

Saija von Hellens

# Sähkölämmitteisen pientalon energiaremontti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

21.2.2013

Tekijä Otsikko	Saija von Hellens Sähkölämmitteisen pientalon energiaremontti
Sivumäärä Aika	69 sivua + 19 liitettä 21.2.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä laboratorioinsinööri Ari Hokkanen
<p>Insinöörityö on laadittu EEMontti – Lämmityskulut puoleen -kilpailun aikana kerätystä tutkimustiedosta ja mittaustuloksista. Energiaremontin päätavoitteena on puolittaa kiinteistön lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus, johon luetaan mukaan tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitys.</p> <p>Työssä esitellään yhteen kilpailun sähkölämmitteiseen kohdekiinteistöön tehdyn remontin toteutus ja vaikutukset energiankulutukseen ja sisäilmastoon. Energiaremontin kohteena on 1970-luvulla rakennettu neljän makuuhuoneen omakotitalo, jonka kerrostasoala on 166,3 m<sup>2</sup>. Rakennuksen ulko- ja väliseinät ovat pääsääntöisesti tiilirakenteisia. Ennen remonttia talossa oli painovoimainen ilmanvaihto ja lämmönjako toteutettiin sähköpattereilla ja lattialämmityksellä. Lisälämmönlähteinä talossa on takka ja ilmalämpöpumppu. Energiaremontin myötä talon lämmityspatterit uusittiin ja taloon asennettiin lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtojärjestelmä, johon on integroitu ilmalämpöpumppu.</p> <p>Kokonaissähkönkulutus ennen remonttia oli noin 24 000 kWh vuodessa. Ilmanvuotoluvuksi n<sub>50</sub> mitattiin 18,9. Yhden makuuhuoneen hiilidioksidipitoisuus ylitti mittaussyksöllä säännöllisesti öisin 2 000 ppm ollen keskimäärin 1 296 ppm. Remontin jälkeen makuuhuoneen CO<sub>2</sub>-pitoisuus oli mittaussyksöllä keskimäärin 584 ppm pysyen aina alle 921 ppm. Äänitaso eri huoneissa remontin jälkeen oli alle 28 dB. Työssä selostetaan käytetyt mittausmenetelmät ja käsitellään saadut mittaustulokset.</p> <p>Energiaremontin tavoitteena ollut ostoenergiankulutuksen puolittamista ei laskennallisesti saavutettu. Merkittävimmät laskennan epävarmuustekijät liittyvät takan ja ilmalämpöpumpun sekä ilmapuotojen vaikutuksien arviointiin. Tärkeimmät projektin aikana tehdyt havainnot olivat sisäilman laadun huomattava paraneminen ja tätä kautta energiaa kuluttavan ikkunatuuletustarpeen poistuminen sekä mittauksin osoitettu kohdekiinteistön erittäin suuri epätiiviyys ja ilmanvaihdon havaitseminen ylipaineiseksi.</p> <p>Asukkaat kokivat uuden järjestelmän käytön osittain monimutkaiseksi, mutta he olivat tyytyväisiä remontin sisäilmastovaikutuksiin sekä siihen, että talossa pystyi asumaan koko remontin ajan.</p>	
Avainsanat	energiaremontti, EEMontti, pientalon energiankulutus, ilmatiiveys, ilmanvuotoluku, RakMk D5

Author Title	Saija von Hellens Energy renovation in a single-family house
Number of Pages Date	69 pages + 19 appendices 21 February 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Ari Hokkanen, Laboratory Engineer
<p>This Bachelor's thesis was created based on the data collected during a contest with the goal to split the consumption of heating energy in half and to gather information about how the energy renovation of a single-family house was executed.</p> <p>The renovated house was built in 1970's. During the project the original natural ventilation was replaced with an air conditioning system with heat recovery and integrated heat pump. The original electric heating radiators were replaced with new ones.</p> <p>The project had a significant influence on the indoor air quality. Before the renovation the average carbon dioxide concentration in one of the bedrooms was 1 296 ppm and 2 928 ppm at its highest. Due to the renovation the CO<sub>2</sub> average concentration dropped down to 584 ppm and there is no more need for airing through windows, which will have positive impact on energy savings.</p> <p>The project did not meet the target of cutting the heating energy in half. The major challenges during the study were to evaluate the effects of a heat pump, a fire place and air leakage on heating energy. The project improved the indoor climate, but also very high air leakage of the house's envelope and a measured positive pressure in the house were discovered.</p>	
Keywords	energy consumption, single-family house, National Building Code D5, air tightness, air leakage

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoite	1
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
1.4	Rajaukset	3
2	EEMontti-kilpailu	6
3	Kohteen kuvaus	9
3.1	Rakennus	9
3.2	Rakenteet	10
3.3	LVI-järjestelmät	11
3.3.1	Lämmitysjärjestelmä	11
3.3.2	Ilmanvaihtojärjestelmä	12
3.3.3	Vesi- ja viemärijärjestelmä	12
3.4	Sähkön- ja vedenkulutus	13
3.5	Kuntotarkastus	14
4	Energiankulutus vs. energiakustannus	16
5	Toteutettu remontti	18
5.1	Voittajatarjouksen valinta	18
5.2	Voittajatarjouksen arviointi	18
5.3	Toteutetut ratkaisut	20
5.3.1	EDX-E-ilmanvaihtojärjestelmä	21
5.3.2	Sähkölämmittimet	22
5.3.3	Ensto eVahti	23
5.3.4	Muut kiinteät mittalaitteet	23

6	Mittaukset ja mittaustulokset	25
6.1	Sisäilman olosuhteet	25
6.2	Äänimittaukset	32
6.3	Ilmanvaihdon ilmavirrat	33
6.4	Rakennuksen vaipan tiiveys	36
6.5	Takan lämmönluovutus	39
6.6	Ilmalämpöpumpun lämmönluovutus	43
6.7	Laitesähköenergia	45
6.8	Lämmöntalteenoton hyötysuhde	47
7	Energialaskelmat	50
7.1	Ennen remonttia	50
7.1.1	Vaihe I: D5:n mukaiset laskelmat	50
7.1.2	Vaihe II: Tarkennettu energialaskelma ennen remonttia	52
7.1.3	Vaihe III: Ilmanvuotoluvun $n_{50}$ vaikutus laskelmiin	54
7.1.4	Vuotoilmakertoimen määrittäminen ns. Shermanin menetelmällä	57
7.1.5	Ilmanvuotoluvun vaikutus energialaskelmiin	58
7.2	Remontin jälkeen	60
7.2.1	Vaihe IV: Energialaskelmat remontin jälkeen	60
7.2.2	Laskennallinen säästö lämmitysenergiankulutuksessa	61
7.2.3	Uusi rakentamismääräyskokoelman osa D3	61
8	Kokemukset remontista	63
8.1	Remontin toteutusaikataulu	63
8.2	Asukkaan kokemukset ja palaute	64
8.3	Urakoitsijan kokemukset ja palaute	65
8.4	Palvelukonseptin kehittäminen	66
9	Yhteenveto	67

## Liitteet

- Liite 1. Mittalaitteiden sijoituspaikat, sisäilman olosuhteet ja ulkolämpötila
- Liite 2. Sisäilmasto-olosuhteiden mittaus suunnitelma
- Liite 3. Mittaustulokset, ilman liikenopeus ja lämpötila
- Liite 4. Ilmanvaihdon venttiilien k-arvot
- Liite 5. Ilmanvaihdon ilmavirrat, mittauspöytäkirja 10.4.2012
- Liite 6. Ilmanvaihdon ilmavirrat, mittauspöytäkirja 9.10.2012
- Liite 7. Tiiviysmittausraportti 9.12.2011, keskeisimmät tulokset
- Liite 8. Lämpökuvausraportti 23.3.2012, keskeisimmät tulokset
- Liite 9. Takka, puun lämpöarvon perusteella laskettu lämpöenergia
- Liite 10. Takka, pinnan lämmönluovutus
- Liite 11. Takka, luukun lämmönluovutus
- Liite 12. Ilmalämpöpumppu, mittaustulokset ja laskenta
- Liite 13. Kohteen energialaskennan perustiedot
- Liite 14. Energiakulutuslaskimen tulostussivut, vaihe I
- Liite 15. Energiakulutuslaskimen tulostussivut, vaihe II
- Liite 16. Energiakulutuslaskimen tulostussivut, vaihe III
- Liite 17. Energiakulutuslaskimen tulostussivut, vaihe IV
- Liite 18. IV-järjestelmän integroitu ilmalämpöpumppu
- Liite 19. Urakoitsijan haastattelu 26.9.2012

## 1 Johdanto

Green Net Finland ry ja Sitra järjestävät yhteistyössä EEMontti – Lämmityskulut puoleen -kilpailun, jonka tarkoituksena on erityisesti pientalojen energiatehokkuuden parantaminen kohtuullisin kustannuksin. Energiaremontin päätavoitteena on puolittaa kiinteistön lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus, johon luetaan mukaan tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitys.

Tässä insinööriyössä käsitellään yhtä kilpailun kohdekiinteistöä ja kyseiseen kiinteistöön tehtävää remonttia, erityisesti LVI-korjausratkaisuiden vaikutusta ostoenergiankulutukseen. Tämä insinööriyö on tehty EEMontti-kilpailun aikana kerättyjen mittaustulosten pohjalta.

### 1.1 Tausta

Suomessa on yli miljoona erillispientaloa. Näistä noin 500 000 on suorasähkölämmitteisiä pientaloja, joiden energiankulutus ei vastaa nykypäivän EU-standardia (1). Pelkästään asuintalojen lämmitykseen kuluu Suomessa lähes viidennes kaikesta energian loppukäytöstä ja asumiseen kulutetusta energiasta noin puolet muodostuu lämmityksestä ja ilmanvaihdosta. Suomessa rakennukset kuluttavat lähes 45 % loppuenergiankulutuksesta ja kattavat noin 30 % kasvihuonepäästöistä. (2.)

### 1.2 Tavoite

Insinööriyön tavoitteena on tuottaa yhden EEMontti-kilpailussa mukana olleen kohdekiinteistön laskennallinen ET-luku sekä kolme laskelmaa lämmitysenergian tarpeesta:

- perustietojen pohjalta laskettu arvio Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaan
- ennen remonttia mittaustulosten perusteella tarkennettu laskelma
- remontin jälkeen mittaustulosten ja 6 kuukauden seurantajakson perusteella tuotettu ennuste.

Lisäksi työssä esitellään laskelmiin liittyvää teoriapohjaa ja problematiikkaa sekä arvioidaan remontin muita vaikutuksia kohdekiinteistössä, kerätään tietoa toteutusprosessista ja kokonaispalvelukonseptin kehittämistarpeista.

Työssä raportoidaan yhden kilpailussa mukana olleen kiinteistön energiankulutuksen seurantaan, jotta energiaremontin aikaansaamat todelliset säästöt energiankulutuksessa saadaan havainnoitua ja dokumentoitua puolueettomalla tavalla (2). Mittaustuloksia ja teoreettisia laskelmia hyödyntämällä tuotetaan arvio siitä, miten remontti on saavuttanut taloudelliset, toiminnalliset ja tekniset tavoitteensa.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Kohdekiinteistön lämmitysteho ja lämmitysenergiantarve arvioidaan laskennallisesti perustuen Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) osan D5 mukaiseen laskentamenetelmään. Laskelmissa käytetään saatavilla olevia tietoja vaipan, ylä- ja alapohjan rakenteista, suunnitteluilmavirroista sekä arvioitua LV:n kulutusta ja vuotoilmanvaihtoa. Laskenta tehdään hyödyntäen Helsingin rakennusvalvontaviraston Excel-energiaselvityslaskuria (ver. 05.04.2011), joka laskee rakennuksen energiankulutuksen annettujen lähtötietojen perusteella. Laskennan tuloksena on rakennuksen ET-luku, lämmitystehontarve sekä arvio lämmitysenergiankulutuksesta.

Ennen remonttia kohteessa mitataan muutaman päivän mittaisilla seurantamittausjaksoilla sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta sekä paikallista ulkolämpötilaa. Kertamittauksina mitataan kohteen poistoilmavirrat sekä mahdolliset tuloilmavirrat. Myös kohdekiinteistön vaipan ilmatiiveys (ilmanvuotoluku  $n_{50}$ ) mitataan. Lisäksi kohteessa olevan varaavan takan ja ilmalämpöpumpun vaikutus lämmitysenergian tarpeeseen arvioidaan mittaustulosten perusteella.

Rakennuksen energiatasetta sekä D5:n mukaan laadittua laskennallista arviota lämmitystehontarpeesta tarkennetaan tehtyjen havaintojen ja saatujen mittaustulosten perusteella. Laskelmissa on mukana mm. veden- ja sähkönkulutus aiemmilta vuosilta. Kohteessa mitatun pienlaitteiden sähkönkulutuksen ja mitatun vedenkulutuksen perusteella tarkennetaan edelleen laskelmia vastaamaan todellista tilannetta.



Energiaremontin jälkeen toistetaan muutaman päivän mittainen seurantajakso ja saatuja tuloksia verrataan tilanteeseen ennen remonttia. Myös remontissa asennettuja kiinteitä mittareita hyödynnetään energialaskelmissa. Tuloksena vertailusta laskelma edelleen tarkentuu, ja näin syntyy arvio nykytilanteen energiankulutuksesta sekä remontin vaikutuksista mm. sisäilman laatuun.

Lähdemateriaalina työssä käytetään lähinnä EEMontti-hankkeessa julkaistuja tietoja ([www.eemontti.fi](http://www.eemontti.fi)) sekä erityisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D5, joka käsittelee rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaa. Määräysten ja ohjeiden tulkintaa selventämään on hyödynnetty myös ympäristöministeriön Tasauskalkentaopas 2010:tä, jonka sovellusesimerkit, suositukset ja lisätiedot eivät sellaisenaan ole rakentamismääräyskokoelman määräysten tai ohjeiden taseisia kannanottoja, jotka sitoisivat suunnittelua ja rakentamista. Opasta on käytetty lähinnä havainnollistamaan määräystenmukaisuuden osoittamista sekä selventämään määräysten ja ohjeiden tulkintaa ja kohdentumista. (3.)

Mittausmenetelmien luotettavuuden sekä remontin muiden vaikutusten arvioinnissa käytetään lähteinä mm. sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjetta, joka antaa terveydensuojelulain nojalla ohjeita asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaalisista, kemiallisista ja mikrobiologisista tekijöistä sekä niiden tekijöiden havaitsemisesta ja mittausmenetelmistä. Myös muita kirjallisia lähteitä käytetään arvioitaessa mm. sisäilman laatua sekä ilmastoinnin vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Kiinteistössä tehtävää energiaremonttia seurataan lisäksi havainnoimalla, haastatteluin ja mittauksin sekä ennen että toteutetun remontin jälkeen.

#### 1.4 Rajaukset

Tässä insinööritöyössä käsitellään vain yhden EEMontti-kilpailussa mukana olevan sähkölämmitteisen pientalon energiankulutuksen vähentämisen keinoja LVI-ratkaisuin. Halvemman ostoenergian problematiikkaan ei puututa lainkaan.

Lämmitysenergiantarvelaskennat suoritetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 pohjalta, mutta työssä ei ole tarkoitus esitellä koko laskentateoriaa rakentamismääräyskokoelman perusteella. Oletus on, että lukija ymmärtää energiankulutus-

laskennan perusteet ja osaa itse hyödyntää RakMk:n osaa D5 laskentaperusteiden tarkentamiseen.

Kohteessa ei pystytty mittaamaan takan savukaasuja, joten takan tuottaman lämpöenergian vaikutuksen arvioiminen jäi tältä osin puutteelliseksi. Takan lämmönluovutus arvioitiin vertailemalla takan pintalämpötiloista mitattua sekä laskennallisesti puun lämpöarvosta ja kosteudesta saatua tietoa. Savukaasujen osuus jätettiin tämän tarkastelun ulkopuolelle.

Liesituulettimen ilmavirran tarkistusmittaukset oli suunniteltu tehtäväksi huhtikuussa 2012 sekä lokakuussa 2012. Mittauksia ei voitu tehdä, sillä liesituuletin ei toiminut kumpanakaan ajankohtana.

Ennen energiaremonttia aloitettu varaston ja autotallin muuttaminen asuintiloiksi on tätä insinööriyötä kirjoitettaessa edelleen kesken lähinnä saunan ja kodinhoitohuoneen osalta. Sauna on ollut poissa käytöstä vuodesta 2009 lähtien, ja kodinhoitohuone ei ole valmis. Remontin keskeneräisyys vaikutti mm. käyttöveden lämpötilojen mittaustuloksiin, sillä lämminvesivaraajaa ei ollut asennettu lopulliselle paikalleen. Saunan käytön energiankulutus ei ole viimeiseen 3,5 vuoteen näkynyt sähkölaskulla.

Ilmanvaihto asennettiin helmikuussa 2012, mutta ilmavirtojen säädöt tehtiin vasta äänenvaimentimien asennuksen yhteydessä 10.4.2012. Näin ollen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton lämpötilamittaukset viivästyivät, eikä niitä voitu tehdä talvikaudella 2011–2012. Mittaukset tehtiin alkutalvella 2012 kahteen kertaan, mutta mittaukset epäonnistuivat eikä tuloksia voida pitää luotettavina, sillä ilmavaihtojärjestelmän automaation ohjelmistoa jouduttiin vaihtamaan useasti. Laitteiston toimittaja ei informoinut ohjelmiston vaihdoista etukäteen, ja ohjelmiston vaihtoja tapahtui myös mittausjaksojen aikana. Virheet koodauksessa ja niiden "lennosta" korjaaminen hankaloitti mittauksia ja aiheutti viivästyksiä. Viimeinen seurantajakso jäi tekemättä aikataulun venyttyä huomattavasti alkuperäisestä tavoitteesta.

Alkuvuodesta 2012 asennettu eVahti ei toiminut 10.6.2012 jälkeen eikä päivittäisiä energiankulutustietoja saatu järjestelmästä ulos ollenkaan. Asukas luki kulutusmittarit muistinvaraisesti sähköpäätaulusta ja päivitti manuaalisesti kulutusseurantataulukkoa. Tarkempaa dataa ei ollut käytettävissä.

Kuuden kuukauden seurantajaksoa ei voitu toteuttaa suunnitellussa aikataulussa vuoden 2012 loppuun mennessä. Tämä insinöörityö pohjautuu niihin mittauksiin ja mittaus-tuloksiin, jotka tehtiin ja kerättiin 30.12.2012 mennessä.

## 2 EEMontti-kilpailu

Rakennukset kuluttavat noin 45 % Suomen loppuenergiankulutuksesta ja pelkästään asuntojen lämmittämiseen kuluu noin viidennes kaikesta energiankulutuksesta Suomessa. Suomen yli miljoonasta erillispientalosta noin 500 000 on sähkölämmitteisiä pientaloja, joiden energiankulutus ei vastaa nykypäivän EU-standardeja. (1.) Energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Kioton ilmastositopimus ja Suomen ilmastotratgia, joiden tavoitteena on kasvihuonekaasujen vähentäminen. Rakennusten lämmitys aiheuttaa noin 30 % Suomen kasvihuonepäästöistä. (4.)

EEMontti – Lämmityskulut puoleen (kuva 1) on Green Net Finland ry:n järjestämä ja koordinoima kilpailu, jonka päärahoittajana toimii Suomen Itsenäisyyden Juhlarahasto Sitra. Kilpailun tavoitteena on helpottaa pientalon omistajan onnistumista korjausratkaisujen hankinnassa sekä löytää esimerkkejä teknisistä ratkaisuista, joilla voidaan parantaa jo olemassa olevan kiinteistön energiatehokkuutta kohtuullisin kustannuksin. (2; 5.) Nimitys EEMontti tulee sanasta EnergiarEEMontti.

Korjauskohteina on neljä eri-ikäistä sähkölämmitteistä suomalaista tyyppitaloa, joissa ei ole vesikiertoista lattialämmitystä. Kuhunkin kiinteistöön tehdään kuntokartoitus, jonka pohjalta yrityksillä on mahdollisuus tarjota kokonaispalveluna energiaremonttia 1–4 kohdekiinteistöön. Energiaremontin päätavoitteena on kohdekiinteistön lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen puolittaminen. Lämmitysjärjestelmän energiankulutukseen katsotaan kuuluvaksi tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitys. (5.)



Kuva 1. EEMontti-kilpailun logo

EEMontti-kilpailuohjelman (5) mukaan kilpailuun osallistuvien ratkaisujen tulee täyttää seuraavat ehdot:

- Ratkaisun tulee vähentää kiinteistön lämmityksen energiankulutusta vähintään 50 %:lla lähtötilanteeseen verrattuna. Tällä tarkoitetaan lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutusta, joka sisältää tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen RakMk D3 2012:n mukaisesti.
- Kohteissa mahdollisesti jo olevia tulisijoja ja ilmalämpöpumppuja ei oteta huomioon energialaskelmissa, ja niiden vaikutus rajataan pois rakennuksen energiankulutustiedoista.
- Korjauksen toteutus (remontti) saa kestää enintään 3 viikkoa.
- Remonttien toteutuksen tulisi sijoittua aikavälille joulukuu 2011 – tammikuu 2012 (1.12.2011–31.1.2012)
- Muutostöiden tulee tuottaa lämmitysremonttiin sijoitetulle pääomalle vähintään 14 %:n tuotto (3 %:n inflaatiolla ja 3 %:n energianhinnan vuosittaisella nousulla).

Lisäksi remontti tulee suorittaa hyvää asennustapaa noudattaen ja kiinteistön omistajan kanssa tulee neuvotella toimenpiteistä, jotka vaikuttavat asuintilojen käyttöön remontin aikana.

Asiantuntijaraati arvioi ja pisteyttää jätetyt tarjoukset sekä valitsee kuhunkin kohdekiinteistöön voittajaratkaisun. Pisteytyksessä kiinnitetään huomiota taloudellisuuteen, tekniseen laatuun, ratkaisun innovatiivisuuteen, monistettavuuteen, helppokäyttöisyyteen, takuuehtoihin ja referensseihin. Lopullisen päätöksen kohdekiinteistöön toteutettavasta ratkaisusta tekee kuitenkin kiinteistön omistaja raadin suositusten pohjalta.

Kiinteistövälittäjä arvioi kohteet ennen ja jälkeen remontin, jotta nähdään valittujen ratkaisujen vaikutus kiinteistön markkina-arvoon. Green Net Finland ry laskee tarjouksessa ilmoitettujen tietojen perusteella sijoitetun pääoman arvioidun tuoton ja takaisinmaksuajan. Lisäksi kaikissa kohteissa toteutettavat energiaremontit video- ja valokuvataan.

Kohteiden energiankulutusta ja sisäilmasto-olosuhteita mitataan sekä ennen remonttia että remontin jälkeen. Kuuden kuukauden seurantajakson aikana selvitetään energia-remontin todelliset vaikutukset lämmityskustannuksiin. Asiantuntijaraati antaa lausuntonsa saavutetuista tuloksista seurantajakson jälkeen.

Tämä insinööriyö on laadittu EEMontti-kilpailun aikana kerättyjen mittaustulosten pohjalta.

### 3 Kohteen kuvaus

#### 3.1 Rakennus

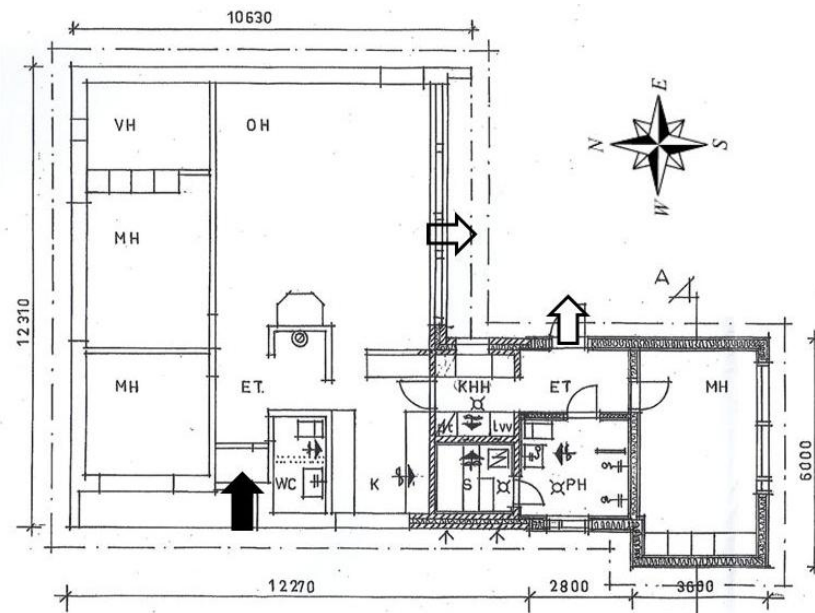
Kohdekiinteistö on vuonna 1974 rakennettu yksikerroksinen omakotitalo (kuva 2). Talon huoneistoalaksi on rakennuslupahakemuksessa ilmoitettu 106 m<sup>2</sup> ja rakennusalaksi 160,2 m<sup>2</sup>. Vuonna 1977 on haettu lupaa muuttaa kylmä varasto ja autotalli lämpimiksi tiloiksi. Tasakatto muutettiin harjakatoksi vuonna 1981.



Kuva 2. Kohdekiinteistö, laajennusosa vaakaverhoiltu vaalealla paneelilla.

Varaston ja autotallin muuttaminen edelleen asuintiloiksi alkoi vuonna 2009, ja remontti on tammikuussa 2013 yhä kesken. Muutoksen myötä poistuu 36 m<sup>2</sup> autokatos/varastotilaa, ja tilalle rakennetaan saman verran asuintiloja; pesuhuone, kodinhoitohuone ja yksi makuuhuone. Muutoksen jälkeen rakennuksen kerrostasoala on 166,3 m<sup>2</sup> ja ulkopintoihin rajoittuva rakennustilavuus 565,4 m<sup>3</sup>. Lämpimien tilojen ilmatilavuus sisämittojen mukaan on 332,3 m<sup>2</sup> ja asuintilojen pinta-ala 156,3 m<sup>2</sup>.

Talo sijaitsee kohtuullisen suojaisalla 3 262 m<sup>2</sup>:n tontilla notkelmassa metsän keskellä. Taloon tullaan sisään lännen puolelta ja olohuoneesta aukeaa takapihalle ovi etelään. Myös kodinhoitohuoneesta pääsee takapihalle ovesta, joka aukeaa itään. Kuvassa 3 on esitetty talon pohjapiirustus.



Kuva 3. Pohjapiirustus

Vaatuhuone on muutettu makuuhuoneeksi, ja nykyisellään talossa on 4 makuuhuonetta, olohuone, keittiö, WC, kodinhoituhuone, sauna ja pesutilat.

### 3.2 Rakenteet

Rakennuksen ulko- ja väliseinät ovat tiilirakenteisia, laajennusosassa puurakenteisia. Alun perin talossa on ollut tasakatto, jossa vesikatteena oli huopa. Tasakaton muuttamista harjakatoksi on haettu vuonna 1981. Myöhemmin huopakaton päälle on rakennettu harjakatto profiilipeltikatteella. Alapohjana on maanvarainen betonilaatta.

Piirustusten perusteella rakennuksessa on kantavat ulkoseinät. 1970-luvulla rakennetun talon piirustukset on piirretty käsin. Vantaan kaupungin rakennusvalvonnan arkiston dokumenteista (6) saatiin seuraava tieto ulkoseinän rakenteesta:

- Rapp.
- 1/2 k
- 5 cm vuoriv.
- 1/2 k
- Rapp.



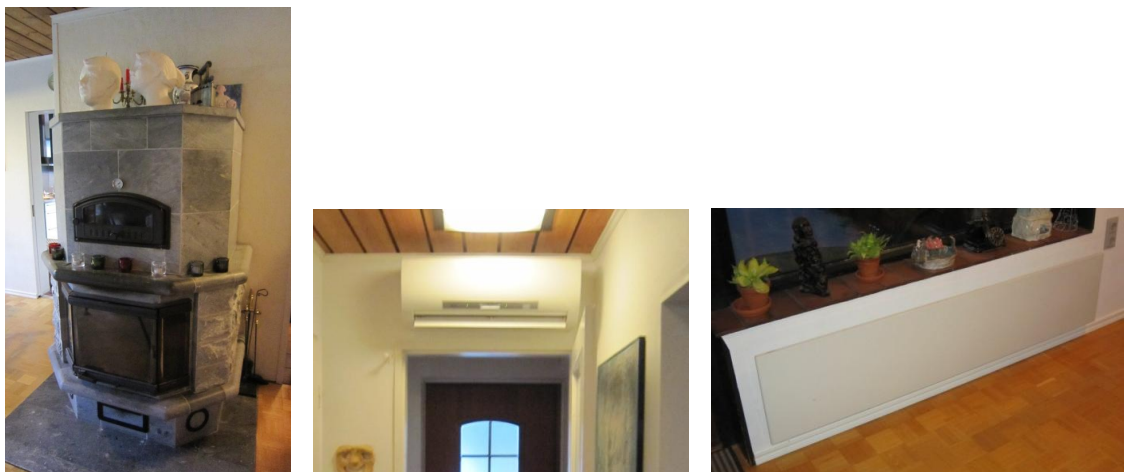
Kuvien perusteella kyse on rappauksesta, 13 cm tiili, 5 cm vuorivillaeriste, 13 cm tiili ja rappaus. Näiden tietojen perusteella seinärakenteelle laskettiin U-arvoksi 0,69 W/m<sup>2</sup>K. Piirustusten perusteella muita tietoja rakenteista ei ollut.

### 3.3 LVI-järjestelmät

Rakennuksen LVI-järjestelmiä on uusittu vuosien varrella. Omistajan ilmoituksen mukaan vesijohdot on uusittu vuonna 2005 ja lämminvesivaraaja vuonna 2009. Myös kaikki vesikalusteet on vaihdettu. Sähköinen lattialämmitys on asennettu WC:hen remontin yhteydessä vuonna 2000, keittiöön vuonna 2005 ja laajennusosaan (pesuhuone ja makuuhuone) vuonna 2010. Ilmanvaihtokone (poisto) on uusittu noin 10 vuotta sitten ja ryhmäkeskus vuonna 2011. Muilta osin LVI-järjestelmät ovat alkuperäisessä kunnossa.

#### 3.3.1 Lämmitysjärjestelmä

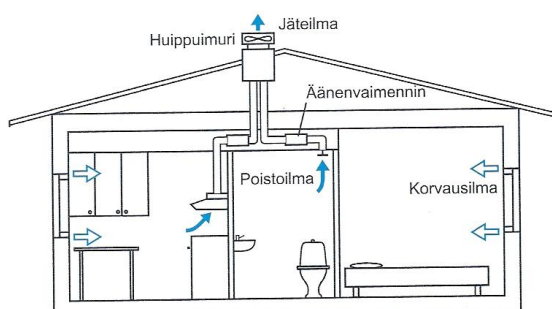
Lämmönjako on toteutettu alkuperäisillä sähköpattereilla (yhdessä makuuhuoneessa on öljytäytteinen patteri) ja osittain sähköisellä lattialämmityksellä (WC, K, KHH, ET, S, PH). Lisälämmön lähteenä on varaava vuolukivipintainen takka sekä kesällä 2009 sisäänkäynnin yhteyteen asennettu Mitsubishi MSZ-FD35VA / MUZ-FD35VABH -ilma-ilma-lämpöpumppu (ILP). Takka, ILP ja sähkölämmittimet on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Varaava takka, ilmalämpöpumppu ja sähkölämmittimet ennen remonttia

### 3.3.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto, jonka poistoilmanvaihtoa on tehostettu koneellisesti. Poistoilmanvaihtoa ohjataan liesituulettimeen kytketyllä huippuimurilla, jossa on portaaton säätö. Huippuimuriin on koottu ns. likaisten tilojen poistot WC:stä, keittiöstä, kodinhoitohuoneesta ja saunasta (kuva 5). Huippuimuria käytetään yleensä vain täydellä teholla hetkellisesti ruuanlaiton yhteydessä tai suihkun jälkeen. Lisäksi pesuhuoneesta on ulos oma koneellinen poisto (Vilpe), jota käytetään yleensä suihkun jälkeen 30 minuutin ajastimella pesuhuoneesta olevasta kytkimestä.



Kuva 5. Periaatekuva pientalon koneellisesta poistoilmanvaihtojärjestelmästä (7, s.169)

Alkuperäiset, seinässä lattian rajassa sijaitsevat korvausilmaventtiilit on muurattu umpeen tai muutoin tukittu. Korvausilma tulee rakennukseen hallitsemattomasti rakenteiden läpi. Ikkunatuuletusta käytetään runsaasti. Asukkaan kertoman mukaan ikkunoissa on osittain puutteelliset tiivisteet.

### 3.3.3 Vesi- ja viemärijärjestelmä

Kiinteistön viemärit on liitetty kunnalliseen jätevesiviemäriin, ja talossa on kunnallinen käyttövesiliittymä. Käyttövesi lämmitetään 3 kW:n Jäspi VLM-300S -lämmivesivaraajalla, jonka tilavuus on 290 litraa.

Rakennuksessa ei ole varsinaista teknistä tilaa, vaan vesivaraaja on sijoitettu entiseen pesuhuoneeseen, josta remontin valmistuttua tulee kodinhoitohuone. Vesimittari on liitetty varaajan yhteyteen.

### 3.4 Sähkön- ja vedenkulutus

Sähkönkulutustiedot on kerätty ajalta 14.11.2006–29.6.2012. Luentavälin sähkönkulutus on muutettu keskimääräiseksi kulutukseksi päivä ja vuositasolla. Vesimittari vaihdettiin uuteen tarkastelujakson aikana.

