuus 4 dm³
 - nettopaino 25 kg

Kompressori-lauhdutinyksikkö Danfoss HGZ036S00D, 1 kpl

- jäähdytysteho 7,1 kW
 - hölt -3,0 °C ja ympäristön lt +30 °C
- sähköteho mitoitusolosuhteissa 3,2 kW ja virta 6,2 A; verkko 3/400/50 Hz
- mitat:
 - pituus 1000 mm
 - leveys 700 mm
 - korkeus 555 mm
 - nettopaino 85 kg
- varusteet (osa on vakiona koneikossa):
 - kylmäainevaraaja
 - kaksoispainekeytkin kompressorille
 - painekeytkimet lauhdutinpuhaltimille 2 kpl
 - öljynlämmitysvastus
 - kuivaajasuodatin
 - nestelasi
 - imusuodatin
 - kojeiston sähkökeskus jossa mm. pääkytkin, kontaktorit ja moottorisuojakytkimet

Laitteiston ohjaus:

Rakennusautomaatiosta ohjataan nestelinjan magneettiventtiiliä (JU) jäähdytystarpeen mukaan. Koneiston käyntiä ohjataan matalapainekeytkimellä (pumppauskytkentä). Korkeapainekeytkimeltä ja kompressorin- sekä kahden lauhdutinpuhaltimen moottorisuojakytkimeltä saadaan hälytystieto, josta saadaan potentiaalivapaa jatkohälytys rakennusautomaatiolle. Lauhdutinpuhaltimien käyntiä ohjataan kahdella painekeytkimellä. Öljynlämmitysvastus on päällä kun kompressori ei käy.

Ilmanvaihdon määrää ja tuloilman lämmitystä ohjataan rakennusautomaatiosta huonetilan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden perusteella.

Lämmitystarveluvut 1971-2000

Vertailupaikkakunta	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	599	577	559	424	216	36	7	22	160	320	433	543	3 896
Helsinki Kaisaniemi	657	619	574	404	169	12	2	15	144	331	468	594	3 989
Turku	667	629	582	399	170	19	4	23	170	352	488	612	4 115
Helsinki-Vantaa	691	647	593	402	165	18	4	27	185	364	502	631	4 229
Pori	680	639	589	413	189	25	5	29	195	364	500	627	4 255
Tampere-Pirkkala	734	681	614	411	186	29	6	39	211	382	537	672	4 502
Lahti Laune	737	686	615	419	172	25	6	36	215	394	533	674	4 512
Vaasa	732	667	620	445	215	33	9	47	221	397	535	667	4 588
Lappeenranta	771	702	624	425	177	26	6	34	204	404	548	691	4 612
Kuopio	820	748	657	468	213	34	8	43	216	415	579	742	4 943
Jyväskylä	789	727	650	464	217	43	13	63	251	427	576	725	4 945
Joensuu	837	762	670	479	231	43	12	55	237	434	598	759	5 117
Oulu	829	749	674	484	263	49	11	62	243	442	606	758	5 170
Kajaani	867	783	695	502	260	59	21	82	266	460	630	795	5 420
Sodankylä	964	840	759	570	358	113	55	150	330	545	742	911	6 337
Ivalo	947	823	752	575	387	153	76	157	328	545	744	894	6 381

LIITE 7

Taulukot L1.6 - L1.9. Lämmöntarpeen huomioon ottavat vuorokautiset näennäiskäyntiajat Δt_{vrk} eri paikkakunnilla kuukausittain. Näennäiskäyntiaikoja käytetään ilmanvaihdon kuukausittaisen lämmöntarpeen määrittämisessä, kun ilmanvaihto on päällä osan aikaa vuorokaudesta tai sitä käytetään eri ilmavirroilla eri kellonaikoina. Päivällä käyttötuntia kohti laskettu lämmöntarve on pienempi kuin yöllä. Taulukon arvot vastaavat huonelämpötilaa 21 °C. Lukuesimerkki: Jos ilmanvaihtoa käytetään Helsingissä huhtikuussa päivisin 12 tuntia klo 6 - 18, niin vuorokautinen näennäiskäyntiaika $\Delta t_{vrk} = 17,90 \text{ h} - 6,81 \text{ h} = 11,09 \text{ h}$. Lämmöntarvetta vastaava käyntiajan muuntokerroin $r = 11,09 \text{ h} / 12 \text{ h} = 0,924$. Vastaavasti voidaan laskea myös kesäaikainen yöjäähdytys.

Taulukko L1.6. Vuorokautiset näennäiskäyntiajat Δt_{vrk} kuukausittain säävyöhykkeellä I. Helsinki-Vantaa, 1979.

