



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Pientalojen ilmanvaihto ja ilmanpölyisyys

Jarek Kurnitski, Dosentti, TkT
Tutkimuspäällikkö, TKK LVI-tekniikka
jarek.kurnitski@tkk.fi

Pientalojen ilmanvaihto ja ilmanpölyisyys vaikuttavat merkittävästi mm. rakennusten energiatehokkuuteen ja hyvään sisäilmastoon. Energiatodistukset ovat tulossa uusiin omakotitaloihin ja on tärkeätä, ettei energiaa ruveta säästämään sisäilmaston kustannuksella. Tässä artikkelissa tarkastellaan uudehkojen pientalojen mitattua ilmanvaihtoa ja ilmanpölyisyyttä, niissä havaittuja puutteita ja tarvittavia parannustoimenpiteitä.

Pohjoismaisessa rakennustavassa rakennusten ilmanpölyisyyttä voidaan käsitellä erillään ilmanvaihdon tarpeesta. Koska rakennukset ovat täällä hyvin lämpöeristettyjä ja tiivistettyjä, vuotokohtien kautta tapahtuva hallitsematon vuotoilmanvaihto ei pysty korvamaan ilmanvaihdon tarvetta. Tietysti on myös poikkeuksia: vanhempia hataria taloja, joissa vuotoilmanvaihto voi ajoittain jopa ylittää ilmanvaihdon tarpeen. Vuotoilmanvaihdon suuruus taloissa, joiden ilmanpölyisyys on sama, voi myös vaihdella huomattavasti riippuen käytetystä ilmanvaihtojärjestelmästä. Vanhemmissa taloissa käytetty koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä ”antaa anteeksi” kohtalaisen hatarankin vaipan, koska ilmanvaihto alipaineistaa rakennuksen ja hallitsematonta vuotoa syntyy vain kovalla tuulella läpivirtauksen muodossa. Kun käytetään nykyaikaista koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää, hatara talo vuotaa kuin seula ja kaikki vuotoilmanvaihto ohittaa lämmöntalteenottolaitteen. Lämmityslasku kasvaa ja lämpöviihtyisyys heikkenee.

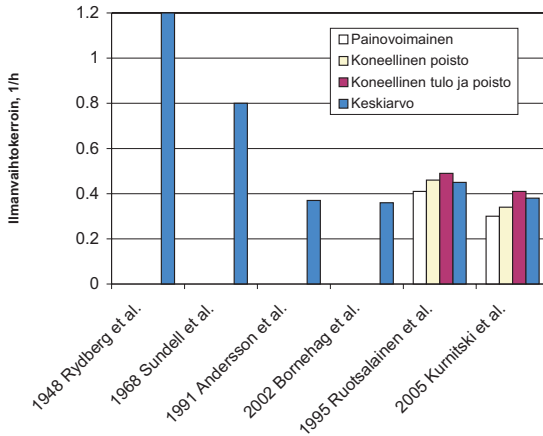
Ilmanvaihdolle on annettu rakentamismääräyksissä selkeät vaatimukset, joita noudattamalla varmistetaan rakennusten terveellisyys. Onkin huolestuttavaa, että nämä vaatimukset eivät tunnu toteutuvan riittävän hyvin käytännössä. Vaatimusten toteutumista on selvitetty Teknillisen korkeakoulun ja Tampereen teknillisen yliopiston yhteistyössä tekemässä tutkimuksessa, jossa on mitattu 100 pientaloa [1, 2].

Ilmanvaihdon kehittyminen kodeissa vs. ilmanvaihdon tarve

Pientalojen ilman vaihtumistarpeena on pidetty vähintään kerran kahden tunnin aikana (ilmanvaihtokerroin 0,5 1/h). Ilmanvaihdolla tuodaan tiloihin raitista ulkoilmaa. Poistoilman mukana poistuu kosteutta, ihmisperäisiä hajuja, materiaaliemissioita ja muita epäpuhtauksia. Tuloilma tuodaan olo- ja makuuhuoneisiin ja ilma poistetaan likaisemman ilman tiloista kuten saniteettitiloista ja keittiöstä.

Ilman laadun ja terveysvaikutusten kannalta on ilmanvaihtomäärän lisäksi erittäin tärkeätä, että tuloilma on raitista ulkoilmaa, eikä sitä oteta rakenteiden vuotokohtien läpi esimerkiksi lattian alta. Alapohjavuodot ovat kriittisiä radonin sekä mahdollisten mikrobin ja maabakteereiden takia. Jos ilmapuotoa tapahtuu, lyhytkin muottilaudan pätkä laatan alla saa herkän ihmisen oireilemaan. Myös minkä tahansa ulkovaipparakenteen läpi otettavan ilman laatu heikkenee materiaaliemissioiden, pölyn ja mahdollisten mikrobin sekä muiden epäpuhtauksien takia. Ulkoilma on myös suodatettava, sillä siinä on paljon hiukkasmaisia epäpuhtauksia, esimerkiksi siitepölyä, joka on syytä kerätä ilmanvaihtolaitteen suodattimiin eikä esimerkiksi seinärakenteisiin. Hyvä sisäilmasto – raitis ja terveellinen sisäilma sekä kosteusteknisesti turvallisesti toimivat rakenteet – on rakennusvaipan ja ilmanvaihtojärjestelmän muodostama kokonaisuus, jossa hallittu ilmanvaihto ja ilmanpölyisyys ovat keskeisiä elementtejä.

Ilmanvaihtokerroin 0,5 1/h on nyrkkisääntö, johon perustuvat niin Suomen kuin useat muutkin rakentamismääräykset ja standardit. On huolestuttavaa, että viimeiset tutkimukset ovat osoittaneet ilmanvaihtomäärien laskua niin Suomessa kuin Ruotsissakin. Suomalaisen ja ruotsalaisten kotien ilmanvaihtokertoimia on esitetty kuvassa 1. Suomessa yleistä rakennustapaa edustavassa koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässäkin ilmanvaihtokerroin on laskenut noin 0,4 1/h tasolle. Ruotsissa



Kuva 1. Pientalojen ilmanvaihdon kehitys Suomessa ja Ruotsissa [1, 3, 4]. Suomalaiset tulokset on esitetty ilmanvaihtojärjestelmäkohtaisesti, koska Suomessa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä on ollut vallitseva järjestelmä 1980-luvulta lähtien. Ruotsalaisista tuloksista on esitetty vain keskiarvot.

ollaan jopa hieman senkin alapuolella. Suomen ja Ruotsin tulokset ovat sinänsä hyvin vertailukelpoisia, koska rakennustavoissa ei ole suuria eroja ja myös asumisväljyys on samaa luokkaa.

