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

Rakennusten ilmanpitävyys

Timo Kauppinen,
Erikoistutkija, VTT
timo.kauppinen@vtt.fi

Tausta

Rakennuksen ulkovaipan ja taloteknisten järjestelmien tehtävänä on pitää yllä rakennukselle asetetut sisäilma- ja toimivuustavoitteet. Rakennuksen tiiviydellä tarkoitetaan ulkoseinärakenteiden ilmanpitävyyttä – miten hallitsemattomat ilmanvuodot rakenteiden läpi on ehkäisty. Rakennuksen ulkoseinärakenteiden ilmanpitävyydellä on tärkeä vaikutus lämpöviihtyvyyteen, ja jos rakennus on riittävän epätiivis, myös energiankulutukseen. Rakennuksen ulkovaipan läpi tulevat hallitsemattomat ilmanvuodot voivat aiheuttaa myös terveyshaittoja ja rakennevaurioita. Vuotoilmavirta syntyy lämpötilaerojen ja tuulen aiheuttamista paine-eroista sekä myös ilmanvaihtojärjestelmän puutteellisesta toiminnasta, ja vuotoilmavirtoihin vaikuttavat rakennuksen sijainti, korkeus ja ulkovaipan kunto.

Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyyttä mitataan tiiviysmittauksella. Siinä ulko- ja sisätilan välille aiheutetaan 50 Pa:n (Pascal) ali- ja ylipaine sekä mitataan paine-eron ylläpitämiseen tarvittava ilmamäärä. Rakennusten tiiviyttä kuvataan ns. ilmanvuotoluvulla n_{50}, joka kuvaa mitatun ilmanvuodon määrää 50 Pa:n ali- ja ylipaineen keskiarvona.

Suomessa ei ole aikaisemmin ollut määräyksiä rakennuksen tiiviydestä.

Energiatehokkuuslaskelmamääräysten (D3, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2010 /1/, edellinen versio v. 2008) tullessa voimaan rakennusalan eri osapuolten kiinnostus rakennusten tiiviyden mittaamiseen kasvoi voimakkaasti. Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 kappaleessa 3.3 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviön laskenta kohdan 3.3.2 mukaan: ”Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään rakennuksen vuotoilmakertoimena arvoa $n_{vuotoilma} = 0{,}08$ 1/h, mikä vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 2{,}0$ 1/h”. Kohdassa 3.3.3: ”Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, käytetään rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa rakennuksen vuotoilmakertoimena arvoa nvuotoilma = 0,16 1/h, mikä vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 4{,}0$ 1/h. Tätä pienempää arvoa voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan mittaamalla tai muulla menettelyllä. Tällöin rakennuksen vuotoilmakerroin lasketaan yhtälön

$$n_{vuotoilma} = n_{50}/25 \text{ mukaan,} \qquad (1)$$

jossa

$n_{vuotoilma}$ rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h

n_{50} rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, kertaa tunnissa, 1/h

Selostusosassa mainitaan: ”Sisäilmaston, rakenteiden sekä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta tulisi rakennuksen ilmanvuotoluvun n_{50} olla enintään 1 1/h (rakennuksen vaipan läpi virtaa yksi rakennuksen ilmatilavuus tunnissa paine-eron sisä- ja ulkoilman välillä ollessa 50 Pa). Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä on esitetty standardissa SFS-EN 13829 /2/.”

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 /3/ Rakennusten lämmöneristys, kappaleessa 2.3 Vaipan ja tilojen välisten rakenteiden ilmanpitävyys, kohdassa 2.3.1 sanotaan: ”Sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille tai rakenteille ja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku.”

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 /4/, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2007, taulukossa 4.3. on esitetty tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja (taulukko 1). Rakentamismääräyskokoelmassa annetaan siten ohjeita siitä, millä tasolla tiiviyden tulisi olla, ja todetaan että vuotoilmavirtoja ja ilmanpitävyyttä voidaan arvioida mittaustulosten perusteella.