Taulukko 1. Toteutunut sähkönkulutus 2006–2012

		luentaväli	lukema	käyttö kWh	yhteensä kWh	kulutus päivässä kWh	kulutus vuodessa kWh
14.11.2006	yö		157556	12961			
14.11.2006	päivä	383	99655	8694	21655	56,5	<b>20637,3</b>
19.11.2007	yö		170672	13116			
19.11.2007	päivä	370	108019	8364	21480	58,1	<b>21189,7</b>
16.10.2008	yö		182698	12026			
16.10.2008	päivä	332	115783	7764	19790	59,6	<b>21757,1</b>
28.9.2009	yö		195527	12829			
28.9.2009	päivä	347	123274	7491	20320	58,6	<b>21374,1</b>
28.6.2011	yö		219960	24433			
28.6.2011	päivä	638	140816	17542	41975	65,8	<b>24013,9</b>
29.6.2012	yö		9587	4287			
29.6.2012	päivä	367	8388	3586	24032	65,5	<b>23901,0</b>

Toteutunut sähkönkulutus on kasvanut syksyn 2009 jälkeen ollen vuositasolla noin 24 000 kWh. Sähkönkulutusta on mahdollisesti lisännyt varaston ja autotallin muuttaminen asuintiloiksi ja vuosien 2009–2011 kylmät talvet. Sähkönkulutuksen keskiarvo marraskuu 2006 – kesäkuu 2011 on ollut noin 21 800 kWh vuodessa (taulukko 1).

Vuonna 2009 vedenkulutus kohdekiinteistössä oli 189,8 m<sup>3</sup> vuodessa. Vuosina 2010–2011 keskimääräinen vedenkulutus on laskenut noin 175 m<sup>3</sup>:iin vuodessa ja edelleen vuoden 2011 syksystä 157,3 m<sup>3</sup>:iin vuositasolla (taulukko 2).

Taulukko 2. Toteutunut vedenkulutus 2008–2012

	luentaväli			
	kulutus	pv	m3 / vrk	m3/a
2008			0,42	153,30
2009			0,52	189,80
1.1.2010 - 25.8.2011	288	602	0,48	174,62
26.8.2011 - 27.9.2012	172	399	0,43	157,34

Vedenkulutukseen on mahdollisesti vaikuttanut vuonna 2009 alkanut remontti, minkä jälkeen sauna ei ole ollut käyttökunnossa.

### 3.5 Kuntotarkastus

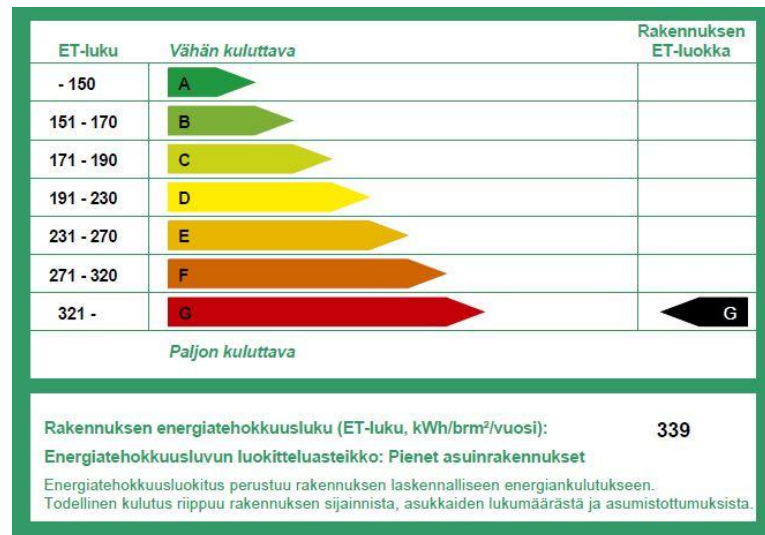
Raksystems Anticimex Insinööritoimisto Oy:n toimesta kohdekiinteistössä tehtiin kuntotarkastus 26.8.2011. Kuntotarkastuksella pyrittiin selvittämään rakennuksen kunto sekä mahdolliset ongelmakohdat ja vauriot.

Kuntotarkastuksessa (8) merkittävimmät korjaus-, kunnostus ja huoltotarpeet kohdistuivat lähinnä hienoaineksen poistamiseen rakennuksen vierustalta, maanpintojen kallistusten parantamiseen, sokkelin pinnoitteen kunnostamiseen, vesikaton sadevesien poisjohtamisen parantamiseen, ikkunoiden puuosien huoltokäsittelyyn, muutamien umpiolasielementtien uusimiseen, yläpohjan tuuletuksen tehostamiseen sekä kesken-eräisten remonttitoiden valmiiksi saattamiseen.

Merkittävimmät jatkotutkimustarpeet koskivat siipiosan yläpohjan rakenteita ja yläpohjan tuuletuksen toimivuutta, sillä kattomuutostyön yhteydessä yläpohjasta ei ole poistettu huopakatetta. Tarkastuksen yhteydessä havaittiin myös kosteutta pienimmän makuuhuoneen ulkoseinän alaosassa ja suositeltiin rakenteen kunnon selvittämistä rakenteita avaamalla. Myös entisen pesuhuoneen (nykyinen kodinhoitohuone) seinän alaosissa havaittiin kosteutta ja ratkaisuksi suositeltiin tilan kuivattamista sekä varmistamista siitä, ettei kosteus tule kapillaarisesti perustuksista.

Kuntotarkastuksessa todettiin, että havaitut puutteet ja ehdotetut toimenpiteet johtuvat pääosin alkuperäisestä toteutustavasta sekä rakenteiden tyypillisestä ikääntymisestä. Rakenteiden sisällä piilevien vaurioiden mahdollisuutta ei tarkastuksen pintapuolisuu-

den vuoksi voitu sulkea pois. Kuntotarkastuksen yhteydessä laaditussa energiatodistuksessa laskettiin kohteen kokonaisenergiankulutuksen vuositasolla (Jyväskylä) olevan 55 874 kWh, josta lämmitysenergian osuus on 47 624 kWh. Laskennallinen energiatehokkuusluku on kuntotarkastusraportin mukaan 339 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi (kuva 6).

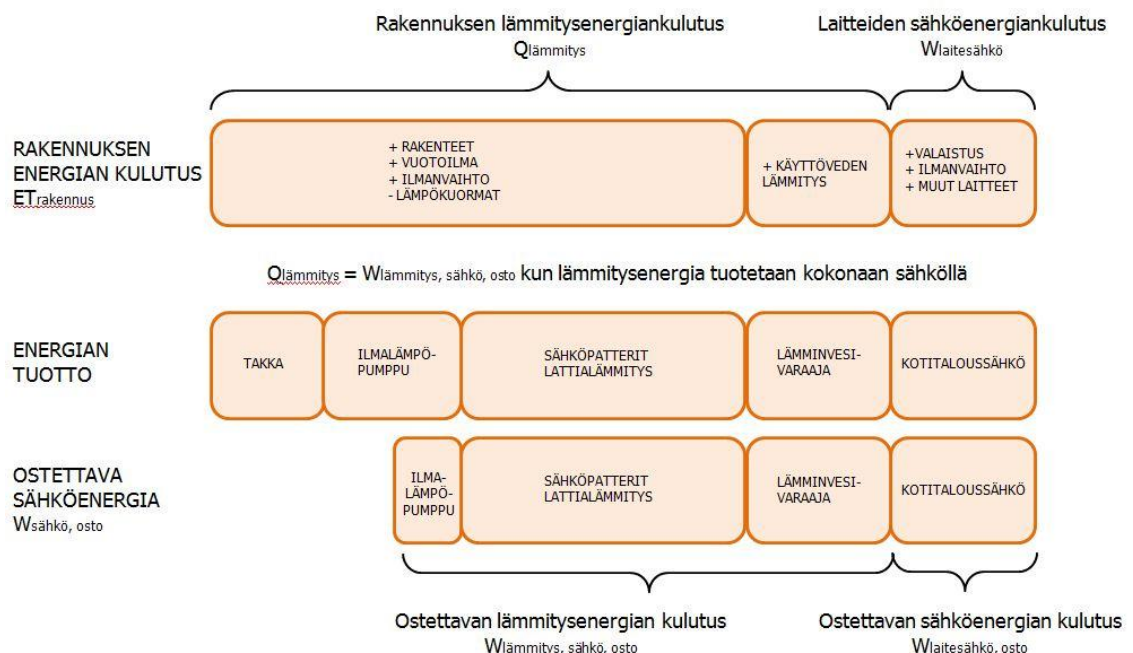


Kuva 6. ET-luku kuntotarkastusraportin energiatodistuksen mukaan (8).

#### 4 Energiankulutus vs. energiakustannus

Rakennuksen lämmitysenergian kulutus ja kustannukset tulee erottaa toisistaan. Jos taloudellisessa mielessä pyritään lämmityskustannusten puolittamiseen, voidaan siihen pyrkiä joko vähentämällä energian kulutusta tai ostamalla halvempaa energiaa. Koska lämmitystapa määrää rakennuksen ostoenergian muodon, ei yksityisellä omakotitalo-asujalla ole juurikaan keinoja vaikuttaa ostettavan energian hintaan, ellei haluta vaihtaa lämmitystapaa. Niinpä käytännössä ainoaksi keinoksi säästää kustannuksissa jää energiankulutuksen vähentäminen. Energiankulutusta voidaan vähentää käyttötottumuksia muuttamalla tai parantamalla rakennuksen energiatehokkuutta esim. energiaremontin avulla. (9.)

Kun tarkastellaan sähkölämmitteisen pientalon ostettavaa sähköenergiaa, voidaan sähkölaskun sanoa koostuvan lämmityssähköenergian, laitesähköenergian ja jäähdytys­sähköenergian kulutuksesta. Kohdekiinteistössä ei ole jäähdytystä, eikä jäähdytyksen kuluttamaa energiaa ole huomioitu ennen remonttia tehdyissä lämmitysenergiatarpeen laskennassa. Kuvassa 8 on rakennuksen energiankulutuksen, energian tuoton ja ostettavan sähköenergian jakauma.



Kuva 8. Rakennuksen energiankulutuksen, energian tuoton ja ostettava sähköenergian periaatteellinen jakauma. Kuvassa ei ole huomioitu jäähdytystä.

Tarkasteltavan rakennuksen osalta tulee lämmönlähteenä huomioida sähköpatterien ja lattialämmityksen lisäksi myös olemassa oleva ilmalämpöpumppu sekä varaava takka. Takan ja lämpöpumpun lämmöntuotto (netto) kattavat osaltaan rakennuksen energiankulutusta, mutta ne eivät näy sähkölaskulla ostettavassa lämmitysenergiassa. Ilmalämpöpumpun sähköverkosta ottama energia sisältyy ostettavaan lämmitysenergiaan.

Heinäkuussa 2012 voimaan tullut Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3, Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012, määrittelee rakennuksen energiankulutuksen näin:

Rakennuksen energiankulutuksella ( $\text{kWh/m}^2$ ) tarkoitetaan rakennuksen vuotuista lämmitykseen, sähkölaitteisiin ja jäähdytykseen yhteensä kulutettua energiamäärää, johon ei sisälly eri energiamuotojen kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiantuotannon häviöitä. (10.)

## 5 Toteutettu remontti

### 5.1 Voittajatarjouksen valinta

EEMontti-kilpailun asiantuntijaraati arvioi ja pisteytti jätetyt tarjoukset sekä valitsi kuhunkin kohdekiinteistöön voittajaratkaisun. Pisteytyksessä kiinnitettiin huomiota mm. ratkaisun taloudellisuuteen, tekniseen laatuun ja innovatiivisuuteen. Raadin suositusten pohjalta kiinteistön omistaja valitsi kohdekiinteistössä toteutettavan ratkaisun.

EEMontti-kilpailun asiantuntijaraati koostui Sitran, Aalto yliopiston, VTT:n, Green Net Finland ry:n, Metropolia Ammattikorkeakoulun, Suomen Omakotiliitto ry:n, Tekesin sekä Realia Groupin edustajista (11). Raati hylkäsi osan kilpailuun tulleista tarjouksista, ja ne jätettiin kokonaan arvostelun ulkopuolelle. Hylätyt tarjoukset eivät saavuttaneet kilpailulle asetettuja tavoitteita riittävästi (esim. liian pienet energiansäästöt), tai ne eivät olleet kilpailuohjelman mukaisia.

Kaikille tarjouksille tehtiin Green Net Finland ry:n toimesta investointilaskelmat seuraavilla lähtöarvoilla:

- ostoenergian hinta 12,5 c/kWh
- energianhinnan nousu 3 %
- inflaatio 3 %
- nimelliskorko 4 %.

Muut laskennassa käytetyt tiedot poimittiin tarjouksista. Remonttien toteutuksen aiheuttamaa mahdollista kohdekiinteistön markkina-arvon nousua ei investointilaskelmissa otettu huomioon.

### 5.2 Voittajatarjouksen arviointi

Tähän kohteeseen saatu, kilpailuehdot täyttävä ja samalla myös raadin voittajaksi arvioima tarjous oli Enston energiaremonttiratkaisu, joka piti sisällään ilmanvaihtojärjestelmän komponentit, asennuksen, säädön ja käyttöopastuksen seuraavasti:



- ilmanvaihtokone Enervent LTR-3 eco EDX-E pyörivällä lämmöntalteenotolla sekä erillisellä invertterisäädetyllä ilmalämpöpumpulla
- sähkölämmittimien uusiminen Ensto Beta Mini -lämmittimiksi
- seurantajärjestelmä Ensto Evahti
- IV-kanavat ja niihin tarvittavat lisälaitteet
- IV-järjestelmän säätö
- järjestelmän ja siihen liittyvien laitteiden käyttöopastus.

Tarjouksessa ei määritelty takuuehtoja.

Asiantuntijaraati arvioi tarjouksen 3,7 pisteen arvoiseksi (max. pistemäärä 5). Tarjotun ratkaisun teknistä laatua pidettiin erinomaisena, sillä ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen parantaa merkittävästi sisäilman laatua ja asumisviihtyvyyttä. Ratkaisu nähtiin myös innovatiivisena, monistettavana ja helppokäyttöisenä. Taulukossa 3 on raadin tekemä pisteytys.

Taulukko 3. Voittajaratkaisun saama pisteytys (11).

ARVIOINTIKRITEERI	PISTEYTYS
Taloudellisuus (50 %)	3
Tekninen laatu (25 %)	5
Ratkaisun innovatiivisuus (5 %)	4
Monistettavuus (5 %)	5
Helppokäyttöisyys (5 %)	5
Ratkaisun takuuehdot (5 %)	2
Referenssit (5 %)	3
<b>YHTEENSÄ (100 %)</b>	<b>3,7</b>

Raati arvioi tarjotun ratkaisun energiansäästön kohtalaiseksi (34 %), mikä ei täysin vastaa kilpailuehdoissa asetettua 50 %:n säästötavoitetta. Merkittävin energiansäästö saavutetaan lämmöntalteenotolla (LTO) varustetulla ilmanvaihtokoneella. Kovilla pakasilla pyörivä lämmönsiirrin tarjoaa myös sisäilman kaipaamaa kosteutta. Tarjouksessa arvioidun säästöpotentiaalin epäiltiin olevan osittain ylioptimistinen, mutta annettulla ratkaisulla saadaan poistettua ikkunatuuletustarve lämmityskaudella, mikä myös osaltaan vaikuttaa positiivisesti säästöpotentiaaliin.

Sisäilman laatua parantavat myös uusittavat sähkölämmittimet, joissa vastusten rakenne on suojattu ja ne eivät kerää ja polta pölyä. Uudet lämmittimet ovat helpposäätöisiä,

ja ilmavirtauksen ja säteilyn tuottama lämpö tuntuu tasaiselta ja miellyttävältä. Tarjotun ratkaisun lisäksi raati suositteli kohteessa harkitsemaan myös lämpimän käyttöveden kulutusta vähentäviä toimenpiteitä kuten vesikalusteiden uusimista, paineen alentamista ja mahdollisesti veden lämmittämistä aurinkokeräimillä.

Taulukko 4. Investointilaskelmat ennen remonttia (11).

<b>INVESTOINTITIEDOT</b>	<b>ENSTO</b>
Investoinnin suuruus	19300
Kotitalousvähennys 2011	3794
Investointituki	1960,8
<b>Nettoinvestointi (€)</b>	<b>13545,2</b>
Ostetun energian hinta (€/kWh)	0,125
Energian hinnan nousu	3,00 %
Inflaatio	3,00 %
<b>KULUTUSTIEDOT (vuosittaiset)</b>	
Ostoenergian määrä nyt (kWh)	31000
Energiakulut nyt (€)	3875
<b>Ratkaisulla saavutettu arvioitu säästö %</b>	<b>34,00 %</b>
Energiankulutus ratkaisulla (kWh)	20460
Energiakulut ratkaisulla (€)	2557,5
Saavutetut säästöt kWh	10540
<b>Saavutetut säästöt €</b>	<b>1317,5</b>
<b>Sijoitetun pääoman tuotto</b>	<b>9,73 %</b>

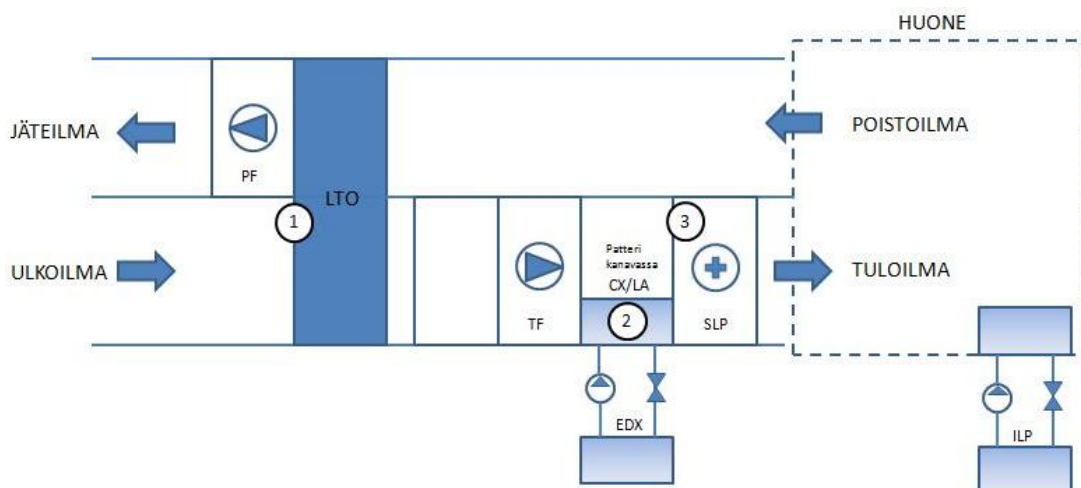
Ennen remonttia tehdyssä investointilaskelmassa (taulukko 4) arvioitiin sijoitetun pääoman tuotoksi 9,73 % ja 4 %:n nimelliskorolla investoinnin takaisinmaksuajaksi n. 11 vuotta. Remontin myötä kiinteistön markkina-arvo todennäköisesti nousee, mikä vaikuttaa positiivisesti myös investointilaskelmiin. (11.)

### 5.3 Toteutetut ratkaisut

Kohteeseen asennettiin ilmanvaihtojärjestelmä, jossa on lämmön/jäähdytyksen talteenotto ja integroitu ilmalämpöpumppu. Kylpyhuoneen poistoilmakone (Vilpe) siirrettiin keittiön liesituulettimeen omaksi poistoksi portaattomalla säädöllä. Energiankulutuksen seurantaan varten asennettiin Enston Evahti ja useita muita kiinteitä mittareita. Myös sähkölämmityspatterit uusittiin.

### 5.3.1 EDX-E-ilmanvaihtojärjestelmä

Eco EDX-E -ilmanvaihtolaite perustuu regeneratiivisen lämmöntalteenoton sekä invertterikäyttöisen lämpöpumpun yhdistelmään. Järjestelmä on toteutettu pyörivällä lämmönsiirtimellä, jonka puoliskojen läpi tulo- ja poistoilma virtaavat vastakkaisiin suuntiin.



Kuva 9. LTR-3 eco EDX-E COMP1 -järjestelmä

Periaatekuvassa (kuva 9) ilmanvaihtojärjestelmästä on esitetty:

- (1) LTO, lämmön/jäähdytyksen talteenotto
- (2) CX/LA, integroidun lämpöpumpun lämmitys/jäähdytyspatteri
- (3) SLP, sähköinen jälkilämmityspatteri
- TF, tuloilmapuhallin
- EDX, lämpöpumpun ulkoyksikkö
- ILP, erillinen, vanha ilmalämpöpumppu
- PF, poistoilmapuhallin

Talvella lämmitystilanteessa ulkoilman lämpötila nousee pyörivässä lämmönsiirtimessä ja tämän jälkeen tarvittaessa integroidun ilmalämpöpumpun lämmitys/jäähdytyspatterilla. Lisäksi EDX-järjestelmään kuuluu sähköinen jälkilämmityspatteri, joka varmistaa, että tuloilman lämpötila pysyy halutuissa lukemissa myös kovilla pakkasilla. Järjestelmäkuvauksen mukaan automatiikka kytkee sähköisen jälkilämmi-

tyspatterin päälle, kun lämpöpumpun teho ei riitä tuottamaan tarpeeksi lämpöä tai kun lämpöpumppu on sulatuksella.

Kesäkäytössä, kun ulkoilman lämpötila on haluttua sisälämpötilaa korkeampi, EDX-järjestelmän pyörivässä lämmönsiirtimessä poistoilma jäähdyttää ulkoilmaa. Lisäksi tuloilmaa jäähdytetään ilmalämpöpumpun lämmitys/jäähdytyspatterilla. Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumpun kylmäaineen virtaus käännetään vastakkaiseksi, jolloin lämmitys/jäähdytyspatterilla höyrystyvä kylmäaine sitoo lämpöenergiaa eli jäähdyttää tuloilmaa. Ulkoyksiköllä kylmäaine luovuttaa sitomansa lämpöenergian ulkoilmaan. Sähköinen jälkilämmityspatteri ei ole käytössä jäähdytyskaudella.

Käyttäjä voi asettaa järjestelmän tulo- tai poistoilmaohjatuksi sekä säätää halutut lämpötilat tarpeen mukaan.

### 5.3.2 Sähkölämmittimet

Vanhat lämmityspatterit vaihdettiin taloudellisempiin ja turvallisempiin Ensto Beta Mini -sähkölämmittimiin (kuva 10). Uusissa virtauslämmittimissä on elektroninen termostaatti (5...30 °C) ja termostaatin tarkkuus on +/- 0,1 °C. Beta Mini -lämmittimen pintalämpötila, keskeltä mitattuna, on normaalikäytössä aina alle 60 °C. (12.)



Kuva 10. Vasemmalla vanha ja oikealla uusi sähkölämmityspatteri

Tarkalla sähkölämmittimien ohjauksella päästään lähemmäs optimaalista energian käyttöä. Vanhojen mekaanisten termostaattien kytkentä- ja katkaisuväli saattaa olla jopa viisikin astetta, mikä tarkoittaa lämpötilan seilaamista ylös/alas ja patterin jatkuvaa vuoroittaista kuumenemista/kylmenemistä. Tällainen lämpötilan vaihtelu lisää usein energiankulutusta. Elektroninen termostaatti jaksottaa vastuksen päällä / pois päältä

ajat lyhyiksi, mikä tarkoittaa tasaista lämmönluovutusta ilman huojuntaa. Elektroninen termostaatti ei myöskään pidä ääntä, kuten mekaaniset termostaatit usein tekevät. (13.)

### 5.3.3 Ensto eVahti

Energiankulutuksen seurantaan varten asennettiin Ensto eVahti ECO602 (kuva 11), jolla mitataan sähköenergian ja veden kokonaiskulutusta sekä ulkolämpötilaa. Evahdin avulla sähkönkulutuksen seuranta helpottuu, ja se antaa tietoa kokonaiskulutuksesta sekä kulutushistoriasta. Käyttäjä voi seurata mitattavien arvojen historiatietoja tunti-, päivä-, viikko-, kuukausi- ja vuositasolla.



Kuva 11. Ensto eVahti -energiamittari (14)

Evahdin kosketusnäytöllä näkyy numeroarvoilla sähkönkulutus reaaliajassa ja värikoodauksella verrataan sähkönkulutusta suhteessa edellisten seitsemän päivän kesikulutukseen. (15.)

### 5.3.4 Muut kiinteät mittalaitteet

Sähköpääkeskuksen kulutusmittarista voidaan lukea kiinteistön sähköenergian kokonaiskulutus (kWh) sekä erikseen yö- ja päivä-sähkön kulutus. Lisäksi remontin yhteydessä asennettiin sähkökaappiin kulutusmittarit, joilla voidaan seurata erikseen

- vanhan ilmalämpöpumpun energiankulutusta (kWh)
- uuden EDX-järjestelmän ilmalämpöpumpun ulkoyksikön kompressorin energiankulutusta (kWh)

- LTR-03-Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien ja jälkilämmityspatterin energiankulutusta (kWh) sekä
- lämpimän käyttöveden lämmityksen sähkönkulutusta (kWh).

Kiinteistöön asennettiin myös mittarit, joilla seurataan kokonaisvedenkulutusta ( $\text{m}^3$ ) sekä lämpimän käyttöveden kulutusta ( $\text{m}^3$ ).

## 6 Mittaukset ja mittaustulokset

Kohdekiinteistössä tehtyjen mittausten tuloksia käytettiin energiankulutuksen laskemisessa (ks. luku 7 Energialaskelmat). Lisäksi mittauksin selvitettiin sisäilman laatua ja asuinolosuhteita. Osa mittauksista suoritettiin kertamittauksin ja osa muutaman päivän pituisina seurantamittauksina. Seuraavassa selostetaan mittausten toteutus, mittalaitteet ja mittauksiin liittyvää teoriaa sekä mittaustulokset.

### 6.1 Sisäilman olosuhteet

Oleskelutilojen terveellisyyteen vaikuttavat sekä kemialliset epäpuhtaudet että fysikaaliset olot. Fysikaalisiin olosuhteisiin kuuluvat muun muassa sisäilman lämpötila ja kosteus, melu (ääniolosuhteet), ilmanvaihto (ilman laatu), säteily ja valaistus. Jos sisäilman lämpötila on liian korkea, ilma on liian kosteaa tai ilmanvaihto on liiallista eli aiheuttaa vetoa, voi näistä seikoista sellaisenaan aiheutua ihmiselle oireilua tai ne voivat saada asukkaat kokemaan asunto-olonsa epäviihtyisiksi. (16.)

Kohdekiinteistössä mitattiin 1.–7.12.2011 sekä 10.–14.12.2011 seurantamittauksin:

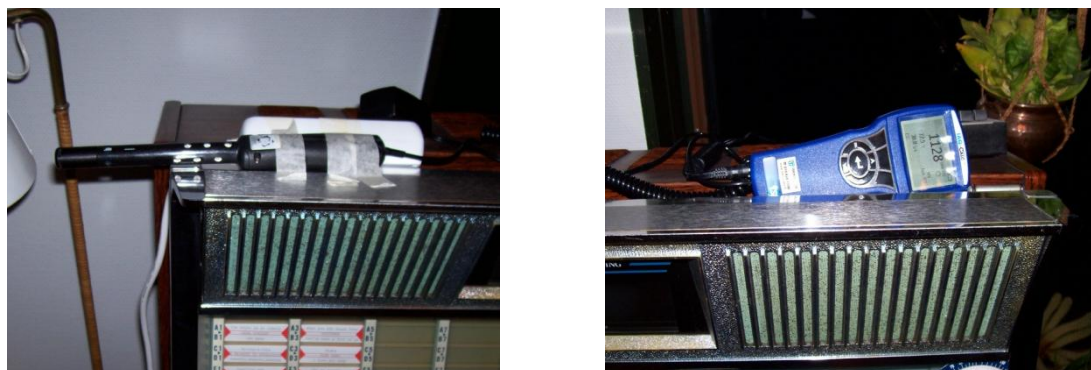
- sisäilman lämpötila, °C
- sisäilman suhteellinen kosteus, % RH
- sisäilman hiilidioksidipitoisuus, ppm
- ulkoilman lämpötila, °C

Tarkistusmittaukset tehtiin 14.–18.4.2012 sekä 9.–17.10.2012.

Sisäilman olosuhteita mitattiin TSI IAQ-Calc 7525- sisäilman laadun mittarilla (kuva 12), joka sijoitettiin olohuoneen oleskeluvyöhykkeelle sohvan viereen noin 1,3 metrin korkeudelle. Mittari asetettiin keräämään lämpötilan, kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden hetkelliset arvot 30 minuutin välein. Sisäilmaolosuhteet mitattiin myös kahdesta makuuhuoneesta.

Ulkolämpötilaa mitattiin loggerilla, joka sijoitettiin talon pohjoispuolelle noin 1,8 m:n korkeuteen noin viiden metrin päähän talon ulkoseinästä. Lämpötilatieto kerättiin 30

minuutin välein. Kuva mittalaitteiden sijoituspaikasta on esitetty liitteessä 1 sekä kuvassa 12.



Kuva 12. Sisäilmastomittari olohuoneessa

Rakenteiden lämpöindeksin selvittämiseksi lattian ja seinien pintalämpötilat mitattiin kertaluontoisesti.

Kiinteistössä mitattiin 1.12.2011 kertamittauksin:

- lattian pintalämpötila, °C
- seinien pintalämpötila, °C
- ilman liikenopeus, m/s
- ilmanvaihdon ilmavirrat, dm<sup>3</sup>/s.

Lattian ja seinien pintalämpötilat mitattiin Sentry ST653 -infrapunalämpömittarilla. Raja-arvoksi asetettiin 20 °C / 22,5 °C ja mittari kohdennettiin lattiassa ja ulkoseinissä useampaan pisteeseen SFS 5511 -standardin (17) mukaisesti. Myös ikkunoiden pintalämpötilat mitattiin käyttämällä apuna paperiarkkia, joka asetettiin tiiviisti ikkunapintaa vasten. Saatujen tulosten perusteella laskettiin ulkoseinien ja lattian lämpötilaindeksit.

Asumisterveysohjeen (18) mukaan lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Lämpötilaindeksin laskemiseksi on määritettävä huoneilman lämpötila, ulkoilman lämpötila ja sisäpinnan (seinä tai lattia) lämpötila. Lämpötilaindeksi määritetään kaavalla (1):

$$TI \text{ on } (T_{sp}-T_o)/(T_i-T_o) \times 100 [\%]$$

(1)

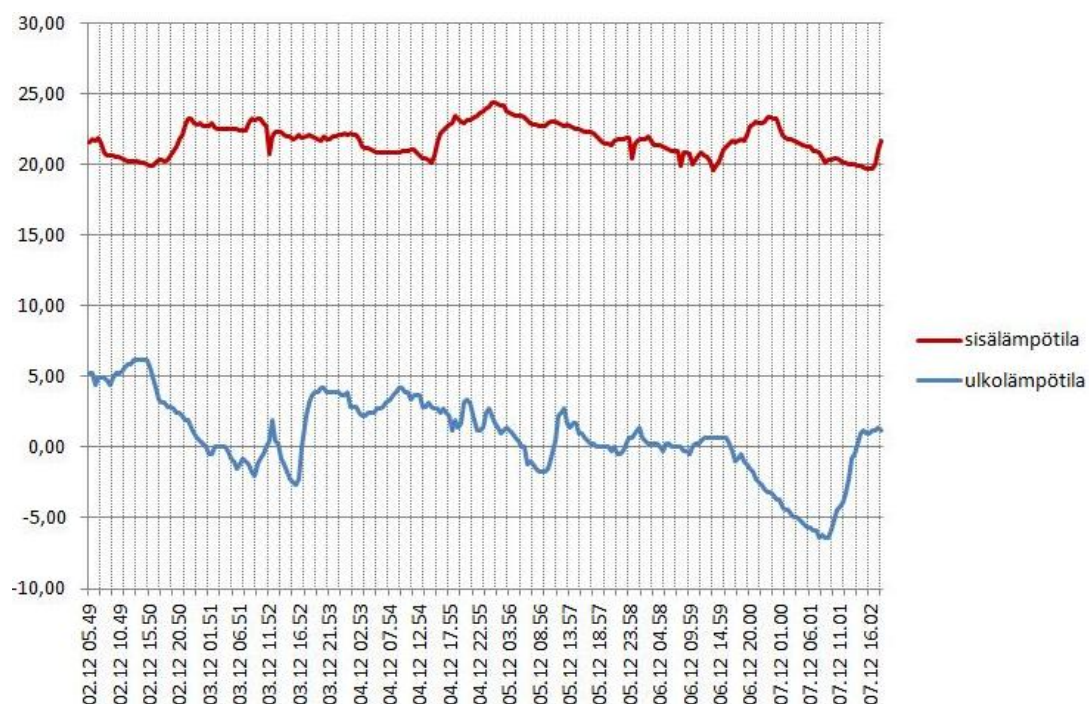


TI on lämpötilaindeksi  
 Tsp on sisäpinnan lämpötila, °C  
 Ti on sisäilman lämpötila, °C  
 To on ulkoilman lämpötila, °C

Ilman virtausnopeus mitattiin huonetiloissa 1.12.2011 ilman liikkeen aiheuttaman vedon arvioimiseksi SFS 5511 -standardin mukaan. Mittaukset suoritettiin huonetiloissa nilkan ja niskan korkeudelta TSI VelociCalc 9535/9535-A- ilman virtausnopeuden mittarilla. Vetokriteerit määriteltiin SFS 5511 mukaisesti (17, kohta 7.2) ja kriteereitä verrattiin RakMk:n osan D2 liitteessä annettuihin huonetiloihin soveltuviin vetokriteereihin. Sisäilmaolosuhteiden mittaussuunnitelma on esitetty liitteessä 2.