Mistä sitten johtuu, että rakentamisen kehityksessä ilmanvaihto on pienentynyt? Kuvan 1 tulokset ovat kodeista mitattua ilmanvaihtoa ja se voi poiketa määräysten mukaan mitoitetusta ilmanvaihdosta. Kyse ei siis ole pelkästään siitä, mikä on ilmanvaihtojärjestelmän kapasiteetti, vaan myös siitä miten asukas käyttää ilmavaihtolaitetta. Käyttäjä vaikuttaa merkittävästi toteutuneeseen ilmanvaihtoon, koska ilmanvaihtolaitteissa on useita nopeusportaita, yleensä 3–8 kpl. Tarkasteluun on otettava kolme pääkysymystä:

- onko ilmanvaihdon kriteeri edelleen relevantti, jos asukkaat pärjäävät pienemmällä ja rakentaminen on muutenkin kehittynyt niin, että materiaaliemissiot ovat vähentyneet ja asumisväljyys on lisääntynyt
- onko ilmanvaihtojärjestelmien kapasiteetti riittävä eli onko ne toteutettu määräysten mukaisesti
- onko jotain muita syitä, mitkä mahdollisesti estävät määräysten mukaisen ilmanvaihdon käyttämisen.

Esitetyt kysymykset ovat hyvin perusteellista laatua eikä lopullisia vastauksia kaikkiin yksityiskohtiin löydy. Suoraan rakentamismääräysten perusteella ei voi ketään kehottaa käyttämään suurempaa ilmanvaihtoa, koska määräykset perustuvat tyypillisesti hyvään käytäntöön,

jonka päivittäminen viimeisen tutkimustiedon perusteella on hidas prosessi. Tutkittua tietoa asuntoilmanvaihdosta on kuitenkin sen verran, että ilmanvaihdon rakentaminen ja käyttäminen on ohjeistettavissa, vaikka kaikkien yksityiskohtien osalta tieteellistä vastausta ei olekaan.

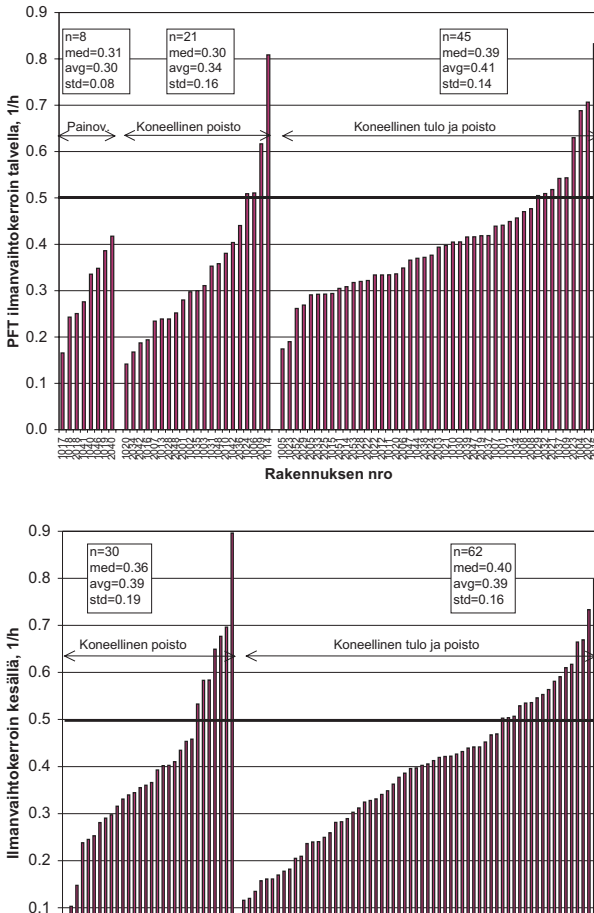
Ilmanvaihdon tarvetta tarkasteltaessa ilmanvaihtokerroin on melko karkea mittari. Se onkin periaatteessa purettava ilmanvaihdoksi henkilöä kohti (l/s, hlö, kuvaa ihmisen tarvetta) ja ilmanvaihdoksi lattianeliötä kohti (l/s, m², kuvaa rakennuksen sisäpintojen ja sisustuksen ilmanvaihdon tarvetta). Toimistorakennuksissa tästä lähestymistavasta on niin paljon tutkittua tietoa, että se on pystytty standardisoimaan sekä Euroopan että Amerikan asianomaisissa standardeissa. Asuntoilmanvaihtoa on kuitenkin tutkittu huomattavasti vähemmän ja tutkimuksissa eniten käytetty ilmanvaihdon mittari on ollut ilmanvaihtokerroin. Ilmanvaihtokerroin toimii, jos tuloksia sovelletaan normaalin asumisväljyyteen (eli sen on oltava likimain sama kuin tutkituissa rakennuksissa).

Ruotsalaiset tutkimukset ovat urauurtavia, koska niissä on pystytty osoittamaan ilmanvaihtokerroimen ja lasten oireiden välinen yhteys. Lapsilla, joiden kotona oli pienempi ilmanvaihto (alle 0,5 l/h) esiintyi enemmän astmaa ja allergisia oireita kuin lapsilla, joiden kotona oli suurempi ilmanvaihto (suurin tutkittu ryhmä 0,64 l/h) [4]. Myös useat muut tutkimukset ovat osoittaneet, että erityisesti pölypunkkien määrä (yksi yleisempiä allergeeneja) ja myös ilman