Uudessa Sisäilmastoluokituksessa /5/ on suositeltu ilmanpitävyyden enimmäisarvoksi pientaloille $n_{50} < 1$–2 1/h ja muille rakennuksille $n_{50} > 0{,}5$–0,7 1/h. Asuinhuoneistojen ilmanpitävyydeksi suositellaan $n_{50} < 0{,}5$–0,7 1/h (sisältää ilmanvuodot ulkovaipan sekä asuntojen välisten seinien ja välipohjien läpi).

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

Taulukko 1. Suomen rakentamismääräyskokoelman D5:ssä esitettyjä tyypillisiä rakennusten ilmanvuotolukuja.

Taulukko 4.3.	Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja (n_{50}) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.	
Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50}-luvut, 1/h
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1…3 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5…1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3…5 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5…3,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5…10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3…7

Rakennuksen ilmanpitävyys ja rakennusten toimivuus

Rakennuksen toimivuus ja energiatehokkuus määräytyvät pääosin tavoiteasetannassa ja suunnittelussa. Toimivuuden kannalta olennaista on, että eri osatekijät, kuten rakennuksen vaippa, ilmanvaihtojärjestelmä, lämmitysjärjestelmä ja automaatiojärjestelmä, toimivat hyvin yhdessä. Järjestelmien keskinäinen toimivuus ja yhteensopivuus on siten keskeinen tekijä.

Toinen tärkeä tekijä on, että toimivuudelle on asetettu riittävän yksityiskohtaiset ja yksiselitteiset tilaajan vaatimukset ja että niiden toteutuminen voidaan myöhemmissä vaiheissa mittauksin ja muiden menetelmien avulla todentaa. Olennainen asia rakennusten ilmanpitävyydessä on, että asetetaan tavoitetaso ja että suunnittelu- ja toteutusvaiheen toimenpitein tavoitetaso toteutetaan. Tämä edellyttää työmaatason asianmukaista ohjeistamista, suunnitteludetaljien kehittämistä sekä myös entisestä käytännöstä poikkeavia ratkaisuja. Suunnitteluvaiheessa määritetään nykyistä yksityiskohtaisemmin ne ulkovaipan tiiveyteen vaikuttavat rakenneosat ja rakennedetaljit, joiden toteuttaminen ohjeistetaan työmaalle. Lopullinen ulkovaipan toimivuus riippuu aina siitä, miten työmaalla kyseiset asiat tehdään. Käytettävissä olevien tulosten perusteella näyttää siltä, että ns. tavanomaisia menetelmiä käyttämällä, mutta kiinnittämällä erityistä huomiota ilmanpitävyyteen vaikuttaviin asioihin voidaan saavuttaa hyväksi katsottava tiiviystaso, pientaloissa n_{50} < 1,0 1/h ja kerrostaloasunnoissa taso 0,5 1/h.

Koska uudistuotanto on vain 1–2 % rakennuskannasta, todellinen ongelma on olemassa olevissa rakennuksissa, joiden tiiveyden parantamiseen tuleekin kiinnittää erityisesti huomiota. Rakennusten ilmanpitävyys liittyy olennaisesti myös ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen. Rakennuksen tiiviyttä ei siten pidä käsittää vain yksittäisenä, parannusta kaipaavana kohtana.

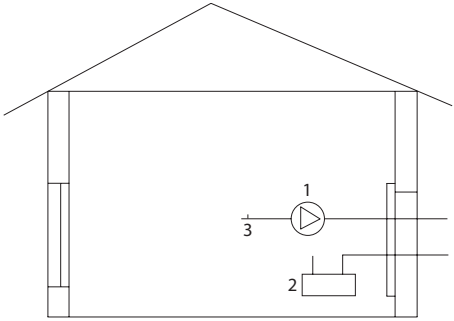
Energiatehokkuuslaskelman ilmanvuotoluvun oletusarvo n_{50} = 4 1/h (vaihtoa tunnissa) aiheutti uudistuotannon ilmanpitävyyden mittausaallon, joka on synnyttänyt myös uutta palveluliiketoimintaa. Samalla pientalovalmistajat ja rakennusyritykset ovat parantaneet uudistuotannon laadunvarmistusmenettelyään kehittämällä toimintatapoja, joilla ilmanpitävyyden asianmukainen taso yritetään varmistaa. Kolmen viime vuoden aikana tehtyjen mittausten perusteella näyttääkin siltä, että uudistuotannon ilmanpitävyys on merkittävästi lähtenyt paranemaan. Myönteinen asia on, että rakennusalan eri osapuolet asettavat tavoitteet, jotka pyritään saavuttamaan ja pitämään. Rakennusten ilmanpitävyyttä on mitattu Suomessa n. 30 vuoden ajan, mutta vasta rakentamismääräysten muuttuminen aiheutti tiiviysmittausten läpimurron ja laajemman huomion asiaan.

