



Hannu - Pekka Puolakka

## **TUULETETUN ALAPOHJATILAN OLOSUHTEET JA ENERGIATALOUS**

# **TUULETETUN ALAPOHJATILAN OLOSUHTEET JA ENERGIATALOUS**

Hannu - Pekka Puolakka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2011  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Hannu-Pekka Puolakka  
Opinnäytetyön nimi: Tuuletetun alapohjatilan olosuhteet ja energiatalous  
Työnohjaajat: Pirjo Kimari, Janne Nevala / LVI-Sasto  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2011 Sivumäärä: 33 + 2 liitettä

---

Työssä vertailtiin kahdella erilaisella alapohjatilan tuuletusjärjestelmällä toteutettua kohdetta keskenään. Työtä varten mitattiin molempien kohteiden alapohjatilojen lämpötila- ja kosteusolosuhteita kuuden kuukauden ajan jatkuvana mittauksena. Työn tilasi Oulun kaupungin tilakeskus. Tavoitteena oli selvittää kahden erilaisen tuuletusratkaisun toimivuus sekä niiden vaikutus rakennusten energiatalouteen. Kohteet olivat iältään ja ulkoisilta olosuhteiltaan samanlaisia.

Työssä saatiin selville, että kuivaus- ja tuuletusjärjestelmällä varustetussa alapohjatilassa kosteus- ja lämpötilaolosuhteet olivat tasaisimmat koko mittausjakson ajan. Vertailtavana olleen toisen kohteen painovoimaisesti tuulettuvassa alapohjatilassa olosuhteet olivat epätasaiset ja jopa liian kosteat.

Alapohjatilojen kosteudella on vaikutus suoraan myös rakennusten sisäilmaan. Mikäli kosteusolosuhteet ovat pitkiä aikoja riskirajana pidettyä 80 %:a suuremmat, on alapohjatilaan vaarana syntyä homekasvustoa. Homeitiöt ovat sisäilmaan päästessään terveydelle haitallisia.

Energiankulutukseltaan ja sitä myötä kustannuksiltaan painovoimainen alapohjan tuuletusjärjestelmä osoittautui halvemmaksi kuin koneellinen tuuletusjärjestelmä. Mittausjakson 4.10.2010–31.3.2011 aikana ero neliötä kohden oli 0,38 euroa.

---

Asiasanat: alapohjat, mittausvälineet, ilmanvaihtojärjestelmät

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 ALAPOHJAN TUULETUSJÄRJESTELMÄT	6
2.1 Ulkoilmalla tuuletettu alapohja	6
2.2 Koneellisesti tuuletettu alapohja	6
2.3 Sisäilmalla tuuletettu alapohja	7
2.4 Tuulettamaton alapohjatila	7
3 KOHTEET	8
3.1 Kaakkurin monitoimitalo	8
3.2 Kaakkurin terveysasema	11
4 MITTAUKSET	14
4.1 Mittausjärjestelyt ja käytetyt mittalaitteet	14
4.2 Mittaukset monitoimitalossa	16
4.3 Mittaukset terveysasemalla	17
5 MITTAUSTULOKSET	18
6 ENERGIATALOUS	24
6.1 Johtumisteho rakenteen läpi	24
6.2 Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia	26
6.3 Laitteiden käyttämä sähköenergia	28
7 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	
Liite 1. Monitoimitalon anturien mittaukset	
Liite 2. Terveysaseman anturien mittaukset	

# 1 JOHDANTO

Työssä selvitetään Oulussa sijaitsevien Kaakkurin monitoimitalon ja Kaakkurin terveysaseman tuuletettujen alapohjatilojen olosuhteet ja energiatehokkuus. Työn tilaajana on Oulun kaupungin tilakeskus. Tavoitteena on vertailla kahden erilaisella alapohjan tuuletuksella varustetun kiinteistön alapohjatilan kosteus- ja lämpötilaolosuhteita syys-, talvi- ja kevätkaudella sekä selvittää mahdolliset riskit ja toteutettujen järjestelmien vaikutus rakennusten energiankulutukseen. Olosuhdemittaukset on suoritettu jatkuvana mittauksena välillä 4.10.2010–31.3.2011.

Rakennukset sijaitsevat Kaakkurin kaupunginosassa vierekkäin ja siksi ympäristön olosuhteet ovat täysin samanlaiset. Erot rakennusten välillä syntyvät erilaisista alapohjatilan tuuletusjärjestelmistä. Monitoimitalon alapohjatilaa palvelevat ilmankuivain ja kaksi kaksinopeuksista poistoilmapuhallinta. Terveysaseman alapohjatila on painovoimaisesti tuulettuva. Lämpöhäviöt alapohjan kautta lasketaan lämpötilamittauksien perusteella. Rakennukset ovat pohjapinta-alaltaan samaa kokoluokkaa. Rakennusten ikä ja käyttöaste vastaavat myös hyvin toisiinsa.

## **2 ALAPOHJAN TUULETUSJÄRJESTELMÄT**

Alapohjatilojen tuuletukseen täytyy kiinnittää huomiota, etteivät alapohjatilan kosteusolosuhteet pääse nousemaan liian korkealle tasolle. Kosteusolojen kannalta talvikausi on helpompaa aikaa kuin kesä. Kesällä ulkoilma on erityisesti päivällä kosteampaa kuin alapohjatilan ilma, jolloin ulkoilmasta siirtyy kosteutta alapohjatilaan nostaen sen suhteellista kosteutta.

Jos kosteusprosentti on pitkiä aikoja 80 - 85 %, syntyy homeitiöille otollinen kasvuympäristö. Seisova ilma edesauttaa myös homekasvuston syntyä. Mikäli kosteusprosentti on useita viikkoja yli 95 %, alapohjatilassa mahdollisesti olevat puurakenteet alkavat lahota. Alapohjatila on mahdollista tuulettaa usealla tavalla, ja tässä opinnäytetyössä esitellään neljä yleisintä tapaa. (1, s. 11.)

### **2.1 Ulkoilmalla tuuletettu alapohja**

Ulkoilmalla tuuletettu alapohjatila on käytetyin ratkaisu. Tuuletus perustuu perusmuuriin sijoitettuihin tuuletusaukkoihin. Tuuletuskanavia joudutaan käyttämään silloin, kun alapohjatila sijaitsee maan pinnan alapuolella. Ilmanvaihdon tulisi olla kosteuden vuoksi tarpeeksi suuri, mutta kuitenkin lämpöteknisen edun kannalta tarpeeksi pieni. Tuulettamista voidaan tehostaa rakennuksen keskelle sijoitetulla poistoilmapuhaltimella esimerkiksi silloin, kun tuuletuskanavia ei voida sijoittaa eri puolille perusmuuria. Joissain tapauksissa riittää pelkkä kanava keskellä rakennusta eikä erillistä poistoilmapuhallinta tarvita. (1, s. 12.)

### **2.2 Koneellisesti tuuletettu alapohja**

Koneellisesti tuuletettu alapohjatila voidaan pitää tasapainoisena tai joko ali- tai ylipaineistaa. Alipaineisen alapohjatilan vaarana on kosteuden mahdollinen nouseminen esimerkiksi kosteutta läpäisevän maa-aineksen läpi. Ylipaineen vallitessa on vaarana ilman epäpuhtauksien, kuten homeitiöiden tai radonin kulkeutuminen huoneilmaan alapohjan läpi. Koneellista tuuletusta käytettäessä

on havaittu, että alapohjatilan kosteuteen on vaikuttanut enemmän ali- tai ylipaineisuus kuin ilmanvaihdon määrä. (1, s. 18 - 19.)