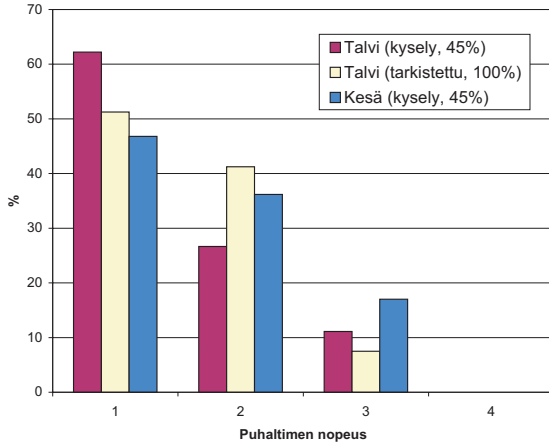
epäpuhtauksien vaikutukset lisääntyvät, kun ilmanvaihto on pienempi. On siis riittävästi näyttöä, jonka mukaan arvoa 0,5 1/h voidaan edelleen pitää vähimmäisvaatimuksena. Tutkijoilla on jonkinasteinen konsensus siitä, että vaikka monen asumiseen liittyvän asian (kodin siisteys, lemmikit ym. muut mahdolliset harrastukset) terveysvaikutukset voivat olla merkittävämpiä, voidaan 0,5 1/h pienempää ilmanvaihtoa pitää terveysriskinä. Ilmanvaihdoissa ei ole siis syytä tinkiä ja rakentamismääräysten vaatimukset pitää saada toteutumaan myös käytännössä.

Kotien ilmanvaihtojärjestelmien kapasiteettia ja asukkaiden järjestelmien käyttötapoja tutkittiin Kosteusvarma terve pientalo -tutkimuksessa 102 pientaloissa, joissa oli asuttu muuta-

ma vuosi [1,2]. Taloissa asui keskimäärin 3,6 henkilöä ja keskimääräinen talon koko oli 156 m². Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto oli 62, koneellinen poisto 29 ja painovoimainen ilmanvaihto 10 talossa. Painovoimaisen ilmanvaihdon talot olivat muita vanhempia, koska uusia ei löydetty. Tutkimus osoitti että vain 57 %:ssa taloista oli määräysten mukainen ilmanvaihtojärjestelmä, joka sai aikaan ilmanvaihdon 0,5 1/h siten että ilmanvaihtomelun äänitaso pysyi alle 28 dB(A) (vaaditaan asuinhuoneilta, jotta ilmanvaihtomelun ei olisi liian häiritsevää). Vielä huolestuttavampi oli, että vain 18 %:ssa taloista mitattiin talvella 0,5 1/h tai suurempi ilmanvaihto (mittaus tehtiin kahden viikon pituisella mittausjaksolla merkkiaineella ja



Kuva 2. Mitatut ilmanvaihtokertoimet talvella (yllä) ja kesällä (alla) [1].

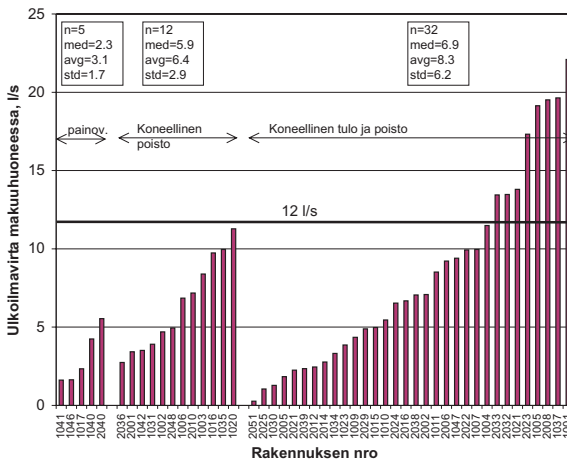


Kuva 3. Ilmanvaihtolaitteen nopeus normaalissa käyttötilanteessa, kesän ja talven vastaukset kyselytutkimuksesta (vastausprosentti 45) sekä talven tarkastettu tulos kaikista taloista [1].

sen tulos sisälsi myös ikkunatuuletuksen ja vuotoilman). Myöskään kesäaikaiset mittaustulokset, jotka olivat kertamittauksia poistoilmavirtojen perusteella, eivät antaneet olennaisesti parempaa tulosta (26 % 0,5 l/h tai suurempi). Talven ja kesän tulokset on esitetty kuvassa 2.

Tulokset siis osoittavat, että rakentamisessa ilmanvaihdoista on tingitty. Tärkein syy oli ali-

mittaiset ilmanvaihtolaitteet – suurempi ilmanvaihto oli taloissa, joissa oli suurempikokoiset ilmanvaihtolaitteet. Lisäksi vain alle puolet sellaisten talojen asukkaista, joissa oli riittävänkokoiset ilmanvaihtolaitteet, käytti ilmanvaihtoa asianmukaisesti. Kun ilmanvaihtolaitteiden käyttämistä tutkittiin tarkemmin, huomattiin, että suurin osa asukkaista piti ilmanvaihtolaitet-



Kuva 4. Talvella makuuhuoneissa mitatut ulkoilmavirrat [1]; huomaa suuri ero ilmanvaihtojärjestelmien välillä.

ta pienimmällä mahdollisella nopeudella, kuva 3. Kaikkien ilmanvaihtolaitteiden nopeusportaat on tässä skaalattu meliportaiseksi, jotta tuloksista saataisiin vertailukelpoiset. Kaksi taloa, joissa oli portaaton nopeuden säätö ja kaksi taloa, joissa oli vain yksi nopeusporras, on jätetty otoksesta pois. 13 % taloista ilmoitti käyttävänsä kahta nopeutta (joko 1 ja 2 tai 2 ja 3). Niissä on ilmoitettu talvella tutkijoiden tarkastama nopeus.