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen

Normaaleissa käyttöolosuhteissa, kun ilmanvaihtojärjestelmä on oikein tasapainotettu, rakennuksissa tulisi vallita n. 0–10 Pa:n alipaine. Jotkin erikoistilat voivat olla ylipaineisiakin. Mikäli rakennuksessa on

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

Kuva 1. Painekokeen periaate.



Kuva 2. Mittausjärjestelyt. 1) säädettävä apupuhallin 2) ulko- ja sisäilman paine-eron mittaus 3) tilavuusvirran mittaus.

painovoimainen ilmanvaihto, poistoventtiiliä vasten vallitsee ylipaine, koska muuten järjestelmä ei voi toimia oikein. Tällöin huonetila on alaosaltaan alipaineinen ja yläosasta ylipaineinen, nollataso on yleensä ikkunalinjan keskellä. Mikäli kohteessa on koneellinen poisto ja tuloilmareitit on osittain tukittu, voi rakennuksen alipaine nousta 30–40 Pa:n tasolle. Tällöin ilmanvuotoreittien merkitys korostuu. Rakennuksen ilmanpitävyyden mittauksen yhteydessä tuleekin aina mitata rakennuksen painesuhteet. Ylipaine rakenteita vasten voi aiheuttaa kosteuden kondensoitumista rakenteisiin, jos höyrynsulussa on puutteita. Myös ulkopuolisen tuulensuojalevyn tulee toimia nimen edellyttämällä tavalla, koska ilmavirtaukset rakenteisiin heikentävät eristävyyttä. Korkeissa tiloissa, joissa suhteellinen kosteus on korkea, kuten uimahalleissa, voi tilan yläosassa lievästä alipaineestakin huolimatta kosteutta johtua rakenteisiin diffuusion vaikutuksesta, jos höyrynsulku ei ole tiivis.

Ilmanvuotoluku on yksikäsitteinen, suhteellisen yksinkertaisesti mitattavissa oleva suure, jonka avulla rakennuksia voidaan verrata keskenään. Se ei kuitenkaan selitä täysin rakennusten vuotoilmanvaihdosta johtuvaa ylimääräistä energiankulutusta, koska joidenkin rakennusten ilmanvuotokäyrät ns. normaalisti esiintyvien paine-erojen alueella (0–10….15 Pa) saattavat poiketa toisistaan, vaikka ilmanvuotoluvut n_{50} olisivatkin samat. Ilmanpitävyyden mittaus- ja tulkintamenetelmiä voidaan vielä kehittää. Lisäksi täytyy korostaa sitä, että ilmanpitävyys on vain yksi energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä. Rakennuksen vaipan, taloteknisten järjestelmien, sääolosuhteiden ja käytön yhteisvaikutus ja järjestelmien yhteen sovittaminen määrää lopulta rakennuksen toimivuuden.

Rakennusten ilmanpitävyyttä on mitattu Suomessa jo 70–80-lukujen vaihteesta lähtien.

Rakennuksen ilmanpitävyys voidaan mitata erityisellä laitteistolla (esim. Blower-door). Tiiviysmittauksessa tutkittavan rakennuksen tai rakennuksen osan ja ulkoilman välille asetetaan 50 Pa:n ali- ja ylipaine, sekä mitataan tämän paine-eron ylläpitämiseksi tarvittava ilmavirta. Paine-ero aiheutetaan puhaltimella (kuvat 1. ja 2.).