### Mittaustulokset

Sisä- ja ulkoilman lämpötilaa mitattiin 2.–7.12.2011. Mittausjakson aikana sisäilman lämpötila vaihteli 19,9 °C:sta 24,4 °C:seen. Ulkoilman lämpötila oli mittausjaksolla korkeimmillaan 6,2 °C ja alimmillaan –6,5 °C. Kuvaaja mittaustuloksista on esitetty kuvassa 13.

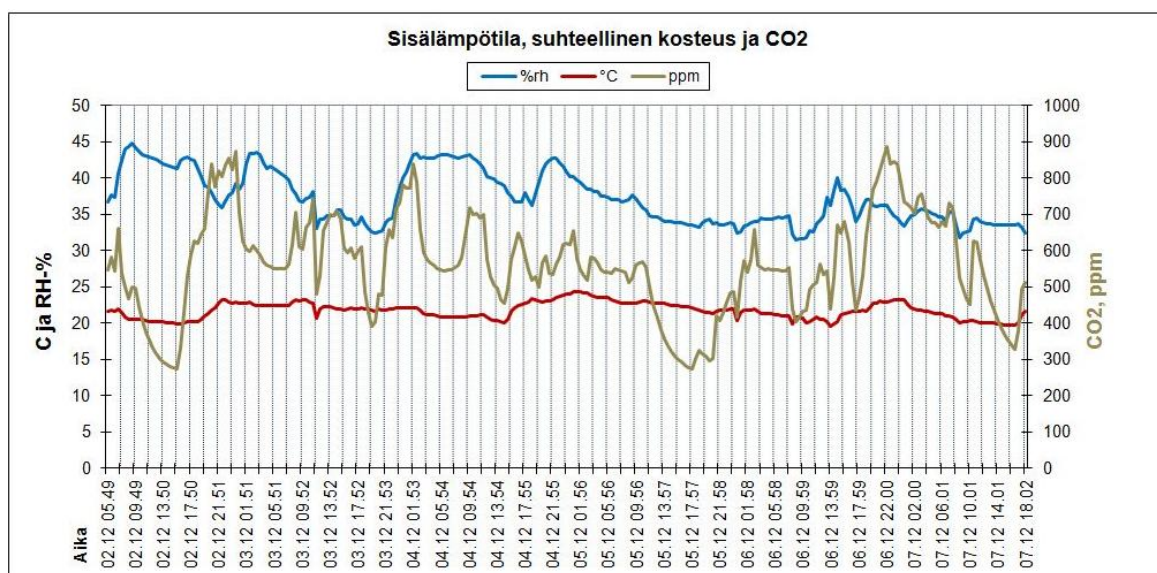


Kuva 13. Sisä- ja ulkoilman lämpötila 2.–7.12.2011

Sisäilman lämpötilan voidaan todeta olleen mittausjaksolla ajoittain korkea. Huoneilman lämpötilan ei lämmityskaudella tulisi ylittää 23–24 °C (18) ja RakMk:n osa D2 (19)

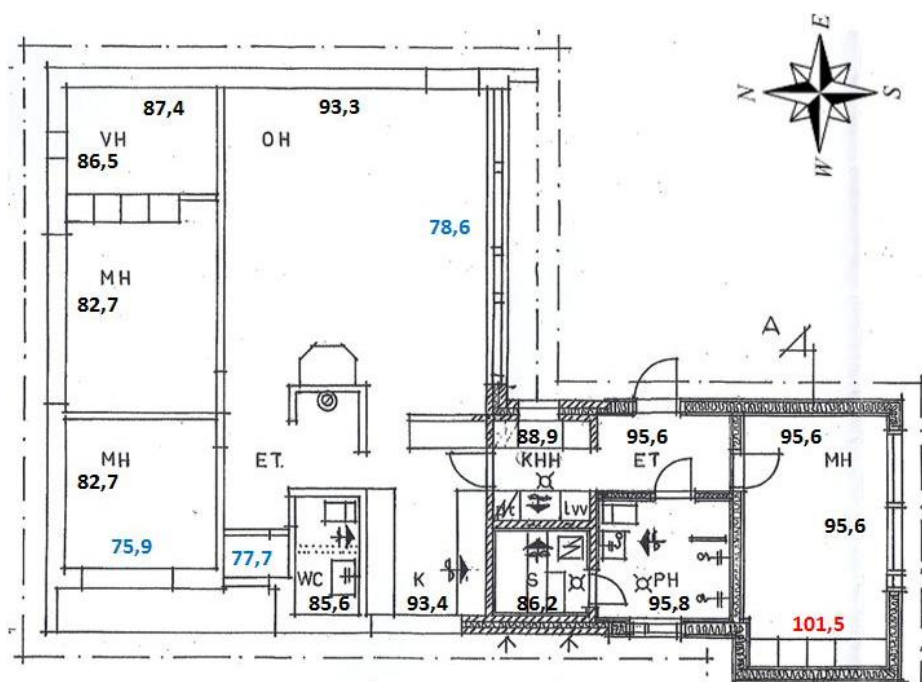
antaa oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvoksi +21 °C, josta hyväksyttävä poikkeama keskellä huonetilaa 1,1 metrin korkeudella on  $\pm 1$  °C. Mittausjaksolla seurattiin myös takan käyttöä. Korkeat lämpötilat selittynevätkin takan käytöllä, minkä vaikutus sisäilman lämpötilaan on selkeästi havaittavissa mittaus-tuloksista.

Samalla mittausjaksolla seurattiin myös ilman suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta olohuoneen oleskeluvyöhykkeellä. Olohuoneen hiilidioksidipitoisuuden voidaan todeta olleen korkeimmillaan 887 ppm ja näin ollen tyydyttävällä tasolla koko mittaus-jakson ajan (18). Mittaustuloksista tehdyn kuvaajan perusteella on selkeästi havaitta-vissa hiilidioksidipitoisuuden nousu iltaa ja yötä kohden, kun perhe on viettänyt aikaan-sa olohuoneessa. Sisälämpötilan, suhteellisen kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden kuvaaja on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Lämpötila, suhteellinen kosteus ja hiilidioksidipitoisuus olohuoneessa 2.–7.12.2011

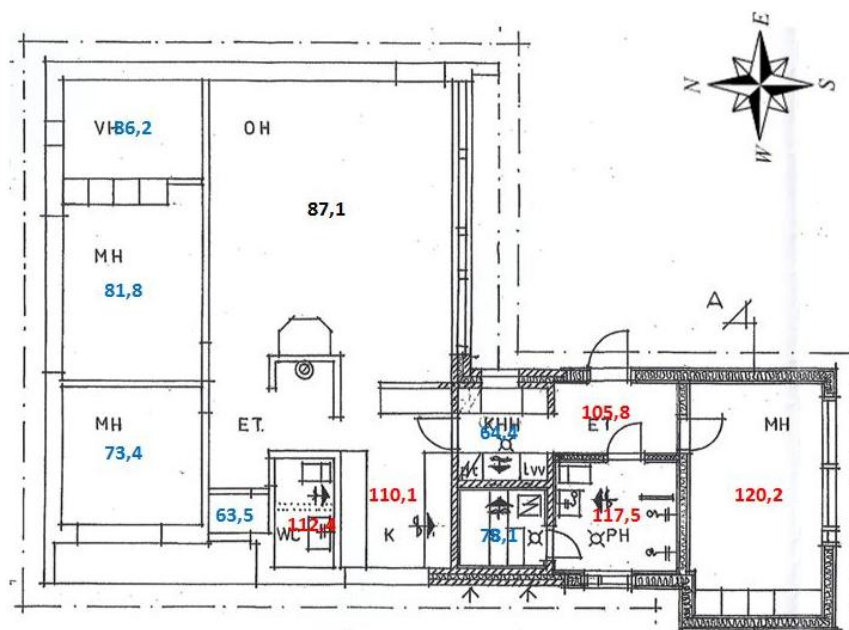
Seinien ja lattian pintalämpötilat mitattiin 1.12.2011 ja näiden perusteella laskettiin läm-pötilaindeksit. Seinän välttävän tason lämpötilaindeksi on  $\geq 81$  % ja hyvän tason läm-pötilaindeksi  $\geq 87$  % (18). Kuvassa 15 on sinisellä merkitty välttävän tason alittavat seinien lämpötilaindeksin arvot ja mustalla värillä välttävät ja hyvät arvot.



Kuva 15. Seinien lämpötilaindeksit

Muutosalueen eteläpäädyn makuuhuoneen korkean lämpötilaindeksin selittänee kaapistossa sijaitseva viihdekeskus. Sisäänkäyntiä lähinnä olevan makuuhuoneen alhainen lämpötila ja välttävän tason alittava lämpötilaindeksi johtune mm. ikkunoiden tiivisteiden puuttumisesta. Todennäköisesti myös ulko-oven tiivistys on puutteellinen. Lisäksi olohuoneen ikkunoiden, erityisesti ulko-oven ikkunan, matalan pintalämpötilan arvioidaan johtuvan alkuperäisistä ikkunoista, jotka eivät täytä lämmöneristävyydeltään nykypäivän standardeja. Pohjoispuolen makuuhuoneiden seinien lämpötilaindeksit eivät yllä hyvälle tasolle.

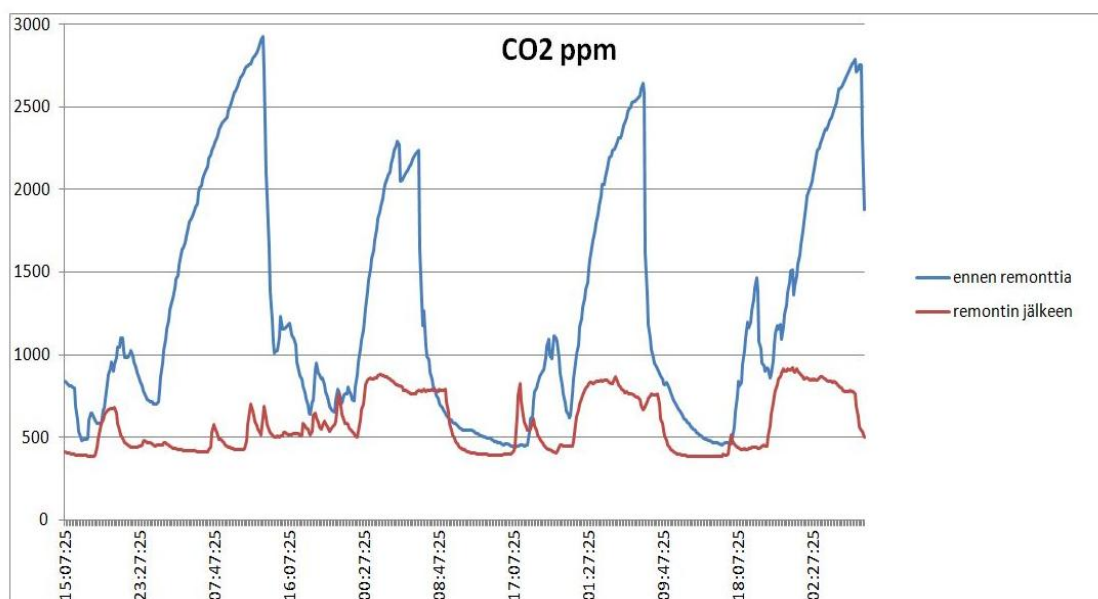
Kiinteistössä on lattialämmitys WC:ssä, keittiössä, kodinhoitohuoneessa, saunassa ja pesuhuoneessa sekä eteläpäädyn makuuhuoneessa. Tämä näkyy myös lattioiden lämpötilaindekseissä (kuva 16). Lattian välttävän tason lämpötilaindeksi on  $\geq 87$  % ja hyvän tason lämpötilaindeksi on  $\geq 97$  % (18). Kodinhoitohuone ja sauna olivat remontissa mittaushetkellä eikä lattialämmitys ollut käytössä. Tuloksista voidaan nähdä, että pohjoispuolen makuuhuoneiden ja tuulikaapin lattian lämpötilaindeksit jäävät alle välttävän tason. Kuvassa 16 välttävän tason alittavat lämpötilaindeksin arvot on merkitty sinisellä.



Kuva 16. Lattian lämpötilaindeksit

Jos lämpötilaindeksi alittavat selvästi välttävän tason arvon, on syytä tarkistaa painesuhteet ulkoilmaan verrattuna ja pyrkiä paikallistamaan rakenteissa esiintyvä mahdollinen ilmavuoto. Matalat pintalämpötilat voivat johtua eristevirheistä, rakenteellisista kylmäsilloista, höyrystulun puutteista ja ilmavuodoista sekä edellisten yhdistelmistä. Ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän toiminta vaikuttaa osaltaan myös pintalämpötiloihin. (18.)

Sisäilmaolosuhteiden tarkistusmittaukset tehtiin 14.–18.4.2012 sekä 9.–17.10.2012. Seurantamittausten tulosten perusteella tärkein havainto sisäilman laadun suhteen oli remontin myötä yhden makuuhuoneen hiilidioksidipitoisuuden palautuminen normaalille tasolle (kuva 17). Remonttia edeltävällä mittausjaksolla 10.–14.12.2011 makuuhuoneen hiilidioksidipitoisuus oli yön aikana korkeimmillaan  $5\,270\text{ mg/m}^3$ , mikä vastaa arvoa  $2\,928\text{ ppm}$ . Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo mittausjaksolla oli  $1\,296\text{ ppm}$ .



Kuva 17. Hiilidioksidipitoisuus makuuhuoneessa ennen remonttia ja remontin jälkeen.

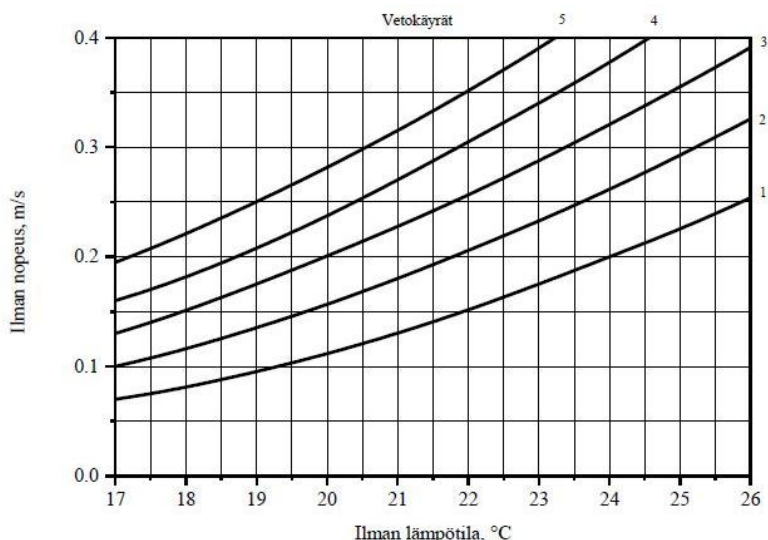
Remontin jälkeen 14.–18.4.2012 mittausjaksolla hiilidioksidipitoisuus pysyi hyvällä tasolla ollen mittausjakson aikana keskimäärin 584 ppm ja korkeimmillaankin 921 ppm.

Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysoppaan mukaan korkea hiilidioksidipitoisuus sisäilmassa saattaa aiheuttaa väsymystä, päänsärkyä ja työskentelytehon huonontumista. Jos sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylittää  $2\,700\text{ mg/m}^3$  ( $1\,500\text{ ppm}$ ), ilmanvaihto ei ole terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla. Tyydyttävänä hiilidioksidipitoisuutena sisäilmassa voidaan pitää arvoa  $2\,160\text{ mg/m}^3$  ( $1\,200\text{ ppm}$ ). (16.)

Lisäksi tehtiin ylimääräiset tarkistusmittaukset olohuoneessa ja kahdessa makuuhuoneessa aikajaksolla 9.–17.10.2012. Mittaustuloksista voidaan todeta, että remontin jälkeen sisäilmanlaatu on huomattavasti parantunut ja sisäilman hiilidioksidipitoisuus on pysynyt terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla. Nykyiset asunnon ilman laadun tavoitearvot hiilidioksidipitoisuuden osalta täyttävät Sisäilmastoluokituksen 2008 (LVI 05-10440) tavoitearvot sisäilmastoluokalle S1, yksilöllinen sisäilmasto (20).

Vetokriteerit määriteltiin SFS 5511:n mukaisesti (17, kohta 7.2) ja kriteereitä verrattiin RakMk:n osan D2 (19) liitteessä annettuihin huonetiloihin soveltuviin vetokriteereihin. Ilman sallittu liikenopeus talvella on kodinhoitohuoneessa  $0,3\text{ m/s}$  ja muissa asuinhuoneissa  $0,2\text{ m/s}$ . Esimerkiksi asunnon makuuhuoneessa on vaadittu vetokäyrä 2 (kuva 18), mutta pyrittäessä vedottomuuteen voidaan käyttää vetokäyrää 1 (18).





Kuva 18. Vetokäyrät kuvaavat epäviihtyisyyttä aiheuttavan ilman liikkeen riippuvuutta ilman lämpötilasta (19, liite 1).

Keittiössä ennen remonttia nilkan korkeudella mitatun lämpötilan 22,1 °C ja ilman liikenopeuden 0,2 m/s mukaan liikutaan vetokäyrän 2 alueella. Myös kylpyhuoneen ja takapihan välissä olevassa eteisessä saatiin vetokäyrälle arvo 2 nilkan korkeudella. Mitattu lämpötila oli 21,8 °C ja ilman liikenopeus 0,2 m/s. Pesuhuoneessa nilkan korkeudella mittaustulokset olivat 23,9 °C ja 0,15 m/s osoittaen vetokäyrän arvoa 1. Todetaan, että muissa huoneissa mitatut arvot jäivät vetokäyrien alapuolelle. Asumisterveysoppaan (16) mukaan vedon ohjearvojen ollessa vetokäyrällä 2 saavutetaan asunnossa lämpöolojen suhteen hyvä taso. Mittaustulokset on esitetty liitteessä 3.

## 6.2 Äänimittaukset

Äänimittaukset tehtiin remontin jälkeen aamupäivällä 9.10.2012 olohuoneessa ja kaikissa makuuhuoneissa Quest 2200 -äänitasomittarilla. Ilmanvaihto oli normaalikäytöllä ja poisto-ohjattu. Mittaukset jouduttiin tekemään useampaan kertaan, sillä taustamelu häiritsi mittauksia. Alun perin mittaukset oli suunniteltu tehtäväksi huhtikuussa 2012, mutta mittaukset eivät onnistuneet.

Remontin alkuvaiheessa asukas koki aistinvaraisesti ilmanvaihdon äänitason häiritseväksi. Urakoitsija mittasi äänitasoksi makuuhuoneessa 33 dB ja ilmanvaihtojärjestelmään lisättiin äänenvaimentimia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 määrittelee asunnon akustisiksi vaatimuksiksi rakennuksen LVIS -laitteiden ja muiden niihin

rinnastettavien laitteiden aiheuttamaksi suurimmaksi sallituksi äänitasoksi 33 dB keittiössä ja 28 dB muissa asuinhuoneissa (21).

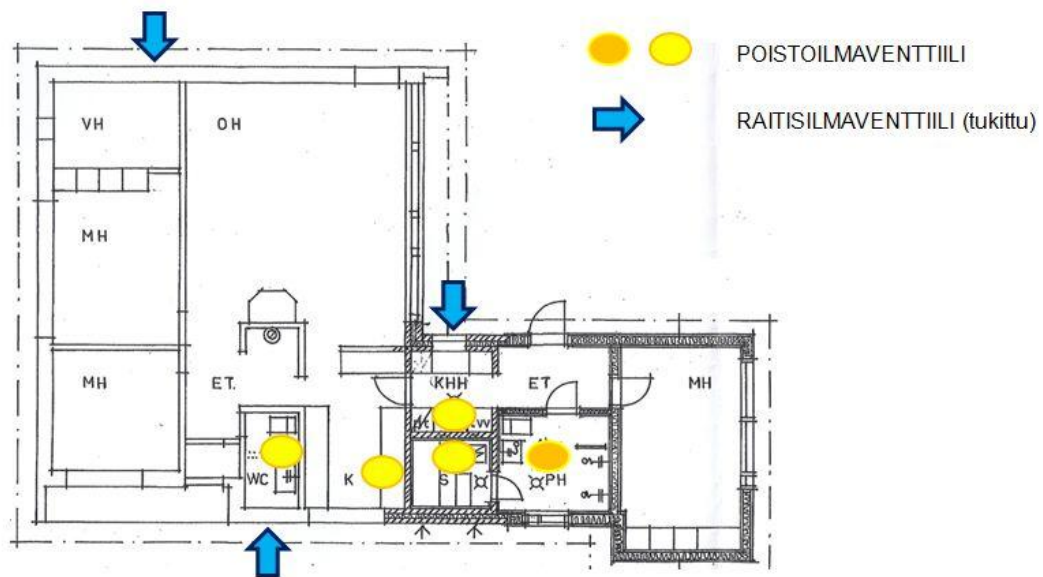
Äänitasot olohuoneessa ja makuuhuoneissa tarkistusmitattiin 9.10.2012. Kaikkien mitattujen äänitasojen voidaan todeta olevan hyvää tasoa. Korkein mitattu arvo oli 28 dB. Sisäilmastoluokituksen 2008 mukaan 28 dB äänitaso täyttää sisäilmastoluokan S2, hyvä sisäilmasto, vaatimukset (20).

### 6.3 Ilmanvaihdon ilmavirrat

#### Ennen remonttia

Ilmanvaihdon poistoilmavirrat mitattiin pääte-elimistä asunnon normaalia käyttöä vastaavissa sää- ja käyttöolosuhteissa ikkunat ja ovet suljettuina. Mittaukset tehtiin 1.12.2011, ulkoilman lämpötila mittaushetkellä oli +5 °C.

Ennen remonttia kohteessa oli koneellinen poistoilmanvaihto ja liesituulettimen huipputuuletukseen kytketyt poistoilmaventtiilit sijaitsivat liesituulettimen lisäksi WC:ssä, kodinhoitohuoneessa ja saunassa. Lisäksi pesuhuoneessa oli oma koneellinen poisto, joka kytkettiin yleensä päälle 30 minuutiksi suihkun jälkeen. Raitisilmaventtiilit (3 kpl) on tukittu tai muurattu umpeen. Poisto- ja raitisilmaventtiilien sijainti ennen remonttia on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Poisto- ja raitisilmaventtiilien sijainti ennen remonttia

Poistoilmaventtiilien ilmavirta mitattiin läpivirtaustorveen yhdistetyllä Swema-kuuma-lanka-anemometrillä SFS 5512 -standardin (21) mukaan menetelmällä B3. Mittaukset suoritettiin kahteen kertaan huippuimurin ollessa päällä / pois päältä.

Anemometritorvella mittaaminen ei sovellu liesituulettimen tilavuusvirran mittaamiseen (16.). Keittiön liesituulettimen ilmavirta mitattiin ilmavirran nopeuteen ja kanavan pinta-alan mittaamiseen perustuvalla menetelmällä käyttäen SFS 5512 -standardin (22) keskinopeusmenetelmää (menetelmä B2). Ilmavirran nopeus mitattiin TSI VelociCalc 9535/9535-A -mittarilla ja liesituulettimen aukon koko tavallisella rullamitalla.

Ilman nopeus mitattiin kuudesta kohdasta liesituulettimen otsapinnalta ja liesituulettimen poistoilmavirta laskettiin kaavalla (2)

$$q_v = 0,85vA_o \quad (2)$$

$v$  on ilman virtausnopeuksien keskiarvo, m/s  
 $A_o$  on otsapinnan ala, m<sup>2</sup> (22)

Liesituulettimen otsapinta-ala oli 0,216 m<sup>2</sup> ja ilman virtausnopeuksien keskiarvo 0,55 m/s. Kuvassa 20 on esitetty mittaustulokset ennen remonttia



POISTOT		I/s
Liesituuletin	huippumuri ON	100
WC poisto	ON	11
	OFF	2
KPH poisto	KPH poisto ON	17
	KPH poisto OFF	3
KHH poisto	ON	13

Kuva 20. Mitatut poistoilmavirrat 1.12.2011

Koska painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ilmanvaihtokertoimen luotettava mittaus on mahdollista vain merkkiainemenetelmää käyttäen (16, s. 61), on remonttia edeltäviä anemometritorvella saatuja mittaustuloksia pidettävä ainoastaan suuntaa-antavina. SFS 5512 -standardin mukaan mittausmenetelmän epätarkkuus on poistoilmaelimestä mitattaessa vähintään noin +/- 5 % (22).

Liesituulettimen poistoilmavirran mittaamiseen käytettyä keskinopeusmenetelmällä ei yleensä voida mitata laitoksen ilmavirtaa vaaditulla tarkkuudella ja menetelmän epätarkkuus on +15 %, kun käytetään 6...8 mittauspistettä (22). Myös liesituulettimen ilmamäärien mittaustuloksia tulee siis pitää vain ohjeellisina, sillä liesituulettimen tilavuusvirran määrittämiseen käytettyä ilmavirran paikalliseen nopeuteen ja kanavan pinta-alan mittaamiseen perustuvaa menetelmää pidetään yleensä epäluotettavana (16, s. 62).

#### Remontin jälkeen

Liesituulettimen ilmavirran tarkistusmittaukset oli suunniteltu tehtäväksi huhtikuussa 2012 sekä lokakuussa 2012. Mittauksia ei voitu tehdä, sillä liesituuletin oli ollut poissa käytöstä huhtikuusta asti eikä se näin ollen toiminut kumpanakaan ajankohtana.

Ilmanvaihtojärjestelmän säätö ja ilmavirtojen mittaus suoritettiin urakoitsijan toimesta remontin jälkeen 10.4.2012. Lisäksi ilmavirrat tarkistusmitattiin remontin jälkeen 9.10.2012. Tarkistusmittaukset tehtiin SFS 5512 -standardin (22) mukaan menetelmillä B1 ja C1 käyttäen TSI VelociCalc 9565 -painemittariin kytkettyä mittaussondia. Venttiilin avaumien mittaamiseen käytettiin mittaustulkkia. Ilmavirrat laskettiin kaavalla (3):

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p_m} \quad (3)$$

$q_v$  on ilmavirta, l/s

$k$  on k-kerroin

$\Delta p_m$  on mittauspaine-ero, Pa (23.)

k-kertoimet katsottiin valmistajien päätelaitteiden teknisistä esitteistä (liite 4).

Remontin jälkeen huhtikuussa 2012 urakoitsijan laatiman ilmavirtojen mittauspöytäkirjan mukaan (liite 5) asunnon tuloilmavirta oli 69 l/s ja poistoilmavirta 76 l/s eli asunto oli alipaineinen ulkoilmaan nähden. Tarkistusmittauksissa 9.10.2012 todettiin asunnon olevan mittaustilanteessa ylipaineinen tuloilmavirran ollessa 77,1 l/s ja poistoilmavirran 59,2 l/s. Tarkistusmittauksen tulokset on esitetty liitteessä 6.

Ilmanvaihdossa oli remontin jälkeen havaittu ongelmia sisäilman lämpötilan suhteen jo kesällä 2012. Laitteiston ohjelmistoa oli vaihdettu useaan kertaan asennuksen jälkeen ja tarkistusmittaushetkellä lokakuussa 2012 ilmanvaihtoa ohjattiin pakotetulla poisto-ohjauksella, jotta sisälämpötila saatiin pysymään halutulla tasolla. Jatkossa tarvittaneen vähintään yksi tarkistusmittaus ja säätö ilmanvaihdon ilmavirtojen osalta, jotta järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla eikä mahdollisesta ylipaineisuudesta muodostu ongelmia esim. rakenteisiin.

#### 6.4 Rakennuksen vaipan tiiveys

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (24) mukaan

Rakennuksen vuotoilmakertoimen voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa arvoa 0,16 1/h ellei ilmanpitävyyttä tunneta. Tämä vastaa rakennuksen vaipan ilmatiiviyyttä kuvaavaa ilmanvuotolukua  $n_{50} = 4$  1/h.

Mikäli rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $n_{50}$  on tunnettu, voidaan vuotoilmakertoimen avulla käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa kaavalla (4.8) laskettua arvoa.

$$n_{\text{vuotoilma}} = n_{50} / 25 \quad (4.8)$$

jossa

$n_{\text{vuotoilma}}$

$n_{50}$

rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h  
rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h (24.)

Rakentamismääräyskokoelma antaa pientalolle tyypilliseksi vaipan ilmanvuotoluvuksi ( $n_{50}$ ) arvon 1...10 1/h riippuen vaipan ilmapitävyydestä.

Vaipan tiiviys mitattiin 9.12.2011. Ulkoilman lämpötila oli 1,0 °C ja sisäilman lämpötila 19,1 °C. Tuulen nopeus oli 7 m/s kaakko ja ilmanpaine 100 530 Pa. Mittaus suoritettiin Minneapolis Blower Door model 4 -painekeolaitteistolla, jossa on Blower Door puhallin ja DG-700-painemittari. Tiivysmittaus tehtiin sekä yli- että alipaineisena SFS-EN 13829 -standardin mukaan menetelmällä B. Kuvassa 21 on esitetty mittauslaitteistoa.



Kuva 21. Mittalaitteistoa, DG-700-painemittari ja Blower Door -puhallin



Ennen mittausa kaikki ilmastointikanavat ja savuhormit tukittiin ja varmistettiin, että lattiakaivoissa on vettä. Ikkunat ja ovet olivat suljettuina kokeen aikana. Mittaus tehtiin rakennuksen keskivaiheilla olevasta olohuoneen ulko-ovesta. Ilmavuotokohdat paikannettiin -50 Pascalin paine-erossa vaipan yli Flir P660 -lämpökameralla ja VelociCalc Plus 8386A -virtausmittarilla.

Mittausten perusteella rakennuksen vaipan ilmavuotoluvuksi  $n_{50}$  saatiin 18,9 1/h. Tiivysmittausluokitus on esitetty kuvassa 22. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (24) mukaan luku vastaa vuotoilmakerrointa  $n_{\text{vuotoilma}}$  0,756 1/h. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen koko tilavuus ilmaa vaihtuu noin 79 minuutissa. Tiivysmittausraportti on esitetty liitteessä 7.

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS		n50-LUKU
Alle 0,6	<b>A</b>	
0,7-1,0	<b>B</b>	
1,1-1,5	<b>C</b>	
1,6-2,0	<b>D</b>	
2,1-3,0	<b>E</b>	
3,1-4,0	<b>F</b>	
Yli 4,1	<b>G</b>	18,9

Kuva 22. Tiiviysmittausluokitus  $n_{50}$ -luvun mukaan

Lämpökameramittauksissa havaittiin erityisesti lattian ja seinän liitoskohdissa huomattavan alhaisia lämpötiloja ja alle 61 %:n lämpöindeksin arvoja, jotka eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa. Pohjoispuolen makuuhuoneissa havainto oli yleinen. Lisäksi ulko-ovien ja tuuletusikkunoiden karmipinnoissa havaittiin matalia lämpötiloja ja korjaustarvetta. Ikkunoiden ja ovien tiivisteet tulisi tarkistaa ja kynnysten ja ikkunan-karmien liitos rakenteisiin korjata tai tiivistää. Erityisesti tuulikaapin katossa havaittiin merkittävän alhainen pintalämpötila ja kattopaneelin saumoissa ilmeinen ilmavuoto. Lämpökamerakuvauksen tarkempia tuloksia remontin jälkeen on esitetty liitteessä 8. Kuvassa 23 on esimerkki lämpökamerakuvauksen tuloksista.

Kuvauspaikka: Tuulikaappi		Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012	
Lämpökuva		Valokuva	
			
Nro 1.		Mittausparametrit	
Mittauspisteen lämpötila	17.8 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	28.1 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	9.3 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	35	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	84	Kameran sarjanumero	404001076

Kuva 23. Tuulikaapin lämpökuvaus. Ulko-oven alareunassa huomattavan alhainen pintalämpötila, alittaa selvästi asumisterveysohjeen indeksirajan 61 %. Korjattava. (24)

## 6.5 Takan lämmönluovutus

Kohteessa on varaava Nunna-uuni-tyyppinen takka, jota käytetään paljon. Asukkaan antamien tietojen mukaan takka on käytössä lämmityskaudella useita kertoja viikossa. Mittaukset suoritettiin 1.12.2011 klo 21:29 – 7.12.2011 klo 18:09 eli yhteensä 140 tunnin 40 minuutin tunnin ajan. Mittausjakso kesti torstai-illasta keskiviikkoiltaan. Laskelmissa on arvioitu, että takassa poltetaan puuta noin 100 kiloa viikossa lämmityskaudella. Lämmityskauden pituudeksi on arvioitu 40 viikkoa.

### Mittaaminen puun lämpöarvon perusteella

Mittausjakson aikana käytettäväksi tarkoitetut polttopuut punnittiin ja siirrettiin sivuun. Koivupilkkeitä oli yhteensä 110 kpl, ja ne painoivat 75,5 kg. Yhden pilkkeen painoksi saatiin keskimäärin 0,686 kg. Asukasta pyydettiin kirjaamaan, milloin takkaa käytetään, paljonko pilkkeitä kuluu ja milloin pelti suljetaan. Kirjausten perusteella todettiin, että puut poltettiin kolmessa erässä (2/5, 2/5 ja 1/5) mittausjakson aikana.

Polttopuun kosteuspitoisuuden selvittämiseksi kahdesta pilkkeestä otettiin poikkileikkauksen kaikista kohdista näytelastuja, jotka suljettiin muovipussiin. Kosteat näytelastut punnittiin ja laitettiin 109 °C:n lämpöiseen uuniin 15 tunnin ajaksi. Tämän jälkeen lastut punnittiin uudelleen ja tuloksista pystyttiin laskemaan puun sisältämä kosteus ja edelleen lämpöarvon perusteella kuormasta saatu energia. Laskennan kulku on esitetty liitteessä 9.