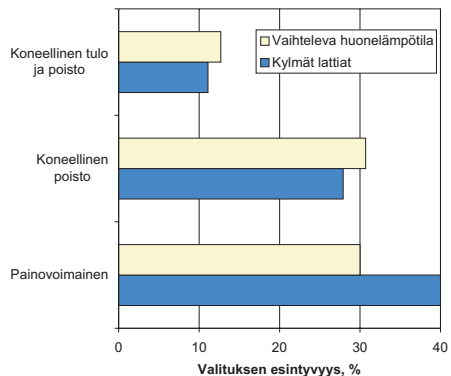
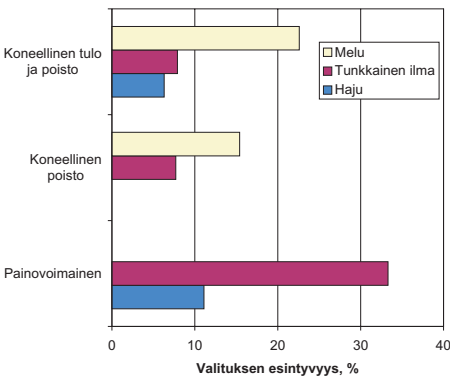
Tutkimus ei täysin pysty erittelemään, minkä takia ilmanvaihtolaitteita käytettiin pienellä nopeudella, mutta tutkimukseen sisällytynyt asukaskysely tuo esiin joitakin asioita. Tulokset viittaavat siihen, että ilmanvaihtomelulla on luultua suurempi merkitys ilmanvaihdon käyttämiseen. Tuloksista voidaan päätellä, että nykyinen vaatimus 28 dB(A) voi olla makuuhuoneiden osalta hieman löysä. Tämä päätelmä voidaan tehdä, koska meluvalitukset korreloivat makuuhuoneiden ilmanvaihtomelun kanssa ja toisaalta makuuhuoneissa keskimääräinen ilmanvaihtomelu oli vain 22 dB(A) sillä nopeudella jolla asukkaat ilmanvaihtolaitteita käyttivät. Vaikuttaa siis siltä, että asukkaat ovatkin valinneet ilmanvaihtolaitteen nopeuden ilmanvaihtomelun perusteella. Toinen mahdollinen osasy pieneen nopeuteen voi olla pyrkimys energiasäästöön.

Tutkimuksessa mitattiin myös kahden hengen makuuhuoneiden ilmanvaihtoa, koska makuuhuoneet ovat ilmanvaihdon kannalta kriittisimpiä tiloja. Määräysten mukainen ilmanvaihdon ohjearvo on 6 l/s, hlö; kahdelle henkilölle laskettuna 12 l/s makuuhuonetta kohti. Tämä vastaa ilmanvaihtokerrointa vähintään 1 l/h, eli pienessä tilassa ilman pitää vaihtua nopeammin kuin koko talossa keskimäärin. Tulosten mukaan taloissa, joissa oli alhaiset kokonaisilman-

vaihtokertoimet, myös makuuhuoneiden ilmanvaihto oli vajavaista. Ilmanvaihto oli suurin taloissa, joissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (8,3 l/s), kuva 4, mutta siitä vain noin puolet tuli tuloilmakanavan kautta, loppu oli vuotoilmanvaihtoa ja ikkunatuuletusta. Alhaiset ilmavirrat viittaavat siihen, että makuuhuoneissa on aika tunkkaista. Tunkkaisuus oli luultavasti huomattu, sillä tilannetta oli parannettu 75 %:ssa taloissa pitämällä makuuhuoneiden ovia myös yöaikana auki. Tällöin makuuhuoneen tunkkainen ilma pääsee sekoittumaan muiden tilojen ilman kanssa, mutta ilmanvaihto pitäisi tietysti olla mitoitettu siten, että se riittää silloinkin, kun ovi on suljettu.

Tutkimuksen yhteydessä tehty asukaskysely toi esiin myös ilmanvaihtojärjestelmien väliset erot. Koneelliseen ilmanvaihtoon yhdistettiin melu ja painovoimaiseen ilmanvaihtoon tunkkainen ilma. On mielenkiintoista, että asukkaat eivät valittaneet suoraan vedosta, kun käytössä oli koneellinen poistoilmavaihto ja painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, vaan valitukset kohdistuivatkin kylmään lattiaan, kuva 5. Koneelliselle tulo- ja poistoilmanvaihdolle ei näiden tulosten valossa näytä siis olevan vaihtoehtoja, koska omakotitaloasukkaat osaavat vaatia korkeata laatutasoa, johon muilla ilmanvaihtojärjestelmillä ei ole päästy.

Asukaskysely antoi merkittävän tuloksen myös rakennuksen ilmanpitävyyden vaikutuksesta asukkaiden kokemaan lämpöviihtyisyyteen. Ilmavuotoluku $n_{50} = 6$ osoittautui kriittiseksi rajaksi lämpöviihtyvyyden kannalta, sillä sitä suuremmilla ilmavuotoluvuilla oli merkittävästi enemmän valituksia kylmistä lattioista ja vaihtelevista huonelämpötiloista kuin sitä pienempien ilmavuotolukujen tapauksessa.



Kuva 5. Eri ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvät keskeiset asukkaiden valitukset [1].

Pientalojen ilmanpitävyys

Ilmanpitävyys on ymmärrettävästi tärkeä energiatalouden ja sisäilman laadun kannalta. Vähintään yhtä tärkeätä on ilmanpitävyyden vaikutus rakenteiden kosteusteknisen turvallisuuden kannalta, koska ulospäin virtaava lämmin ja kostea sisäilma kuljettaa rakenteisiin ylimääräistä kosteutta. Ilmanpitävyys vaikuttaa selvästi myös lämpöviihtyisyyteen, sillä hatarassa talossa ”sukat pyörivät jalassa”.

Rakennusten ilmanpitävyyteen alettiin Suomessa kiinnittää erityishuomiota 1980-luvulla ja Ruotsissa jo 1970-luvulla. Kyseisiltä ajankohdilta on molemmissa maissa olemassa myös kattavat mittausaineistot. Toisin kuin Suomi Ruotsi vei ilmanpitävyyden vaatimukset rakentamismääräyksiin ja asia saatiin tavallaan pois päivänjärjestyksestä – ilmanpitävyyssasiat ovat Ruotsissa kutakuinkin kunnossa. Suomessa sen sijaan uusimmat mittaukselliset tulokset 2000-luvulta valitettavasti osoittavat, että ainakin puurunkoisten pientalojen ilmanpitävyys on edelleen huomoinpi kuin Ruotsissa vuoden 1978 mittauksissa.

Ongelmallista on, että uudispientalotuotannossakin ilmanpitävyys vaihtelee paljon: markkinoilta löytyy samanaikaisesti sekä erittäin hyviä että huonoja taloja. Pientalojen ilmanpitävyys ei ole juurikaan kehittynyt viimeisen 20

vuoden aikana. Toivottavasti yhtäältä käynnissä oleva rakentamismääräysten uusiminen energiatalouden osalta sekä energiatodistusten tuleminen ja toisaalta ilmanpitävyyden mittausteknikan halventuminen ja yleistyminen saavat jatkossa aikaan muutoksen myös Suomessa.