### **2.3 Sisäilmalla tuuletettu alapohja**

Sisäilmalla tuuletettu alapohjatila toimii siten, että rakennuksen sisältä johdetaan poistoilma alapohjatilaan ja sitä kautta ulkoilmaan. Alapohjatilaan voidaan johtaa myös kylpyhuoneen ja wc-tilan poistoilma, mutta näiden tilojen poistoilma on kuitenkin huomattavan kosteaa, eikä sitä sen vuoksi kannata käyttää alapohjan tuuletukseen. Koska sisäilma yleensäkin on selvästi kosteampaa kuin ulkoilma, on sisäilmalla tuuletetussa alapohjassa aina riski kosteusvaurioihin jos alapohjatilan lämpötila on yhtä suuri kuin ulkoilmalla tuuletetussa alapohjatilassa. Sisäilmalla tuuletetun alapohjatilan lämmöneristyksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. (1, s. 16 - 18.)

### **2.4 Tuulettamaton alapohjatila**

Tuulettamattoman alapohjatilan pohja sekä ympäröivä perusmuuri ovat täysin eristettyjä. Lämpöhäviöitä ilmanvaihdon mukana ei synny, koska tuulettusta ei ole. Alapohjan eristys on tällöin vähäinen. Lämpöhäviöt rakennuksen sisältä alapohjan läpi alapohjatilaan pitävät tilan lämpimänä ja kosteus laskee. Koska mitään tuulettusta ei ole, täytyy eristyksen olla erittäin tiivis ja huolella toteutettu, jotta kosteutta ei pääse alapohjatilaan. (1, s. 18.)

## **3 KOHTEET**

Opinnäytetyön mittaukset sijoittuivat kahteen Oulun kaupungin omistamaan kiinteistöön, jotka sijaitsevat Kaakkurin kaupunginosassa. Molempien kohteiden LVI-suunnitelmat on tehnyt LVI-Sasto Oy.

### **3.1 Kaakkurin monitoimitalo**

Kaakkurin monitoimitalo sijaitsee Oulun Kaakkurin kaupunginosassa, osoitteessa Pesätie 13. Monitoimitalossa toimivat päiväkotit, kirjasto ja asukastupa. Rakennus on valmistunut vuonna 2008. Monitoimitalossa on nykyaikainen ilmanvaihtojärjestelmä ja kiinteistöautomaatiota ohjaava käyttöliittymä. Käyttöliittymä sijaitsee terveysaseman ilmanvaihtokonehuoneessa. Monitoimitalon sisäilman tavoiteluokituksena on ollut S2 (5, s. 19). Monitoimitalon alapohjatilan huoltoluukku sijaitsee talon lämmönjakokeskuksessa. Alapohjan lämmönläpäisykerroin on  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Monitoimitalon alapohjatilaa palvelee ilmankuivain ja kaksi poistoilmapuhallinta.

#### **Kaakkurin monitoimitalon alapohjatilan ilmankuivain**

Monitoimitalon alapohjatilassa on yksi koneellinen kierrätyskuivain, joka kierrättää ilmaa alapohjassa. Kuivaimen merkki on Recusorb ja malli R-061R (kuva 1). Kuivaimessa on lämmityspatteri, jonka lämmitysteho on automaattinen, tai käsin valittavissa kiinteästi joko 9 kW tai 18 kW. Lämmityspatterin lisäksi kuivaimen energiataloutta parantaa siinä oleva pyörivä lämmöntalteenottokeho.





KUVA 1. Recusorb R-061R -ilmankuivain

Kuivaimessa on käyttötuntimittari, jota seuraamalla voidaan suoraan laskea kuivaimen energiantarve. Kuivaimen ominaisteho on 14,8 kW, ja tätä arvoa käytettiin energiankulutuksen laskennassa. Ominais-teho luettiin kuivaimen tyyppikilvestä, joka esiintyy kuvassa 2.



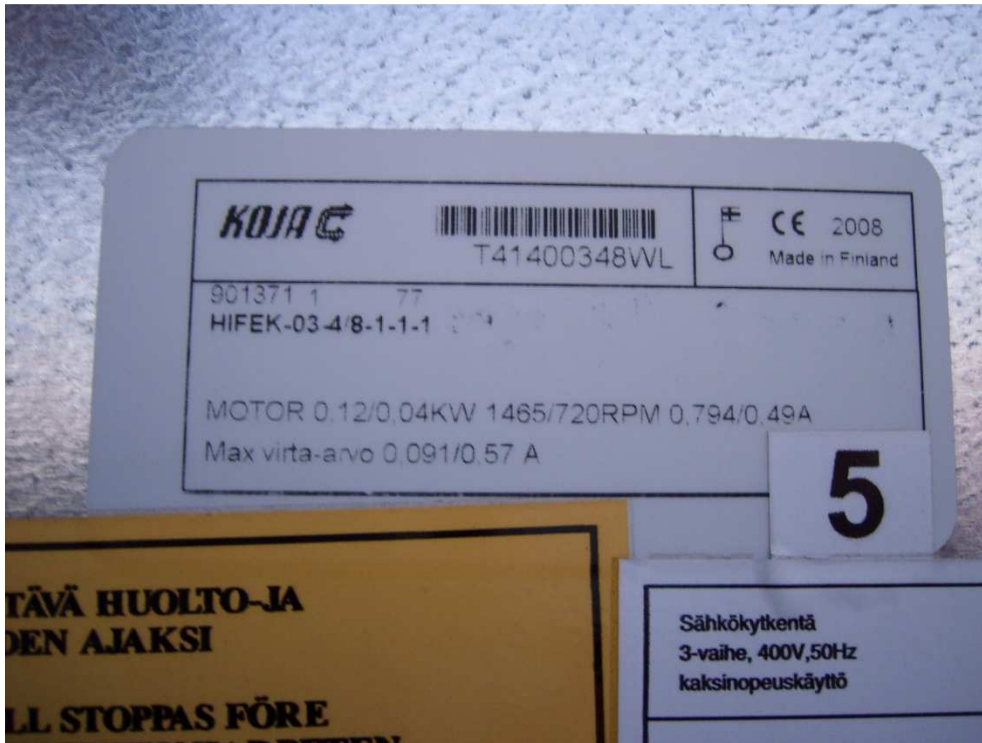
KUVA 2. Kuivaimen tyyppikilpi

## **Kaakkurin monitoimitalon alapohjantilan poistoilmapuhaltimet**

Molemmat poistoilmapuhaltimet ovat mallia Koja HIFEK-03-4/8-1-1-1. Poistoilmapuhaltimien käyttötunnit tallentuvat kiinteistöautomaatio-ohjelmaan, josta tunnit lukemalla voidaan laskea poistoilmapuhaltimien energiankulutus. Poistoilmapuhaltimet ovat kaksinopeuksisia, ja siksi niille tarvittaisiin energiamittaus. Puhaltimien käyttöaika talvikaudella on kuitenkin pieni ja moottorien ottama teho vähäinen, joten puhaltimien kuluttamalla energialla ei ole suurta merkitystä rakennuksen energiatalouteen. Tässä opinnäytetyössä puhaltimien kuluttama energia on laskettu molempien nopeusalueiden keskiarvosta 0,08 kW. Eri nopeusalueiden tehot luettiin tyyppikilvestä, ja ne ovat 0,12 kW ja 0,04 kW. Poistoilmapuhallin on esitetty kuvassa 3 ja puhaltimen tyyppikilpi kuvassa 4.



*KUVA 3. KOJA-poistoilmapuhallin*



KUVA 4. KOJA-poistoilmapuhaltimen tyyppikilpi

### 3.2 Kaakkurin terveysasema

Kaakkurin terveysasema on valmistunut yhtä aikaa monitoimitalon kanssa, ja se sijaitsee monitoimitalon välittömässä läheisyydessä osoitteessa Pesätie 11. Sisäilmaston tavoiteluokituksena on ollut S2. Kaakkurin terveysasema on yksi Suomen neljästä teknologiaterveysasemien pilottihankkeista. Terveysaseman alapohjatilaan pääsee kulkemaan varastossa olevan luukun kautta. Terveysaseman alapohjan lämmönläpäisykerroin on 0,20 W/m<sup>2</sup>K. (6.)