Ilmanvuotokäyrän yhtälö on

$$q = C\Delta p^n, \qquad (2)$$

jossa q = vuotoilmavirta,
C = vuotokerroin,
Δp = paine-ero rakennuksen vaipan yli ja
n = eksponentti.

Eksponentin n arvona esitetään yleisesti 0,65. Ilmanvuotoluku $n_{50} = q_{50}/V$, jossa q_{50} on vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erolla ja V on kohteen ilmatilavuus. Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä on esitetty standardissa SFS-EN 13829. Standardissa esitetään painekokeen suorittaminen sekä alipaine- että ylipainemenetelmällä. Ilmanvuotoluvun arvo n_{50} on ali- ja ylipainekokeiden tulosten keskiarvo. Ilmanvuotokäyrä tulee määrittää vähintään 10 Pa:n välein. Ilmanvuotoluku voidaan määrittää myös vaippapinta-alaa kohti tai määrittää se sekä ilmatilavuuteen että ulkovaipan pinta-alaan verrattuna, kuten useissa muissa maissa tehdään. Yhdysvalloissa ja Kanadassa määritellään ilmanvuotoluku myös laskennallisena vuotopinta-alana (ELA = Equivalent Leakage Area) 4 Pa:n ja 10 Pa:n paine-eroilla.

Uudistuotannon laadunvarmistamisessa esillä ollut kysymys on, kuinka paljon esimerkiksi valmistuvasta kerrostalotuotannosta tai pientalotuotannosta pitäisi mitata? Periaatteessahan jokainen talo tai asunto on yksittäinen kohde. Käytännössä mittaa-

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

minen täytyy rajoittaa tietynsuuruiseen otokseen ainakin kerrostalojen osalta, ellei kehitetä koko rakennuksen tiiviysmittausmenetelmiä. Tämä liittyy energiatehokkuusmääräysten ja -ohjeiden käsitteeseen "muu menettely". Kuinka suuren rakennuksen ilmanpitävyys tulisi mitata? Julkaisu "Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje" /6/ vastaa näihin kysymyksiin. Toinen esiintullut seikka on mittaustarkkuus. Jokainen mitattu tulos sisältää mittausvirheen, ja tuloksissa ei yleensä esitetä virherajoja. Erityisesti, mikäli kohde on pienehkö ja tiivis, voi mittalaitteiden tuloksissa esiintyä mittalaitteesta johtuvaa virheellisyyttä.

Kerrostalojen, isojen rakennusten sekä pientalojen tiiviyden mittaaminen

Mittausmenetelmät ja käytössä olevat standardit

EN 1389 -standardin mukaisesti määritetään kohteen ilmatilavuus sekä n_{50} ali- ja ylipaineen keskiarvona ilmatilavuuteen verrattuna. Isojen kohteiden tiiviys voidaan mitata blower-door-menetelmällä, jolloin joudutaan käyttämään useita puhaltimia/laitteita, yleensä vielä kerroksittain asennettuna. Yksittäisten rivi- ja kerrostalohuoneistojen mittauksessa pitäisi periaatteessa myös paineistaa ympäröivät tilat, mikäli huoneistojen väliset ja porraskäytävän ilmanvuodot haluttaisiin estää. Tämä ei käytännössä ole tarkoituksenmukaista. Toinen vaihtoehto on käyttää yhtä isoa puhallinta. Tiiviysmittaus voidaan suorittaa myös rakennuksen oman ilmanvaihtojärjestelmän avulla, mikäli puhaltimet ovat taajuusohjattuja ja niiden ilmavirta voidaan mitata. Rakennuksen omia laitteita käyttämällä kanavavuodot sisältyvät mittaustulokseen. Kanavien tiiviys pitäisi kuitenkin olla erikseen tarkistettu. Isojen rakennusten, kuten urheiluhallien, tiiviyttä ja ilmanvuotoa on mitattu myös merkkiainekokeen avulla.