Ilmanpitävyyden mittarina käytetään ilmavuotolukua n_{50} , joka on rakennuksen vuotoilmanvaihto 50 Pa paine-erolla. Ilmavuotoluku esitetään joko ilmanvaihtokertoimenä tai vuotoilmavirtana rakennuksen ulkovaipan neliötä kohti. Mittaus tehdään standardisoidulla paineistuslaitteistolla, jossa puhallin tiivistyskehysineen asennetaan rakennuksen ulko-ovi-aukkoon. Jos mittaus tehdään pakkaskelillä, saadaan lämpökamerakuvauksella selvitettyä myös vuotokohtien sijainnit. Myös savua käytetään tähän tarkoitukseen. Koska puhallinlaitteistot ja lämpökamerat ovat kehittyneet ja samalla niiden hinnat ovat laskeneet, alkaa markkinoilla olla kohtuuhintaisia mittauspalveluja. Esimerkiksi Saksassa, jossa ilmanpitävyyssvaatimukset on myös viety rakentamismääräyksiin, tällaiset mittaukset ovat yleistyneet 1990-luvulla urakoitsijoiden laadunvarmistusmenetelmänä.

Kuvassa 6 on esitetty esimerkki vuotokohtien määrittämisestä eräässä puurunkoisessa tilaementitalossa, jonka ilmavuotoluku on $n_{50} = 3.4$ l/h. Lämpökamera kertoo hyvin vuotokohdat. Pisteiden Sp1...Sp3 lämpötilat ja niitä vastaavat



Olosuhteet

Ulkolämpötila

-4 °C

Sisälämpötila

+21.5 °C

Mittaukselliset

-4Pa

-50Pa

Sp1

+15.1 °C

+12.7 °C

Sp2

+17.0 °C

+14.5 °C

Sp3

+14.4 °C

+9.9 °C

TI Sp1

75

66

TI Sp2

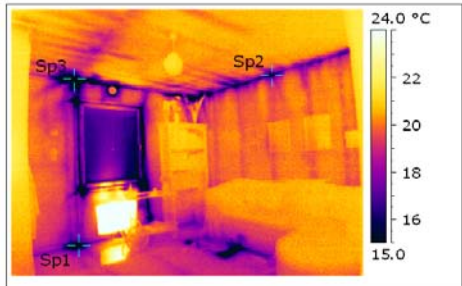
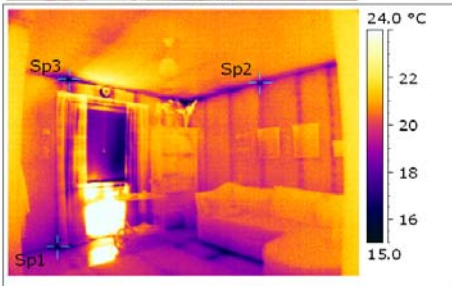
82

73

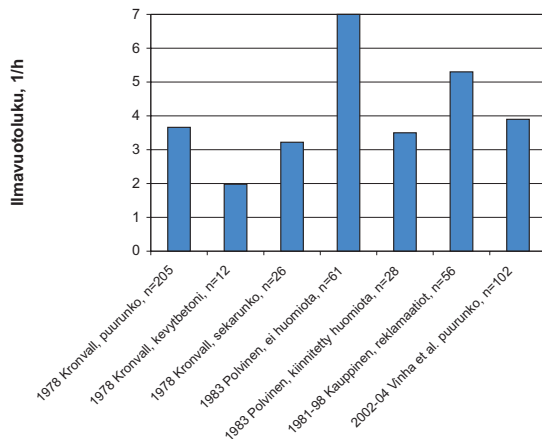
TI Sp3

72

55



Kuva 6. Esimerkki vuotokohtien määrittämisestä. Valokuva tutkittavasta huoneesta, vasemmalla IR-kuva normaaliin painesuhteiden (-4 Pa) vallitessa ja oikealla IR-kuva -50 Pa alipaineessa puoli tuntia alipaineistuksen jälkeen.



Kuva 7. Ilmanpitävyyden mittaustuloksia eri tutkimuksissa Suomessa ja Ruotsissa.

lämpötilaindeksit ovat merkittävästi laskeneet. Ilmavuodot ovat siis ulkoseinän ja välipohjan liitoksessa sekä suurelementtien liitoksessa ulkoseinän ja välipohjan kohdalla. Jos lämpökamerakuvaus olisi tehty aikoinaan rakentamiskamerasuorituksen vaiheessa, olisi nämäkin vuodot varmasti saatu tiivistettyä.

Mitä ilmanpitävyyden osalta on tapahtunut? 1980-luvulla saavutettiin jo lupaavia tuloksia. Polvinen [5] vertaili silloin tavanomaisesti rakennettujen rakennusten (ilmanpitävyyteen ei ole kiinnitetty tietoista huomiota) ja rakennusten, jossa ilmanpitävyyteen saavuttamiseen kiinnitettiin tietoista huomiota ilmanpitävyyksiä. Erot olivat kaksinkertaisia. Ilmavuotoluvun keskiarvo oli 7,0 l/h rakennuksissa, joissa ilmanpitävyyteen ei kiinnitetty tietoista huomiota (61 kpl) ja 3,5 l/h (vaihteluväli 3...4 l/h) rakennuksissa, joissa siihen kiinnitettiin huomiota (28 kpl), kuva 7.

Kauppinen [6] on tehnyt yhteenveton ilmavuotolukujen mittaustuloksista 1981–1998 (lähinna reklamaatiotapauksia). 56 omakotitalon keskiarvo oli 5,3 l/h ja 102 rivitalon 5,6 l/h. Kauppinen arvioi, että ilmanpitävyyden taso on kuitenkin parantunut viimeisen parinkymmenen vuoden aikana. Em. mittausten lisäksi on tehty joitakin asuontomessualueen talojen mittauksia. Niiden tulokset ovat olleet jonkun verran keskiarvoja parempia.