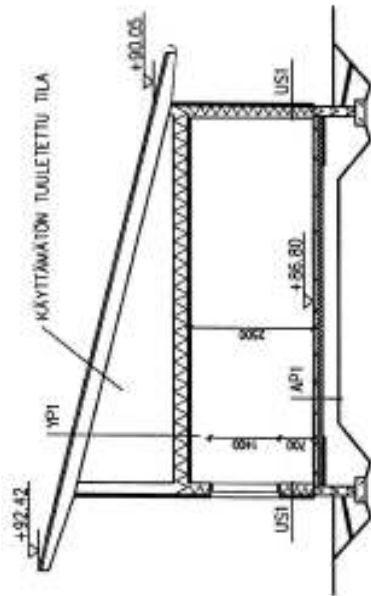
Kellonaika													
Kuukausi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tammikuu	0	1,03	2,06	3,09	4,12	5,15	6,18	7,20	8,22	9,22	10,22	11,21	12,20
Helmikuu	0	1,02	2,05	3,09	4,13	5,18	6,23	7,29	8,35	9,39	10,42	11,43	12,41
Maaliskuu	0	1,02	2,05	3,08	4,12	5,16	6,21	7,25	8,29	9,31	10,32	11,31	12,29
Huhtikuu	0	1,11	2,24	3,37	4,52	5,68	6,81	7,91	8,97	9,98	10,95	11,88	12,78
Toukokuu	0	1,34	2,73	4,14	5,58	7,04	8,39	9,62	10,73	11,73	12,62	13,39	14,10
Kesäkuu	0	1,71	3,58	5,46	7,34	9,22	10,87	12,28	13,44	14,41	15,17	15,74	16,19
Heinäkuu	0	1,36	2,76	4,17	5,58	6,99	8,28	9,44	10,47	11,40	12,22	12,94	13,64
Elokuu	0	1,50	3,08	4,67	6,29	7,92	9,38	10,67	11,78	12,70	13,43	13,98	14,46
Syyskuu	0	1,17	2,37	3,59	4,83	6,10	7,31	8,46	9,56	10,56	11,48	12,30	13,09
Lokakuu	0	1,05	2,11	3,18	4,25	5,33	6,40	7,47	8,54	9,56	10,54	11,47	12,38
Marraskuu	0	1,01	2,02	3,04	4,05	5,06	6,07	7,09	8,12	9,13	10,14	11,14	12,12
Joulukuu	0	1,02	2,03	3,05	4,05	5,06	6,06	7,06	8,06	9,06	10,06	11,05	12,03
Koko vuosi	0	1,10	2,21	3,33	4,45	5,58	6,69	7,76	8,81	9,82	10,79	11,72	12,63
Talvi	0	1,06	2,13	3,20	4,28	5,37	6,44	7,50	8,55	9,56	10,55	11,51	12,45
Kesä	0	1,51	3,11	4,71	6,33	7,95	9,40	10,67	11,77	12,71	13,48	14,10	14,66

Kellonaika													
Kuukausi	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tammikuu	12,20	13,17	14,14	15,11	16,08	17,05	18,02	19,00	19,99	20,98	21,98	22,99	24,00
Helmikuu	12,41	13,36	14,29	15,22	16,15	17,09	18,04	19,01	20,00	20,99	21,99	22,99	24,00
Maaliskuu	12,29	13,25	14,19	15,14	16,08	17,02	17,98	18,96	19,95	20,95	21,96	22,98	24,00
Huhtikuu	12,78	13,65	14,50	15,34	16,18	17,02	17,90	18,83	19,80	20,80	21,84	22,91	24,00
Toukokuu	14,10	14,75	15,35	15,95	16,55	17,15	17,84	18,62	19,50	20,47	21,56	22,75	24,00
Kesäkuu	16,19	16,55	16,80	17,05	17,30	17,56	17,93	18,40	18,99	19,86	21,00	22,41	24,00
Heinäkuu	13,64	14,30	14,93	15,57	16,24	16,92	17,68	18,50	19,40	20,40	21,51	22,73	24,00
Elokuu	14,46	14,87	15,22	15,60	16,01	16,46	17,06	17,82	18,74	19,83	21,08	22,51	24,00
Syyskuu	13,09	13,85	14,58	15,32	16,07	16,84	17,68	18,61	19,61	20,65	21,73	22,85	24,00
Lokakuu	12,38	13,28	14,15	15,04	15,94	16,86	17,81	18,79	19,79	20,82	21,87	22,93	24,00
Marraskuu	12,12	13,10	14,06	15,03	16,00	16,99	17,97	18,97	19,97	20,98	21,98	22,99	24,00
Joulukuu	12,03	13,00	13,96	14,94	15,93	16,93	17,93	18,94	19,95	20,96	21,97	22,99	24,00
Koko vuosi	12,63	13,52	14,38	15,25	16,12	17,00	17,91	18,85	19,82	20,82	21,86	22,92	24,00
Talvi	12,45	13,37	14,27	15,18	16,09	17,00	17,94	18,90	19,89	20,89	21,91	22,95	24,00
Kesä	14,66	15,15	15,58	16,03	16,49	16,97	17,56	18,26	19,07	20,06	21,23	22,57	24,00