#### Kaakkurin terveysaseman alapohjan tuuletus

Terveysasemalla alapohjatilan tuuletus on toteutettu painovoimaista järjestelmää käyttäen suoraan ulkoilmaan yhteydessä olevien kanavien kautta. Tuulettuskanavia on sijoitettu rakennuksen jokaiselle seinustalle. Painovoimainen tuuletus perustuu rakennuksen eripuolilla vallitseviin ilmanpaine-eroihin, jotka pyrkivät tasoittumaan alapohjatilan kautta.

Kuvassa 5 on kuvattu terveysaseman alapohjatilan tuuletuskanavia ulkopuolelta.



*KUVA 5. Terveysaseman alapohjatilan tuuletuskanavia*

Kuvassa 6 on kuvattu edellisen kuvan tuuletuskanava alapohjatilan puolelta. Kanavat ovat samanlaisia molemmissa rakennuksissa.



*KUVA 6. Alapohjan tuuletuskanava kuvattuna sisäpuolelta*

Terveysaseman alapohjatila on toteutettu kaasutiiviinä, millä on pyritty ennaltaehkäisemään epäpuhtauksien kulku alapohjan läpi terveysaseman sisätiloihin. Tämän ratkaisun takia huoltoluukut alapohjatilaan sijaitsevat eri tilassa terveysaseman kanssa ja luukut ovat erittäin painavia, hyvin tiivistettyjä sekä pulkein kiinnitettyjä. Terveysaseman alapohjatilan luukku on esitetty kuvassa 7. Muu ilmanvaihto on toteutettu terveysasemalla normaalisti koneellisena. Terveysaseman alapohjatilassa ei ole kiinteistöautomaatioon liittyviä laitteita.



*KUVA 7. Terveysaseman alapohjatilan kaasutiivis huoltoluukku*

## 4 MITTAUKSET

Olosuhdevertailuja varten tarvittiin erilaisia mittauksia. Näitä mittauksia piti saada tehtyä luotettavasti tietyllä aikavälillä. Mitattavia suureita olivat lämpötila sekä kosteusprosentti, ja mittausarvoja tarvittiin yhteensä yhdeksästä pisteestä. Mittalaitteiksi valittiin kosteutta sekä lämpötilaa samanaikaisesti mittaavat dataloggerit.

### 4.1 Mittausjärjestelyt ja käytetyt mittalaitteet

Mittausantureina käytettiin itsestään toimivia dataloggereita. Dataloggerit tilattiin ThermoSunEco Oy:stä osoitteesta <http://www.thermosun.fi/>. Loggerit ovat mallia EL-USB-2. Loggerit mittaavat lämpötilaa, kosteutta ja kastepistelämpötilaa. Loggerin mukana tulleella EasyLog-ohjelmalla loggerit voidaan asettaa mittamaan halutulla näytteenottoaikavälillä. Näytteenottoaikaväli voi olla 10 s, 1 min, 5 min, 30 min, 1 h, 6 h tai 12 h. Tässä tapauksessa näytteenottoaikaväliksi valittiin kuusi tuntia alkaen klo 15.00. Näin näytteenottojen kellonajaksi tuli 15.00, 21.00, 03.00 ja 09.00. Tämän aikavälin arvioitiin riittävän hyvin, koska olosuhdemuutokset alapohjatilassa eivät tapahdu nopeasti. Koko mittausjakson ajan käytettiin samaa näytteenoton aikaväliä ja näytteenoton kellonaikaa. Loggerin lukematarkkuus on lämpötilalle 0,1 °C ja kosteudelle 0,1 %. EL-USB-2-dataloggeri on esitetty kuvassa 8. (7.)



*KUVA 8. ThermoSunEco Oy:n EL-USB-2-dataloggeri mittaamassa ulkoilman olosuhteita*

Loggerit nimettiin ja numeroitiin sekaannusten välttämiseksi. Monitoimitalon alapohjatilaan laitettut mittausanturit nimettiin tunnuksella MT ja numeroitiin 1:stä 5:teen. Numero 4 jäi ylimääräisenä kokonaan pois. Terveysaseman alapohjatilaan laitettut mittausanturit nimettiin tunnuksella TAS ja numeroitiin 7:stä 10:neen. Ulkoilman olosuhteita mitattiin yhdellä mittausanturilla. Yhden anturin arvioitiin riittävän, koska kohteet sijaitsevat vierekkäin ja ulkoilman olosuhteet ovat näin ollen täysin samat. Mittauksien noutamista varten täytyi ottaa joka kerta yhteyttä huoltomieheen, joka tuli avaamaan tarvittavat ovet terveysaseman varastoon, ilmastointikonehuoneeseen sekä monitoimitalon lämmönjakokeskukseen.

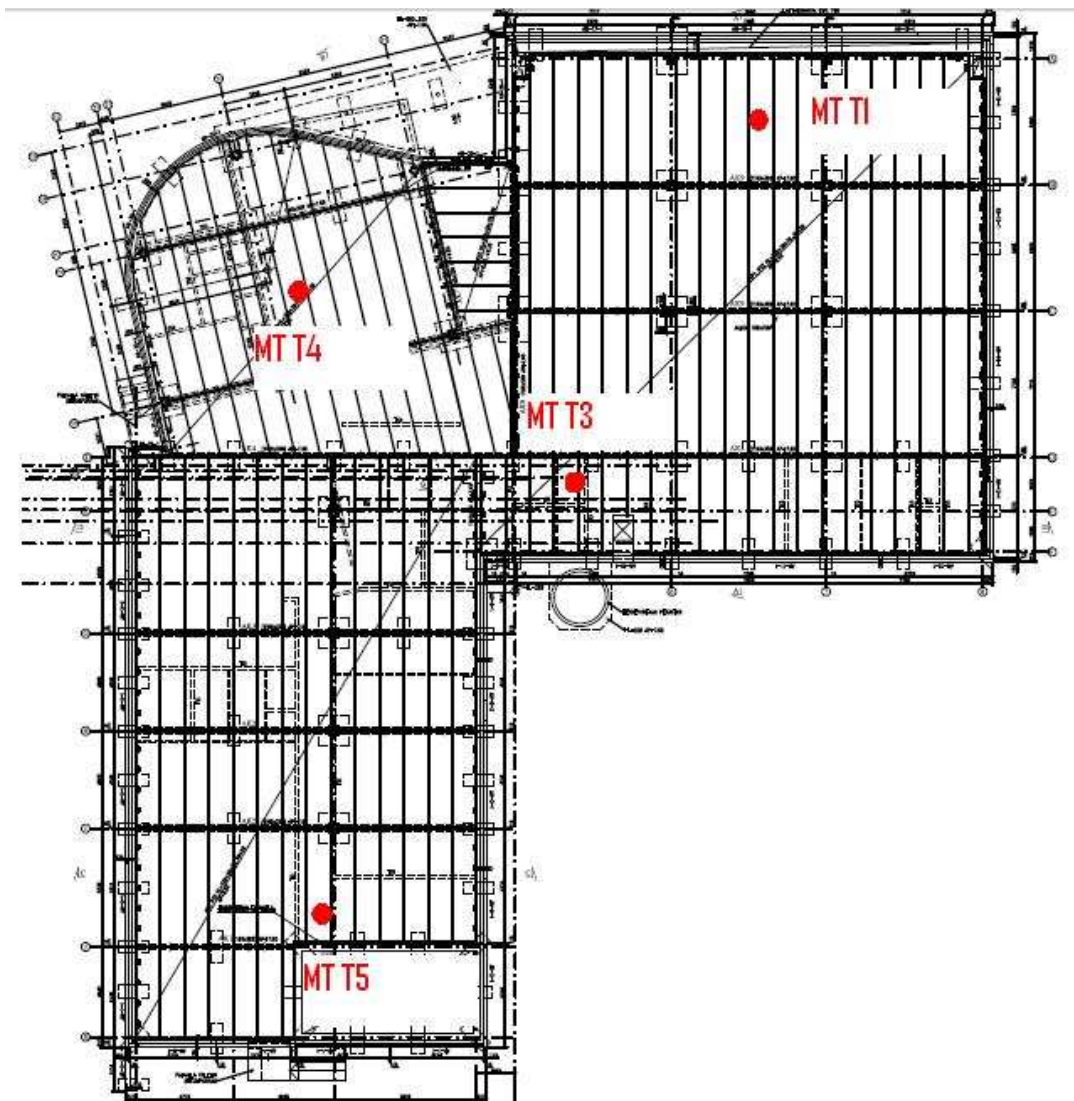
Loggerin virtalähteenä toimii  $\frac{1}{2}$  AA 3.6 V:n Li-ion paristo ja valmistajan ilmoituksen mukaan paristonkesto tällä näyttönoittovälillä on yli kaksi vuotta. Loggereiden mittauksien tiedot siirretään kannettavalle tietokoneelle, josta ne voidaan purkaa ja siirtää edelleen esimerkiksi Excel-tilukkolaskentaohjelmaan (7).