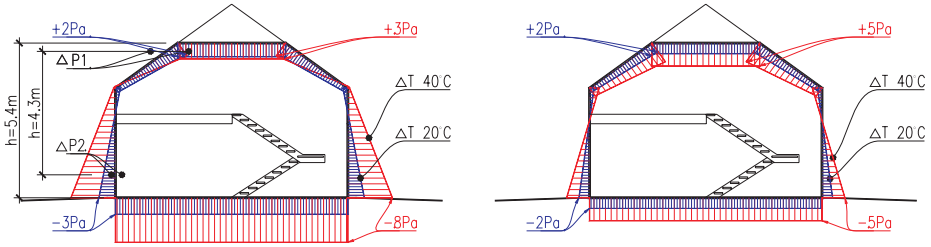
Kosteusvarma terve pientalo -projektin 102 pientalon mittauksen perusteella vuosina 2002–2004 uudehkojen pientalojen keskimääräinen ilmavuotoluku oli 3,9 l/h, keskihajonta 1,8 l/h ja vaihteluväli 0,5...8,9 l/h [2]. 67 %:ssa rakennusten ilmavuotoluku oli suurempi kuin 3 l/h ja 15 %:ssa suurempi kuin 6 l/h. Tämä on kattavin

aineisto uusista pientaloista, se sisälsi elementtirakenteisia ja pitkästä tavarasta rakennettuja taloja, joiden tekijöinä oli sekä ammattimiehiä että tee-se-itse-rakentajia. Suuri vaihteluväli osoittaa, että otoksessa oli sekä hyvin ilmanpitäviä että hyvin hataria taloja. Selkeästi muita tiiviimpiä taloja olivat polyuretaanieristeiset talot (1,2 l/h, n = 6) ja myös elementtirakenteiset talot olivat hieman tiiviimpiä kuin paikalla rakennetut. Näiden tulosten keskiarvo jää kuitenkin edelleen 1970-luvun ruotsalaistuloksista. Ruotsissa mitattiin silloin suuri otos, joka sisälsi 205 puurunkoista pientaloa, joiden keskimääräinen ilmavuotoluku oli 3,7 l/h [7].

Ilmanpitävyyden vaikutus energiatalouteen

Vaikka ilmanpitävyyttä on perusteellisesti tutkittu 1970- ja 1980-luvulla, ei ole löydetty selkeää vastausta ilmanpitävyyden energiatalouden vaikutuksesta. Nyrrkisääntö on, että huonelämpötilan pudotus yhdellä asteella tarkoittaa 5 % säästöä lämmityskuluissa. Entä montako prosenttia vastaa yksikön suuruinen muutos ilmavuotoluvussa? Ehkä vastausta ei ole saatu sen takia, että vuotoilmanvaihdon laskentatulokset on herkkä laskennan lähtötiedoille ja lisäksi ilmanvaihtojärjestelmällä on merkittävä vaikutus tulokseen. Koska tulokseen vaikuttavat olennaisesti rakennustapa ja ilmasto, tarvittaisiin laskentatapa, joka toimii Suomen olosuhteissa.

Kuvassa 8 on havainnollistettu ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin tyypillisessä suomalaisessa pientalossa.



Kuva 8. Painesuhteet keskivertopientalossa 0 °C ja –20 °C ulkolämpötiloilla. Vasemmalla mitatut tulokset, ja oikealla lasketut, pelkästään savupiippuvaikutuksesta johtuvat paine-erot ilman vaihtojärjestelmän vaikutusta.

Kyseisessä talossa on tyypillinen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, ilmanvaihtokerroin 0,34 1/h ja ilmavuotoluku 3,9 1/h, jotka ovat hyvin lähellä keskiarvoja. Nähdään, että savupiippuvaikutuksesta –20 °C ulkolämpötilalla alapohjan tasolle aiheutuisi –5 Pa alipaine ja yläpohjan tasolle 5 Pa ylipaine. Koska rakennuksen ilmanvaihdon kokonaispoistoilmavirta oli noin 15 % suurempi kuin kokonais-tuloilmavirta, siirtyy neutraaliaksiksi alemmas niin että paine-eroissa tapahtuu 2...3 Pa muutos. Painesuhteet osoittavat vuotoilmanvaihdon laskennan vaikeuden: samalla ulkoseinällä tapahtuu samanaikaisesti sisään ja ulosvirtauksia eri korkeuksilla. Vuotokohtien sijainti siis vaikuttaa olennaisesti laskentatulokseen.

Rakennuksen keskimääräistä vuotoilmanvaihtoa voidaan arvioida erilaisilla laskentamalleilla. Yksinkertaiset laskentamallit ovat joko regressioyhtälöitä tai tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttamien virtausten fysikaalisista yhtälöistä johdettuja yhden vyöhykkeen malleja. Ehkä eniten käytetty ja yksinkertainen on Lidamentin malli $q_v = n_{50}/20$ [8]. Tässä vuotoilmanvaihdon q_v yksikkönä on m^3/h ja malli helppo ylläriivio vuotoilmanvaihdon. Myös ASHRAE:n ja LBL:n menetelmät [9,10] antavat tyypilliselle suomalaiselle pientalolle (normaali, melko suojainen sijainti esim. esikaupunkialueella) tuloksen noin $n_{50}/20$. EN 13790 [11] menetelmä antaa tasapainoiselle ilmanvaihdolle jopa noin $n_{50}/15$, mutta soveltuu hyvin koneelliselle poistoilmanvaihdolle, koska laskentamallissa otetaan huomioon tulo- ja poistoilman erotus ja alipaineen vallitessa jakajasta tulee huomattavasti suurempi.

Dubruilin mukaan matalissa taloissa jakaja vaihtelee välillä 20–30 ja korkeissa, tuulelle alttiissa taloissa välillä 10–20 [12]. Persily on analysoinut omien mittaustulosten lisäksi Kronvallin aikaisempia mittaustuloksia (yhteensä yli 40 rakennusta) ja saanut tulokseksi mallin $q_v = n_{50}/18-0,08$, joka antaa tyypillisille n_{50} luvuille

3–4 1/h tulokseksi noin $n_{50}/30$ [13]. Vetämällä tulokset [8–13] yhteen päädyttiin RET-hankkeessa yksinkertaiseen laskentayhtälöön [14]:

$$n_v = \frac{n_{50}}{x} \quad (1)$$

jossa n_v on rakennuksen vuotoilmanvaihtokerroin [1/h], n_{50} rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h] ja tekijä x on pientalossa 30 ja muissa rakennuksissa 20.