Tässä tapauksessa takan hyötysuhdetta ei luotettavasti saatu selville, sillä savukaasujen lämpötilaa ja virtaamaa ei pystytty mittaamaan. Näin ollen mittaustuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavina. Joka tapauksessa lämpöarvon perusteella laskettu takan luovuttaman lämpöenergian määrä 40 viikon lämmityskaudella on ylioptimistinen, vaikka savukaasujen vaikutusta ei otettaisi huomioon. Savukaasujen vaikutus lienee vähintään puolet energiamäärästä.

### Mittaaminen pintalämpötilan perusteella

Takan pintoihin kiinnitettiin neljään pisteeseen lämpötila-anturit, jotka peitettiin vuorivillalla ulkoisen lämpötilan vaikutuksen eliminoimiseksi. Lämpötila-anturit näkyvät kuvas-

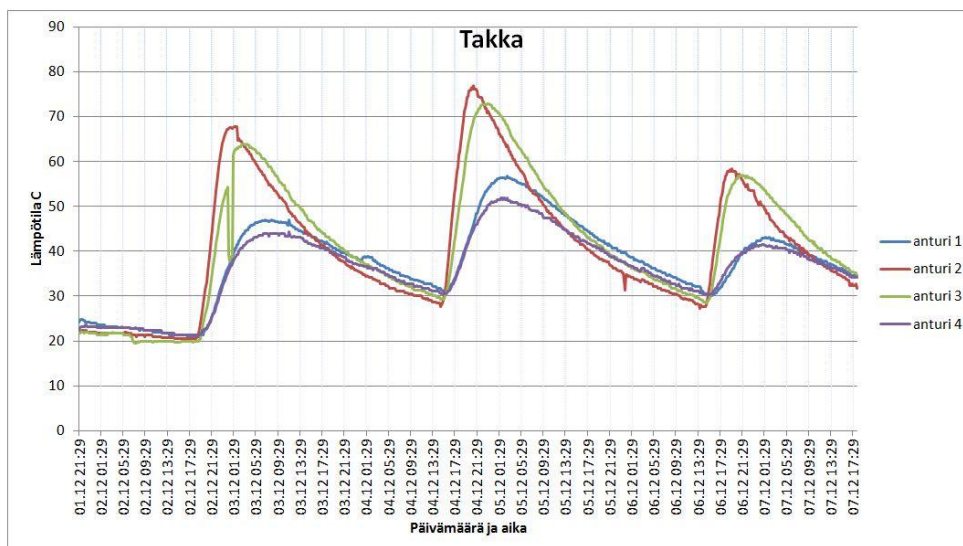
sa 24. Datalogger Squirrel SQ400 -termoelementtimittauksella kerättiin takan pintalämpötilan hetkelliset arvot 10 minuutin välein mittausjakson ajan.



Kuva 24. Lämpötila-anturit takan pinnassa

Antureita ei saatu asennettua edustavasti takan eri pintoihin, sillä anturien kaapelit olivat liian lyhyet. Samasta syystä takan ylätasen lämpötila jäi mittaamatta. Takan luukun lämpötilat mitattiin infrapunalämpömittarilla kertaluonteisesti muutaman kerran, kun takassa oli tuli. Luukkuun ei haluttu asentaa lämpötila-anturia, sillä teipin pelättiin sulavan lasiin kiinni.

Kuvassa 25 on esitetty pintalämpötilat mittausjaksolla 1.–7.12.2012. Ensimmäiseen pesälliseen sytytettiin tuli 2.12.2012 klo 18:30 ja pelti suljettiin 3.12.2012 klo 00:30. Kuvaajasta voidaan nähdä, että takan pintalämpötila ei ole ehtinyt palautua huonelämpötilan tasolle vielä kahta päivää myöhemmin, kun takkaan sytytettiin uudestaan tuli.



Kuva 25. Takan pintalämpötilat 1.–7.12.2012

Takan luukun lämpötilat mitattiin infrapunamittarilla kertaluonteisesti, kun takassa paloi tuli. Korkeimmillaan takan luukun lämpötila oli hetkellisesti keskeltä luukkaa mitattuna 306 °C. Infrapunälämpömittarilla lasisen luukun läpi mitattaessa on olemassa vaara, että mittari lukee liekin lämpötilaa luukun lämpötilan sijaan.

Takan pintaan kiinnitettyjen lämpötila-antureiden mittaustuloksista muodostettiin kuvaaja ja tulosten perusteella laskettiin takan lämmönluovutus ensimmäisen jakson aikana (2/5 puista eli noin 30 kg). Mitattujen lämpötilojen perusteella jokaisen anturin hetkellinen teho on laskettu kaavalla (4):

$$\Phi = (t_{\text{anturi}} - t_{\text{huone}}) * A * \alpha \quad (4)$$

$\Phi$  on lämpöä luovuttavan pinnan hetkellinen teho, W

$t_{\text{anturi}}$  on hetkellinen anturin lämpötila, °C

$t_{\text{huone}}$  on hetkellinen huonelämpötila, °C

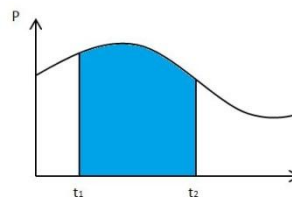
A on takan pinta-ala, m<sup>2</sup>

$\alpha$  on lämmönsiirtokerroin takan pinnasta huoneilmaan, tässä oletettu 10 W/m<sup>2</sup>K

Takan teho muuttuu ajan funktiona  $\Phi(t)$ , ja jos funktio on tiedossa, voidaan lämpömäärä laskea kaavalla (5)



$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(t) dt$$



(5)

Tässä tapauksessa funktiota ei tunneta, vaan ainoastaan mittaustulosten perusteella lasketut hetkelliset tehot ovat tiedossa. Lämpömäärä lasketaan numeerisella integroinnilla pinta-alojen puolisuunnikkaiden summana käyttäen kaavaa (6):

$$Q_1 = \Delta t \left( \frac{\Phi_1}{2} + \Phi_2 + \dots + \Phi_{n-1} + \frac{\Phi_n}{2} \right) \quad (6)$$

Q1 on lämpömäärä, Wh  
 $\Delta t$  on 10 min = 1/6 h  
 $\Phi_n$  on hetkellinen teho, W

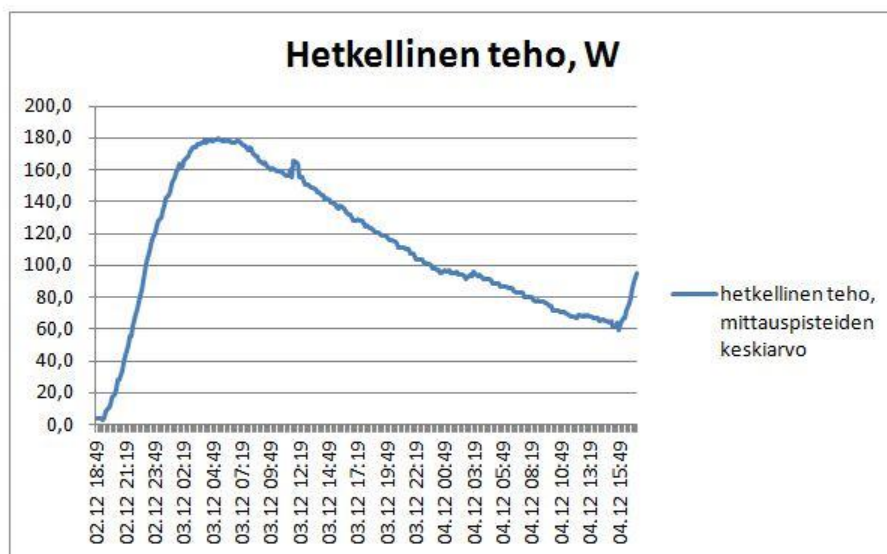
Takan luukun lämpötilat mitattiin kertamittauksilla infrapunalämpötilamittarilla. Koska kyseessä olivat kertaluontoiset mittaukset eikä mittausten aikaväli ollut vakio, ei puolisuunnikasmenetelmää voitu käyttää. Mittaustuloksia käsiteltäessä jätettiin luukun keskeltä mitatut korkeimmat lämpötilat pois laskennasta.

#### Mittaustulokset

Ensimmäisen pesällisen aikana, jolloin puuta poltettiin arviolta 30 kg, takan pintojen luovuttama lämpömäärä oli mittaustulosten perusteella laskettuna 20,1 kWh. Koska takan pintalämpötila ei ehtinyt laskea huonelämpötilan tasalle ennen kuin uusi pesällinen sytytettiin, arvioitiin kuvaajasta puuttuvan noin 10 %. Tämän perusteella ensimmäisen jakson takan pintojen lämmönluovutukseksi saatiin 22,1 kWh.

Kun lämmityskauden pituudeksi oli arvioitu 40 viikkoa ja takassa poltettavan puun määräksi 100 kg / viikko, takan pintojen lämmönluovutuksen huoneistoon laskettiin olevan 2 953 kWh. Lisäksi takan luukun kautta luovutetun lämmön arvioitiin olevan 5,4 kWh (30 kg puuta) ja vuositasolla 720 kWh. Yhteensä laskennallinen takan luovuttama lämpömäärä vuodessa on 3676 kWh. Kuvassa 26 on esitetty takan hetkellinen teho ensimmäisen poltetun pesällisen aikana.





Kuva 26. Takan teho mittausjaksolla 2.–4.12.2012

Takan pintojen luovuttaman lämmön laskelmat on esitetty liitteessä 10 ja Takan luukun luovuttaman lämmön laskelmat on esitetty liitteessä 11.

## 6.6 Ilmalämpöpumpun lämmönluvutus

Ilmalämpöpumppu (ILP) on asennettu pientaloon yleensä lisälämmityslaitteeksi. Mittauksilla ja laskemilla selvitetään ilmalämpöpumpun vaikutus kohteen lämmitystehoon. Jos tunnetaan ILP:n imemän ja tiloihin puhaltaman ilman lämpötilaero sekä lämpöpumpun kierrättämän ilman tilavuusvirta, saadaan lämmitysteho laskettua kaavalla (7). Edelleen mittaamalla ilmalämpöpumpun sähköverkosta ottama energia, voidaan määrittellä laitteen COP-arvo ja laskea lämpöpumpun vaikutus.

Lämpöpumpussa lämpö sitoutuu ulkoyksikössä kylmäaineeseen ja se siirretään suljetun putkijärjestelmän kautta sisäyksikölle. Sisäyksikössä lämpö siirtyy puhaltimen läpi virtaavaan sisäilmaan ja leviää edelleen ilman mukana koko asuntoon.

Ilmalämpöpumpusta mitattiin kertamittauksilla

- ilman liikenopeus puhallusaukon suulla (m/s)
- puhallusaukon mitat (mm)

ja seurantamittauksilla

- puhaltimen imemän kierrätysilman lämpötila (°C)
- huoneistoon puhalletun ilman lämpötila (°C)
- lämpöpumpun sähköverkosta ottama energia (Wh).

Ilmalämpöpumpun puhallusilman nopeus puhallusaukolla mitattiin TSI VelociCalc 9535-A -ilmavirtausmittarilla. Puhallusaukon suulle asennettiin kaksi lämpötila-anturia ja vastaavasti kaksi anturia asennettiin imuaukon suulle (kuva 27). Lämpötiladata kerättiin Squirrel Data Loggerilla 5 minuutin välein.

Ilmalämpöpumpun sähköverkosta ottamaa tehoa ei pystytty mittaamaan pistorasiamittarilla ennen remonttia, sillä pumppu oli kytketty suoraan sähkökeskukseen. Remontin yhteydessä vanhalle pumpulle asennettiin oma sähkönkulutusmittari, jonka lukemat olivat käytettävissä huhtikuussa 2012, kun mittaukset tehtiin.



Kuva 27. Ilmalämpöpumppu ja lämpötila-anturit

Mittaukset tehtiin 10.–24.4.2012, jolloin ilmalämpöpumppu oli päällä vain 13 ensimmäistä tuntia. Ilman virtausnopeus mitattiin 5:ssä kohtaa puhallusaukon suulla ja näistä laskettiin ilman nopeudelle keskiarvo. Imupuolen lämpötila-antureiden tulosten perusteella laskettiin imupuolen lämpötilalle keskiarvo, jota verrattiin puhalluspuolen lämpötilaan (puhalluspuolen toisesta anturista ei saatu mittaustuloksia). Lämpöpumpun antama teho laskettiin kaavalla (7):

$$\Phi = v A \rho c_p \Delta t \quad (7)$$

$\Phi$  on ilmalämpöpumpun teho, W  
 $v$  on ilman keskimääräinen virtausnopeus puhallusaukon suulla, m/s  
 $A$  on puhallusaukon pinta-ala, m<sup>2</sup>  
 $\rho_i$  on ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 $c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK  
 $\Delta t$  on keskimääräinen lämpötilaero (puhallus-imu), °C

Lämmityskauden pituudeksi arvioitiin 40 viikkoa ja pumpun olevan päällä 25 % ajasta lämmityskaudella. Mittausjaksolla ilmalämpöpumppu kulutti sähköä 8,7 kWh ja tuotti energiaa 23 kWh. Tämän perusteella laitteen COP-arvoksi mittausjaksolla saatiin 2,64. Ilmalämpöpumpun vaikutukseksi lämmitysenergiaan laskettiin olevan 2 966 kWh vuodessa. Mittaustulokset ja laskenta ovat esitetty liitteessä 12.

## 6.7 Laitesähköenergia

Kohteessa mitattiin kodinkoneiden sähkönkulutusta ajalla 23.–30.4.2012 Tehnolite Remote Cost Control -sähkönkulutusmittareilla (kuva 28). Sähkönkulutusmittarit kytkettiin pistorasioihin, joista otetaan tietokoneen ja viihdekeskuksen, kahden TV:n, astianpesukoneen, jääkaappipakastimen, mikron ja kahvinkeitin sekä matkapuhelimen lataamiseen tarvittava sähkövirta. Laitteiden sähkönkulutuksen perusteella laskettiin arvioitu kulutus vuodessa jakamalla mittausjakson sähkönkulutus jakson pituudella.



Kuva 28. Tehnolite Remote Cost Control -sähkönkulutusmittari

Tässä yhteydessä tulee huomioda, että kiuas ei ollut mittausjaksolla remontin takia käytössä ja että pyykinpesukoneen sähkönkulutusmittaus epäonnistui. Lisäksi mittauksista puuttui uuni, autopistoke, pölynimuri ja hiustenkuivain sekä muut mahdolliset sähkölaitteet.

Taulukko 5. Laitesähkön kulutus mittausjaksolla 23.–30.4.2012

Laitteet	Mittausjakso h	Käyttöaika h	Jakson kulutus kWh	Keskiteho Wh	Kulutus/vrk Wh	Kulutus/a kWh
Viihdekeskus	163,5	163,5	4,401	26,9	645,9	235,7
Astianpesukone	163,7	11,3	5,748	35,1	842,8	307,6
TV + jatkojohto	163,9	163,9	8,194	50,0	1200,1	438,0
Jääkaappipakastin	163,9	163,8	6,177	37,7	904,8	330,2
Mikro + kahvinkeitin	163,9	8,6	1,307	8,0	191,5	69,9
TV	163,7	109,3	0,254	1,6	37,3	13,6
			<b>26,082</b>			<b>1395,1</b>

Mitattujen laitteiden sähkönkulutus mittausjaksolla oli yhteensä 26,1 kWh ja laskennallinen vuosikulutus 1395,1 kWh (taulukko 5). Mittauksista puuttuvien sähkölaitteiden kulutus arvioitiin pääasiassa Vattenfallin energianeuvonnan verkkosivuilla (27) annettujen sähkölaitteiden keskimääräisen kulutuksen ja perheen kulutustottumusten perusteella.

Uunia tai liettä arvioitiin käytettävän 5 tuntia viikossa (2 kWh/h), jolloin vuotuinen vaikutus on 520 kWh. Auton lohkolämmittimelle ja sisälämmittimelle arvioitiin 1,6 kWh/h, jolloin käytettäessä lämmittämiä arkipäivisin 40 viikkoa lämmityskaudella joka päivä tunnin ajan vuotuinen vaikutus on 320 kWh. Pölynimurin ja hiustenkuivaimen sähkönkulutukseksi yhteensä arvioitiin 200 kWh vuodessa. Mikäli höyrysilitysrautaa käytetään tunnin ajan viikossa läpi koko vuoden, on vaikutus 52 kWh/a. Sauna on edelleen pois käytöstä tätä kirjoitettaessa. Kiukaan sähkönkulutukseksi arvioitiin 8 kWh/kerta, jolloin 2 kertaa viikossa saunottaessa (1,5 h) vuotuinen sähkönkulutus on 832 kWh. Näiden mittauksista puuttuvien sähkölaitteiden arvioitu yhteisvaikutus sähkönkulutuksessa vuositasona on 1 924 kWh.

Kohteeseen hankittiin syksyllä 2012 kuivausrumpu. Pesukoneen ja kuivausrummun energiankulutus mitattiin uudelleen jaksolla 17.10.–8.11.2012. Samalla tarkistettiin myös olohuoneen TV:n ja jatkojohdon energiankulutus. Saatujen mittaustulosten perusteella voidaan todeta TV:n, pesukoneen ja kuivausrummun olevan kohdekiinteistössä suurimmat sähkölaitte-energian kuluttajat saunan, liedon ja uunin arvioidun kulutuksen ohella. Tarkistusmittauksen tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Laitesähkön tarkistusmittaus mittausjaksolla 17.10.–8.11.2012.

Laitteet	Mittausjakso h	Käyttöaika h	Jakson kulutus kWh	Keskiteho Wh	Kulutus/vrk Wh	Kulutus/a kWh
TV + jatkojohto	504,1	504,1	23,630	46,876	1125,0	410,6
Pesukone	528,6	52,6	19,246	36,409	873,8	318,9
Kuivausrumpu	528,6	29,76	29,470	55,751	1338,0	488,4
			<b>72,346</b>			<b>1218,0</b>

Energialaskelmissa on käytetty mittausjaksolla huhtikuussa 2012 saatuja tuloksia. Tarkasteltaessa laskelmilla tuotettua rakennuksen energiankulutusta tulee huomioida, että loppuvuodesta 2012 tehdyn tarkistusmittauksen tulokset ja mittauksista puuttuvat laitteet eivät ole mukana kohteen laitesähkön laskelmissa. Näiden laitteiden laitesähkön osuuden arvioidaan lisäävän kohdekiinteistön sähkönkulutusta vuositasolla yhteensä noin 2 731 kWh.

RakMk osan D5 mukaan laitteiden ominaissähköenergiankulutusarvo pientalossa muille laitteille  $W_{\text{muut laitteet}}$  on 36 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi. Mittausten ja arvioiden perusteella saatu kulutus on noin 4126 kWh vuodessa eli 24,8 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi. Laskelmissa on käytetty arvoa 24 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi.

## 6.8 Lämmöntalteenoton hyötysuhde

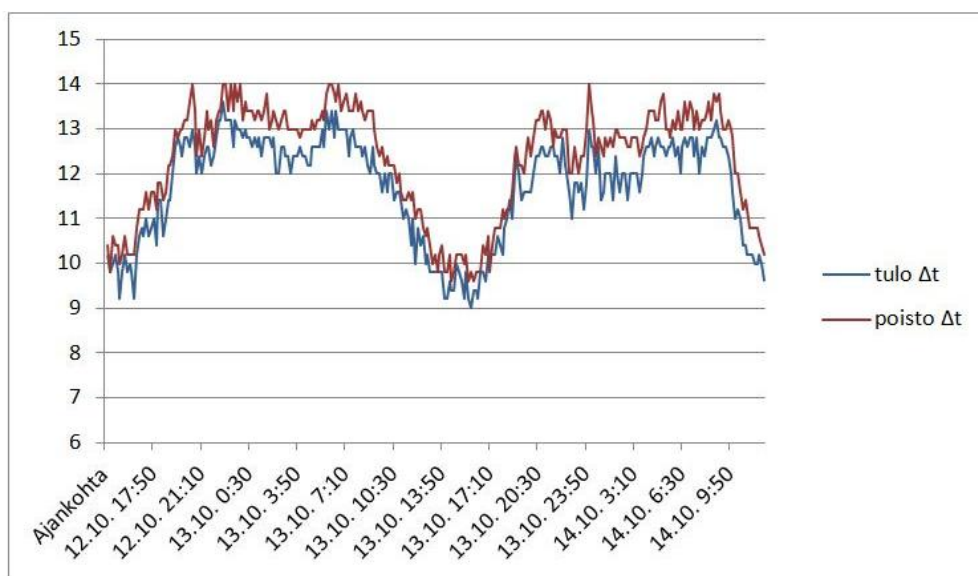
LTO-kennon hyötysuhteet voidaan määrittää laskemalla, kun tunnetaan kennoon menevät ja sieltä tulevat lämpötilat. Tuloilman lämpötilahyötysuhde on tuloilman LTO:ssa lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman lämpötilan väliseen lämpötilaeroon.

Data loggerilla mitattiin 12.–14.10.2012 LTO:n lämpötilat tulo- ja poistopuolelta ennen ja jälkeen lämmön talteenottokiekon. Mittaustulosten perusteella LTO:n tuloilman lämpötilahyötysuhde  $\eta_t$  laskettiin standardin SFS EN-308 (28) mukaisesti ja laitteen vuosihyötysuhteena  $\eta_a$  käytettiin RakMk osan D5 mukaisesti poistoilman lämmön talteenoton keskimääräistä hyötysuhdetta laskentajaksolla (24).

SFS 5511 -standardin (17) mukaan ilmavirtojen ollessa eri suuret, ilmoitetaan lämpötilahyötysuhteen lisäksi ulko- ja jäteilmavirran suhde. Mittausjakson aikana keskimääräi-

nen lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde oli 74 % ja ulko- ja jäteilmavirran suhde oli 1,3 (ylipaineinen).

Poistoilman lämpötilaero mittausjaksolla ennen ja jälkeen lämmöntalteenoton oli keskimäärin 12,3 °C ja tuloilman lämpötilaero 11,7 °C. Vaikka tämä noin 0,6 astetta suurempi poistoilman lämpötilaero verrattuna tuloilmanlämpötilaeroon ei ole suuri, vahvistaa se osaltaan 9.10.2012 tehtyjä ilmavirtojen mittaustuloksia, joiden mukaan ilmanvaihto huoneistossa on ylipaineinen. Kuvassa 29 on esitetty mittausjakson keskimääräiset poisto- ja tuloilman lämpötilaerot.



Kuva 29. Lämpötilaerot ennen ja jälkeen lämmöntalteenoton mittausjaksolla 12.–14.10.2012

Rakennusten ilmanvaihto suunnitellaan yleensä alipaineiseksi tai ilmanvaihdon ilmavirrat yhtä suuriksi. Jos rakennuksen sisällä paine on ympäröivää ulkoilmaa suurempi, voivat virheelliset painesuhteet aiheuttaa huonekosteuden kulkeutumista eristeisiin ja rakenteisiin tiivistysten rakenteiden sisään vedeksi. Kosteaa eriste ei toimi ja on altis jopa jäätymiselle. Kosteus rakenteissa saattaa aiheuttaa lahoamista ja homeongelmia. Ongelma korostuu erityisesti taloissa, joissa kosteussulku on rikkonainen eikä talo ole erityisen tiivis. (29, s. 37.)

Saman mittausjakson tuloksista arvioitiin integroidun ilmalämpöpumpun vaikutus energiankulutukseen liitteen 18 mukaisesti. Tuloilman lämpötila huoneeseen oli mittausjaksolla keskimäärin 21,5 °C ja tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen 16,2 °C. Suoraviivaisesti ajateltuna integroidun ilmalämpöpumpun kanavalauhdutin lämmittää tämän lämpötila-

eron. Vuositasolla arvioitiin integroidun ilmalämpöpumpun nettovaikutuksen energiankulutukseen (kun COP on 3) olevan luokkaa 2197 kWh. Tämä arvo on otettu huomioon vaiheen IV energiankulutuslaskennassa.

## 7 Energialaskelmat

Energialaskelmat tehtiin Helsingin kaupungin rakennusvalvontaviraston Excel- taulukkolaskentaohjelmalla "Energiaselvitys" (versio 05.04.2011). Laskin laskee rakennuksen energiankulutuksen annettujen lähtöarvojen perusteella.

### 7.1 Ennen remonttia

Ensimmäinen energiankulutuslaskelma tehtiin pelkästään käytettävissä olevien rakennuspiirustusten ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Tarvitavat lähtötiedot saatiin piirustuksista tai oletettiin D5:n ohjearvojen mukaisiksi. Puutteellisten piirustusten vuoksi U-arvojen osalta tehtiin olettamuksia ja laskelmissa käytettiin tyypillisiä 1970-luvun arvoja. Tässä vaiheessa ei huomioitu rakennuksen uuden ja vanhan osan mahdollisia eroja, vaan laskelmat tehtiin olettaen, että koko rakennus on rakenteiden osalta alkuperäisessä kunnossa. Muilta osin laskenta noudatti Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeistusta.

Pinta-alat, seinien ja ikkunoiden koot sekä huonekorkeudet oli kuitenkin mitattu paikan päällä ja saatuja tietoja hyödynnettiin mm. ilmatilavuuden laskennassa. Tarkistusmitattuja tietoja käytettiin jo ensimmäisen vaiheen laskennassa, sillä nämä perustiedot päätettiin pitää vakioina läpi koko energiatehokkuustarkastelun.

#### 7.1.1 Vaihe I: D5:n mukaiset laskelmat

Ensimmäisen vaiheen laskennassa kohteen perustiedot syötettiin laskentataulukoon liitteen 13 mukaisesti. Vaipan ilmanvuotolukuna  $n_{50}$  käytettiin RakMk D5:n mukaisesti arvoa 4 1/h. Laskenta on esitetty liitteessä 14.

Puutteellisten piirustusten vuoksi U-arvojen osalta tehtiin olettamuksia, jotka pohjautuivat arvioihin tyypillisistä 1970-luvun rakenteiden U-arvoista. U-arvoina käytettiin

- ulkoseinälle 0,4 W/m<sup>2</sup>K
- yläpohjalle 0,22 W/m<sup>2</sup>K
- alapohjalle 0,42 W/m<sup>2</sup>K



- ikkunalle  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ulko-ovelle  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (arvioitu puolet ovesta olevan lasia)

Rakennuksen bruttopinta-alana käytettiin  $166,3 \text{ m}^2$  ja rakennuksen sisäpuolisena tehollisena lämpökapasiteettina  $C_{\text{rak, omin}}$  käytettiin D5:n taulukon 8.9. mukaan arvoa  $110 \text{ Wh/(brm}^2\text{K)}$ , joka on tyypillinen arvo keskiraskaalle rakenteelle.

Sisälämpötilan  $T_s$  oletettiin olevan  $21^\circ\text{C}$  ja alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisena keskilämpötilan erona käytettiin  $5^\circ\text{C}$  (D5, kohta 4.3.). Henkilöiden luovuttamana vuotuisena ominaislämpöenergiana  $Q_{\text{henk, omin}}$  käytettiin D5:n taulukon 8.1 arvoa  $8 \text{ kWh/brm}^2$  vuodessa.

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia arvioitiin D5:n kohdan 8.4 mukaisesti. Ikkunoiden oletettiin olevan yksipuitteisia kolmelasisia ikkunoita, joiden lasituksen U-arvo vastaa arvoa  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin  $g_{\text{kohtisuora}}$  arvoa  $0,7$ . Ikkunoiden sisäpuolella oletettiin olevan läpikuultavat tekstiiliverhot, joiden verhokerroin  $F_{\text{verho}} = 0,8$ . Valoaukon pinta-alan ja ikkuna-aukon suhteena eli kehäkertoimena  $F_{\text{kehä}}$  käytettiin arvoa  $0,75$ . Ympäristön ja rakenteiden varjostuksia ei laskennan tässä vaiheessa otettu lainkaan huomioon.

Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergioiksi valittiin D5:n taulukosta 6.1 luovutushäviöiksi  $Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt, omin}}$   $4 \text{ kWh/brm}^2$  ja säätöhäviöiksi  $Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt, omin}}$   $1 \text{ kWh/brm}^2$  vuodessa. Sähköpattereille käytettiin hyötysuhteena  $\eta_{\text{huonelämmitys}}$  arvoa  $1$ . Muiden järjestelmien hyötysuhteita ei mitoitustilanteessa tunnettu ja hyötysuhteena käytettiin D5 mukaisesti arvoa  $0,9$  ( $\eta_{\text{tuloilma}}$  ja  $\eta_{\text{lkv}}$ ).

Lämpimän käyttöveden kulutus arvioidaan asuinhuoneistoissa ensisijaisesti henkilömäärän perusteella. Lämpimän veden ominaiskulutuksena  $V_{\text{lkv, omin, henk}}$  henkilöä kohti käytettiin laskelmissa D5:n ohjearvoa  $50 \text{ dm}^3/\text{hlö}$  vuorokaudessa ja makuuhuoneiden lukumäärän perusteella oletettiin talossa olevan  $4$  asukasta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan voidaan yhden perheen taloa mitoitettaessa asettaa normivirtaamien summaksi sekä kylmälle että lämpimälle vedelle  $0,8 \text{ dm}^3/\text{s}$  huolimatta siitä, että D1:n taulukon 2 mukaisten normivirtaamien summaksi tulisi suurempi arvo. Tätä normivirtaamien summaa käytettiin määrittelemään lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamaa  $q_{\text{v, lkv}}$ , jolle laskelmassa annettiin arvo  $0,34 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

Käyttövesivaraajan tilavuuden arvioitiin olevan 300 litraa ja varaajan lämpöhäviötehoksi merkittiin D5:n kuvan 6.2 mukaan 0,15 kW. Lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona ( $T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}$ ) käytettiin arvoa 50 °C. Jos tietoa varaajan lämpöhäviöenergian määrästä ei ole käytettävissä, voidaan D5:n mukaan käyttää arvoa 1 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa, mutta kuitenkin vähintään 1000 kWh. Tämän perusteella käytettiin lämpimän käyttöveden lämmityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergiana  $Q_{\text{lkv, kehityshäviöt, omin}}$  arvoa 6,1 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi, joka vuodessa on yhteensä 1014 kWh.

Lämmöntuottolaitteiden vuosihyötysuhteena  $\eta_{\text{lämmitys}}$  sekä sähköntuotto- ja muuntolaitteen vuosihyötysuhteena  $\eta_{\text{sähkö}}$  käytettiin arvoa 1, sillä laitteen vuosihyötysuhdetta ei ollut tiedossa.

Pientalon ollessa kyseessä valittiin valaistuksen sähköenergiankulutukseksi 7 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi ja muiden laitteiden kulutukseksi 36 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi D5:n taulukon 7.1 mukaan. Valaistuksen ja muiden laitteiden lämpökuormaksi tulevalle vuotuiselle energialle  $Q_{\text{säh, omin}}$  käytettiin arvoa 32 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa. Ilmanvaihdon sähkönkulutusta ei tässä huomioitu.

Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto, eikä siellä ole jäähdytystä. Laskennan ensimmäisessä vaiheessa ei huomioitu lainkaan ilmanvaihdon puhaltimia eikä jäähdytystä. Ne jätettiin ensimmäisen vaiheen laskelmista kokonaan pois. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisen laskennan tuloksena saatiin ET-luvuksi Helsingissä 183 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi. Vuotuinen energiankulutus on 30 326 kWh, josta lämmityksen osuus on 23 175 kWh laitesähkön osuus on 7 151 kWh.

Energiatodistukset tehdään vertailukelpoisuuden vuoksi aina Jyväskylän leveysasteille eli vastaava ET-luku energiatodistuksessa on 204 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi ja rakennuksen kokonaisenergiankulutus vuodessa 33 902 kWh, josta laitesähkön osuus 7 151 kWh.

### 7.1.2 Vaihe II: Tarkennettu energialaskelma ennen remonttia

Laskennan tarkentamiseksi käytettiin kiinteistössä tehtyjen kerta- ja seurantamittausten tuloksia sekä asukkailta saatuja tietoja kuluneiden vuosien sähkön- ja vedenkulutuksesta. Näin saatujen tulosten perusteella RakMk:n osan D5 mukaista laskelmaa korjattiin vastaamaan todellista tilannetta ennen remonttia. Laskenta on esitetty liitteessä 15.

Seuraavassa on esitetty ne energialaskentaan tarvittavat suureet, jotka muuttuivat II vaiheen laskelmassa, sekä perusteltu, miksi muutettuja arvoja on käytetty.

Vierailu Vantaan kaupungin rakennusvalvonnan arkistossa (6) selvensi alkuperäistä seinärakennetta ja arkiston tietojen perusteella rakenteelle laskettiin U-arvoksi  $0,69 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Laajennusosan ulkoseinien suunnitteluarvo piirustusten mukaan on  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Koska rakennuksen varasto ja autokatos on muutettu asuintiloiksi ja seinärakenne on erilainen verrattuna muuhun rakennukseen, korjattiin koko rakennuksen seinien U-arvo painotetuksi neliöiden suhteen kaavalla (8):

$$(A_1 + A_2) \cdot U_{\text{painotettu}} = U_1 A_1 + U_2 A_2 \quad (8)$$

$A_1$  on rakennusosan A pinta-ala,  $\text{m}^2$   
 $A_2$  on rakennusosan B pinta-ala,  $\text{m}^2$   
 $U_1$  on rakennusosan A U-arvo,  $\text{W/m}^2\text{K}$   
 $U_2$  on rakennusosan B U-arvo,  $\text{W/m}^2\text{K}$

Ulkoseinien U-arvona käytettiin vaiheen II laskennassa arvoa  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Laajennusosan piirustuksissa oli ovien ja ikkunoiden suunnitteluarvoksi merkitty  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Todettiin U-arvossa olleen todennäköisesti pilkkuvirheen ja arvioitiin, että laajennusosan ovet ja ikkunat ovat U-arvoltaan ennemminkin luokkaa  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tätä arvoa käytettiin laajennusosan ovien ja ikkunoiden U-arvona painotetun U-arvon laskelmissa.