Energiankulutusta ei erikseen mitattu, vaan se laskettiin kertomalla käyttötunnit koneen vaatimalla teholla. Käyttötunnit poistoilmapuhaltimista pystyttiin luke-

maan suoraan kiinteistöautomaatio-ohjelmasta ja kuivaimen käyttötunnit voitiin lukea suoraan kuivaimessa olleesta käyttötuntilaskurista.

#### 4.2 Mittaukset monitoimitalossa

Monitoimitalon alapohjatilaan sijoitettiin yhteensä neljä dataloggeria. Loggereiden paikat mietittiin yhdessä työnohjaajan Janne Nevalan kanssa. Aluksi suunnitelmana oli ottaa myös monitoimitalon kiinteistöautomaatio-ohjelmasta alapohjatilan sekä ulkoilman lämpötila- ja kosteusmittaukset trendiseurantana, mutta ohjelmistovalmistajan kiireiden vuoksi ei trendiaikaista mittausta saatu koneelta järkevästi tallennettua. Loggereiden sijoittelu alapohjatilaan selviää kuvasta 9.

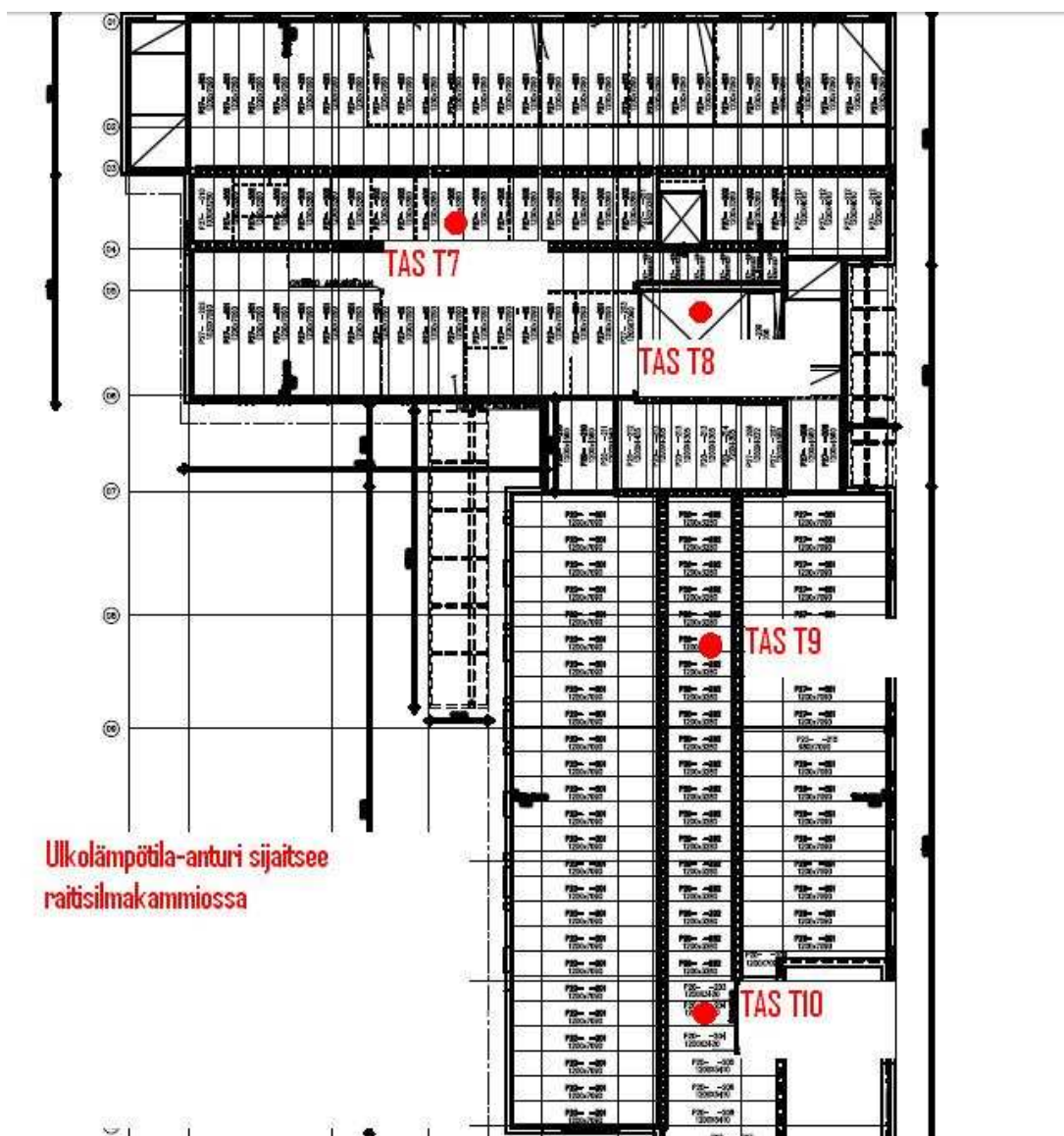


KUVA 9. Dataloggereiden sijoittelu Kaakkurin monitoimitalossa



### 4.3 Mittaukset terveysasemalla

Terveysaseman alapohjatilaan sijoitettiin myös neljä dataloggeria. Ulkoilman olosuhteita mittaava dataloggeri päätettiin sijoittaa terveysaseman ilmastointikoneen raitisilmakammioon. Tähän sijoitukseen päädyttiin, koska siellä loggeri oli samalla suojassa mahdolliselta ilkivallalta sekä lumelta ja suoralta vesisaateelta. Raitisilmakammion lämpötila ja kosteusolosuhteet vastaavat muuten täysin ulkoilman olosuhteita. Terveysaseman alapohjatilaan sijoitettujen loggereiden sijainnit selviävät kuvasta 10.



KUVA 10. Dataloggereiden sijoittelu Kaakkurin terveysasemalla

## 5 MITTAUSTULOKSET

Kaikki yksittäiset mittaukset on tallennettu Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, jossa niitä on pystytty käsittelemään. Mittauksia yhtä loggeria kohden saatiin koko mittausjakson aikana yli 2 000 kappaletta ja yksittäisiä mittaustuloksia on yhteensä yli 19 000 kappaletta. Loggerit toimivat luotettavasti koko mittausjakson ajan, joten kaikki mittaustulokset ovat käyttö- ja vertailukelpoisia keskenään. Kohteiden kuukausittaiset arvot saatiin ottamalla kaikkien kohteessa olleiden anturien keskiarvo.