LIITE 8

Taulukko 3.1. Lämmöntuottolaitteiden vuosihyötysuhteita eri lämmöntuottotavoilla.

Lämmöntuottotapa	Vuosihyötysuhde $\eta_{\text{lämmitys}}$ -
Kaukolämpö	1,0
Sähkölämmitys	1,0
Öljy- ja kaasukattilat, enintään 35 kW	
- tavanomainen kattila	0,87
- matalalämpötilakattila	0,90
- kaasukäyttöinen kondenssikattila	0,93
Öljy- ja kaasukattilat, yli 35 kW	
- tavanomainen kattila	0,89
- matalalämpötilakattila	0,91
- kaasukäyttöinen kondenssikattila	0,94
Kaksoispesäkattilat	
- öljylämmitys	0,80
- puulämmitys	0,70
Puupolttoaineita käyttävät lämmöntuottolaitteet	
Pellettikattilat	0,80
Hakekattilat	0,80
Pilkekattilat	0,70
Tulisijat	0,70
Lämpöpumput	
Maalämpöpumppu	2,5
Ulkoilmalämpöpumppu (lämpö vesivaraajaan)	2,0



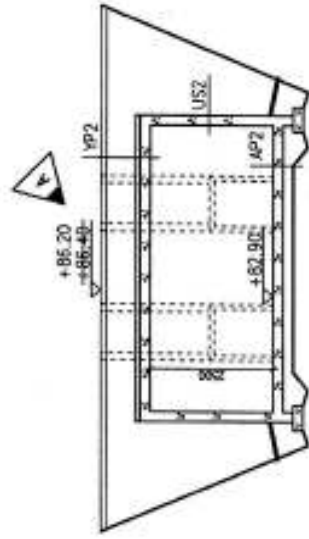
LEIKKAUS A-A

- YP1 YLÄPOHJA $k=0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (HUOLTORAKENNUS)
 KONESAIMATU PELTIKATE
 HARVALAUDOITUS
 KOROKERMIT
 ALUSKATE
 TUULETETTU ULLAKKO+KANTAVAT PUURAKENTEET
 LÄMMÖERISTE 50 + 200 mm
 HÖYRYNSULU
 LIITILAATTA

- YP2 YLÄPOHJA $k=0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, R60 (REAKTORIRAK.)
 SORA
 ALUSSORA >200 mm
 SUODATINKANGAS
 SUOLAKURISTETTU POLYSTYREENI 70 mm
 KALLISTUSREIHI E:50 >20 mm
 KANTAVA TERÄSBETONILAATTA 200 mm
 PINTABETONILAATTA

- AP1 ALAPOHJA $k=0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (HUOLTORAKENNUS)
 PINTAMATERIAALI
 MAANVÄRIINEN TB-LAATTA 80 mm
 SITKEÄ SUOJAPAPERI
 XPS-LÄMMÖERISTE 100 mm
 1,0 m reunus-alueella 150 mm
 SALAOJUSKERROS/ROUUTIMATON TÄYTTÖ

- AP2 ALAPOHJA $k=0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (REAKTORIRAKENNUS)
 MAANVÄRIINEN TB-LAATTA 120 mm
 SUODATINKANGAS
 SALAOJUSKERROS/ROUUTIMATON TÄYTTÖ



LEIKKAUS B-B

- US1 ULKOSEINÄ $k=0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 PANEELI 21 mm
 RISTIKOOLAUS/TUULETUSRAKO 25 mm
 TUULENSULUVALEVI 9 mm
 RUNKO JA LÄMPÖERISTYS 150 mm
 KOOLAUS JA LÄMPÖERISTYS 50 mm
 HÖYRYNSULU
 SISÄSEINÄLEVI 13 mm