Seinien, ovien ja ikkunoiden U-arvot korjattiin painotetuiksi neliöiden suhteen. Korjaus koski koko massaa eli kaikkien ilmansuuntien yhteenlaskettu pinta-ala korjattiin painotetulla U-arvolla. U-arvoja ei siis korjattu erikseen ilmansuunnittain. Painotetuksi U-arvoksi ulko-oville laskettiin  $1,43 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja ikkunoille  $1,87 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Alapohjan painotetuna U-arvona käytettiin II vaiheen laskelmissa  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja yläpohjan  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Keittiössä ja pesuhuoneessa on sälekaihtimet lasien välissä ( $F_{\text{verho}} = 0,3$ ) ja länsipuolen makuuhuoneen ikkunassa tiivis vaalea rullaverho ( $F_{\text{verho}} = 0,5$ ). Tarkennetussa laskelmassa käytettiin länsipuolen ikkunoissa verhokertoimena  $F_{\text{verho}}$  arvoa 0,4. Myös muut verhokertoimet on korjattu II vaiheen laskennassa paremmin vastaamaan todellista tilannetta. Pohjoispuolen makuuhuoneiden ikkunoissa käytettiin kertoimena kesäaikaan arvoa 1 (ei verhoa) ja talvisaikaan arvoa 0,5 (vaaleat tiiviit tekstiiliverhot sisäpuolella), sillä oletettiin verhoja pidettävän lämmityskaudella pääsääntöisesti kiinni. Havainnointi-

hetkellä verhot olivat kiinni johtuen todennäköisesti kohtuullisen viileältä tuntuvasta makuuhuoneiden sisälämpötilasta. Eteläpuolen olohuoneen ikkunoissa ei ole verhoja ( $F_{\text{verho}} = 1,0$ ), ja laajennusosan makuuhuoneessa on vaaleat sälekaihtimet ikkunoiden välissä ( $F_{\text{verho}} = 0,3$  todennäköisesti aina kiinni). Havaintojen perusteella laskettiin painotettu verhokerroin ja laskelmassa käytettiin arvoa  $F_{\text{verho}} = 0,76$  etelän puoleisissa ikkunoissa läpi koko vuoden.

Henkilömäärä korjattiin neljästä viideksi ja lämpimän käyttöveden kulutus pudotettiin 50 litrasta 38 litraan vuorokaudessa henkilöä kohden, mikä perustuu todelliseen kulutukseen ajalla 31.12.2009–25.8.2011 ( $174,6 \text{ m}^3/\text{a}$ , josta arvioitu 40 % lämmintä käyttövetä). Laitesähkö korjattiin vastaamaan mittausjakson huhtikuu 2012 tilannetta. Muiden laitteiden sähkönkulutuksena käytettiin II vaiheen laskennassa arvoa  $24 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$ .

Painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirtojen mittausten perusteella poistolle käytettiin laskelmissa  $100 \text{ l/s}$  ja kanavapaineeksi arvioitiin  $70 \text{ Pa}$ . Lisäksi taulukkoon syötettiin kylpyhuoneen oman poiston vaikutus, jonka arvioitiin olevan  $17 \text{ l/s}$  joka päivä tunnin ajan ( $150 \text{ Pa}$ ). Myös liesituuletinta arvioitiin käytettävän päivittäin tunnin ajan ( $100 \text{ l/s}$ ,  $150 \text{ Pa}$ ).

Toisen vaiheen tarkennettujen laskelmien tuloksena ET-luvuksi Helsingissä saatiin  $186 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$ . Kokonaisenergiankulutus Helsingin leveysasteilla on  $30\,775 \text{ kWh}$ , josta lämmitysenergian osuus on  $25\,619 \text{ kWh}$  ja laitesähkön  $5\,155 \text{ kWh}$ .

Vastaavasti ET-luku energiatodistuksessa (Jyväskylä) on  $206 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$  ja rakennuksen kokonaisenergiankulutus vuodessa  $34\,229 \text{ kWh}$ , josta laitesähkön osuus  $5\,155 \text{ kWh}$ .

### 7.1.3 Vaihe III: Ilmanvuotoluvun $n_{50}$ vaikutus laskelmiin

Kun tarkennettuun laskelmaan lisättiin rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  mitatun arvon  $18,9 \text{ l/h}$  vaikutus, saatiin arvoiduksi lämmitysenergiantarpeeksi  $34\,806 \text{ kWh}$  ja rakennuksen kokonaisenergiankulutukseksi  $39\,962 \text{ kWh}$  vuodessa. Laitesähkön osuudeksi mittausten perusteella saatiin  $5\,155 \text{ kWh}$ . ET-luvuksi Helsingissä on  $241 \text{ kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$ .

Kun lämmitysenergia tuotetaan kokonaan sähköllä, tulisi rakennuksen ostettavan lämmitysenergiankulutuksen  $W_{\text{lämmitys, sähkö, osto}}$  olla yhtä suuri kuin rakennuksen lämmitysenergiankulutus  $Q_{\text{lämmitys}}$ . Tämä toteutuisi tilanteessa, jossa kohdekiinteistössä ei käytettäisi takkaa ja ilmalämpöpumppua lämmitykseen (ks. s. 16, kuva 8). Kohdekiinteistön energialaskelmissa tulee kuitenkin huomioida takan ja ilmalämpöpumpun "ilmainen" osuus energian tuotossa.

Takan ja ilmalämpöpumpun yhteisvaikutus lämmitysenergiaan vuositason arvioitiin mittaustulosten perusteella olevan 6 642 kWh ja aiempien vuosien kokonaissähkönkulutuksen, joka sisältää myös laitesähkön  $W_{\text{laitesähkö, osto}}$ , olevan sähkölaskuista kerättyjen tietojen perusteella noin 24 000 kWh vuodessa. Vaikka tässä opinnäytetyössä ilmalämpöpumpun ja takan mittaustulokset osoittautuisivatkin virheellisiksi, ei voida edes etäisesti pitää todennäköisenä sitä, että ilmalämpöpumpulla ja takalla voitaisiin kattaa Helsingin rakennusvalvontaviraston laskurilla saadun vuosittaisen lämmitysenergiankulutuksen 34 806 kWh ja sähkölämmitteisen kohdekiinteistön sähkölaskun (vähennettynä laitesähköllä  $W_{\text{laitesähkö, osto}}$ ) 18 845 kWh välinen erotus 15 961 kWh lämmitysenergiankulutuksessa. Tässä yhteydessä tulee myös huomioida, että takkaa ja ilmalämpöpumppua ei todennäköisesti käytetä yhtä aikaa eli mittaustulosten perusteella arvioitu vuosittainen lämmönluovutus 6 642 kWh takan ja ilmalämpöpumpun osalta lienee jo muutenkin liian optimistinen arvio.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (4.2.2 ja 4.2.3) mukaan lämmitysenergian tarpeen laskennassa voidaan rakennuksen vuotoilmakertoimenä käyttää arvoa 0,16 1/h, joka vastaa ilmanvuotolukua  $n_{50} = 4$  1/h, ellei ilmapitävyyttä tunneta. Vuotoilmakerroin saadaan jakamalla ilmanvuotoluku  $n_{50}$  luvulla 25.

Ympäristöministeriön Tasaustalaskentaoppaan 2010 (3, 3.4.4 Ilmapitävyyden osoittaminen) mukaan ilmanvuotolukua  $n_{50} = 4$  1/h parempaa arvoa voidaan käyttää suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa silloin, kun ilmapitävyys osoitetaan mittaamalla tai muulla menettelyllä.

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa voidaan käyttää rakennuksen vuotoilmakertoimenä arvoa  $n_{\text{vuotoilma}} = 0,16$  1/h, mikä vastaa ilmanvuotolukua  $n_{50} = 4,0$  1/h. Tällöin ilmapitävyyttä ei tarvitse erikseen osoittaa. Pie-nempää ilmanvuotolukua voidaan käyttää, jos ilmapitävyys osoitetaan joko jälkikäteen mittaamalla tai muulla menettelyllä.

Toisaalta tasauslaskentaopas ohjeistaa, että ilmanvuotolukua  $n_{50} = 4$  suurempaa arvoa ei laskelmissa tarvitse käyttää, vaikka ilmapitävyys olisi mittaamalla todettu tätä huonommaksi. Huonompaa lukua voidaan oppaan mukaan ilmeisesti kuitenkin sellaiseen käyttää laskennassa:

Jälkikäteen tehtyjen mittausten perusteella määritettyä ilmanvuotolukua voidaan käyttää sellaisenaan suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa.

Jos ilmapitävyys osoittautuu mittauksessa paremmaksi kuin alkuperäisessä suunnitteluratkaisussa käytetty arvo, voidaan parempi arvo hyödyntää tasauslaskelman ja energiatodistuksen päivityksessä.

Ilmanvuotolukua  $n_{50} = 4,0$  1/h suurempaa arvoa ei tarvitse käyttää, vaikka ilmapitävyys olisi mittaamalla todettu tätä huonommaksi. Tässä tilanteessa ilmapitävyyden parantaminen vähintään vertailuarvon tasoon on energiatehokkuuden kannalta suositeltavaa ja toimivuuden kannalta yleensä välttämätöntä.

Jos tasauslaskennassa on käytetty parempaa ilmapitävyyttä kuin jälkikäteen mitaavalla voidaan osoittaa eikä rakennuksen lämpöhäviövaatimus täyty, on vaipan ja ilmanvaihdon lämpöhäviötä pienennettävä vastaavasti. Tämän vuoksi suunnitteluratkaisun ilmanvuotolukuna ei ole syytä käyttää liian optimistista arvoa, koska vaipan ja lämmöntalteenoton parantaminen jälkikäteen on vaikeaa. (3.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman ja tasauslaskentaoppaan ohjeiden perusteella ainakin suunnitteluratkaisun (uudiskohteet) laskelmissa voitaisiin käyttää ilmanvuotolukuna  $n_{50}$  arvoa 4 1/h, jolloin rakennuksen ilmapitävyys olisi laskennallisesti käsitelty riittävällä tasolla edellyttäen että lämpöhäviövaatimus täyttyy.

Toisaalta kuitenkin tasauslaskentaopas ohjeistaa käyttämään mitattua arvoa eikä ainaakaan liian optimistista arvoa. Jos kohdekiinteistön laskelmissa käytetään todellista mitattua arvoa  $n_{50} = 18,9$  1/h, saadaan rakennuksen laskennalliseksi lämmitysenergiankulutukseksi 34 806 kWh, mikä eroaa sähkölaskun lämmitysenergianosuudesta 15 961 kWh (laitesähkö vähennetty).

Koska tasauslaskentaoppaan ja D5:n ohjeistus ei vaikuta yksiselitteiseltä ja sähkölämmitteisen kohdekiinteistön sähkölaskussa ja laskurilla saadussa energiankulutuksessa oli näin kohtuuttoman suuri ero, tutkittiin tässä yhteydessä tarkemmin ilmanvuotolukua  $n_{50}$ . RakMk:n osan D5 laskennalla halutaan arvioida, onko suunnitteluratkaisu vaatimusten mukainen. Tässä tarkastelun kohteena ei ole suunnitteilla oleva uudisrakennus vaan jo olemassa oleva talo, jonka todellinen tilanne pyritään kuvaamaan. Tällöin laskelmissa on syytä käyttää mitattua  $n_{50}$ -arvoa.

#### 7.1.4 Vuotoilmakertoimen määrittäminen ns. Shermanin menetelmällä

Building and Environment -lehden artikkelissa *Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses* (30) todetaan, että tutkimustulosten perusteella vuotoilmakertoimen määrittämisessä käytettävän vuotoilmaluvun  $n_{50}$  jakaja muodostuu useasta korjauskertoimesta riippuen tarkasteltavan kohteen olosuhteista. Tutkimus, johon artikkelissa viitataan, tehtiin empiirisesti testatulla IDA-ICE-simulaatiomallilla, ja simuloiduissa tapauksissa vuotoilmaluvun  $n_{50}$  jakajan arvo vaihteli 12 ja 44 välillä.

Artikkelin mukaan määriteltäessä vuotoilmakerrointa tulisi RakMk:n osan D5 kaavassa 4.8 vuotoilmaluvun  $n_{50}$  jakajan arvon 25 sijasta käyttää esim. Shermanin esittämää periaatetta, jossa jakaja muodostuu ilmastovyöhykkeen, tuuliolosuhteiden, vuotopaikan, rakennuksen korkeuden, ilmanvuotokertoimen ja ilmanvaihdon tasapainon korjauskertoimien muodostamasta arvosta. Vuotoilmakertoimen laskemiseen tulisi artikkelin mukaan käyttää kaavaa (9):

$$n_{inf} = n_{50} / LWDHEB \quad (9)$$

L on ilmastovyöhykekerroin  
W on tuuliolosuhdekerroin  
D on vuotopaikkakerroin  
H on kerroslukumääräkerroin  
E on ilmastuvuotokerroin  
B on ilmanvaihdon tasapainokerroin

Kertoimien arvot on esitetty kuvassa 30.

**Table 7**  
Correction factors for the adapted model

Climate zone	I– III	IV		
L	27	25		
Wind conditions	Exposed	Rural	Sheltered	
W	0.5	0.7	1	
Leakage distribution	Dr. roof/base floor	Typical	Dr. roof	Dr. base floor
D	0.8	1	1.1	1.2
Number of stories	1	2		
H	1.6	1		
Flow exponent	Larger cracks	Typical	Smaller cracks	
E	0.7	1	1.4	
Balance of ventilation	Balanced	Positively/negatively pressurized		
B	1	0.8		

Kuva 30. Korjauskertoimet (30)

Jos laskelmissa käytetään Helsingin kaupungin rakennusvalvontaviraston energiaselvitys-laskuria ja halutaan käyttää jakajana tarkempaa arvoa, joka koostuu edellä mainituista tekijöistä, tulee vuotoilmaluku  $n_{50}$  normeerata kaavaan sopivaksi.

Jakajan arvoksi saadaan 66,5 taulukon 7 mukaisilla korjauskertoimilla:

Taulukko 7. Korjauskertoimet

L	Ilmastovyöhyke	27	Climate zone	I
W	Tuuliolosuhteet	1	Wind conditions	Sheltered
D	Vuotopaikka	1,1	Leakage distribution	Roof
H	Kerroslukumäärä	1,6	Number of stories	1
E	Ilmavuodot	1,4	Flow exponent	Smaller cracks
B	Ilmanvaihdon tasapaino	1	Balance of ventilation	Balanced
		<b>66,5</b>		

Näin ollen vuotoilmakerroimeksi  $n_{\text{vuotoilma}}$  saadaan arvo 0,284 1/h. Vastaavaan vuotoilmakerroin saadaan syöttämällä laskuriin  $n_{50}$  vuotoilmaluvuksi 7,1 1/h, kun jakaja on 25. Laskenta on esitetty liitteessä 16.

Tällä vuotoilmaluvun tarkennuksella saadaan ET-luvuksi Helsingissä 197 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus on 32 659 kWh, josta lämmitysenergian osuus on 27 503 kWh ja laitesähkön 5 155 kWh.

#### 7.1.5 Ilmanvuotoluvun vaikutus energialaskelmiin

Takan ja ilmalämpöpumpun yhteisvaikutus lämmitysenergiaan vuositasolla arvioitiin suuntaa-antavien mittaustulosten perusteella olevan luokkaa 6 642 kWh. Taulukon 8 perusteella voidaan todeta, että käytettäessä ilmanvuotoluvulle arvoa  $n_{50} = 4$  1/h, energiankulutuslaskelma juuri tämän kohdekiinteistön tapauksessa on samaa suuruusluokkaa kuin laskelma, jossa käytetään ns. Shermanin menetelmällä määritettyä ilmanvuotoluvun arvoa.



Taulukko 8. Ilmanvuotoluvun vaikutus energialaskelmiin

	vaihe II <b>n<sub>50</sub> = 4</b>	vaihe III <b>n<sub>50</sub> = 18,9</b>	vaihe III <b>n<sub>50</sub> = 7,1</b>
Laskelmissa käytetty ilmavuotoluku			
ET luku	186	241	197
Lämmitysenergiankulutus / kWh	<b>25619</b>	<b>34806</b>	<b>27503</b>
Laitesähkö / kWh	5155	5155	5155
Kokonaisenergiankulutus / kWh	30775	39962	32659
Sähkölasku / kWh	24000	24000	24000
Ero kokonaisenergian kulutukseen	<b>6775</b>	<b>15962</b>	<b>8659</b>

Taulukosta 8 on nähtävissä myös, että käytettäessä laskelmissa mitattua arvoa  $n_{50} = 18,9$  1/h, energiankulutuslaskelma osoittaa huomattavan suurta energiankulutusta kyseiselle kohteelle verrattuna sähkölaskun mukaiseen kulutukseen. Todetaan, että ns. Shermanin menetelmällä laskettu ilmanvuotoluku antaa energiankulutuslaskelmassa huomattavasti realistisemmän tuloksen, kuin käytettäessä mitattua arvoa.

Jos kohdekiinteistö sijaitsisi paljaalla, erittäin tuulisella paikalla ja tuuliolosuhdekertoimena käytettäisiin arvoa 0,5 arvon 1 sijaan, saataisiin vuotoilmakertoimeksi Shermanin menetelmällä 0,568 1/h. Tämä luku normeerattuna laskentataulukkoon sopivaksi (kun jakaja on 25), olisi 14,2 1/h. Näillä arvoilla kokonaisenergiankulutus Helsingissä nousisi vuositason 37 032 kWh:iin ja lämmitysenergiankulutus 31 877 kWh:iin. ET-luvuksi saataisiin 223 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi.

Tämä tarkastelu tukee myös Building and Environment -lehden artikkelin *Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses* (30) tutkimustulosten osoittamaa päätelmää, että kohteen vallitsevat olosuhteet ovat yksilöllisiä ja ilmanvuotoluvun määrittämiseksi tulisi ainakin olemassa olevien rakennusten osalta käyttää tarkempaa tarkastelua. Edellinen selittää myös sen, miten esim. suojainen paikka vaikuttaa kohdekiinteistön sähköenergiankulutusta pienentävästi (tässä lähes 4 400 kWh vuodessa).

Tasauslaskentaopas ohjeistaa käyttämään energialaskennassa  $n_{50}$  ilmavuotolukuna arvoa 4,0 1/h tai mittauksin osoitettua pienempää arvoa. Arvioitaessa yksittäisen pientalon energiantarvetta todetaan RakMk:n osan D5 ja tasauslaskentaoppaan ohjeistuksen olevan uudisrakennuksen energialaskelmiin tarkoituksenmukainen. On kuitenkin

aiheellista tiedostaa, että D5:n mukainen vuotoilmakertoimen määrittelyssä käytetty ilmanvuotoluvun jakajan arvo 25 ei tarkemmassa tarkastelussa ole yksiselitteinen. Tämä tulisi ottaa huomioon varsinkin arvioitaessa jo olemassa olevien rakennusten energiankulutusta. Jakajan muodostuminen vallitsevien olosuhteiden useista eri tekijöistä selittänee myös osaltaan laajan kirjon samankin kohteen energialaskennan tuloksissa.

## 7.2 Remontin jälkeen

### 7.2.1 Vaihe IV: Energialaskelmat remontin jälkeen

Lopullisessa energialaskelmassa käytettiin vaiheen III laskentaa pohjana (korjattu ilma- vuotoluku  $n_{50} = 7,1$  1/h) ja ainoastaan ilmanvaihdon arvoja muutettiin (laskenta on esitetty liitteessä 17). Painovoimaisen ilmanvaihdon vaikutus poistettiin ja koneellisen ilmanvaihdon arvoja käytettiin seuraavasti:

Mittausten (9.10.2012) perusteella ilmanvaihdon tuloilmavirtana  $q_{v,TP}$  käytettiin 77,1 l/s ja poistoilmavirtana  $q_{v,PP}$  59,2 l/s. Kanavapaineeksi tulo- ja poistopuolelle  $\Delta p_{F,TP/PP}$  arvioitiin kanaviston vaikeimman reitin perusteella 70 Pa. Käytettävissä ei ollut päivitettyä piirustusta ilmanvaihtokanavistosta ja kanavapainearvion voidaan todeta olevan ainoastaan lähellä todellisen kanavapaineen suuruusluokkaa. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien sähköteho  $P_{e,TP/PP}$  119 W otettiin valmistajan teknisestä esitteestä (31).

Tulo- ja poistoilman lämpötiloja ennen ja jälkeen lämmöntalteenoton mitattiin ajanjaksolla 12.–14.10.2013. Ulkoilman keskimääräinen lämpötila mittausjaksolla oli 4,5 °C, minkä voidaan arvioida riittävästi edustavan keskimääräistä vuotuista käyttötilannetta. Tuloilman lämpötilana käytettiin  $T_{tulo}$  16,2 °C:ta mittauksien perusteella ja poistoilman lämpötilaksi  $T_{jäte,mit}$  arvioitiin –8,0 °C. Asuinpienitalon ollessa kyseessä ilmanvaihdon oletettiin olevan päällä 24 tuntia vuorokaudessa viikon jokaisena päivänä. Tuloilman lämpötilahyötysuhteena  $\eta_t$  käytettiin laskelmissa mittauksen perusteella saatua keskiarvoa 74 % ja RakMk:n osan 5D (24) mukaisesti poistoilman lämmöntalteenoton keskimääräisenä hyötysuhteena  $\eta_a$  laskentajaksolla 78 %.

Näiden arvojen muutoksilla lisättynä arvioidulla integroidun ilmalämpöpumpun vaikutuksella (2197 kWh, liite 18), ET-luvuksi Helsingissä saatiin 183 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi. Ra-

kennuksen kokonaisenergiankulutus on 30 457 kWh, josta lämmitysenergian osuus on 25 301 kWh ja laitesähkön 5 155 kWh.

Todetaan ilmanvaihtoremontin vaikutuksen laskennalliseen lämmitysenergian kulutukseen olevan 2 202 kWh vuodessa.

### 7.2.2 Laskennallinen säästö lämmitysenergiankulutuksessa

Mikäli ilmanvaihtojärjestelmään integroidun ilmalämpöpumpun arvioitua vaikutusta (2 197 kWh) ei oteta huomioon, säästö lämmitysenergiankulutuksessa energiaremontin jälkeen on laskennallisesti vain 5 kWh vuositason verrattuna tilanteeseen ennen remonttia. Jos huomioidaan ilmalämpöpumpun vaikutus ja aiemmin mittauksin todettu huoneiston ilmanvaihdon ylipaineisuus sekä ajatellaan, että laskennallinen vuotoilman vaikutus 4 604 kWh voidaan ylipaineisuuden vuoksi jättää huomiotta, on laskennallinen lämmitysenergian säästö vuositason noin 25 %. Tässä yhteydessä tulee huomioida, että mittauksin todettu ylipaineisuus ei ilmanvaihdon ilmavirtojen mukaan ja lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhdemittausten perusteella ollut keskenään yhtä suuri. Todetaan, että ainakin toisen näistä mittaustuloksista on oltava virheellinen mutta molemmat antavat samansuuntaisen tuloksen ilmanvaihdon ylipaineisuudesta.

Energiaremontin myötä huoneiston ilmanvaihto on paljon suurempi kuin ennen remonttia, mikä vaikuttaa selvästi energiankulutukseen. Voidaan todeta sisäilman laadun kuitenkin parantuneen huomattavasti ja ikkunatuuletustarpeen poistuneen. Tavoitteeksi asetettua 50 %:n säästöä lämmitysenergian tarpeessa ei laskennallisesti saavutettu.

### 7.2.3 Uusi rakentamismääräyskokoelman osa D3

Remontin aikataulu venyi huomattavasti alkuperäisestä tavoitteesta ja projektin aikana tuli 1.7.2012 alkaen voimaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3: Rakennuksen energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet (10). Edelleen tiukentuneet energiamääräykset vaativat uudisrakennuksilta suunnitteluratkaisua, joka osoittaa kohderakennuksen toteutettavaksi aiotun suunnitelman määräysten mukaisuuden.

Uuden RakMk:n osan D3 (10) mukaan käyttöön tuli uusi ilmanvuotoluku  $q_{50}$  ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ), jolla tarkoitetaan

rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja. (10)

Myös kokonaisenergiankulutuksen laskentatapa muuttui uuden D3:n myötä ja energiamuodot saivat kertoimet, joita käytetään ostoenergian laskennassa. Sähkölämmitykselle energiakerroin on 1,7 ja rakennuksessa käytettävien uusiutuvien polttoaineiden kerroin on 0,5. Muiden energiamuotojen kertoimet ovat välillä 0,4–1,0.

Uudet rakentamisen energiamääräykset mittaavat rakennusten energiatehokkuutta kokonaisenergiankulutuksella, E-luvulla. E-luku lasketaan kaavalla (10) ostoenergiankulutuksesta ja sitä voidaan verrata ns. normikulutukseen.

$$\text{E-luku} = (\sum \text{rakennukseen ostettu energia} * \text{energiamuodon kerroin}) / \text{lämmitetty nettoala} \quad (10)$$

E-luvun perusteella määräytyy rakennuksen energiatodistuksen energiatehokkuusluokka. (32.) Jos rakennukseen ostettavan energian oletetaan olevan 25 000 kWh, kohdekiinteistön E-luvun voidaan laskea olevan

$$(25\,000 \text{ kWh} * 1,7) / 156,3 \text{ m}^2 = 272 \text{ kWh/m}^2$$

Mikäli kohdekiinteistössä pääsääntöinen energiamuoto olisi uusiutuva esim. maalämpö, E-luku olisi 80 kWh/m<sup>2</sup> ollen näin huomattavasti parempi. Tämän kokoluokan uudisrakennuksen E-luvun tulee uusien määräysten mukaan olla alle 162 kWh/m<sup>2</sup>.

Riippumatta käytetystä energiamuodosta rakennuksen energiantarve ei sinällään muutu. Uuden E-luvun laskentatavan myötä voidaan todeta uusiutuvien energiamuotojen suosimisen uudisrakentamisessa korostuvan.

## 8 Kokemukset remontista

### 8.1 Remontin toteutusaikataulu

EEMontti-projektin tavoitteena oli mm. kerätä tietoa toteutusprosessista sekä kokonaispalvelukonseptin kehittämistarpeista. Kilpailuohjelma määritteli remontin kestosta seuraavaa:

- Korjauksen toteutus (remontti) saa kestää enintään 3 viikkoa.
- Remonttien toteutuksen tulisi sijoittua aikavälille joulukuu 2011 – tammikuu 2012 (1.12.2011–31.1.2012).
- Remontin toteutus ei saa aiheuttaa omistajalle 3 päivää pidempää poisoloa asunnosta.

Asukkaat pystyivät asumaan kotonaan koko remontin ajan, mutta aikataulu poikkesi huomattavasti tavoitteeksi asetetusta kolmesta viikosta. Ennen remonttia asukkaat totesivat, että "toteutamme kilpailun raadin suositteleman voittajaratkaisun ja valmista pitäisi olla viikolla 3" (33). Sopimus allekirjoitettiin joulukuussa 2011, remontti alkoi tammikuussa 2012 ja vielä marraskuussa 2012 ilmanvaihtojärjestelmään vaihdettiin ohjelmisto. Remontti eteni seuraavasti:

Sopimus allekirjoitettiin	16.12.2011
Vesimittarin asennus	21.12.2011
Remontin aloitus	Tammikuu 2012
Sähkölämmittimien asennus	11.01.2012
IV-laitteisto asennettu, ei säädetty	22.02.2012 (äänitaso 33 dB MH)
LKV:n mittarointi eVahtiin työn alle	01.03.2012
Äänenvaimentimen asennus, ilmapirtojen säätö	10.04.2012
IV-järjestelmän ohjelmiston vaihto	11.06.2012
IV-järjestelmän ohjelmiston vaihto	07.11.2012
IV-järjestelmän ohjelmiston vaihto	12.11.2012

Toteutusaikataulun osalta remontti ei täyttänyt kilpailussa asetettuja vaatimuksia. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjelmisto vaihdettiin useaan kertaan projektin aikana eikä käyttökokemuksia uudesta ohjelmistosta vielä ole tätä tekstiä kirjoitettaessa. Remonttia edeltävä mittausdatan kerääminen aloitettiin marraskuussa 2011, eli asukkaalle on

aiheutunut jo vuoden verran vaivaa remontin lisäksi mm. lukuisista kohde- ja mittaus-käynneistä sekä palavereista.

Remontin viivästyminen vaikutti lisäksi myös vuoroin kohdekiinteistössä asuvan lapsiperheen ja vuoroin urakoitsijan työntekijöiden sairastelu. Vaikka remontti viivästyi moninkertaisesti alkuperäisestä aikataulusta, vaikuttaa perhe tyytyväiseltä remontiin, sillä he ovat pystyneet asumaan kotona koko remontin ajan.

## 8.2 Asukkaan kokemukset ja palaute

Kohdekiinteistön asukkaat ovat jo useita vuosia miettineet erilaisia keinoja saada huomattavan suuret sähkölaskut pienemmiksi. EEMontti-kilpailulta he odottivat taloudellisen hyödyn lisäksi juuri kyseiselle kohteelle räätälöityjä järkeviä ja toimivia ehdotuksia, jotka olisivat myös ympäristöystävällisiä. (33.)

Tarjottujen erilaisten vaihtoehtoisten ratkaisujen määrä oli asukkaille pettymys. Tähän kohdekiinteistöön hyväksyttyjä tarjouksia, jotka täyttivät kilpailun ehdot, jätettiin vain kaksi. Molemmat tarjoukset tulivat samalta laitetoimittajalta ja koskivat ilmanvaihdon uusimiseen perustuvaa ratkaisua. Valittu tarjous vastasi kuitenkin perheen ennakkoodotuksia ja vaikutti varsin laadukkaalta. (33.) Perhe kertoo ennen tarjousten läpikäymistä pohtineensa, että tarjousten joukossa olisi varmasti myös lämmöneristyksen lisäämiseen liittyviä ratkaisuja (34).

Koska perheen koti oli uuden saneerausratkaisun pilottikohde, laitteisto vaati vielä pieniä viilauksia käyttöönoton jälkeen (35). Lisäksi asukkaille oli yllätys ilmanvaihtolaitteiston käytettävyys ja hiukan monimutkainen säätöjärjestelmä. Asukkaat totesivatkin, että pitäisi melkein olla insinööri, että osaisi käyttää oman talonsa ilmanvaihtoa oikein.

Aiemmin perheessä pidettiin sisäilmaa kunnossa lähinnä ikkunatuuletuksella puutteellisen ilmanvaihdon vuoksi. Nyt ilma tulee hallitusti sisään venttiilien kautta ja poistuu sauna-, suihku-, wc- ja keittiötilojen kautta. Huomattava muutos sisäilman laadussa parempaan suuntaan on perheen mukaan havaittavissa selkeästi ja erityisesti keväällä siitepölyaikaan.

Toinen tärkeä ja näkyvä asia on vanhojen peltipattereiden vaihtuminen nykyaikaisiksi lämmittimiksi. Vanhoja pattereita ei juurikaan pidetty päällä, sillä käytännössä ne ovat joko jääkylmiä tai todella kuumia. Vanhojen pattereiden kuumuus koettiin epämiellyttävän pistemäiseksi ja yksi lapsista saikin keskivaikean palovamman vanhoista patterista. Nähtäväksi jää, säästääkö pattereiden uusiminen sähköä, mutta asumisviihtyvyyden lisääntyminen riittää niiden osalta, perheen äiti toteaa. (34.)

Asukkaat toteavat olevansa varsin tyytyväisiä osallistumisestaan EEMontti-kilpailuun. Vaikka jo alkumetreiltä lähtien perhe arvioi, että valitulla ratkaisulla ei ehkä päästä energiansäästötavoitteisiin, on ratkaisu parantanut huomattavasti sisäilman laatua ja asumisviihtyvyyttä sekä vienyt energiansäästötavoitteita oikeaan suuntaan. Kilpailun aikana tehdystä kuntotarkastuksesta asukkaat ovat saaneet hyödyllistä tietoa talostaan, mikä auttaa edelleen mahdollisten tulevien remonttien suunnittelussa. (33.)

### 8.3 Urakoitsijan kokemukset ja palaute

Ilmanvaihtoremontin kohteessa suoritti alihankintana IV Spesialistit Oy Ab. Työnjohtajan haastattelun (36) perusteella asennus ei aikataulullisesti mennyt ihan niin hyvin, kuin olisi toivonut. Aikataulut venyivät käytännössä aina, ja kolme viikkoa on urakoitsijan mielestä aika kova haaste remontille. Remontti on periaatteessa mahdollista viedä kolmessa viikossa läpi, mutta käytännössä se on osoittautunut lähes mahdottomaksi.

Jotta kolmen viikon remontin läpivientiaika olisi mahdollista, olisi urakoitsijan mielestä selvítettävä kohteen nykyinen tilanne ja järjestelmät huolellisesti. Paremmin valmisteltu pohjatyö ja kohteen nykytilanteen selvittäminen, myös asentajan toimesta, helpottaisi asennustöitä. Tarjous ja suunnitelmat olisi hyvä tehdä vasta sitten, kun kohteeseen on paikan päällä tutustuttu.