Mittauksia varten valitut anturit on valittu hyvin, ja ne ovat vastanneet tarkoitustaan. Ainoa työn aikana mieleen tullut parannusehdotus koskee mittaustulosten lukemista. Anturit oli käytävä yksitellen hakemassa alapohjatilasta ja kytkettävä tietokoneeseen tietojen purkamista varten. Tämän jälkeen anturi oli vietävä takaisin paikoilleen. Tämä vaihe olisi voitu välttää miettimällä anturivalintaa hieman tarkemmin. Hankkimalla etäluettavia tai johdotettavia mitta-antureita olisi liikkuminen rakennuksen alapohjatilassa jäänyt kokonaan pois. Mittaustulosten lukua varten oli otettava yhteyttä kiinteistöhoitajaan, joka kävi avaamassa ovet tiloihin, joista pääsee alapohjatilaan.

Mittaustuloksista pystytään päättelemään, että olosuhteet ilmankäsittelylaittein varustetussa monitoimitalon alapohjatilassa ovat olleet tasaisemmat kuin painovoimaisesti tuulettuvassa terveysaseman alapohjatilassa. Monitoimitalon keskimääräiset alapohjatilalla lämpötilat sekä kosteudet on esitetty taulukossa 1 kuukausittain.

*TAULUKKO 1. Monitoimitalon alapohjatilan olosuhteet kuukausittain*

	Lämpötila, °C	Kosteusprosentti, %rh	Kastepistelämpötila, °C
Lokakuu	14,83	61,39	7,40
Marraskuu	13,83	61,75	6,57
Joulukuu	12,09	61,50	4,88
Tammikuu	11,88	62,01	4,80
Helmikuu	11,07	61,44	3,91
Maaliskuu	11,55	61,83	4,43

Taulukossa 2 on esitetty terveysaseman vastaavat mittaustulokset.

*TAULUKKO 2. Terveysaseman alapohjatilan olosuhteet kuukausittain*

	Lämpötila, °C	Kosteusprosentti, %rh	Kastepistelämpötila, °C
Lokakuu	13,09	83,36	10,32
Marraskuu	11,92	81,79	8,86
Joulukuu	9,82	78,47	6,11
Tammikuu	10,03	79,28	6,54
Helmikuu	9,01	71,99	4,06
Maaliskuu	9,77	74,22	5,38

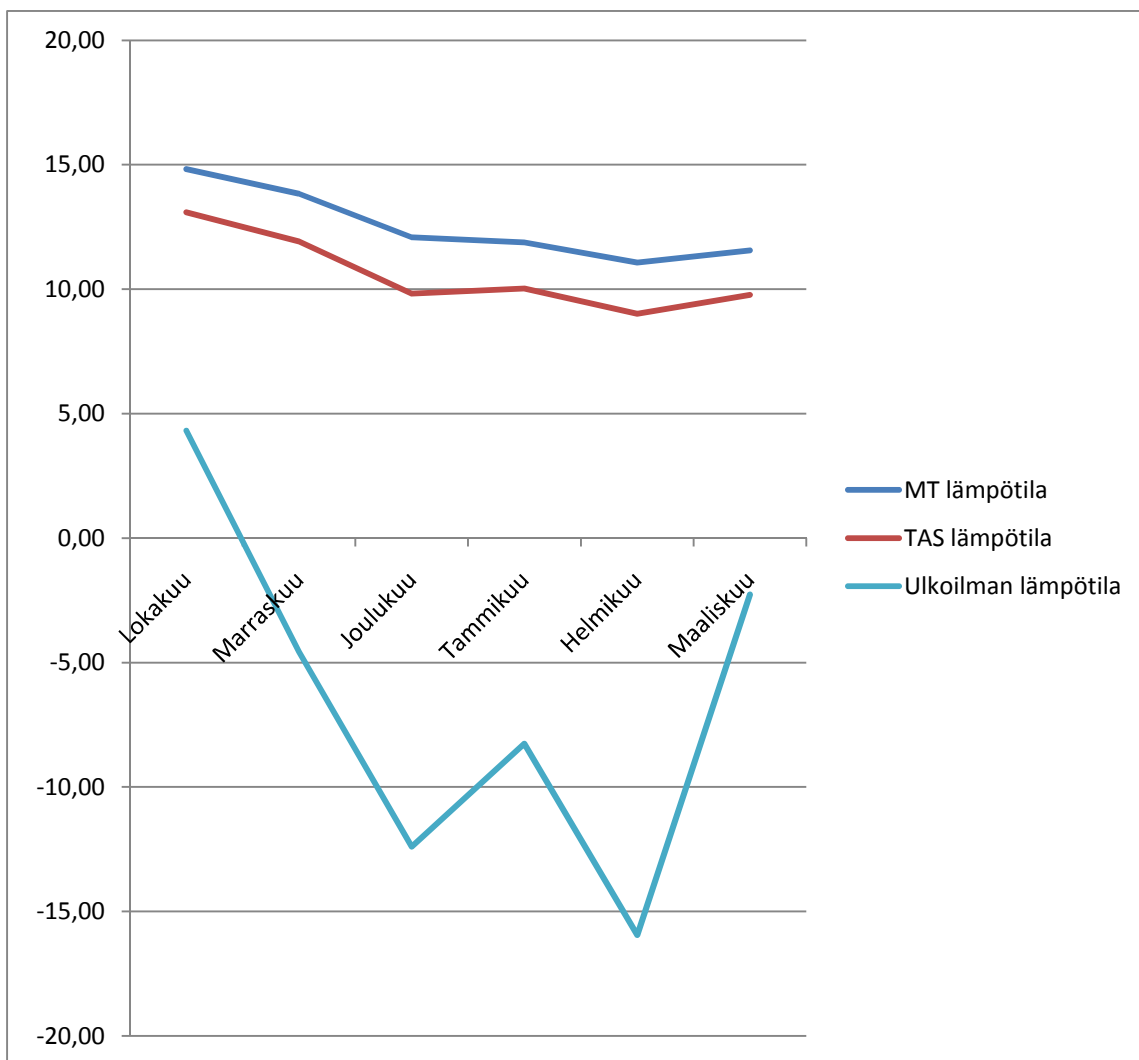
Taulukossa 3 on esitetty vertailun vuoksi myös mittausjakson aikana vallinneet ulkoilman keskimääräiset olosuhteet. Kylmimmillään ulkolämpötila oli -30 °C ja lämpimimmillään +10 °C. Kosteus oli pienimmillään 42,5 % ja suurimmillaan 95 %.

TAULUKKO 3. Ulkoilman olosuhteet kuukausittain

	Lämpötila, °C	Kosteusprosentti, %rh	Kastepistelämpötila, °C
Lokakuu	4,32	83,38	1,70
Marraskuu	-4,57	88,07	-6,23
Joulukuu	-12,40	84,91	-14,40
Tammikuu	-8,26	88,09	-9,87
Helmikuu	-15,95	83,25	-18,10
Maaliskuu	-2,27	74,97	-6,20