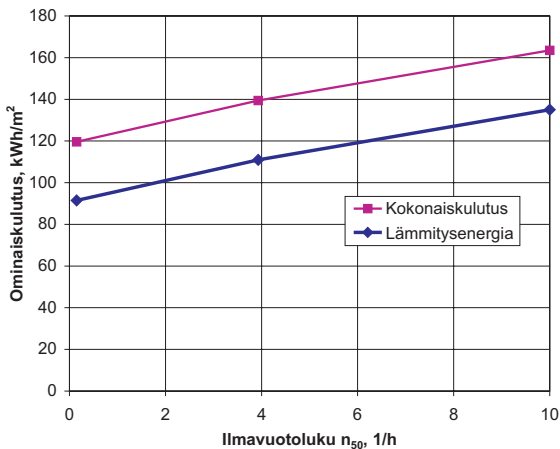
Rakennuksiin, joissa poistoilmavirta on yli 20 % suurempi kuin tuloilmavirta, syntyy alipainetta ja vuotoilmanvaihtokerroin vastaavasti pienenee. Tällaiset rakennukset voidaan laskea EN 13790 kaavalla:

$$n_v = \frac{0,07n_{50}}{1 + 2,78 \times 10^9 \left(\frac{V_e - V_s}{Vn_{50}} \right)^2} \quad (2)$$

jossa V_e poistoilmavirta [m^3/s], V_s tuloilmavirta [m^3/s], ja V tilavuus [m^3].

Kun pientalojen keskimääräinen ilmanvaihtokerroin oli 0,4 1/h (kuva 1), vuotoilmanvaihdoksi tulee yhtälön (1) mukaan keskimääräisellä ilmavuotoluvulla niin suuri kuin $3,9/30 = 0,13$ 1/h.

Vuotoilmanvaihtoa voidaan laskea tarkemmin monivyöhykemallilla, mikäli tiedetään vuotoilmareitit. Tällainen tarkastelu on tehty mallintamalla IDA-ICE ohjelmalla yksityiskohteisesti kuvan 8 pientaloa, josta on mitatut vuotoilmajakaumat. Kun mallinnetaan riittävä määrä tiloja ja sijoitetaan keskeiset vuotoilmareitit jokaiselle julkisivulle oikeille korkeuksille, voidaan laskea vuotoilmanvaihto ja myös energiankulutus ympärivuotisella simuloinnilla hyvinkin tarkasti. Kyseisen keskivertopientalon simulointilaskelma antoi vuotuuksi vuotoilmanvaihtokertoimeksi 0,10 1/h, joka on hieman pie-



Kuva 9. Vuotoilman vaikutus energiatalouteen. Sähkölämmitteisen talon lämmitysenergian kulutus (tilojen ja ilman lämmitys) ja kokonaiskulutus, jossa on mukana lämmin käyttövesi ja kotitaloussähkö. Esitetyt kulutukset ovat kWh lämmitettyä lattianeliötä kohti vuodessa.

nempi kuin karkealla yhtälöllä (1) laskettu tulos 0,13 1/h. Yksityiskohtainen mallinnus antoi tässä tapauksessa ilmavuotoluvun jakajaksi 40. Kun simuloinnit tehtiin ilmavuotoluvun alueella 0–10 1/h, saatiin keskimääräiseksi jakajaksi 37. Tämä simulointi tukee jakajan 30 käyttämistä yhtälössä (1) vuotoilmanvaihdon arvioinnissa ja osoittaa, että siinä on sopivasti varmuutta. Sen sijaan nyrkkisääntökaavalla laskeminen (jakaja 20) näyttää antavan Suomen oloissa pientaloille kaksinkertaisen vuotoilmanvaihdon. Periaatteessa on otettava myös huomioon, että yksikerroksisissa taloissa vuotoilma on vielä hieman pienempi, mutta yleensä käytetään samaa yhtälöä 1–2 kerroksisille taloille.

Ympärivuotisten simulointilaskelmien tulokset osoittavat myös vuotoilman vaikutuksen energiakulutukseen, kuva 9. Prosentuaalinen vaikutus on hieman erilainen riippuen siitä, tarkastellaanko pelkästään tilojen ja ilman lämmityksen tarvitsemaa energiaa vai tarkastellaanko kokonaiskulutusta, johon sisältyvät myös lämmin käyttövesi ja kotitaloussähkö. Yhden yksikön suuruinen muutos ilmavuotoluvussa lisää lämmitysenergian kulutusta noin 5 %.

Yhteenveto

Uusien pientalojen ilmanvaihdon mittaukset osoittavat että ilmanvaihdoissa tingitään, sillä vain 57 %:ssa tutkituista taloista oli riittävän kokoiset, määräysten mukaiset ilmanvaihtolaitteet

ja -kanavistot. Näissäkin taloissa vain alle puolet asukkaista käytti ilmanvaihtoa asianmukaisesti. Ilmanvaihtomelu erityisesti makuuhuoneissa tuntuu olevan koneellisen ilmanvaihdon pahin ongelma, joka ohjaa käyttämään ilmanvaihtolaitteita liian pienellä nopeudella.

Tutkittujen talojen ilmanvaihtojärjestelmien tarkastelu osoitti kaksi peruspuutetta, jotka olivat johtaneet ilmanvaihdoissa tinkimiseen. Usein oli valittu alimittaisia ilmanvaihtolaitteita, ilmeisesti ymmärtämättä, että rakennuksen mitoitusilmavirta voi olla vain noin puolet ilmanvaihtolaitteen nimellisilmavirrasta, koska suuremmalla ilmavirralla ei pystytä käytännössä saavuttamaan riittävää äänenvaimennusta. Heikko äänenvaimennuksen suunnittelu ja/tai toteutus oli toinen peruspuute. Tuloilmakanavaan oli tyypillisesti laitettu samanpituinen (90 cm) äänenvaimennin kuin poistopuolellekin. Nyrkkisääntönä tuloilmakanavaan pitäisi laittaa lisäksi toinen äänenvaimennin, jotta makuuhuoneen äänitasoa voitaisiin hallita. Ilmanvaihtosuunnittelijan pitää aina tehdä äänilaskelma, koska ilmanvaihtolaitteilla on erilainen äänenkehitys ja myös kanavistossa voi olla tiukempia paikkoja, jotka tarvitsevat lisä-äänenvaimennusta. Väljä kanavamitoitus on yleisohje, koska se vähentää meluhaittoja ja helpottaa tasapainotusta. Makuuhuoneiden puutteellisen ilmanvaihdon osasyö oli usein se, että ilmanvaihtojärjestelmä ei ollut asennuksen jälkeen koskaan tasapainotettu, jolloin viimeisenä kanavan päässä olevaan makuuhuoneeseen ilma ei enää riittänyt.