- US2 ULKOSEINÄ REI120 (KELLARIN SEINÄ, REAKTORIRAK.)
 KANTAVA TERÄSBETONI 200 mm

$k \approx 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

- HUONEISTOJEN SISÄISET KOSTEAN TILAN SEINÄT KIMMINESTA
 KUIVEN TILOJEN SEINÄT KIPSILEVI 13 mm
 RUNKO 70 mm
 KIPSILEVI 13 mm

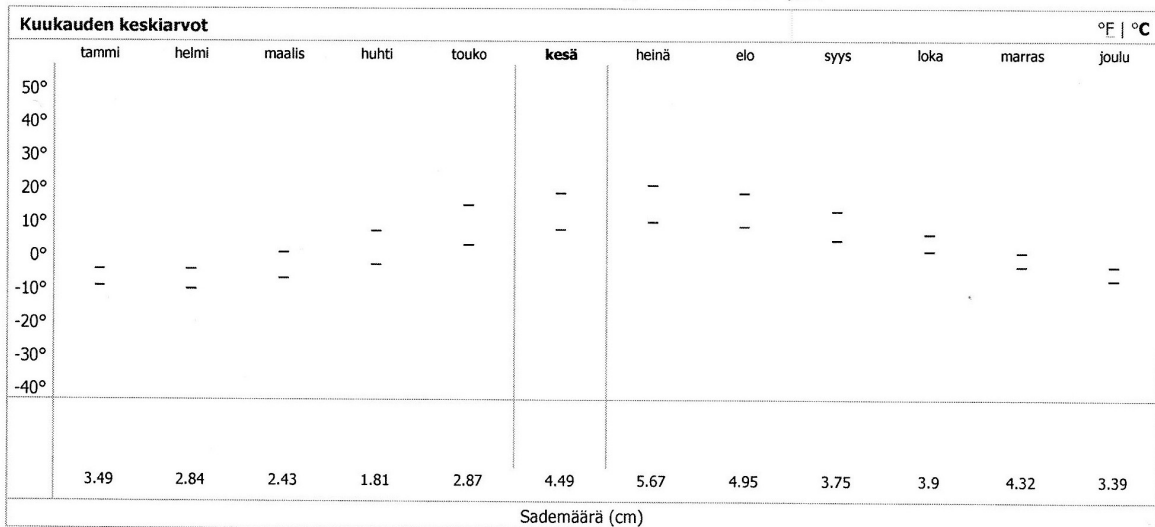
LIITE 10

Sään keskiarvot

Lahti, Etelä-Suomi

Paikallinen ennuste Kolmen tunnin välein Kymmenen päivän aikana Kartat Keskiarvot

Näytä Vuosi tammi helmi maalis huhti touko kesä heinä elo syys loka marras joul



Kuukauden keskiarvot			°F °C
tammikuu	Mat. keskiläm.: -9°	Kork. keskiläm.: -4°	Sadem. keskim.: 3.49 cm
helmikuu	Mat. keskiläm.: -10°	Kork. keskiläm.: -4°	Sadem. keskim.: 2.84 cm
maaliskuu	Mat. keskiläm.: -7°	Kork. keskiläm.: 1°	Sadem. keskim.: 2.43 cm
huhtikuu	Mat. keskiläm.: -2°	Kork. keskiläm.: 8°	Sadem. keskim.: 1.81 cm
toukokuu	Mat. keskiläm.: 4°	Kork. keskiläm.: 16°	Sadem. keskim.: 2.87 cm
kesäkuu	Mat. keskiläm.: 9°	Kork. keskiläm.: 20°	Sadem. keskim.: 4.49 cm
heinäkuu	Mat. keskiläm.: 11°	Kork. keskiläm.: 22°	Sadem. keskim.: 5.67 cm
elokuu	Mat. keskiläm.: 10°	Kork. keskiläm.: 20°	Sadem. keskim.: 4.95 cm
syyskuu	Mat. keskiläm.: 5°	Kork. keskiläm.: 14°	Sadem. keskim.: 3.75 cm
lokakuu	Mat. keskiläm.: 2°	Kork. keskiläm.: 7°	Sadem. keskim.: 3.9 cm
marraskuu	Mat. keskiläm.: -3°	Kork. keskiläm.: 1°	Sadem. keskim.: 4.32 cm
joulukuu	Mat. keskiläm.: -7°	Kork. keskiläm.: -3°	Sadem. keskim.: 3.39 cm

Yhdysvaltojen ja Kanadan ulkopuolisten alueiden tiedot toimittaa FORECA

Yhdysvaltojen ja Kanadan tiedot toimittaa iMap

MSN:n tietosuojalausunto Käyttöoikeustietoja Tässä sivustossa mainostaminen

© 2010 Microsoft