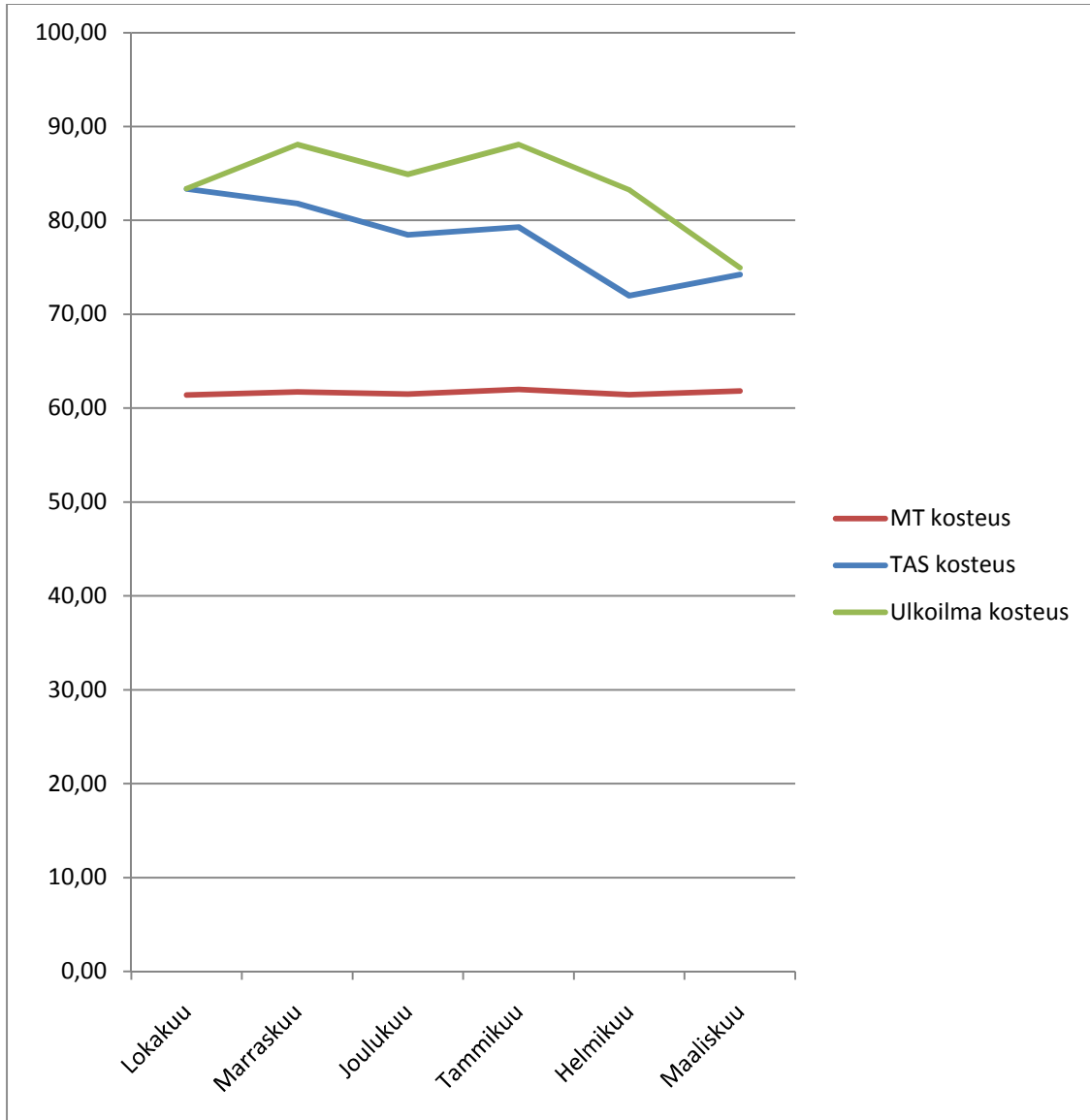
Terveysaseman alapohjatilan kosteusolosuhteet olivat loka- ja marraskuussa hälyttävällä tasolla. Kosteuden kannalta pidetään hälyttävänä tasona yli 80 %:n kosteusarvoja, etenkin jos kosteus pysyy tämän tason yläpuolella yhtäjaksoisesti useita viikkoja. Muidenkin kuukausien keskimääräiset kosteusarvot olivat talvella lähellä 80 %:a, vaikka talvi pitäisi olla helpompaa aikaa kosteusolojen kannalta. Onkin mahdollista, että terveysaseman alapohjatilassa alkaa pidemmällä aikavälillä kehittyä homeitiöitä.

Lämpötilat on esitetty myös viivakaaviona kuvassa 11. Lämpötilat alapohjatiloissa mukautuvat hieman ulkoilman lämpötilanvaihtelun mukaan.



KUVA 11. Lämpötilat alapohjatiloissa ja ulkona

Kuvassa 12 on esitetty alapohjatilojen sekä ulkoilman kosteudet. Kuvasta voidaan selkeästi havaita monitoimitalon tasaiset kosteusolosuhteet läpi mittausjakson.



*KUVA 12. Kosteusolosuhteet alapohjatioissa ja ulkona*

Antureiden keskinäiset mittauserot ovat melko pieniä monitoimitalossa, mutta jotain eroa kuitenkin löytyy. Antureiden MT 01 ja MT 05 lämpötilat eroavat vähän verrattuna MT 03:een ja MT 04:ään. Lämpötila mittauspisteessä MT 01 on ollut kaikkein lämpimin tasaisesti koko mittausjakson ajan ja mittauspisteessä MT 05 kylmin. Mittauspisteen MT 05:n alhainen lämpötila voi johtua vieressä sijaitsevasta väestönsuojasta, jonka alapohja on betonoitu maahan asti. Tämä

ratkaisu luultavasti hohkaa hieman kylmyyttä anturiin. Kosteusoloiltaan anturit ovat samassa asemassa lukuun ottamatta MT 03:a. Kyseinen anturi sijaitsee ilmankuivaimelta palaavan kanavan suuaukon läheisyydessä ja sen mittausarvot ovat hieman muita kuivempia. Monitoimitalon anturien kuukausittaiset mittautulokset löytyvät liitteestä 1.

Lämpötilaerot terveysaseman anturien välillä vaihtelivat erisuuruisesti keskenään koko mittausjakson ajan, joten niiden välille ei voi tehdä selkeää eroa. Anturi TAS 10:n läheisyydessä oleva väestönsuoja on mahdollisesti vaikuttanut anturin kosteusmittaukseen. Lokakuussa kyseisen anturin kosteusarvo oli muita pienempi, kun taas muina kuukausina se oli suurempi. Antureiden TAS 07 ja TAS 08 kosteudet olivat lähellä toisiaan koko mittausjakson ajan. TAS 09:n kosteudet olivat TAS 10:n sekä TAS 7:n ja TAS 8:n välissä. Terveysaseman anturien kuukausittaiset mittautulokset löytyvät liitteestä 2.

## 6 ENERGIATALOUS

### 6.1 Johtumisteho rakenteen läpi

Alapohjatilan lämpötila vaikuttaa suoraan rakennuksen energiatalouteen, koska mitä suurempi on alapohjatilan lämpötila, sitä vähemmän lämpöä johtuu rakenteiden läpi alapohjatilaan ja sitä kautta turha sisäilman lämmittäminen vähenee. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan johtumisteho alapohjan läpi voidaan laskea kaavalla 1 (4, s. 51). Johtumistehot alapohja läpi on laskettu kuukausittain alapohjatilan keskilämpötilasta.

$$\Phi_{\text{joht}} = \sum UA(T_{\text{sisä}} - T_{\text{alap}}) \quad \text{KAAVA 1.}$$

$\Phi_{\text{joht}}$	= johtumislämmitysteho, W
$U$	= U-arvo, W/m <sup>2</sup>
$A$	= pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_{\text{sisä}}$	= sisälämpötila, °C
$T_{\text{alap}}$	= mitattu alapohjan lämpötila, °C

Tämän työn laskelmissa on käytetty molempien kohteiden sisälämpötilan arvona 21 °C.

### Monitoimitalo

Kaakkurin monitoimitalon pinta-alaksi on ilmoitettu 1 399m<sup>2</sup> (8). Alapohjan U-arvo on 0,20 W/m<sup>2</sup>K. Alapohjan lämpötilana on käytetty taulukossa 1 esiintyviä kuukausittaisia keskilämpötiloja. Kaavalla 1 laskettuna saadaan kuukausittaisiksi arvoiksi taulukossa 4 kerrotut arvot.



*TAULUKKO 4. Johtumistehot kuukausittain monitoimitalon alapohjan läpi*

kk	$\Phi_{\text{joht}}$ [W]
Lokakuu	1726,37
Marraskuu	2006,17
Joulukuu	2493,02
Tammikuu	2551,78
Helmikuu	2778,41
Maaliskuu	2644,11

### **Terveysasema**

Kaakkurin terveysaseman kerrosalaksi on ilmoitettu 2 058 m<sup>2</sup> (6). Pohjakuvista laskettuna alapohjan pinta-ala on 1 316 m<sup>2</sup>. Alapohjan U-arvo on 0,20 W/m<sup>2</sup>K. Alapohjatilan lämpötiloina on käytetty taulukossa 2 esiintyviä arvoja. Kaavan 1 mukaan laskettuna saadaan kuukausittaisiksi johtumistehoiksi taulukossa 5 esiintyvät arvot.