Myös suunnittelijalla on projektissa suuri merkitys. Urakoitsija ehdottaakin, että suunnittelijat osallistuisivat oppimistarkoituksessa asennustyöhön edes muutamilla työmailla. Tätä kautta suunnittelijat voisivat kartuttaa käytännön ymmärrystään työn eri vaiheista ja toteutustavoista, mitä voisi edelleen hyödyntää suunnittelussa. Tämä saattaisi olla yksi keino välttää suuremmilta yllätyksiltä asentamaan mentäessä, mikä puolestaan vaikuttaisi myös aikataulujen pitävyyteen.

Urakoitsijalla on työn alla muutama muukin energiaremontti. Remontit ovat vasta alullaan eli energian säästötavoitteiden toteutuminen selviää vasta ajan kuluessa. Asiakkaat ovat kuitenkin antaneet jo palautetta ja olleet tyytyväisiä selkeästi parantuneeseen sisäilman laatuun. Liitteessä 19 on urakoitsijan haastattelu

#### 8.4 Palvelukonseptin kehittäminen

EEMontti-kilpailun asiantuntijaraati oli yllätynyt tarjousten vähäisestä määrästä. Vaikka kilpailu oli kaikille avoin, ei hyväksyttävissä olevia tarjouksia tullut yhteensä kuin seitsemän EEMontti-kilpailun neljään referenssikohteeseen. Tarjousten vähäinen määrä osoittanee talotekniikka-alan puutteellista kykyä ottaa vastuuta kokonaisvaltaisesta energiaremontin toimituksesta (34).



## 9 Yhteenveto

Suomessa on yli puoli miljoonaa sähkölämmitteistä pientaloa, joiden energiankulutus ei vastaa nykypäivän standardeja. Tämä insinööritoimisto on koottu EEMontti – Lämmityskulut puoleen -kilpailun seurannan aikana kerättyjen mittaustulosten perusteella. Työn tavoitteena on tuottaa yhden kilpailussa mukana olleen kohdekiinteistön laskennallinen arvio lämmitysenergiantarpeesta ennen ja jälkeen energiaremontin sekä arvioida remontin vaikutuksia kohdekiinteistössä, kerätä tietoa toteutusprosessista ja kokonaispalvelukonseptin kehittämistarpeista. Lisäksi työssä esitellään laskelmiin liittyvää teoriapohjaa ja problematiikkaa.

Työssä raportoidaan yhden kilpailussa mukana olleen kiinteistön energiankulutuksen seurantaan, jotta energiaremontin aikaansaamat todelliset säästöt energiankulutuksessa saadaan havainnoitua ja dokumentoitua puolueettomalla tavalla (2). Mittaustuloksia ja teoreettisia laskelmia hyödyntämällä tuotetaan arvio siitä, miten remontti on saavuttanut taloudelliset, toiminnalliset ja tekniset tavoitteensa.

Toiminnallisesti energiaremontin arvioitiin olleen kannattava. Pelkästään tarkastelemalla asiaa sisäilman laadun suhteen, voidaan remontin sanoa kannattaneen, sillä sisäilman laatu parani huomattavasti verrattuna remonttia edeltäneeseen tilanteeseen. Mittauksin voitiin osoittaa hiilidioksidipitoisuuksien laskeneen huomattavasti. Keskiarvopitoisuus laski ensimmäisen jakson keskiarvosta 1 296 ppm toisen jakson keskiarvoon 584 ppm. Korkein pitoisuus ensimmäisellä mittausjaksolla oli 2 928 ppm ja toisella mittausjaksolla 921 ppm. Sisäilman laadun parantuminen kohdekiinteistössä on myös aistinvaraisesti selkeästi havaittavissa. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuus on remontin jälkeen pysynyt terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla ja nykyiset asunnon ilmanlaadun tavoitearvot hiilidioksidipitoisuuden osalta täyttävät Sisäilmastoluokituksen 2008 tavoitearvot sisäilmastoluokalle S1. Myös energiaa kuluttavan ikkunatuuletuksen tarve on poistunut ja asumisviihtyvyys lisääntynyt ilmavaihtoremontin myötä.

Teknisesti ilmanvaihtoremontin myötä asennettu ratkaisu on innovatiivinen, ja se mahdollistaa säästöä energiankulutuksessa. Kohdekiinteistö toimi kuitenkin ratkaisun pilot-tikohteenä, ja laitteiston ja ohjelmiston säätö sekä käyttöliittymä kaivannee vielä tuotekehittelyä. Rakennuksen ilmanvaihdon havaittiin mittauksin olevan ainakin hetkellisesti

ylipaineinen. Asiaa on syytä seurata ja tutkia tarkemmin. Ilmanvaihto tulisi säätää hie-  
man alipaineiseksi, jotta vältetään mahdolliset tulevat kosteusongelmat rakenteissa.

Taloudellisessakin mielessä voidaan sanoa energiaremontin tavoitteiden täyttyneen. Kiinteistön arvo nousi energiaremontin myötä, ja asukkaat voivat nauttia pienemmistä  
sähkölaskuista. Remontti tehtiin lainarahalla, mutta perhe uskoo sähkölaskun pienen-  
tyvän lainanhoitoa vastaavalla summalla. Alkuperäisestä 50 %:n säästötavoitteesta  
lämmitysenergian kulutuksessa ollaan toistaiseksi vielä jäljessä. Laitteiston säätö toi-  
minnallisesti optimaaliselle tasolle korjannee energiankulutusta vielä alaspäin, mutta  
tavoiteltua säästöä tuskin kokonaisuudessaan tällä ratkaisulla saavutetaan.

Vaikka laskennassa käytettiin Helsingin kaupungin rakennusvalvontaviraston valmista  
taulukkolaskentaohjelmaa, osoittautui laskenta haastavaksi. Laskentaa varten määritel-  
tiin lukuisia lähtöarvoja joko mittaamalla tai käyttämällä Suomen rakentamismääräys-  
kokoelman osan D5 mukaisia arvoja. Mitä enemmän lähtötiedot perustuvat arvioon,  
hyväksi havaittuun käytäntöön tai määräystenmukaisuuteen, sen todennäköisemmin  
laskennan lopputulos käytännössä poikkeaa todellisesta, tästä yhtenä esimerkkinä  
ilmatiiveyden määrittäminen. Myös mittauksien mahdollinen virheellisyys vaikuttaa  
laskennan lopputuloksen luotettavuuteen heikentävästi.

Ilmatiiveyden määrittämisen ohjeiden RakMk:n osassa D5 ja ympäristöministeriön ta-  
sauslaskentaoppaassa 2010 havaittiin aiheuttavan mahdollisesti epäselvyyttä. Ohjeet  
eivät ole aivan yksiselitteiset, mikäli ohjeistusta tulkitaan sanatarkasti. Työn edetessä  
havaittiin, että käyttämällä ns. Shermanin menetelmää olemassa olevan rakennuksen  
ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  määrittämisessä, energiankulutuslaskelma vastaa paremmin ole-  
massa olevan rakennuksen todellista kulutusta. Tasaustalousohjeeseen (3) mukaan  
mittaamalla huonoksi havaitun ilmapitävyysparantaminen on energiatehokkuuden  
kannalta suositeltavaa ja toimivuuden kannalta yleensä välttämätöntä. Talon tiiviyyttä  
tulisi siis tutkia tarkemmin ja ryhtyä korjaaviin toimenpiteisiin.

Mikäli kaikki lämpöenergiaa rakennukseen tuottavat laitteet toimivat kokonaan sähköl-  
lä, voidaan kiinteistön kokonaisenergiantarpeen ajatella olevan luettavissa suoraan  
sähkölaskusta. Tilanne hankaloituu heti huomattavasti, kun laskelmiin otetaan mukaan  
takka tai ilmalämpöpumppu, joiden lämmöntuotto ja sähköenergiankulutus eivät ole  
keskenään yhtä suuret. Kenttämittaukset sekä ilmalämpöpumpun ja takan tuottaman

lämpöenergian arvioiminen laskennallisesti osoittautuivat hankaliksi. Kohdekiinteistössä saavutettu todellinen energiansäästö selvinnee tulevista sähkölaskuista.

Energiaremontin konseptointi vaatii vielä lisää tuotekehittelyä. Haasteita asettaa jokaisen kohteen erilaisuus sekä lukuisat toimijat alalla, joiden yhteistyö tulisi saada hiottua saumattomaksi. Kuluttajan on vaikea tulkita tarjottuja ratkaisuja ilman teknistä taustaa, kokihan EEMontti-kilpailun asiantuntijaraatikin tarjottujen ratkaisujen vertailun haastavaksi.

Jokainen rakennus on erilainen ja vallitsevat olosuhteet ovat yksilöllisiä. Tarkan ja mitattua vuosikulutusta vastaavan energialaskelman tuottaminen on lähes mahdoton tehtävä. Mitä tarkemmalle tasolle mittauksissa ja tulosten tarkastelussa edetään, sitä enemmän lienee syytä pohtia, missä kulkee tarkoituksenmukaisuuden raja.

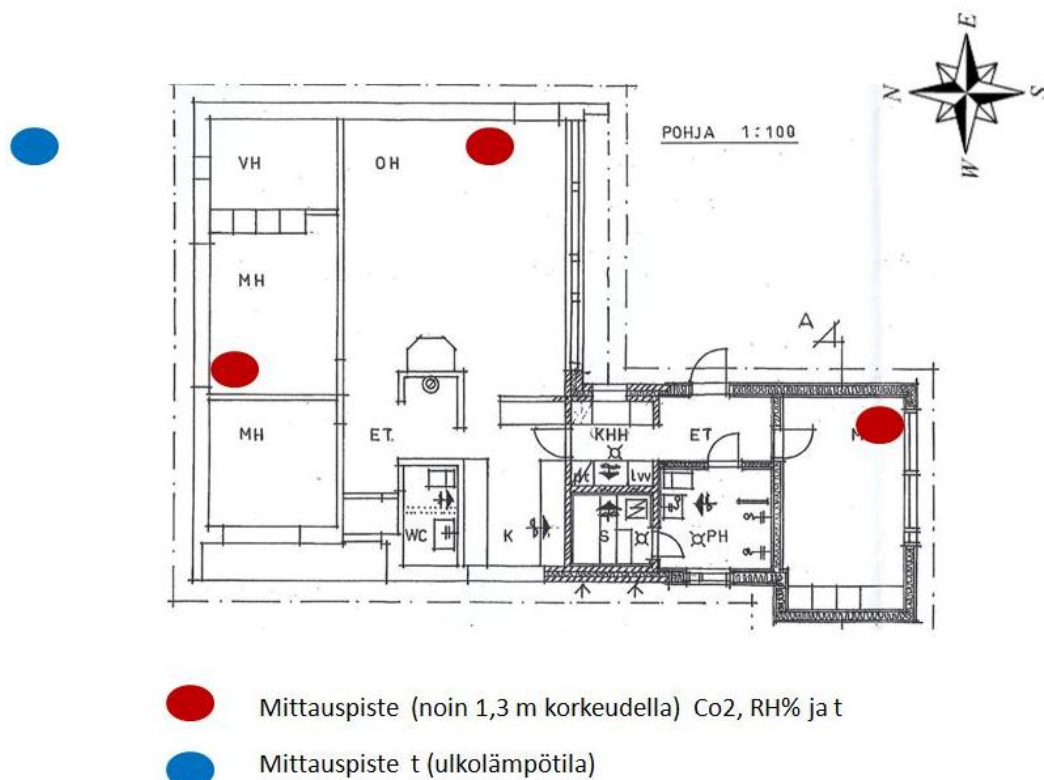
## Lähteet

- 1 Yrjölä, Jukka. 2011. Hankkeen projektisuunnitelma 02.09.2011, julkaisematon.
- 2 Häkämies, Suvi ja Haakana, Arto. 2011. EEMontti hankesuunnitelma, versio 2.9.2011. Vantaa. Green Net Finland.
- 3 Tasauslaskentaopas 2010. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. 2010. Ympäristöministeriö.
- 4 Uudet vaatimukset vähentävät rakennusten energiankulutusta. 2002. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=66594&lan=FI>>. Luettu 17.9.2012.
- 5 EEMontti kilpailuohjelma. 2011. Verkkodokumentti. Green Net Finland Oy. <[http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/08/EEMontti\\_kilpailuohjelma\\_260911.pdf](http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/08/EEMontti_kilpailuohjelma_260911.pdf)>. Luettu 12.9.2012.
- 6 Vantaan kaupungin rakennusvalvonnan arkisto. Vierailu. 17.11.2011.
- 7 Seppänen, Olli ja Seppänen, Matti. 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: SIY Sisäilmatieto Oy.
- 8 Raksystems Anticimex Oy. 2011. Kuntokartoitusraportti. Vantaa.
- 9 Luukka, Julius. 2010. Asuinrakennusten lämmitysenergiankulutuksen vähentäminen. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 10 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 11 EEMontti tarjousten arviointi - Asiantuntijaraadin lausunnot kilpailutarjouksista. 2011. Verkkodokumentti. Green Net Finland ry. <[http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/11/EEMontti\\_Tarjoukset\\_raadin\\_lausunnot\\_final.pdf](http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/11/EEMontti_Tarjoukset_raadin_lausunnot_final.pdf)>. Luettu 10.01.2013.
- 12 Ensto Beta Mini esite. Verkkodokumentti. Ensto Finland Oy. <[http://www.ensto.com/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/ensto/embeds/ensto\\_wwwstructure/19456\\_A4\\_leaflet\\_Beta\\_Mini\\_FIN.pdf](http://www.ensto.com/instancedata/prime_product_julkaisu/ensto/embeds/ensto_wwwstructure/19456_A4_leaflet_Beta_Mini_FIN.pdf)>. Luettu 17.9.2012.
- 13 Pohjois-Karjalan sähkön asiakaslehti Kymppi 01/2010. Verkkodokumentti. <<http://www.digipaper.fi/pohjois-karjalansahko/40280/index.php?pgnumb=13>>. Luettu 16.2.2013.
- 14 Ensto eVahti Jokakodin energiamittari esite. 2011. Verkkodokumentti. <[http://www.ensto.com/download/20395\\_Ensto\\_eVahti\\_brochure\\_FIN\\_lores.pdf](http://www.ensto.com/download/20395_Ensto_eVahti_brochure_FIN_lores.pdf)> Luettu 17.9.2012.

- 15 Ensto eVahti ECO602. Verkkodokumentti. Ensto. <[http://products.ensto.com/catalog/19127/Ensto%20eVahti%20ECO602\\_FIN1.html](http://products.ensto.com/catalog/19127/Ensto%20eVahti%20ECO602_FIN1.html)>. Luettu 17.9.2012.
- 16 Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita. 2008. Asumisterveysopas. Vammala: Ympäristö ja Terveys -lehti.
- 17 SFS 5511. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. 1989. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita. 2003. Asumisterveysohje. Helsinki: Edita Prima Oy.
- 19 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Määräykset ja ohjeet 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 20 Sisäilmastoluokitus 2008. Rakennustietokortisto. 2008. LVI 05-10440 ohjekortti. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 21 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. 1998. Määräykset ja ohjeet 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 22 SFS 5512. Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. 1989. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 23 Ilmavirtojen mittaus- ja säätöopas. 2011. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy <<http://www.flaktwoods.fi/184/0/3/aaf939c0-af71-4df4-9f84-b5513b9ed6f3>>. Luettu 4.1.2012.
- 24 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Ohjeet 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 25 Immonen, Markus. 2012. Lämpökuvausmittausraportti. 23.3.2013. Julkaisematon.
- 26 M Series new product information. MSZ-FD35VA. Verkkodokumentti. <[http://www.pmcoppack.com/shop/datasheets/product\\_datasheets/MSZ-FD35VA.pdf](http://www.pmcoppack.com/shop/datasheets/product_datasheets/MSZ-FD35VA.pdf)> Luettu 1.12.2011.
- 27 Sähkölaitteiden keskimääräinen sähkönkulutus. 2012. Verkkodokumentti. Vattenfall energianeuvonta. <<http://www.vattenfall.fi/fi/keskimaarainen-kulutus.htm>>. Päivitetty 9.1.2013. Luettu 15.2.2013.
- 28 SFS EN-308. Heat exchangers. Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices. 1997. Suomen Standardisoimisliitto.
- 29 Harju, Pentti. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Anjalankoski: Penan Tieto-Opus Ky.

- 30 Jokisalo, J., Kurnitski, J., Korpi, M., Kalamees, T. & Vinha, J. 2009. Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses. *Building and Environment*. Vol. 44, s.377-387.
- 31 Laitemallin valintasivu. 2012. Valmistajan verkkosivut. Enervent Oy. <[http://www.enervent.fi/model\\_selection\\_page.asp?menuid=20150&langid=1&countryid=100&modelid=5&fanid=15&controlid=5&sideid=1&heatingid=5&coolingid=9](http://www.enervent.fi/model_selection_page.asp?menuid=20150&langid=1&countryid=100&modelid=5&fanid=15&controlid=5&sideid=1&heatingid=5&coolingid=9)>. Luettu 2.2.2013.
- 32 Kurnitski, Jarek. 2012. Nyt kannattaa katsoa pintaa syvemmälle. Vuoreksen messutalojen energiatehokkuus. *Talotekniikka* 5/2012, s.27.
- 33 EEMontti Lämmityskulut puoleen. Kohdekiinteistöt. 2011. Verkkodokumentti. Green Net Finland Ry. <[http://www.eemontti.fi/?page\\_id=8](http://www.eemontti.fi/?page_id=8)>. Luettu 10.1.2013.
- 34 Rautio, Arto. 2012. Kannattavaa energiansäästöä vanhaan sähkölämmitystaloon. *Talotekniikka* 5/2012, s. 34-37.
- 35 EEMontti lämmityskulut puoleen. Mahdollista myös sinulle. 2012. Painettu esite-vihko.
- 36 Hällsten, Kim. 2012. IV-Spesialistit Oy Ab, Loviisa. Puhelinhaastattelu 26.9.2012.

# Mittalaitteiden sijoituspaikat, sisäilman olosuhteet ja ulkolämpötila



## Sisäilmasto-olosuhteiden mittaussuunnitelma

### **MITTAUSSUUNNITELMA**

#### **1. Yleistä**

Neljän pientalon sisäilmasto-olot ja ilmanvaihdon ilmavirrat mitataan. Asukkaille tehdään sisäilmastokysely. Kyselyn perusteella päätetään tarvitaanko täydentäviä mittauksia.

#### **2. Perusmittaukset**

Jatkuvana mittauksena mitataan seuraavat sisäilmastotekijät:

- o ilman lämpötila
- o ilmankosteus
- o hiilidioksidipitoisuus

Kertamittauksina mitataan seuraavat tekijät:

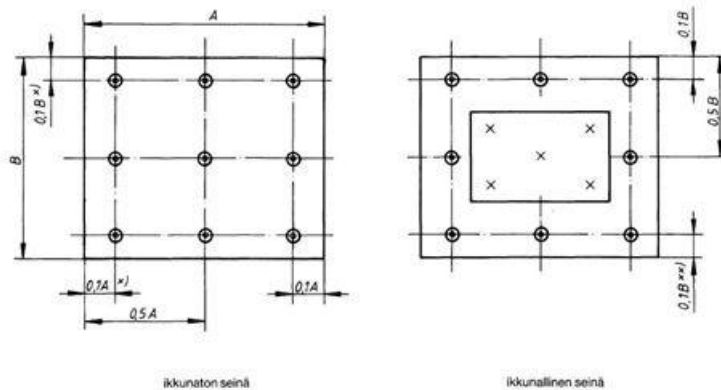
- o ilman liikenopeus
- o lämpötila
- o lämpötilan kerrostuminen
- o lattian lämpöindeksi
- o ulkoseinän lämpöindeksi
- o operatiivinen lämpötila
- o ulkoilman lämpötila
- o tilan tulo- ja poistoilmavirrat
- o tuloilman lämpötila
- o tuloilman kosteus.

Perusmittaukset suoritetaan neljässä kohteessa kahtena eri ajankohtana. Ajankohdiksi on syksy ja talvi. Suositeltavaa olisi, että mittaus jatkuisi yli viikonlopun. Mittaukset suoritetaan SFS-standardien mukaan (SFS-5511).



Ilman kosteus, lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus kirjataan viiden minuutin välein. Viikon mittainen jatkuva mittaus suoritetaan olohuoneessa, jossa kuormitusten määrä vaihtelee eniten.

Tuloilman lämpötila ja kosteus mitataan kertamittauksena. Tulo- ja poistoilmavirrat mitataan huonekohtaisesti ja samalla tarkastellaan ilmanvaihdon toimivuutta käyttötilanteissa. Jos ilmanvaihtoa pystytään säätämään käsin, mitataan ilmavirrat kullakin toimintaportaalla. Lämpötila mitataan 1,1m korkeudesta keskeltä huonetta. Jos on aihetta epäillä kerrostumista, niin kerrostuminen selvitetään mittaamalla 0,1m, 1,1m ja 1,7m korkeudelta.



- <sup>vi</sup> Lattia: vähintään 60 cm ulkoseinästä  
 (●) seinä, lattia      X ikkuna  
<sup>xxi</sup> Ei lämmityspatterista

Kuva 6 Pintalämpötilan mittauspisteet

Lämpötilaindeksi määritellään seuraavasti:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T<sub>sp</sub> = sisäpinnan lämpötila, °C

T<sub>i</sub> = sisäilman lämpötila, °C

T<sub>o</sub> = ulkoilman lämpötila, °C

Lämpötilaindeksin laskemiseksi on määritettävä huoneilman lämpötila, ulkoilman lämpötila ja sisäpinnan (seinä tai lattia) lämpötila.

#### LÄMPÖTILOJEN LÄMPÖTILAINDEKSIEN / ILMAN VIRTAAUSNOPEUDEN

##### OHJEELLISIA ARVOJA

Asunto ja muu oleskelutila	välttävä taso	TI	hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) <sup>1)</sup>	18 <sup>1)</sup>		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 <sup>2)</sup>		20	
Seinän lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	16	81	18	87
Lattian lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	18	87	20	97
Pistemäinen pintalämpötila (°C)	11 <sup>4)</sup>	61	12	65
Ilman virtausnopeus <sup>5)</sup>	vetokäyrä 3		Vetokäyrä 2	

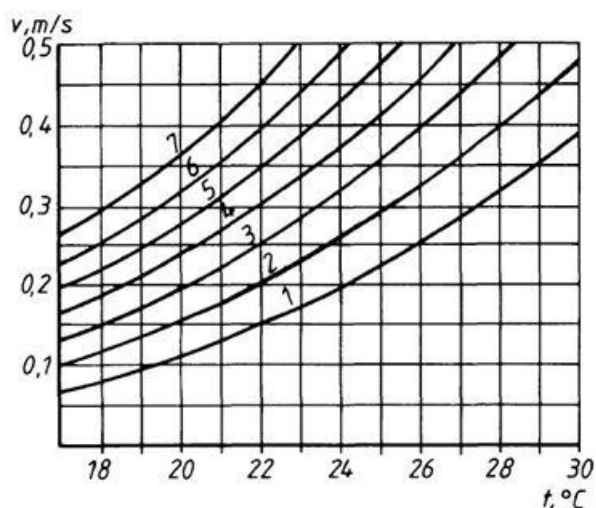
1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää arvoa 23 – 24 °C.

2) Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso 19 °C.

3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä kun ulkoilman lämpötila on – 5 °C ja sisäilman lämpötila + 21 °C. Mikäli mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksillä laskettua vastaavaa pintalämpötilaa.

4) Lämpötilaindeksiä 61 % vastaava pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45 % vastaava kastepistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on – 10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C. Ikkunan, seinännurkkien ja putkien läpiviennin alin hyväksyttävä pintalämpötila.

5) Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyristä



$v$  on ilman enimmäisnopeus

$t$  on ilman lämpötila nopeuden mittauspisteessä

Kuva 7 Vetokäyrät ilman enimmäisnopeuden määrittämiseksi

### 3. Raportointi

Mittauspöytäkirja tehdään KH 20-00260 mukaan. Siinä tulee esittää:

- hankkeen nimi
- mittausajankohta
- mittauspaikka
- mittaajat
- mitatut suureet
- mittausmenetelmät ja laitteet, selvitys laitteiden kalibroinnista
- sääolosuhteet
- muut vaikuttavat olosuhteet

Mittaustulokset esitetään pöytäkirjassa virhearvioineen. Kokonaisvirheinä käytetään KH 20-00260 mukaisia arvoja.

- Ilman lämpötila  $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$
- Operatiivinen lämpötila  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$
- Pintalämpötila  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$
- Ilman kosteus  $\pm 5\%$
- Ilman nopeus  $\pm 0,05\text{m/s}$ , kun nopeus  $\leq 0,5\text{m/s}$   
 $\pm 10\%$ , kun nopeus  $\geq 0,5\text{m/s}$

Muille suureille virhettä arvioidaan kokonaisvirheen kaavalla (KH 20-00260 kaava 1). Pitkäkestoisista mittauksista muodostetaan kuvaaja havainnollistamaan muutoksia.

## Mittaustulokset, ilman liikenopeus ja lämpötila

huone	liikenopeus		lämpötila	
MH 1	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
MH2	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
MH3	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
eteinen	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
keittiö	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
oloh	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
MH4	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
ph.et	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
khh	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
pesuhuone	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
sauna	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

huone	liikenopeus		lämpötila	
wc	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty

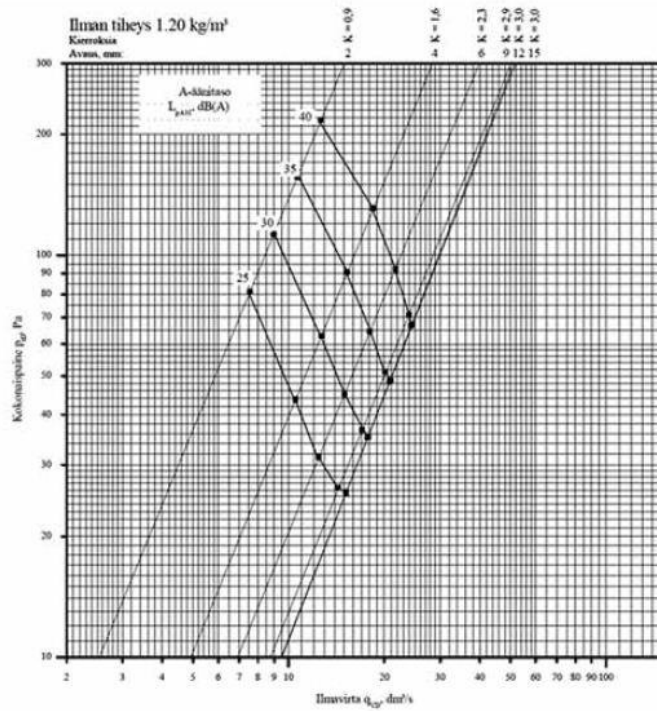
huone	liikenopeus		lämpötila	
tuulik.	niska	vaaka	niska	vaaka
		pysty		pysty
	nilkka	vaaka	nilkka	vaaka
		pysty		pysty



## Venttiilien k-arvot

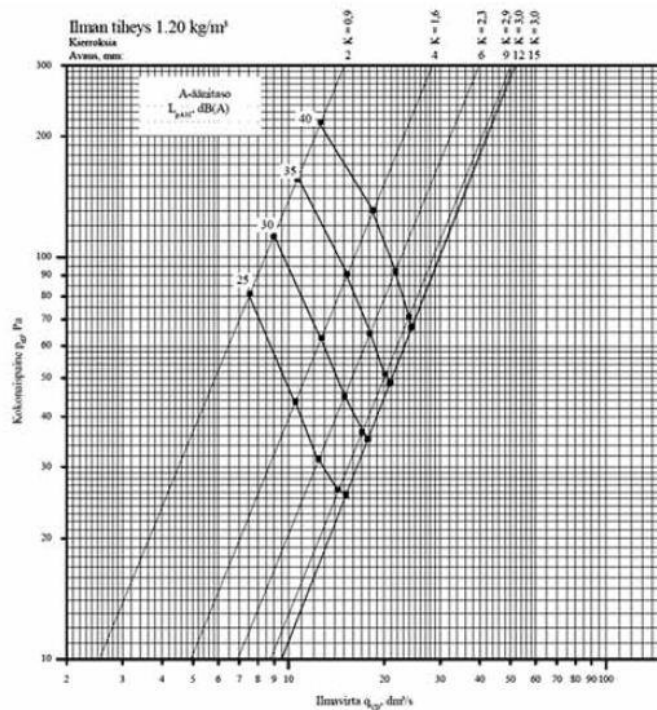
### Tuloilmaventtiilit

EHKTS-100  
EHKTSM-100  
EHKTS-S-100  
ilmanohjaimen kanssa

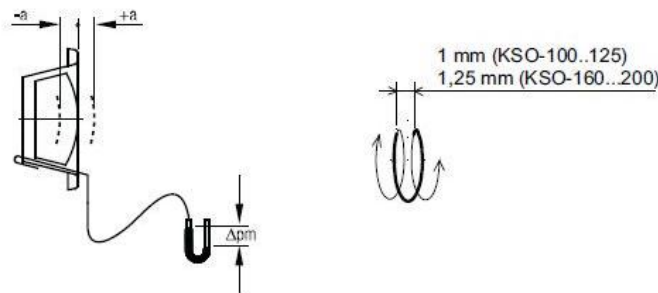


### Tuloilmaventtiilit

EHKTS-100  
EHKTSM-100  
EHKTS-S-100  
ilmanohjaimen kanssa



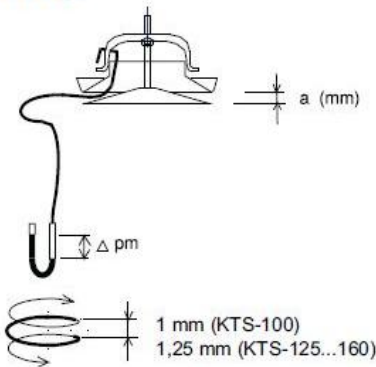
**KSO, KSOP, KSOV**







KSO-100	
a	k
-15	0,5
-12	0,8
-10	1,0
-5	1,4
0	1,9
5	2,3
10	2,8



KSO-125	
a	k
-10	1,5
-5	2,1
0	2,7
5	3,3
10	4,0




**KTS**



KTS-100			
a [mm]			
2	0,9	1,0	1,1
4	1,5	1,6	2,0
6	1,9	2,3	2,7
9	2,3	2,9	4,0
12	2,8	3,3	5,1
15	3,3	3,6	-

KTS-125			
a [mm]			
4	2,0	1,9	2,2
6	2,6	2,6	3,1
9	3,3	3,4	4,2
12	3,8	4,1	5,5
15	4,4	4,4	7,0

KTS-160			
a [mm]			
4	2,7	2,3	3,0
6	3,4	3,3	4,2
10	4,8	4,5	6,4
15	5,8	6,4	8,9
20	7,0	7,2	11,2

ULA 125			
A			
3	1,65	1,65	1,65
6	2,99	2,99	2,99
9	3,96	3,97	3,97
15	5,85	5,85	5,85

Iv Spesialistit Oy Ab 0400921727	ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA		Mittaaja	Roger Strandberg				
			Valvoja	Kim Hällsten			Pvm	10.4.12
Rakennus / laitos	Talo Eemontti		Osoite					
	Suunn. q <sub>v</sub> (l/s)	Mittauslaite tai Venttiilityyppi	Asetus, avaus	Mitattu arvo Δp <sub>m</sub>	Todettu q <sub>v</sub> (l/s)	kartio	Lpa dB(A)	Kone- tunnus
	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma		Tuloilma Poistoilma
MH 1	+8	EHKTS-100	9	11,7	+9,9			
MH 2	+12	EHKTS-125	9	11,8	+12,4			
MH 3	+10	EHKTS-100	9	13,3	+10,6			
OH	+10 +9	EHKTS-100 EHKTS-100	12 12	15,5 12,9	+11,8 +10,8			
WC	-10	KSO-125	10	9,5	-12,3			
K	-15	KSO-125	+5	61,5	-25,9			
KHH	-15	KSO-125	+10	18,5	-17,2			
PH	-20	ULA-125	+10	45	-26,6			
S	+8 -8	EHKTS-100 EHKSO-100	9	9	+8,7			
MH 4	+12	KTS-125	9	11,3	+12,1			
Kok ilm määr	+69 -76				+76,3 -82,0			
Käytetyt mittauslaitteet: KIMO 301 AS 70% TULO 35% POISTO 30%								
Sääolosuhteet:								

ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA			Mittaaja Ari Hokkanen					
			$q_v = k \times \sqrt{\Delta p_m}$				Pvm 9.10.12	
Rakennus	Talo Eemontti		Osoite					
	Suunn. $q_v$ (l/s)	Mittauslaite tai Venttiilityyppi	Asetus, avaus	Mitattu arvo $\Delta p_m$	k-kerroin	Laskettu $q_v$ (l/s)	Lpa dB(A)	Valmistaja
	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma	Tuloilma Poistoilma		Tuloilma Poistoilma
MH 1	+8	EHKTS-100	10	14	2,93	11,0		EH-Muovi
MH 2	+12	EHKTS-125	10	15	3,8	14,7		EH-Muovi
MH 3	+10	EHKTS-100	10	15	2,93	11,3		EH-Muovi
OH	+10	EHKTS-100	12,5	14	3,0	11,2		EH-Muovi
	+9	EHKTS-100	12	10	3,0	9,5		EH-Muovi
WC	-10	KSD-125	12	1	4,0	4,0		Fläktwoods
K	-15	KSD-125	+5	38	3,3	20,3		Fläktwoods
KHH	-15	KSD-125	+11	12	4,0	13,9		Fläktwoods
PH	-20	ULA-125	+9	28	3,97	21,0		Halton
S	+8	EHKTS-100	10	6	2,93	7,2		EH-Muovi
	-8	EHKSD-100	kiinni					EH-Muovi
MH 4	+12	KTS-125	10	7	4,6	12,2		Fläktwoods
Kok ilm määr	+69					77,1		
	-76					59,2		
Käytetyt mittauslaitteet:		AS 60%						
Sääolosuhteet:								