Pientalon ilmanvaihtolaite valinta on syytä tehdä huolellisesti. Laitevalmistajat ovat tehneet merkittävää tuotekehitystä, jonka tuloksena on tarjolla hiljaisempia, tehokkaammalla lämmön talteenotolla ja alhaisemmalla sähkönkulutuksella varustettuja laitteita edullisten perusrmallien rinnalla. Isoimpiin taloihin ei aikaisemmin aina löytynyt riittävän kokoisia laitteita, mutta nyt niitäkin on jo saatavilla. Isommat, hiljaisemmat ja tehokkaammat laitteet maksavat itsensä nopeasti takaisin energiansäästönä ja parempana käyttömukavuutena.

Ilmanpitävyyden mittaustulokset vaihtelivat suuresti uudessa pientalotuotannossa. Markkinoilla on samanaikaisesti sekä hyvin ilmanpitäviä että erittäin hataria taloja. Myös ilmapuotolukujen keskiarvossa $n_{50}=3,9$ l/h on toivomisen varaa, se vastaa likimain ruotsalaisten talojen ilmanpitävyyttä 1970-luvulla. Ilmapuodot heikentävät lämpövihiyisyyttä ja lisäävät energiankulutusta; yhden yksikön suuruinen muutos ilmapuotoluvussa vastaa karkeasti noin 5 %:n lisäystä lämmitysenergiassa. Yleisimpiä vuoto-kohtia olivat ulkoseinän ja yläpohjan liitos (erityisesti kivitaloissa puurakenteisella yläpohjalla), ovien ja ikkunoiden tiivisteet ja asennus, ilmasulun läpiviennit ja sähköasennukset, ulkoseinän ja alapohjan sekä ulkoseinän ja välipohjan liitokset. Yleisesti ilmanpitävyys onkin pitkälti työmaatoteutuksen ja suunnitteluratkaisujen pienten yksityiskohtien varassa. Mm. rakennusmateriaalivalmistajilta löytyy paljon hyvää ohjeistusta, miten liitokset ja läpiviennit tehdään tiiviiksi. Markkinoilla on läpivientikapaleita, teippejä ja tiivisteitä sekä muita hankalien kohtien tiivistysratkaisuja. Tiedon puutteesta siis ei ole kysymys, koska tieto on kaikkien saatavilla esimerkiksi suoraan yritysten internet-kotisivuilla. Kyse onkin tiedon käyttämisestä.

Koska rakentamismääräyksissä ei ole ilmanpitävyydelle vähimmäisvaatimuksia, pitäisi tilaajan itse vaatia urakoitsijalta esimerkiksi 1 tai 2 l/h ilmapuotolukua, joka todennetaan mittamalla. Ainakin on syytä valita sellainen toimittaja, jonka laadunvarmistusmenettelyt ovat kunnossa. Alalla on paljon toimijoita, jotka hallitsevat ilmanpitävyyssasiat, mutta toisaalta myös toimijoita, jotka eivät kiinnitä riittävästi huomiota ilmanpitävyyteen. Tähän tarvitaan muutos, jotta saataisiin syntymään reilu kilpailutilanne. Ilmanpitävyyden vähimmäisvaatimukset on vietävä jatkossa myös määräyksiin, mikä selkiyttäisi omalta osaltaan nykyistä tilannetta.

LÄHTEET

- [1] Kurnitski J, Eskola L, Palonen J. Ventilation in 102 Finnish single-family houses. Clima 2005 Lausanne 9-12 October 2005.
- [2] Vinha J, Korpi M, Kalamees T, Eskola L, Palonen J, Kurnitski J, Valovirta I, Mikkilä A, Jokisalo J. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviyys. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 131. Tampere 2005.
- [3] Ruotsalainen R. Ventilation, indoor air quality, and human health and comfort in dwellings and day-care centers. Helsinki University of Technology, Laboratory of Heating, Ventilating and Air Conditioning. Report A1, Espoo 1995.
- [4] Bornehag C.G, Sundell J, Hägerhed-Engman, Sigsgaard T. 2005. Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. *Indoor Air* 2005; 15: 275–280.
- [5] Polvinen M, Kauppi A, Saarimaa J, Haalahti P, Laurikainen M. Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyys. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 215. Espoo 1983.
- [6] Kauppinen T, Rantamäki J. Suomalaisten pientalojen ilmanpitävyys mittausten perusteella. Sisäilmastoseminaari 1999, SIY Raportti 13, 329–336, Helsinki 1999.
- [7] Kronvall J. Air Tightness Measurements and Measurement Methods. Swedish Council for Building Research, Stockholm, D8:1980.
- [8] Liddament M. Air infiltration and calculation techniques- an application guide. Air Infiltration and Ventilation Centre, UK 1986.
- [9] ASHRAE Handbook of fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc.; Atlanta 1989.
- [10] Sherman M.H, Grimsrud D.T. Infiltration-pressure correlation: Simplified physical modeling. ASHRAE Transactions 86, 1980, Part 2, 778–807.
- [11] Standard EN ISO 13790. 2004. Thermal performance of buildings. Calculation of energy use for space heating.
- [12] Dubrul C. Inhabitants behavior with respect to ventilation. Technical Note 23, Air Infiltration and Ventilation Centre, UK 1988.
- [13] Persily A.K, Linteris G.T. A comparison of measured and predicted infiltration rates. ASHRAE Transactions, 1983, Vol. 89, Part 2B, 183–200.
- [14] D5-taustaraportti, Versio 1.8. 25.05.2005. Rakennusten energiankulutuksen laskentaohje. RET-hanke. www.motiva.fi/ret.