*TAULUKKO 5. Johtumistehot kuukausittain terveysaseman alapohjan läpi*

kk	$\Phi_{\text{joht}}$ [W]
Lokakuu	2081,91
Marraskuu	2389,86
Joulukuu	2942,58
Tammikuu	2887,30
Helmikuu	3155,77
Maaliskuu	2955,74

## 6.2 Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia voidaan laskea rakentamismääräyskoelman osan D5 mukaan seuraavalla kaavalla 2 (4, s. 18).

$$Q_{joht} = \sum UA (T_{sisä} - T_{alap}) \frac{\Delta t}{1000} \quad \text{KAAVA 2.}$$

$Q_{joht}$	= rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh
$U$	= U-arvo, W/m <sup>2</sup>
$A$	= pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_{sisä}$	= sisälämpötila, °C
$T_{alap}$	= mitattu alapohjan lämpötila, °C
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Koska johtumisteho alapohjan läpi on laskettu kuukausittain luvussa 6.1, voidaan siitä saatua tulosta käyttää hyödyksi kaavan 3 mukaan.

$$Q_{joht} = \Phi_{joht} \frac{\Delta t}{1000} \quad \text{KAAVA 3.}$$

$Q_{joht}$	= rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, johtumisenergia, kWh
$\Phi_{joht}$	= johtumislämmitysteho, W
$\Delta t$	= ajanjakson pituus, h
1000	= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Ajanjakson pituutena on käytetty kyseessä olevan kuukauden tuntien määrää. Alapohjan läpi johtuneen lämpöenergian hinnan laskennassa on käytetty Oulun Energia Oy:n tämänhetkistä kaukolämmön energian hintaa 39,31 € / MWh sis. alv. 23 % (9). Hinnoissa ei ole otettu huomioon kaukolämmön perusmaksua.

## Monitoimitalo

Laskemalla johtumisenergia kuukausittain kaavan 3 mukaan ja käyttämällä taulukon 1 mukaisia johtumistehoja saadaan kuukausittaisiksi arvoiksi monitoimitaloon taulukon 6 mukaiset arvot.

*TAULUKKO 6. Johtumisenergia kuukausittain monitoimitalon alapohjan läpi*

kk	$Q_{\text{joht}}$ [kWh]
Lokakuu	1284,42
Marraskuu	1444,44
Joulukuu	1854,81
Tammikuu	1898,52
Helmikuu	1867,10
Maaliskuu	1967,22

Koko mittausjakson aikana alapohjan läpi johtuneeksi lämpöenergiaksi saadaan yhteensä 10 338,29 kWh:a. Lämpöenergia muutettuna kaukolämmön hinnaksi on 406,40 euroa. Neliötä kohden laskettuna lämpöhäviöksi saadaan 7,18 kWh/m<sup>2</sup> ja kaukolämmön hinnaksi 0,28 €/m<sup>2</sup>.

## Terveysasema

Terveysaseman alapohjan läpi johtunut lämpöenergia laskettiin kaavalla 3. Johtumistehoina käytettiin taulukossa 2 esiintyviä arvoja. Kuukausittaisiksi johtumisenergioiksi saatiin taulukon 7 mukaiset arvot.

### TAULUKKO 7. Johtumisenergia kuukausittain terveysaseman alapohjan läpi

kk	Q <sub>joht</sub> [kWh]
Lokakuu	1548,94
Marraskuu	1720,70
Joulukuu	2189,28
Tammikuu	2148,15
Helmikuu	2120,68
Maaliskuu	2199,07

Kun kuukausittaiset johtumisenergiat summataan, saadaan tulokseksi koko mitausjakson aikana alapohjan läpi johtunut energia, joka on yhteensä 11 926,82 kWh. Alapohjan läpi johtunut energia vastaa kokonaishinnaltaan 468,80 euroa. Neliötä kohden laskettuna johtumisenergiaksi saadaan 9,09 kWh/m<sup>2</sup> ja kaukolämmön hinnaksi 0,36 €/m<sup>2</sup>.

Tuloksia keskenään verratessa huomataan, että terveysaseman alapohjan läpi on johtunut lämpöenergiaa n. 1 600 kWh enemmän kuin monitoimitalon alapohjan läpi. Yhtä neliötä kohden ero kertyy 1,91 kWh monitoimitalon hyväksi. Euroina laskettuna yhden neliön ero monitoimitalossa ja terveysasemalla on 0,08 euroa monitoimitalon hyväksi.

### 6.3 Laitteiden käyttämä sähköenergia

Sähkölaitteiden kuluttama sähköenergia voidaan laskea kaavalla 4.

$$\Phi_{laite} = t * P_{tot}$$

KAAVA 4.

$\Phi_{laite}$  = sähköenergia, kWh

$t$  = aikajakso, h

$P_{tot}$  = laiteteho, kW

Monitoimitalon alapohjaa palvelevien laitteiden sähkönkulutus on laskettu kaavan 4 mukaan kertomalla tyyppikilvestä luetut tehot laitteiden käyttötunneilla. Koska poistoilmapuhaltimet ovat kaksinopeusmallia, on tehon laskennassa käytetty

tetty kahden tehoalueen keskiarvoa. Tästä syntyy pieni virhe, mutta se ei ole merkittävä, koska laitteiden yhteenlaskettu käyttöaika kuuden kuukauden ajalla on ollut vain 73 h sekä laskennassa käytetty yhden poistoilmapuhaltimen moottori teho on vain 0,08 kW. Kuivain on käynyt mittausjakson aikana yhteensä 719,24 h ja laskennassa käytetty moottoriteho on 14,8 kW.

Kaavalla 4 laskettuna saadaan poistoilmapuhaltimien käyttämäksi energiaksi yhteensä 5,84 kWh ja kuivaimen käyttämäksi energiaksi 10 644,75 kWh. Yhteensä monitoimitalon alapohjaa palvelevat laitteet ovat käyttäneet energiaa mittausjakson aikana 10 650,59 kWh. Laitesähkön kuluttama energia neliötä kohden on 7,40 kWh/m<sup>2</sup>.

Energiankulutus on muutettu euroiksi Oulun Energia Oy:n Tehosähkö-hinnaston mukaan (10). Tehosähkö-hinnasto on tarkoitettu yrityksille sekä muille suuremmille sähkönkuluttajille. Tehomaksu on 10 € / kW / vuosi. Maksun suuruudeksi alapohjatilan laitteille kuutta kuukautta kohden saadaan 74,80 €. Koska laitteiden tarkkoja vuorokautisia käyntiaikoja ei ole saatavilla, on energiankulutuksen hinnoittelussa käytetty niin sanottua talvipäivähinnastoa, joka on voimassa 1.11–31.3 klo. 07–22. Hinta kilowattituntia kohden on 5,50 snt. Tällä hinnoittelulla mittausjakson kokonaissähköenergian hinnaksi muodostuu 660,60 €. Sähköenergian hinnaksi neliötä kohden muodostuu 0,46 € / m<sup>2</sup>.

Lopullisia energianhintoja katsottaessa monitoimitalon alapohjataratkaisun hinnaksi muodostuu tällä mittausjaksolla 0,74 €/m<sup>2</sup>. Terveysasemalla vastaava luku on 0,36 € / m<sup>2</sup>.