## Tiiviysmittausraportti 9.12.2011, keskeisimmät tulokset

## BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 9.12.2011

Technician:

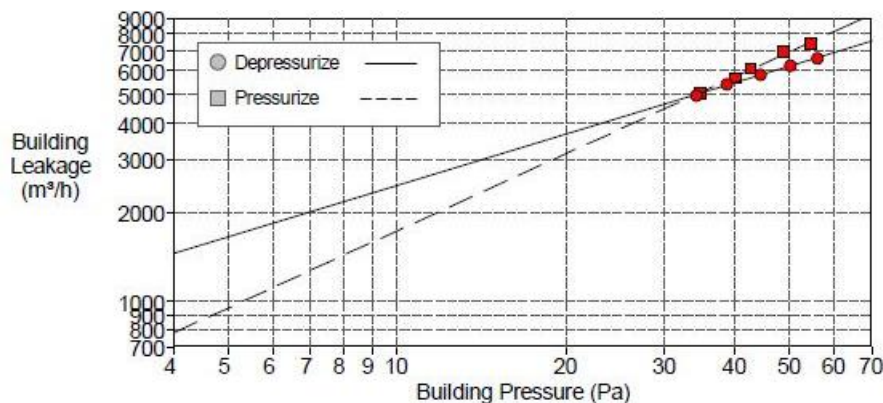
Test File: Saviontie

Customer: EEMontti Saarinen  
Saviontie 51  
Vantaa,  
Phone:  
Fax:

Building Address:

	Depressurization	Pressurization	Average
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m³/h)	6224 ( +/- 0.3 %)	6939 ( +/- 0.9 %)	6581
n50: Air Changes per Hour (1/h)	17.94	20.00	18.97
w50: m³/(h*m² Floor Area)	43.83	48.86	46.35
q50: m³/(h*m² Surface Area)	14.61	16.29	15.45
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	2746.6 ( +/- 2.3 %)	1926.4 ( +/- 8.0 %)	2336.5
cm²/m² Surface Area	6.45	4.52	5.48
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	1562.2 ( +/- 3.7 %)	841.6 ( +/- 12.7 %)	1201.9
cm²/m² Surface Area	3.67	1.98	2.82
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv)	636.4 ( +/- 5.7 %)	236.0 ( +/- 20.0 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	652.6 ( +/- 5.7 %)	235.9 ( +/- 20.0 %)	
Exponent (n)	0.576 ( +/- 0.015 )	0.864 ( +/- 0.052 )	
Correlation Coefficient	0.99898	0.99457	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	19 °C	Volume:	347 m³
Outside Temperature:	1 °C	Surface Area:	426 m²
Barometric Pressure:	100530 Pa	Floor Area:	142 m²
Wind Class:	5 Fresh Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	15 %
Type of Heating:		Year of Construction:	1974
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



## BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 9.12.2011 Test File: Saviontie

## Comments

## Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-2.4	n/a				
-58.8	97.5	6866	6621	-0.4	Open
-52.9	86.4	6474	6244	0.2	Open
-47.2	74.9	6040	5824	0.3	Open
-41.5	63.9	5594	5395	0.6	Open
-36.9	53.6	5135	4952	-0.8	Open
-3.3	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -2.4 p01+ = 0.0 p02- = -3.5 p02+ = 0.2					

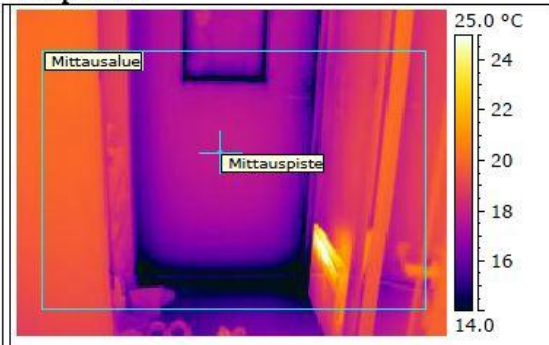
## Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-2.5	n/a				
52.4	105.7	7137	7380	-1.9	Open
46.7	93.2	6713	6942	1.4	Open
40.4	71.2	5895	6096	0.2	Open
37.9	61.4	5484	5670	-1.8	Open
32.5	47.9	4862	5028	-1.4	Open
-1.9	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -2.5 p01+ = 0.0 p02- = -2.5 p02+ = 0.7					

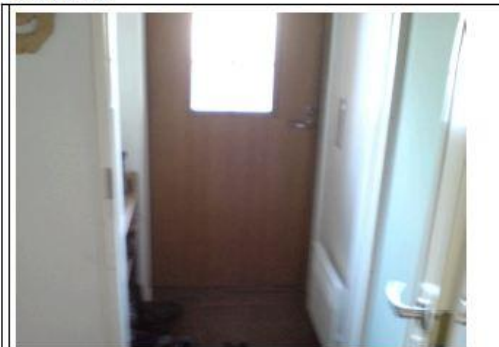
## Lämpökuvausraportti 23.3.2012, keskeisimmät tulokset

Kuvauspaikka: Tuulikaappi	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
---------------------------	-----------------------------

### Lämpökuva



### Valokuva



Nro 1.

### Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	17.8 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	28.1 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	9.3 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	35	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	84	Kameran sarjanumero	404001076

### Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

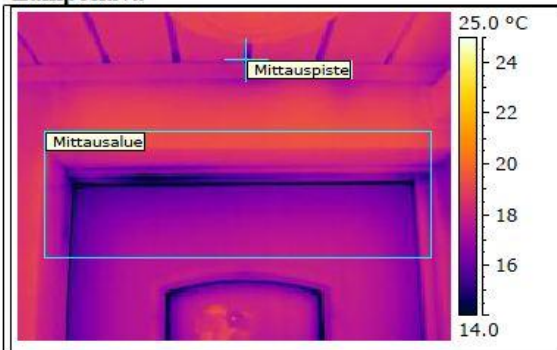
### Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-1 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

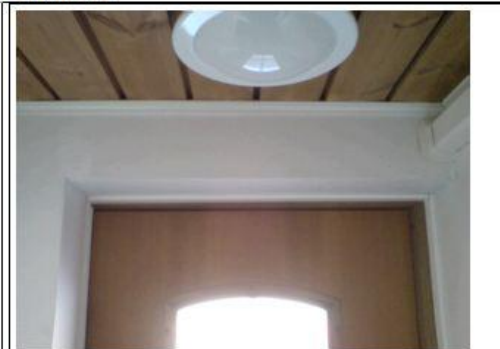
Kommentit: Ulko-oven alareunassa huomattavan alhainen pintalämpötila. Alittaa selvästi asumisterveysohjeen korjattavan indeksirajan 61%.  
Korjattava.

Kuvauspaikka: Tuulikaappi	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
---------------------------	-----------------------------

#### Lämpökuva



#### Valokuva



Nro 2.

#### Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	14.6 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	19.5 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	10.9 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	44	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	65	Kameran sarjanumero	404001076

#### Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1-6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

#### Sisäilman olosuhteet

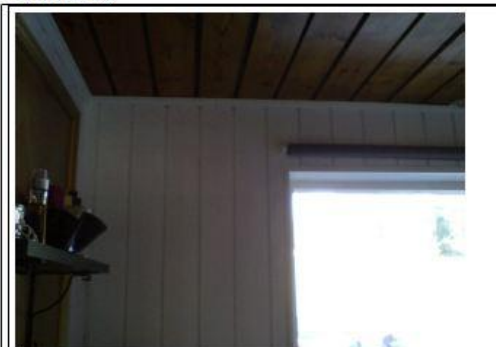
Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-1Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

#### Kommentit:

Ulko-oven yläreunassa huomattavan alhainen pintalämpötila. Alittaa selvästi asumisterveysohjeen korjattavan indeksirajan 61%. Korjattava.  
Katossa merkittävän alhainen pintalämpötila. Paneelin saumoissa ilmeinen ilmavuoto, indeksi 61-65% korjaustarve selvitettävä.



Kuvauspaikka: Makuuhuone 1	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
----------------------------	-----------------------------

**Lämpökuva****Valokuva**

Nro 3.

**Mittausparametrit**

Mittauspisteen lämpötila	14.9 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	19.1 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	13.0 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	56	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	67	Kameran sarjanumero	404001076

**Ulkoilman olosuhteet**

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

**Sisäilman olosuhteet**

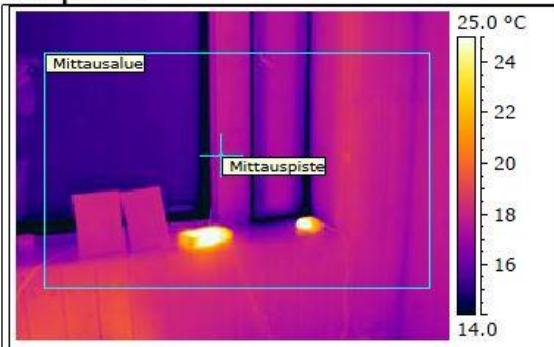
Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1..-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

**Kommentit:**

Ikkunan karmi- ja pokapinnoissa huomattavan alhainen lämpötila, indeksi alle 61%=> korjattava. Syytä tarkastaa myös ikkunan liitos rakenteeseen. Katossa merkkiä ilmavuodosta.

Kuvauspaikka: Makuuhuone 1	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
----------------------------	-----------------------------

#### Lämpökuva



#### Valokuva



Nro 5.

#### Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	17.8 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	34.9 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	10.7 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	43	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	84	Kameran sarjanumero	404001076

#### Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

#### Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1...-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

#### Kommentit:

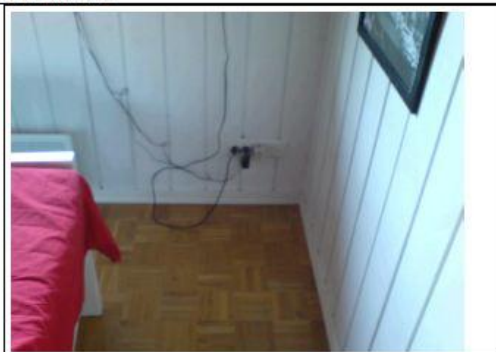
Ikkunan karni- ja pokapinnoissa huomattavan alhainen lämpötila, indeksi alle 61%=> korjattava. Syytä tarkastaa myös ikkunan liitos rakenteeseen.

Kuvauspaikka: Makuuhuone	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
--------------------------	-----------------------------

#### Lämpökuva



#### Valokuva



Nro 6.

#### Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	17.4 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	30.7 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	12.6 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	54	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	82	Kameran sarjanumero	404001076

#### Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	AurinkoinenPuolipilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

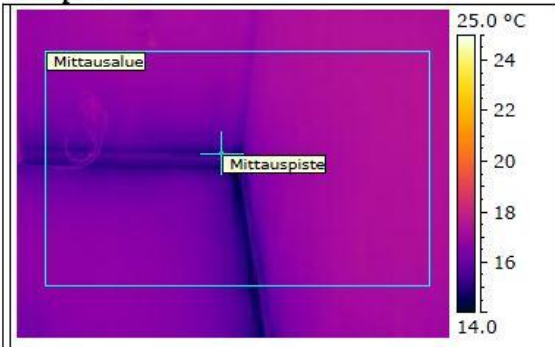
#### Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1..-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

Kommentit: Lattian ja seinän liitoksessa huomattavan alhainen lämpötila, indeksi alle 61% -> korjattava.

Kuvauspaikka: Makuuhuone 3	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
----------------------------	-----------------------------

#### Lämpökuva



#### Valokuva



Nro 10.

#### Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	15.1 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	17.7 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	13.5 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	59	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	68	Kameran sarjanumero	404001076

#### Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

#### Sisäilman olosuhteet

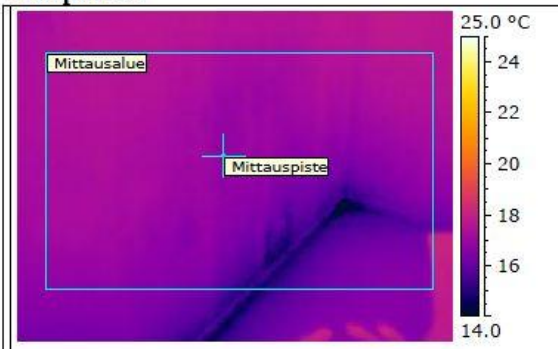
Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1...-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

Kommentit: Lattian ja seinän liitoksessa huomattavan alhainen lämpötila, indeksi alle 61% -> korjattava.

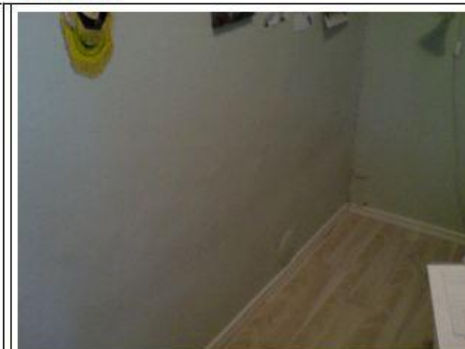


Kuvauspaikka: Makuuhuone 3	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
----------------------------	-----------------------------

#### Lämpökuva



#### Valokuva



Nro 11.

#### Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	16.9 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	18.2 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	13.7 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	60	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	79	Kameran sarjanumero	404001076

#### Ulkoilman olosuhteet

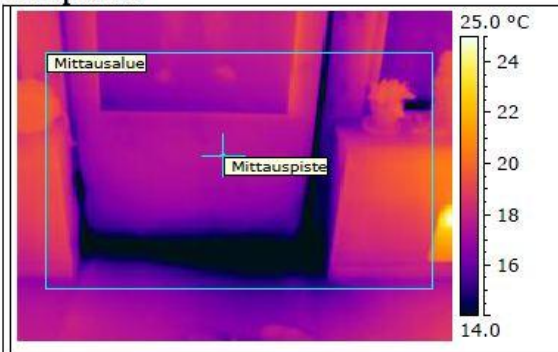
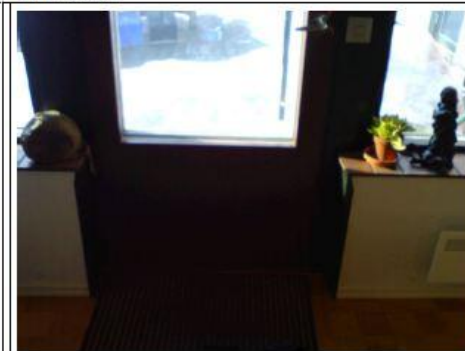
Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

#### Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1..-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

Kommentit: Lattian ja seinän liitoksessa huomattavan alhainen lämpötila, indeksi alle 61% -> korjattava.

Kuvauspaikka: Olohuone	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
------------------------	-----------------------------

**Lämpökuva****Valokuva**

Nro 13.

**Mittausparametrit**

Mittauspisteen lämpötila	17.6 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	21.1 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	10.1 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	39	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	83	Kameran sarjanumero	404001076

**Ulkoilman olosuhteet**

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

**Sisäilman olosuhteet**

Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1...-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

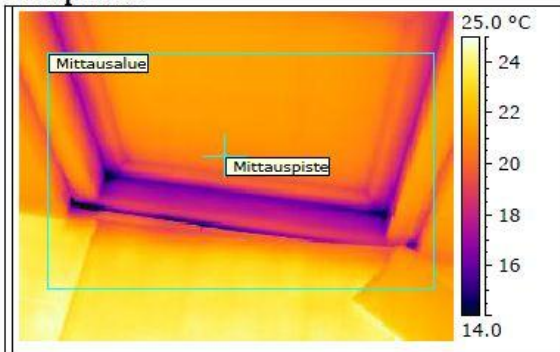
**Kommentit:**

Oven alareunassa huomattavan alhainen lämpötila, indeksi alle 61% -> korjattava. Ovessa tiivistevuoto, oven ja seinärakenteen liitos tarkistettava.

Kuvaspaikka: Eteinen, laaj.osa

Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012

## Lämpökuva



## Valokuva



Nro 15.

## Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	20.7 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	24.4 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	11.2 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	46	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	101	Kameran sarjanumero	404001076

## Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

## Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1...-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

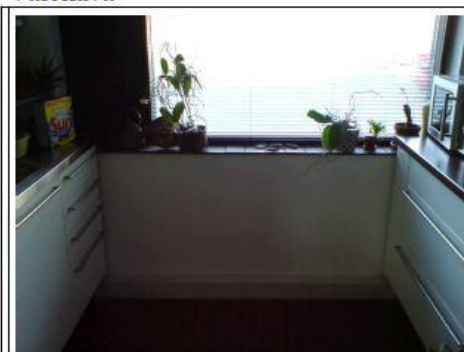
Kommentit: Oven alareunassa huomattavan alhainen lämpötila, indeksi alle 61% -> korjattava. Oven tiivisteet tarkistettava ja kynnyksen liitos seinärakenteeseen korjattava/ tiivistettävä.

Kuvauspaikka: Keittiö	Kuvauspäivämäärä: 23.3.2012
-----------------------	-----------------------------

#### Lämpökuva



#### Valokuva



Nro 18.

#### Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	19.4 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalue maks. lämpötila	24.2 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	20.5 °C
Mittausalue min. lämpötila	12.3 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.5 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	52	Kameratyyppi	FLIR P660
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	94	Kameran sarjanumero	404001076

#### Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	1- 6 m/s puuskainen
Pilvisyys	Aurinkoinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	3.40

#### Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	1...-3 Pa
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

#### Kommentit:

Tuuletusikkunan alareunassa huomattavan alhainen lämpötila. Indeksiksi alle 61% -> korjattava. Tiivisteen kunto tarkistettava, ikkunan ja seinäliitoksen ilmatiiviys tarkistettava.

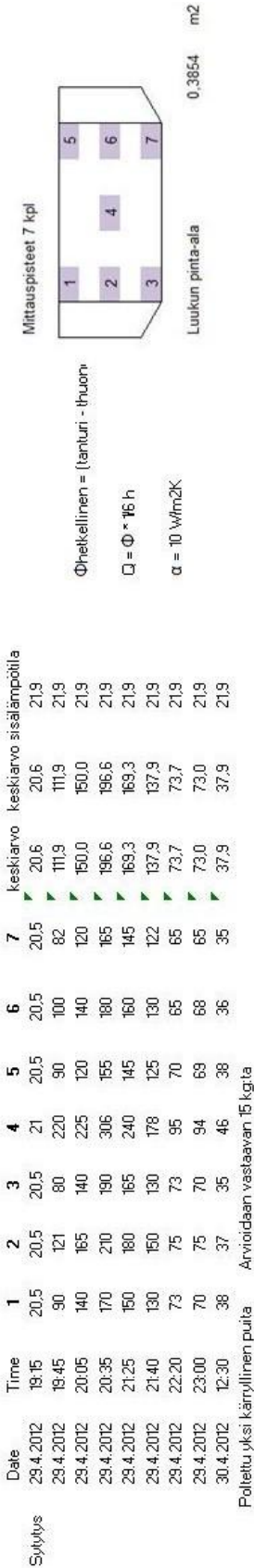


		ASTIA 3		ASTIA 4		KESKIARVO	
		ennen	jälkeen	ennen	jälkeen		
lastut + astia		167,88	149,55 g	134,28	122,01	g	151,08 135,78 g
astia		63,47	63,43 g	63,53	63,53	g	63,5 63,48 g
lastut		104,41	86,12 g	70,75	58,48	g	87,58 72,3 g
mvesi näytteessä	= 104,41g - 86,12g =		18,29 g		12,27	g	15,28 g
näytteen kosteus	= mvesi / mshake märkä		17,5 %		17,3 %		17,4 %
teho = energia / aika	1 Mj = 1000 kWhs =		0,278 kWh				0,278 kWh
kuiva puu	19,2 Mj/kg		5,33 kWh/kg				5,33 kWh/kg
vesihöyry	2,443 Mj/kg		0,68 kWh/kg				0,68 kWh/kg
märkä hake (17,4%)	= (0,826*5,33) - (0,174*0,68)		4,29 kWh/kg				4,29 kWh/kg
mittausjakson aikana poltetun puun määrä							75,5 kg
kuormasta saatu energia							323,7 kWh
arvioitu kulutus lämmityskaudella 100 kg/vko							100 kg
arvioitu saatu energia viikossa							428,7 kWh
lämmityskausi 40 viikkoa							40 vko
arvioitu saatu energia lämmityskaudella							17149,0 kWh
Savukaasujen osuutta ei pystytty mittaamaan							

## A large, grey, rectangular industrial machine, likely a steam boiler or engine component, with various pipes, valves, and a control panel. It is situated in a room with wooden flooring and a white wall.

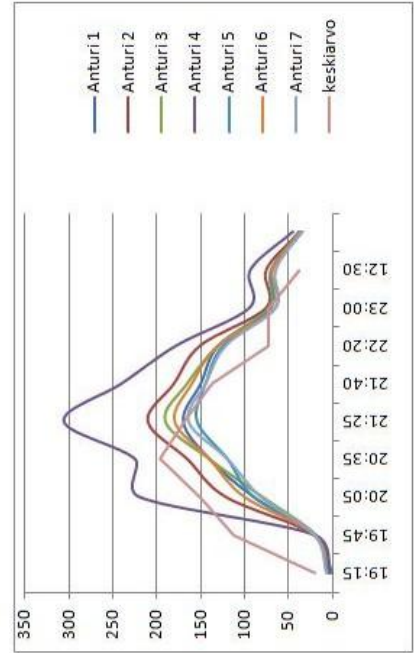
[illegible]

Takka, luukun lämmönluovutus



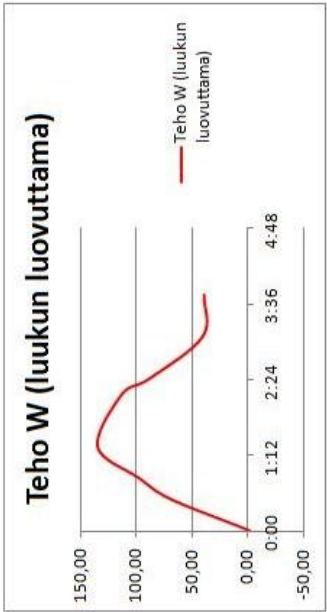
Date	Time	1	3	4	5	7	thuone	W	W	W	W	W	W	W	W	W	keskiarvo	h	Wh	Q1	Wh	Q3	Wh	Q4	Wh	Q5	Wh	Q7	Wh
29.4.2012	19:15	20.5	20.5	21	20.5	20.5	21.9	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-0.69	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.00	0.50	12.85309	10.92609	38.00044	12.85309	11.31149	12.85309	11.31149	12.85309	11.31149	12.85309	11.31149
29.4.2012	19:45	90	80	220	90	82	21.9	52.49	44.78	44.78	152.70	152.70	52.49	52.49	52.49	46.33	69.76	0.33	23.920493	22.635827	51.540827	21.35116	51.540827	21.35116	20.323427	21.35116	20.323427	21.35116	
29.4.2012	20:05	140	140	225	120	120	21.9	91.03	91.03	91.03	156.55	156.55	75.62	75.62	75.62	75.62	97.97	0.50	51.29674	55.15074	93.88344	44.55224	93.88344	44.55224	46.47924	44.55224	46.47924	44.55224	
29.4.2012	20:35	170	190	306	155	165	21.9	114.16	129.57	129.57	218.98	218.98	102.59	110.30	135.12	110.30	135.12	0.83	88.706233	99.947067	161.2889	82.2829	161.2889	82.2829	85.494567	82.2829	85.494567	82.2829	
29.4.2012	21:25	150	165	240	145	145	21.9	98.74	110.30	110.30	168.11	168.11	94.89	94.89	94.89	94.89	113.38	0.25	22.75787	24.20312	36.05417	21.79437	36.05417	21.79437	21.50532	21.79437	21.50532	21.79437	
29.4.2012	21:40	130	130	178	125	122	21.9	83.32	83.32	83.32	120.32	120.32	79.47	77.16	88.72	77.16	88.72	0.67	40.903787	40.903787	58.88912	38.84832	58.88912	38.84832	36.792853	38.84832	36.792853	38.84832	
29.4.2012	22:20	73	73	95	70	65	21.9	39.39	39.39	39.39	56.35	56.35	37.08	37.08	37.08	33.22	41.08	0.67	25.487787	25.487787	37.30672	24.460053	37.30672	24.460053	22.147653	24.460053	22.147653	24.460053	
29.4.2012	23:00	70	70	94	69	65	21.9	37.08	37.08	37.08	55.57	55.57	36.30	33.22	39.85	33.22	39.85	13.50	334.02618	318.41748	500.51898	328.82328	500.51898	328.82328	292.40298	328.82328	292.40298	292.40298	
30.4.2012	12:30	38	35	46	38	35	21.9	12.41	10.10	10.10	18.58	18.58	12.41	10.10	12.72	10.10	12.72	600.0	597.7	977.5	575.0	977.5	575.0	536.5	977.5	536.5	536.5	536.5	

Sisälämpötilaa ei mitattu, arvioitu olevan 21.9°C



Vähennetään 600 W/h (keskimmäisen mittauksen arvioitu virhe)  
15 kg poltettu puuta

→ 5.4 kWh



## Ilmalämpöpumppu, mittaustulokset ja laskenta

Anturi 3 (Puhallus) ei kytketty kunnolla, tuloksissa käytetty pelkästään anturi 4 tuloksia. Imupuolella tulokset ovat antureiden keskiarvoista

		mitattu	
A =	100 mm	v =	0,4 m/s
	688 mm		1,1 m/s
	68800 mm <sup>2</sup>		1 m/s
	<b>0,0688 m<sup>2</sup></b>		1,8 m/s
			2 m/s
			<b>1,26 m/s</b>
qv = vA =		0,0867 m <sup>3</sup> /s	5,20 m <sup>3</sup> /min
$\Phi = q_v \rho c_p \Delta t$	qv	0,0867 m <sup>3</sup> /s	
qv = vA	$\rho$	1,2 kg/m <sup>3</sup>	
	$c_p$	1 kJ/kg°C	
	$\Delta t$	17,0 °C	
	<b><math>\Phi</math></b>	<b>1,77 kW</b>	

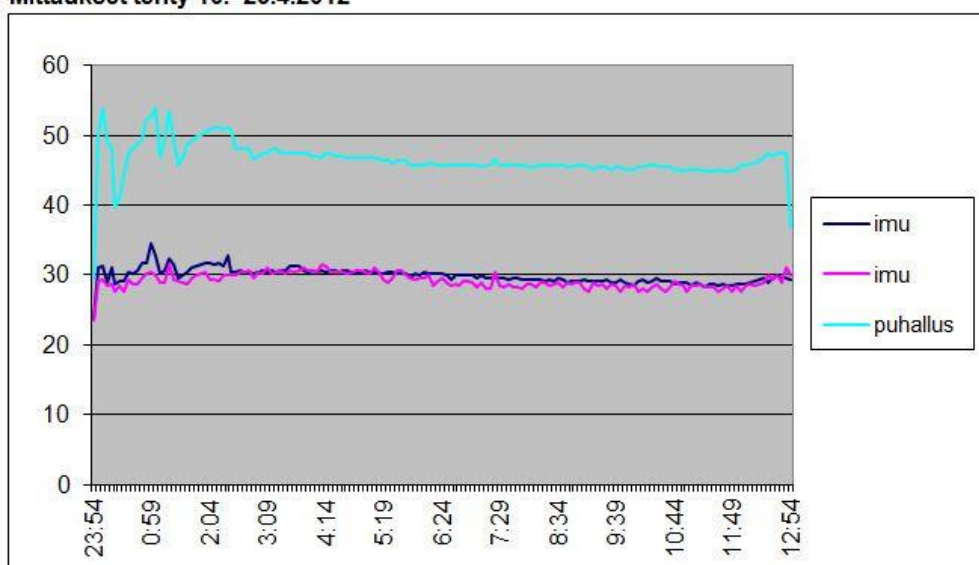
Mittausjakso oli 10. - 23.4., josta ILP oli päällä 13 ensimmäistä tuntia

10.4.2012	23:54:04	10.4.2012	23:54	1 vrk
11.4.2012	12:54:04	11.4.2012	12:54	13:00:00 h

Arvioidaan pumpun olevan keskimäärin 25% ajasta päällä jos lämmityskausi 40 viikkoa, pumppu päällä

	40 vko
	7 pv
	24 h
yhteensä	6720 h
Pumppu keskimäärin 25 % ajasta päällä	0,25
	1680 h
ILP:n arvioitu vaikutus 1,77 kW * 1680 h	<b>2966,0 kWh / a</b>

### Mittaukset tehty 10.- 23.4.2012





## Kohteen energialaskennan perustiedot

## PERUSTIEDOT

Rakennustilavuus	m3	565,42
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	m2	166,30
Huonekorkeus	m	2,45
Kerroskorkeus	m	3,40
Ilmatilavuus lämpimät tilat	m3	332,30
Ilmatilavuus puolilämpimät tilat	m3	0,00

RAKENNUSOSAT lämpimät tilat		u-arvo	ala
Ulkoseinä vanha (laskettu u-arvo)	vaihe I	0,69	64,61
Ulkoseinä uusi (suunnitteluarvolla 1,7)	vaihe II	0,17	37,71
<b>Ulkoseinä painotetulla U-arvolla</b>		<b>0,50</b>	<b>102,32</b>
Yläpohja vanha	vaihe I	0,22	156,25
Yläpohja uusi (suunnitteluarvolla 1,4)	vaihe II	0,14	156,25
<b>Yläpohja painotetulla U-arvolla</b>		<b>0,18</b>	
Alapohja maanvastainen vanha	vaihe I	0,42	156,25
Alapohja maanvastainen uusi	vaihe II	0,17	156,25
<b>Alapohja painotetulla U-arvolla</b>		<b>0,30</b>	
Ikkunat vanhat	vaihe I	2,00	21,73
Ikkunat uudet (suunnitteluarvolla 1,3)	vaihe II	1,3	4,74
<b>Ikkunat painotetulla U-arvolla</b>		<b>1,87</b>	<b>26,47</b>
Ulko-ovet vanhat	vaihe I	1,5	3,91
Ulko-ovet uudet (suunnitteluarvolla 1,3)	vaihe II	1,3	1,97
<b>Ulko-ovet painotetulla U-arvolla</b>		<b>1,43</b>	<b>5,88</b>

Energiankulutuslaskimen tulostussivut, vaihe I

<b>Rakennuksen laajuustiedot</b>				Ilmatilav., V, lämpimät tilat	
Rakennustilavuus	565 rak-m <sup>3</sup>	Huonekorkeus	2,5 m	332,3 m <sup>2</sup>	
Maanpäälliset kerrostasotilat yhteensä	166 krs-taso-m <sup>2</sup>	Kerroskorkeus	3,4 m	m <sup>2</sup>	

<b>Perustiedot</b>				<b>Ominaislämpövähtiö, W/K</b>	
<b>RAKENNUSOSAT</b>				$[H_{\text{rak}} = A \times U]$	
<i>Lämpimät tilat</i>	<b>Vertailuarvo</b>	<b>Suunn.arvo</b>	<b>U-arvot, W/(m<sup>2</sup> K), (U)</b>	<b>Vertailurat.</b>	<b>Suunn.rat.</b>
Ulkoseinä	103,85	102,32	0,24	24,9	40,9
Yläpohja	156,25	156,25	0,09	14,1	34,4
Alapohja (ulkolämpötilaan rajoittuva)			0,09		
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) 1)			0,17		
Alapohja (maanvastainen)	156,25		0,16	25,0	65,6
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		
Ikkunat	24,95	26,47	1,00	24,9	52,9
Ulko-ovet	5,88		1,00	5,9	8,8
Kattoikkunat			1,00		
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>447,2</b>	<b>447,2</b>		<b>94,8</b>	<b>202,7</b>

<i>Puolilämpimät tilat</i>					
Ulkoseinä			0,38		
Yläpohja			0,14		
Alapohja			0,14		
Alapohja (maanvastainen)			0,24		
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		
Ikkunat			1,40		
Ulko-ovet			1,40		
Kattoikkunat			1,40		
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>					

<b>VAIPAN ILMAMUODOT</b>				$[H_{\text{vaipen}} = 1200 \times q_{v, \text{vaipen}}]$	
<b>Vuotoilma</b>	<b>Vertailuarvo</b>	<b>Suunn.arvo</b>	<b>Vuotoilv., m<sup>3</sup>/s, [q<sub>v,vaipen</sub>=n<sub>50</sub>25xV/3600]</b>	<b>Vertailurat.</b>	<b>Suunn.rat.</b>
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0074	8,9	17,7
Puolilämpimät tilat	2,0				

<b>ILMANVAIHTO</b>				$[H_{\text{vaipen}} = 1200 \times q_{v, \text{vaipen}} \times (1-\eta_{\text{vaipen}})]$	
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>	<b>Vertailuarvo</b>	<b>Suunn.arvo</b>	<b>LTO:n vuosihyötysuhde, %, η<sub>v</sub></b>	<b>Vertailurat.</b>	<b>Suunn.rat.</b>
Lämpimät tilat			45		
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		
Puolilämpimät tilat			45		
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		

<b>Rakennuksen lämpövähtiöiden tasaus</b>				$[H = H_{\text{rak}} + H_{\text{vaipen}} + H_{\text{poisto}}]$	
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpövähtiö yhteensä</b>				<b>Vertailurat.</b>	<b>Suunn.rat.</b>
<b>Puolilämpimien tilojen ominaislämpövähtiö yhteensä</b>				103,7	220,4

1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpövähtiö kerrotaan luvulla 0,8 Raklvk:n osan D3 mukaisesti. Tällä tavalla detataan huom

<b>Lämpövähtiön määrävystenmukaisuuden tarkistuslista</b>					
Julkisivun pinta-ala	134,7 m <sup>2</sup>	% maanpäällisessä kerrostasosalasta	15,9	% julkisivun pinta-ala	19,7
Ikkunapinta-ala	15,9	% maanpäällisessä kerrostasosalasta	15,9	% julkisivun pinta-ala	19,7
Ikkunapinta-ala	15,9	% maanpäällisessä kerrostasosalasta	15,9	% julkisivun pinta-ala	19,7
*Vertailukkuunapinta-ala on 15 % yhteenlasketusta maanpäällisistä kerrostasosista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-ala				kyllä ei	
*Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala on sama molemmissa ratkaisuissa				kyllä ei	
*U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruista				kyllä ei	
*Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpövähtiön suhde on enintään 1,3				kyllä ei	
-suunnitteluarvo on 2,14				-lämpimissä tiloissa	
-suunnitteluarvo on				-puolilämpimissä tiloissa	
*Suunnitteluratkaisun ominaislämpövähtiön enintään vertailuratkaisun suuruinen				kyllä ei	
Lämpövähtiön on 212,6 % lämpimissä tiloissa				kyllä ei	
Lämpövähtiön on % puolilämpimissä tiloissa				kyllä ei	
<b>Suunnitteluratkaisu täyttää lämpövähtiövaatimukset</b>				kyllä ei	

<b>Lisäselvitykset</b>					
<b>Rakennuksen vuotoilma (osa D3)</b>					
Jos lämpövähtiöselvityksessä vaipan ilmanvuotoluvun n <sub>50</sub> suunnitteluarvo on alle 4 th, ilmanpitävyydestä on esiteltävä lisäselvitys.				kyllä ei	
<b>Ilmanvaihtojen lämmöntalteenoton hyötysuhde (osa D2)</b>					
Jos lämpövähtiöselvityksessä LTO:n vuosihyötysuhteen suunnitteluarvo on suurempi kuin 33 %, on siitä esiteltävä lisäselvitys.				kyllä ei	

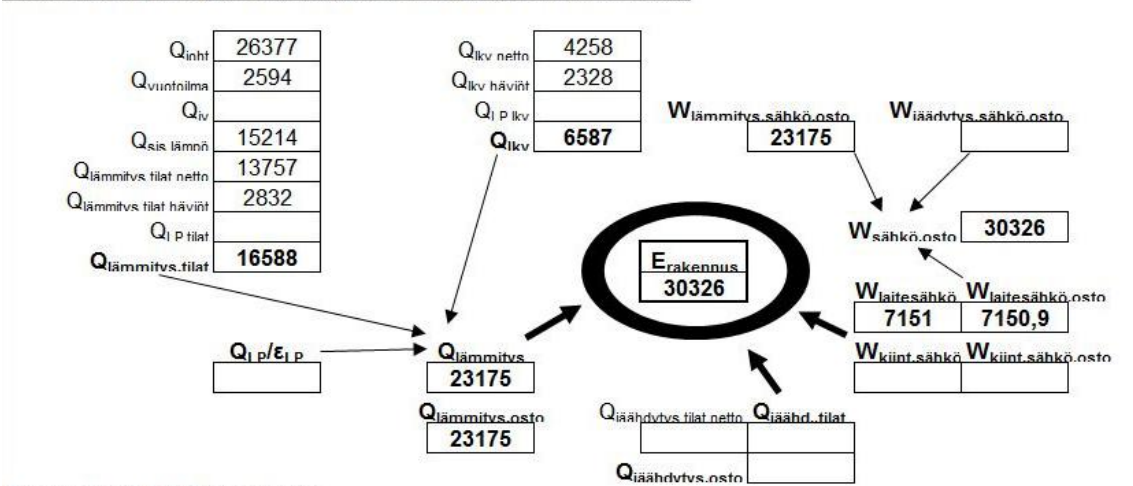
<b>Matalaenergiarakennuksen lämpövähtiötaso</b>				85 %	
*Suunnitteluratkaisun ominaislämpövähtiön enintään vertailuratkaisun ominaislämpövähtiöstä ja vastaa matalaenergiarakennuksen lämpövähtiötasoa				kyllä ei	
vertailuarvo, W/K				88,1	-lämpimissä tiloissa
vertailuarvo, W/K					-puolilämpimissä tiloissa







**Rakennuksen energiankulutus ja ostoenergiakulutus, kWh/vuosi**



**Tunnusluvut, kWh/brm²/vuosi**

Qlämmitys,tilat	Qlkv	Qlämmitys	Wlämmitys.sähkö	Wkiint.sähkö	Qlämmitys,osto	Erakennus
100	40	140	43			183

Energiankulutuslaskimen tulostussivut, vaihe II

Perustiedot				Pinta-alat, m <sup>2</sup> , (A)		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K), (U)		Ominaislämpöhäviö, W/K [H <sub>tot</sub> = A x U]		Lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista	
RAKENNUSOSAT				Vertailuarvo	Suunn.arvo	Vertailua.	Enimmäisarvo	Vertailurat.	Suunn.rat.	Julkisivun pinta-ala	134,7 m <sup>2</sup>
Lämpöeristämätilat				103,85	102,32	0,24	0,60	24,9	51,2	Ikunapinta-ala on	15,9 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
Ulkoseinä				156,25	156,25	0,09	0,60	14,1	28,1	Ikunapinta-ala on	19,7 % julkisivun pinta-alaasta
Yläpohja						0,09	0,60			*Vertailukunnapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alaasta.	
Alapohja (ulkomaan rajoittuva)						0,17	0,60			*Rakennuksen yhteenlaskettu pinta-ala on sama molemmissa ratkaisuissa	
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) 1)				156,25		0,16	0,60	25,0	46,9	*L-arvot ovat enintään enimmäisarvojen ominais-	
Alapohja (maanvastainen)						1,00	1,80	24,9	49,5	lämpöhäviön suhde on enintään 1,3	
Muu maanvastainen rakennusosa				24,95	26,47	1,00	1,80	5,9	8,4	-suunnitteluarvo on 1,94	
Ikkunat				5,88		1,00	-			-puolilämpimissä tiloissa	
Ulko-ovet						1,00	1,80			*Vaijan suunnittelua vertailuratkaisun ominais-	
Kattoikkunat						1,40	2,80	94,8	184,1	lämpöhäviön suhde on enintään 1,3	
Lämpimät tilat yhteensä				447,2	447,2					-suunnitteluarvo on	
Puolilämpimät tilat										-puolilämpimissä tiloissa	
Ulkoseinä						0,38	0,60			*Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään	
Yläpohja						0,14	0,60			Lämpöhäviö on	
Alapohja						0,24	0,60			Lämpöhäviö on	
Alapohja (maanvastainen)						0,24	0,60			Suunnitteluratkaisu	
Muu maanvastainen rakennusosa						0,24	0,60			Suunnitteluratkaisu	
Ikkunat						1,40	2,80			Suunnitteluratkaisu	
Ulko-ovet						1,40	-			Suunnitteluratkaisu	
Kattoikkunat						1,40	2,80			Suunnitteluratkaisu	
Puolilämpimät tilat yhteensä										Suunnitteluratkaisu	
VAIPAN ILMAVUODOT										Suunnitteluratkaisu	
Vuotoilma										Suunnitteluratkaisu	
Lämpimät tilat				2,0	4,0	0,0074	0,0148	8,9	17,7	Jos lämpöhäviö laskelmassa vaijan ilmanvuotoluvun n <sub>50</sub> suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä lisäselvitys.	
Puolilämpimät tilat				2,0						Ilmanvaihtoon lämmöntalteenoton hyötysuhde (osa D2)	
ILMANVAIHTO										Jos lämpöhäviö laskelmassa LTO:n vuosihyötysuhteen suunnitteluarvo on suurempi kuin 33 %, on siitä esitettävä lisäselvitys.	
Hallittu ilmanvaihto										Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso	
Lämpimät tilat				0,073						*Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta										vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä ja vastaa matalaenergiara-	
Puolilämpimät tilat										kenuksen lämpöhäviötasoa	
Puolilämpimät tilat										vertailuarvo, W/K	
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta										vertailuarvo, W/K	
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus										vertailuarvo, W/K	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä										vertailuarvo, W/K	
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä										vertailuarvo, W/K	
1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 RakM:n osan D3 mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon										vertailuarvo, W/K	



LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Lämmöntuottotapa: sähkölämmitys  $\eta_{\text{lämmitys}}$  1,0 - Lämmitysjärjestelmä: patterit ja osittain lattialämmitys, ilmalämpöpumppu  
JOS kohteessa on sähkölämmitys, anna lämmitysjärjestelmän hyötysuhde kohtaan Sähköjärjestelmä.

$Q_{\text{lämmitys tilat, kehityshäviöt omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $Q_{\text{lämmitys tilat, iskeluhäviöt omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $Q_{\text{lämmitys tilat, läuotushäviöt omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  
(Vahintaan 2000 kWh/vuosi) kWh/vuosi kWh/vuosi  
 $\eta_{\text{huonelämmitys}}$  1,0 -  $\eta_{\text{tulolima}}$  0,9 -  $\eta_{\text{lkv}}$  0,9 -

KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

$V_{\text{lkv omin, henk}}$  38,0 dm<sup>3</sup>/henk/vrk  $V_{\text{lkv omin}}$  dm<sup>3</sup>/bm<sup>2</sup>/vuosi  $q_{\text{kv, lkv}}$  dm<sup>3</sup>/s  $T_{\text{kv}}$  5,0 °C  $T_{\text{lkv}}$  55,0 °C  $T_{\text{lkv}}$  -  $T_{\text{lkv}}$  °C  
Asuinrak. henkilöitä (1+makuuhuoneiden lukumäärä) 5 hlö  $q_{\text{kv, lkv}}$  m<sup>3</sup>/s  $T_{\text{lkv}}$  -  $T_{\text{lkv}}$  °C  $T_{\text{lkv}}$  -  $T_{\text{lkv}}$  °C  
(henkilömäärä arvioidaan asuntokohtaisesti)  $q_{\text{kv, lkv}}$  m<sup>3</sup>/s  $T_{\text{lkv}}$  -  $T_{\text{lkv}}$  °C  $T_{\text{lkv}}$  -  $T_{\text{lkv}}$  °C  
 $Q_{\text{lkv, kehityshäviöt omin}}$  6,1 kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $Q_{\text{lkv, kiertohäviöt omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $\Phi_{\text{lkv, kiertohäviöt omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>  $Q_{\text{lkv, varastahäviöt}}$  kWh/vuosi  
(Vahintaan 1000 kWh/vuosi) 1014 kWh/vuosi (ks. RakMk D5, 6.1.3, 6.2.3)

SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

RakMk:n D5 taulukon 7.1 ominaissähköenergiankulutukset:  $W_{\text{valaistus}}$  7,0 kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $W_{\text{ilmanvaihto}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $W_{\text{muut laitteet}}$  24,0 kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi

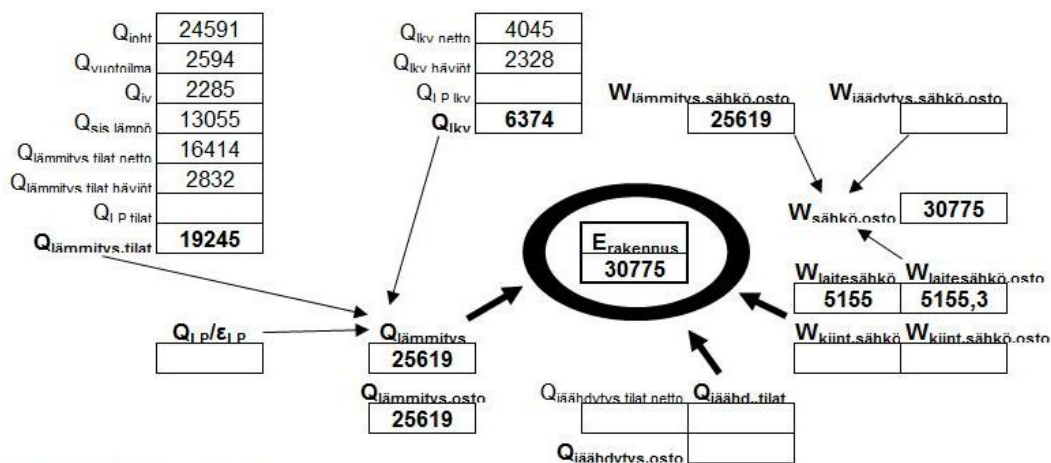
$Q_{\text{säh. omin}}$  20,0 kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi JOS kohteessa on sähkölämmitys, anna lämmitysjärjestelmän hyötysuhde tähän ->  $\eta_{\text{lämmitys}}$  1,0 -  $\eta_{\text{sähkö}}$  1,0 -

Muut kuin pienet asuinrakennukset: anna kiinteistösähköön kuuluvien valaistuksen ja muiden laitteiden ominaissähköenergiankulutukset  
 $W_{\text{kiinteistösähkö, valaistus}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $W_{\text{kiinteistösähkö, muut laitteet}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi



**Poistoilmakoneet**

PP Tunn.	$q_{v,PP}$ m <sup>3</sup> /s	$\Delta P_{F,PP}$ Pa	$P_{e,PP}$ kW			$t_d$ h	$t_v$ vrk	$r$ -	$q_{v,PP,ka}$ m <sup>3</sup> /s	$n_{iv}$ kpl
LT	0,1000	150	1,000			1	7	0,90	0,004	1
KPH	0,0170	150	1,000			1	7	0,90	0,001	1
pv	0,0100	70				23	7	0,90	0,009	1

**Rakennuksen energiankulutus ja ostoenergiakulutus, kWh/vuosi****Tunnusluvut, kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi**

$Q_{lämmitys.tilat}$	$Q_{ikv}$	$Q_{lämmitys}$	$W_{laitesähkö}$	$W_{kiint.sähkö}$	$Q_{ilähd.tilat}$	Erakennus
116	39	155	31			186

Energiankulutuslaskimen tulostussivut, vaihe III (n<sub>50</sub> = 7,1)

Perustiedot				Ominaislämpöhäviö, W/K	
RAKENNUSOSAT				[H <sub>ohi</sub> = A x U]	
Lämpimät tilat	Vertailuarvo	Pinta-ala, m², (A)	U-arvot, W/(m² K), (U)	Vertailurat.	Suunn.rat.
Ulkoseinä	103.85	102.32	0,24	24.9	51.2
Yläpohja	156.25	156.25	0,09	14.1	28.1
Alapohja (ulkomaan rajoittuva)			0,09		
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) 1)			0,17		
Alapohja ( maanvastainen)	156.25		0,16	25.0	46.9
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		
Ikkunat	24.95	26.47	1,00	24.9	49.5
Ulkio-ovet	5.88		1,00	5.9	8.4
Kattoikkunat			1,00		
Lämpimät tilat yhteensä	447.2	447.2		94.8	184.1
Puolilämpimät tilat					
Ulkoseinä			0,38		
Yläpohja			0,14		
Alapohja			0,14		
Alapohja ( maanvastainen)			0,24		
Muu maanvastainen rakennusosa			1,40		
Ikkunat			1,40		
Ulkio-ovet			1,40		
Kattoikkunat			1,40		
Puolilämpimät tilat yhteensä					
VAIPAN ILMAVUODOT					
Ilmanvuotoluku, 1/h, [n <sub>50</sub> ]				[H <sub>vuotoilma</sub> = 1200 x q <sub>v,d</sub> ]	
Vuotoilma	Vertailuarvo	Suunn.arvo	Vuotoilma, m³/s, [q <sub>v,s</sub> =n <sub>50</sub> ×V/3600]	Vertailurat.	Suunn.rat.
Lämpimät tilat	2,0	7,1	0,0074	8,9	31,5
Puolilämpimät tilat	2,0				
ILMANVAIHTO				[H <sub>iv</sub> = 1200 x q <sub>v,p</sub> x (1-η <sub>a</sub> )]	
Hallittu ilmanvaihto	Vertailuarvo	Suunn.arvo	LTO:n vuosihyötysuhde, %, η <sub>a</sub>	Vertailurat.	Suunn.rat.
Lämpimät tilat	0,013		45	8,6	15,6
Lämpimät tilat, ei LTO-väätimusta			0		
Puolilämpimät tilat			45		
Puolilämpimät tilat, ei LTO-väätimusta			0		
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus				[H = H <sub>ohi</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä				Vertailurat.	Suunn.rat.
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä				112,3	231,1
1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 RakM:n osan D3 mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon					

Lämpöhäviön määrätysten mukaisuuden tarkistuslista

Julkisuvun pinta-ala 134.7 m²

Ikunapinta-ala on 15.9 % maanpäällisestä kerrostasolasta

Ikunapinta-ala on 19.7 % julkisivun pinta-ala

kyllä ei

X

\*Vertailukunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-ala

\*Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala on sama molemmissa ratkaisuissa

-lämpimissä tiloissa

-puolilämpimissä tiloissa

kyllä ei

X

X

\*U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruista

\*Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1.3

-suunnittelu on 1.94

-lämpimissä tiloissa

-suunnittelu on

-puolilämpimissä tiloissa

kyllä ei

X

\*Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

Lämpöhäviö on 205.9 % lämpimissä tiloissa

Lämpöhäviö on % puolilämpimissä tiloissa

kyllä ei

X

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä ei

X

Lisäselvitykset

Rakennuksen vuotoilma (osa D3)

Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n<sub>50</sub> suunnittelu on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä lisäselvitys.

kyllä ei

X

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde (osa D2)

Jos lämpöhäviölaskelmissa LTO:n vuosihyötysuhteen suunnittelu on suurempi kuin 33 %, on siitä esitettävä lisäselvitys.

kyllä ei

X

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso

\*Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 %

vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä ja vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa

kyllä ei

X

vertailuarvo, W/K

95.4

-lämpimissä tiloissa

vertailuarvo, W/K

-puolilämpimissä tiloissa





LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Lämmöntuottotapa: sähkölämmitys  $\eta_{\text{lämmitys}}$  1,0 - Lämmitysjärjestelmä: patterit ja osittain lattialämmitys, ilmalämpöpumppu  
JOS kohteessa on sähkölämmitys, anna lämmitysjärjestelmän hyötysuhde kohtaan Sähköjärjestelmä.

$Q_{\text{lämmitys tilat, venttiivähiöt, omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $Q_{\text{lämmitys tilat, iakeluhäviöt, omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $Q_{\text{lämmitys tilat, luovutusvähiöt, omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  
(Vähintään 2000 kWh/vuosi) kWh/vuosi kWh/vuosi  
 $\eta_{\text{huonelämmitys}}$  1,0 -  $\eta_{\text{lukolima}}$  0,9 -  $\eta_{\text{lkv}}$  0,9 -  
 $Q_{\text{lämmitys vesivaraajan lämpöhäviöt, omin}}$  kWh/vuosi  
 $Q_{\text{lämmitys tilat, varaalahäviöt, omin}}$  kWh/vuosi

KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

$V_{\text{lkv, omin, henk}}$  38,0 dm<sup>3</sup>/henk/vrk  $V_{\text{lkv, omin}}$  dm<sup>3</sup>/bm<sup>2</sup>/vuosi  $q_{\text{v, lkv}}$  dm<sup>3</sup>/s  $T_{\text{kv}}$  5,0 °C  $T_{\text{lkv}}$  55,0 °C  $T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}$  50,0 °C  $T_{\text{lkv, kierto, oaluu}}$  °C  
Asuinrak. henkilöiden lukumäärä) 5 hlo  $q_{\text{v, lkv, kierto}}$  dm<sup>3</sup>/s  $T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}$  50,0 °C  $T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv, kierto, oaluu}}$  °C  
(henkilömäärä arvioidaan asutokohtaisesti)  
 $Q_{\text{lkv, kierto, omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $Q_{\text{lkv, kierto, omin}}$  kWh/bm<sup>2</sup>  $Q_{\text{lkv, varaalahäviöt}}$  kWh/vuosi  
(Vähintään 1000 kWh/vuosi) 1014 kWh/vuosi (ks. RakMk D5, 6.1.3, 6.2.3)

SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

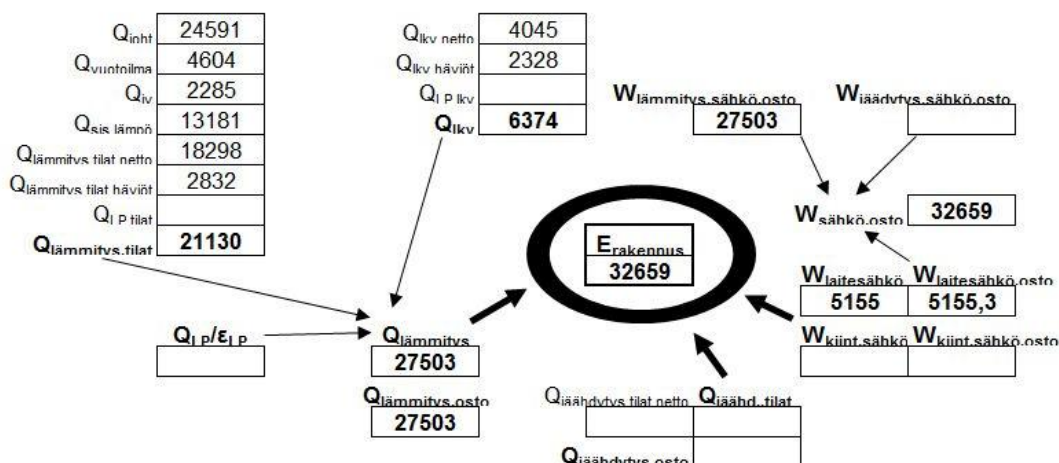
RakMk:n D5 taulukon 7.1 ominaissähköenergiankulutukset:  $W_{\text{valaistus}}$  7,0 kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $W_{\text{ilmanvaihto}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $W_{\text{muut, laitteet}}$  24,0 kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi

$Q_{\text{säh, omin}}$  20,0 kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi JOS kohteessa on sähkölämmitys, anna lämmitysjärjestelmän hyötysuhde tähän ->  $\eta_{\text{lämmitys}}$  1,0 -  $\eta_{\text{sähkö}}$  1,0 -  
Muut kuin pienet asuinrakennukset: anna kiinteistösähköön kuuluvien valaistuksen ja muiden laitteiden ominaissähköenergiankulutukset

$W_{\text{kiinteistösähkö, valaistus}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi  $W_{\text{kiinteistösähkö, muut laitteet}}$  kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi

**Poistoilmakoneet**

PP Tunn.	$q_{v,PP}$ $m^3/s$	$\Delta P_{F,PP}$ Pa	$P_{e,PP}$ kW		$t_d$ h	$t_v$ vrk	r	$q_{v,PP,ka}$ $m^3/s$	$n_{iv}$ kpl
LT	0,1000	150	1,000		1	7	0,90	0,004	1
KPH	0,0170	150	1,000		1	7	0,90	0,001	1
pv	0,0100	70			23	7	0,90	0,009	1

**Rakennuksen energiankulutus ja ostoenergiakulutus, kWh/vuosi****Tunnusluvut, kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi**

$Q_{lämmitys.tilat}$	$Q_{ikv}$	$Q_{lämmitys}$	$W_{laitesähkö}$	$W_{kiint.sähkö}$	$Q_{läähd.tilat}$	Erakennus
128	39	166	31			197

Energiankulutuslaskimen tulostussivut, vaihe IV (n<sub>50</sub> = 7,1)

Perustiedot				Pinta-alat, m <sup>2</sup> , (A)		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K), (U)		Ominaislämpöhäviö, W/K		Lämpöhäviön määrät		Lämpöhäviön määrät	
RAKENNUSOSAT				Suunn. arvo		Enimmäisarvo		[H] <sub>ohj</sub> = A x U		Julkisivun pinta-ala		Julkisivun pinta-ala	
Lämpimät tilat				Vertailuarvo	Suunn. arvo	Vertailuarvo	Enimmäisarvo	Vertailuarv.	Suunn. rat.	15,9	134,7	15,9	134,7
Ulkoseinä				103,85	102,32	0,24	0,60	24,9	51,2	kylä ei			
Yläpohja				156,25	156,25	0,09	0,60	14,1	28,1	kylä ei			
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)						0,09	0,60			kylä ei			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) 1)						0,17	0,60			kylä ei			
Alapohja (maanvastainen)				156,25		0,16	0,60	25,0	46,9	kylä ei			
Muu maanvastainen rakennusosa						0,16	0,60			kylä ei			
Ikkunat				24,95	26,47	1,00	1,80	24,9	49,5	kylä ei			
Ulko-ovet				5,88		1,00	-	5,9	8,4	kylä ei			
Kattoikkunat						1,00	1,80			kylä ei			
Lämpimät tilat yhteensä				447,2	447,2			94,8	184,1	kylä ei			
Puolilämpimät tilat										kylä ei			
Ulkoseinä						0,38	0,60			kylä ei			
Yläpohja						0,14	0,60			kylä ei			
Alapohja						0,14	0,60			kylä ei			
Alapohja (maanvastainen)						0,24	0,60			kylä ei			
Muu maanvastainen rakennusosa						0,24	0,60			kylä ei			
Ikkunat						1,40	2,80			kylä ei			
Ulko-ovet						1,40	-			kylä ei			
Kattoikkunat						1,40	2,80			kylä ei			
Puolilämpimät tilat yhteensä										kylä ei			
VAIPAN ILMAVUODOT				Ilmanvuotoluku, 1/h, [n <sub>50</sub> ]		Vuotoarvo, m <sup>3</sup> /s, [q <sub>v,v</sub> =n <sub>50</sub> /(25xV/3600)]		[H] <sub>vuotoilma</sub> = 1200 x q <sub>v,v</sub>		Lisäselvitykset			
Vuotoilma				Vertailuarvo	Suunn. arvo	Vertailuarvo	Suunn. arvo	Vertailuarv.	Suunn. rat.	Rakennuksen vuotoilma (osa D3)			
Lämpimät tilat				2,0	7,1	0,0074	0,0262	8,9	31,5	Jos lämpöhäviölaskelmassa vaipan ilmanvuotoluvun n <sub>50</sub> suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä lisäselvitys.			
Puolilämpimät tilat				2,0						Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde (osa D2)			
ILMANVAIHTO				Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s, [q <sub>v,p</sub> ]		LTO:n vuosihyötysuhde, %, η <sub>a</sub>		[H] <sub>lv</sub> = 1200 x q <sub>v,p</sub> x (1-η <sub>a</sub> )		Jos lämpöhäviölaskelmassa LTO:n vuosihyötysuhteen suunnitteluarvo on suurempi kuin 33 %, on siitä esitettävä lisäselvitys.			
Hallittu Ilmanvaihto				Vertailuarvo	Suunn. arvo	Vertailuarvo	Suunn. arvo	Vertailuarv.	Suunn. rat.	kylä ei			
Lämpimät tilat				0,059		45	78,0	38,9	15,6	kylä ei			
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta						0				kylä ei			
Puolilämpimät tilat						45				kylä ei			
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta						0				kylä ei			
Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso				[H] = H <sub>ohj</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>lv</sub>		Vertailuarv.		Suunn. rat.		Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso			
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus								142,6	231,1	*Suunnittelurakauson ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailurakauson ominaislämpöhäviöstä ja vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa			
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä										kylä ei			
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä										kylä ei			
1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 RakMk:n osan D3 mukaisesti. Tätä tavalla oletaan huomiioon										kylä ei			



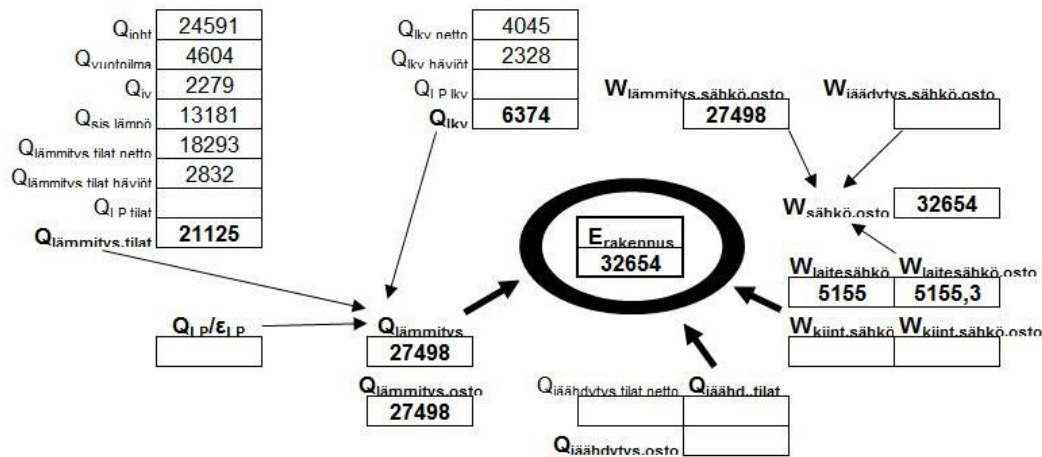








**Rakennuksen energiankulutus ja ostoenergiakulutus, kWh/vuosi**



**Tunnusluvut, kWh/brm²/vuosi**

$Q_{lämmitys.tilat}$	$Q_{ikv}$	$Q_{lämmitys}$	$W_{laite.sähkö}$	$W_{kiint.sähkö}$	$Q_{iaähdytys.tilat}$	$E_{rakennus}$
128	39	166	31			197

**IV-järjestelmään integroitu ilmalämpöpumppu**

Mittausjakso 12.-14.10.2012

Tuloilman lämpötila huoneeseen (keskiarvo)	21,5 °C
Tuloilma LTO:n jälkeen	16,2 °C
$\Delta t$ lämpötilaero	5,3 °C
$q_v$ ilmavirta	0,0771 m <sup>3</sup> /s
$\rho$ ilman tiheys	1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_p$ ilman ominaislämpökapasiteetti	1 kJ/kgK
IV-laitteisto käy 24/7	6720 h/a
Oletetaan COP = 3	3
EDX tuotto	3295,2 kWh
EDX kulutus	1098,4 kWh
EDX netto tuotto	<b>2196,8 kWh</b>

IV-laitteisto kuluttaisi sähköä 2196,8 kWh enemmän vuodessa,  
jos jälkilämmityspatteri toimisi kokonaan sähköllä

## Urakoitsijan haastattelu 26.9.2012

### MITÄ MIELTÄ OLETTE HANKKEEN AIKATAULUSTA?

Ei mennyt ihan niin, kuin oli suunniteltu, mutta se on ihan normaalia. Aikataulut tuntuu aina venyvän. Esim. asennus venyi sillä ilmalämpöpumppua ei voitu asentaa suunniteltuna ajankohtana, koska oli liian kylmä. Aikaa kului myös vanhan järjestelmän tutkimiseen ja miettimiseen, miten vanha ja uusi järjestelmä saadaan kytkettyä keskenään, kun vanhoja kanavia jouduttiin käyttämään. Toisaalta sekä asiakkaat että työntekijät sairastelivat, mikä aiheutti myös viivästyksiä.

### OLISIKO REMONTTI OLLUT MAHDOLLISTA TOTEUTTAA 3 VIIKOSSA?

Siinä ja siinä. Periaatteessa kyllä, käytännössä ei.

### MITÄ PITÄISI TEHDÄ, ETTÄ REMONTIN LÄPIVIENTI ONNISTUISI 3 VIIKOSSA?

Pohjatyöt pitäisi tehdä hyvin ja tulisi selvittää ja nähdä kohteen nykyinen tilanne ja järjestelmät muutakin kuin vain pintapuolisesti. Suunnittelijan olisi hyvä olla perillä työn eri vaiheista ja työskentelytavoista esim. osallistumalla jollain työmaalla asennustyöhön. Tällöin suunnittelija oppisi vastaisuuden varalle ja ymmärtäisi tulevaisuudessa ottaa kaikki käytännössä työn toteutukseen ja asennukseen vaikuttavat asiat huomioon. Tällöin tulisi kenties vähemmän yllätyksiä ja aikataulutkin pitäisivät paremmin.

### AIOTTEKO TULEVAISUUDESSA TEHDÄ VASTAAVIA ENERGIAREMONTTEJA?

Kyllä varmaan, pari on työn alla.

Nyt on tehty pari IV remonttia vanhoihin sähkölämmitteisiin taloihin. Lähinnä uusittu olemassa olevaan koneelliseen ilmanvaihtoon IV-laite, eristykset ja kanavistot. Asiakkaat ovat olleet tyytyväisiä, kun sisäilman laatu on parantunut huomattavasti ja ilma taas vaihtuu. Energian säästöistä näissä kohteissa ei ole vielä tietoa, sillä remontit ovat vasta valmistuneet.

### MISSÄ KOITTE ONNISTUVANNE HYVIN?

Asiakas oli tyytyväinen siihen, mitä tehtiin. Kaikki olisi mennyt hyvin, mutta aikatauluongelmat aiheutti haasteita. Asiakkaan mielestä tämä ei kuitenkaan ollut ongelma. Työ tehdään aina hyvää asennustapaa noudattaen.

### MITÄ KEHITETTÄVÄÄ NÄETTE PROSESSIN ERI VAIHEISSA TARJOUSKYSELYSTÄ VALMISTUMISEEN?

Paremmen valmisteltu pohjatyo ja kohteen selvittäminen helpottaisi suorittamista. Tarjous ja suunnitelmat olisi hyvä tehdä vasta, kun kohteeseen on paikan päällä tutustuttu. Mielellään myös asentajan toimesta.

Puhelinhaastattelu 26.9.2012.