## 7 YHTEENVETO

Tavoitteena oli verrata kahden erilaisen alapohjatilan tuuletusratkaisun vaikutusta alapohjatilan olosuhteisiin ja kiinteistön energiatalouteen. Kohteet sijaitsevat vierekkäin ja ovat ympäristön olosuhteiltaan samassa asemassa. Työtä varten tarvittiin lämpötila- ja kosteusmittauksia. Mittaukset kohteissa tehtiin jatkuvana mittauksena 4.10.2010–31.3.2011. Mittaukset otettiin kuuden tunnin välein yhteensä yhdeksästä pisteestä, joista neljä sijaitsi monitoimitalon alapohjatilassa, neljä terveysaseman alapohjatilassa ja yksi terveysaseman raitisilmakammiossa. Kaikki mittausjakson mittaustulokset ovat luotettavia ja täysin vertailukelpoisia keskenään.

Mittaustuloksista koostetuista käyristä voidaan nähdä, että kuivaimella sekä kahdella poistoilmapuhaltimeilla varustetun alapohjan kosteus- ja lämpötilaolosuhteet ovat paljon tasaisemmat koko mittausjakson ajan verrattuna painovoimaiseen alapohjantuuletusjärjestelmään. Suurin vaikutus tähän on ilman kuivaimella, joka on käynyt kuuden kuukauden aikana hieman yli 700 tuntia. Pelkkiä alapohjatilan olosuhteita ajatellen tämä ratkaisu on parempi.

On kuitenkin huomioitava monitoimitalon alapohjatilaa palvelevat sähkölaitteet, jotka ovat mittausjakson aikana kuluttaneet energiaa yli 10 000 kWh. Suoraan energiankulutuksia verrattaessa huomataan, että alapohjatilan ilman kuivattaminen ja koneellinen poisto nostaa monitoimitalon kokonaisenergiankulutuksen korkeammalle kuin terveysaseman. Kun monitoimitalon laitesähkönhinta sekä lämmitysenergianhinta lasketaan yhteen ja verrataan sitä terveysaseman pelkkään lämmitysenergian hintaan, voidaan todeta, että monitoimitalon alapohjataratkaisu maksoi mittausjakson aikana 0,38 euroa enemmän yhtä neliötä kohden.

Suurin saavutettu etu ilmankuivauksessa ja koneellisessa poistossa on monitoimitalon alapohjatilan alhainen kosteus. Kosteus ei päässyt missään vaiheessa mittausjakson aikana nousemaan yli aiemmin mainitun riskirajan ja se on ollut koko mittausjakson ajan samalla tasolla. Kun riskiraja ei ylity, ei sisäilmas-

tolle vaarallisia kasvustoja pääse syntymään. Terveysaseman alapohjatilassa kosteusraja taas pääsee ylittymään. Mielenkiintoista olisikin seurata myös alapohjatilän ja sisäilman laatua sekä ilman vaihtuvuutta näissä kohteissa. Monitorimitalon alapohjatilataratkaisu kuluttaa enemmän energiaa, mutta vuosien kuluessa sisäilman laatu tulee mahdollisesti olemaan parempi kuin terveysasemalla.

## LÄHTEET

1. Matilainen, Miimu – Jerkku, Ilkka – Kurnitski, Jarek 1999. Ryömintätilan ratkaisut ja rakennusfysiikka. Kosteustekninen suunnittelu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B63. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
2. Kurnitski, Jarek – Kettunen, Ari-Veikko – Matilainen, Miimu – Smolander, Juha – Sääksvuosi, Päivi 1998. Ryömintätilan tuuletus ja kosteuskäyttäytyminen. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
3. Kurnitski, Jarek – Pasanen, Pertti – Matilainen, Miimu – Hyttinen, Marko – Asikainen, Vesa 1999. Ryömintätilan kosteus ja mikrobit. Kevytsora, sepeli- ja kuivauskoneratkaisut. Mikrobit ryömintätalassa ja asunnoissa. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B62. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
4. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö.
5. Oulun kaupunki. Tilakeskus. Kaakkurin monitoimitalo. Järjestelmäkuvaukset. Saatavissa:  
[http://tilakeskus.ouka.fi/assets/site/files/ohjeet/kiinteistonhoito\\_2010\\_alue4/6337\\_kaakkurin\\_mtt/jarjestelmakuvaukset/6337\\_jarjestelmakuvaukset.pdf](http://tilakeskus.ouka.fi/assets/site/files/ohjeet/kiinteistonhoito_2010_alue4/6337_kaakkurin_mtt/jarjestelmakuvaukset/6337_jarjestelmakuvaukset.pdf). Hakupäivä 24.3.2011.
6. LVI-Sasto Oy. Kaakkurin terveysasema. Saatavissa: <http://www.lvi-sasto.com/kaakkurin-terveysasema/>. Hakupäivä 24.3.2011.



7. ThermoSunEco Oy. EL-USB-2 lämpötila, kosteus ja kastepiste USB loggeri. Saatavissa: [http://www.thermosun.fi/epages/Kaupat.sf/fi\\_FI/?ObjectPath=/Shops/Kuvas/Products/310](http://www.thermosun.fi/epages/Kaupat.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/Kuvas/Products/310). Hakupäivä 24.3.2011
8. Arkkitehtitoimisto Pekka Lukkaroinen Oy. Kaakkurin monitoimitalo. Saatavissa: <http://www.lukkaroinen.fi/Kaakkurin-monitoimitalo.php>. Hakupäivä: 12.4.2011
9. Oulun Energia Oy. Pohjoista voimaa – yhteinen etumme – kaukolämmön hinnastot. Saatavissa: [http://www.oulunenergia.fi/kaukolampo/hinnastot/kaukolammon\\_hinnastot](http://www.oulunenergia.fi/kaukolampo/hinnastot/kaukolammon_hinnastot). Hakupäivä: 13.4.2011
10. Oulun Energia Oy. Pohjoista voimaa – yhteinen etumme – Tehosähkö – hinnasto. Saatavissa: <http://www.pohjoistavoimaa.fi/index.php?1077>. Hakupäivä: 13.4.2011

*TAULUKKO 1. Monitoimitalon anturikohtaiset kuukauden keskilämpötilat*

	MT 01	MT 03	MT 04	MT 05
Lokakuu	16,0	15,5	14,7	13,1
Marraskuu	15,3	14,3	13,8	11,8
Joulukuu	14,1	12,1	12,3	9,8
Tammikuu	13,9	12,3	11,9	9,5
Helmikuu	13,4	11,3	11,3	8,3
Maaliskuu	13,3	11,8	11,6	9,5

*TAULUKKO 2. Monitoimitalon anturikohtaiset kuukauden kosteusprosentit*

	MT 01	MT 03	MT 04	MT 05
Lokakuu	58,5	53,9	63,3	69,8
Marraskuu	61,6	53,6	65,2	66,5
Joulukuu	63,6	54,1	65,8	62,5
Tammikuu	62,9	54,5	65,2	65,5
Helmikuu	64,3	54,7	64,6	62,1
Maaliskuu	61,8	52,9	65,6	67,0

*TAULUKKO 1. Terveysaseman anturikohtaiset kuukausien keskilämpötilat*

	TAS 07	TAS 08	TAS 09	TAS 10
Lokakuu	13,0	13,4	13,0	12,9
Marraskuu	11,9	12,1	12,1	11,7
Joulukuu	9,5	10,0	10,3	9,6
Tammikuu	9,6	10,2	10,4	9,9
Helmikuu	8,4	9,0	9,7	8,9
Maaliskuu	9,4	10,2	9,9	9,6

*TAULUKKO 2. Terveysaseman anturikohtaiset kuukausien kosteusprosentit*

	TAS 07	TAS 08	TAS 09	TAS 10
Lokakuu	83,0	84,7	85,9	79,8
Marraskuu	75,8	79,0	86,6	85,8
Joulukuu	68,8	69,4	82,4	93,4
Tammikuu	71,6	71,9	83,0	90,6
Helmikuu	62,4	61,9	75,3	88,3
Maaliskuu	68,7	71,6	78,6	77,9