Eri maissa on käytössä erityyppisiä ohjearvoja ja suosituksia. IEA Annex-46 -projektissa

"Holistic Assessment Tool-kit on Energy Efficient Retrofit Measures for Government Buildings – Energo" (ks. esim.www.annex46.org) /7/ on valmisteltu usean maan yhteistyönä julkaisu "Energy and Process Assessment Protocol for Buildings and Building Sites", jonka liitteessä "Measurement of Air-leakage in Large Buildings" /8/ on esitetty yhteenveto olemassa olevista suosituksista, jotka painottuvat kuitenkin Pohjois-Amerikkaan. USA:ssa käytetään ASTM E779- ja E1827 -standardeja. Kanadalainen vastaava standardi on CGSB 149.10. Britanniassa liikerakennuksille on käytössä ATTMA TS-1 ja muualla Euroopassa EN 13829. Protokollassa on myös eritelty mittausten virhelähteitä sekä eri standardien käyttökelpoisuutta isojen rakennusten testaamiseen.

Taulukko 2.

Mittaustulosten käsittely ja esittäminen

Mittausraportissa esitetään vähintään seuraavat tiedot:
- mittausajankohta
- mittauspaikka
- mittaajat
- viittaus mittausstandardiin ja poikkeamat siitä
- käytetyt mittausmenetelmät ja -laitteet
- sääolosuhteet
- tarvittaessa selvitys mittaukseen vaikuttavista häiriöistä.

Painekokeen tulos ilmoitetaan paine-erolle 50 Pa määritettynä ilmanvaihtuvuutena eli ns. ilmanvuotolukuna n_{50}.

Mittausepävarmuus:
- Ilman tilavuusvirran mittauksen epävarmuus saa olla enintään ±10 %. Se sisältää sekä mittarin epävarmuuden että mittausmenetelmästä aiheutuvan epävarmuuden. Tuulen nopeus saa mittausten aikana olla enintään 5 m/s. Tällöin sen vaikutus mitattuun ilmavirtaan on alle ±0,5 %.
- Paine-eromittauksen epävarmuus saa olla enintään ±1 Pa (= ±2 %, kun paine-ero on 50 Pa). Tällöin vuotoilman mittausepävarmuus paine-erolla 50 Pa on enimmillään ±10,2 %.
- Huoneen/huoneiston tilavuuden mittauksessa epävarmuuden voidaan arvioida olevan ±2 %. Täten ilmanvuotoluvun n50 kokonaisepävarmuus on enimmillään ±10,4 %.
- Edellä esitetyt epävarmuusarviot edustavat 95 %:n kattavuustodennäköisyyttä.

Laadunvarmistusmenettely:
- Elektroniset mittarit ja anturit on kalibroitava vähintään kerran vuodessa. Kalibroinnista on oltava merkintä mittarin kyljessä. Kalibrointipöytäkirjasta on oltava kopio mittalaitteen mukana.
- Elektronisille mittauslaitteille tehdään jokaisen mittaussarjan alussa tarkistus tai pikakalibrointi.

Taulukossa 2 on esitetty tiivistelmä tiiviyden mittaamisen mittausepävarmuuteen liittyvistä asioista /9/.

Ilmanpitävyys uusissa kohteissa ja ilmanpitävyyden kehitys

Kerrostalot sekä pien- ja rivitalot

Vuosien 2008–2009 aikana mm. VTT on mitannut eri yritysten uudistuotantokohteita /10/. Asuinkerrostalojen huoneistokohtaiset ilmanvuotoluvut ovat vaihdelleet 0,3 1/h–1,0 1/h välillä. Vuotokohdat ovat keskittyneet ikkunatiivisteisiin, parvekeoviin sekä porraskäytävän ulko-oviin. Vanhassa kerrostalokannassa huoneistokohtaiset tulokset ovat

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

olleet jopa > 2,0 1/h–3,0 1/h. Uudisrakennuskohteiden porrashuoneiden ilmanvuotoluvut ovat olleet yleensä >1,0 1/h, usein luokkaa 2–3 x yksittäisten huoneistojen ilmanvuotoluvut. Porrashuoneiden toimivuuteen tulisikin kiinnittää huomiota.

Vuotokäyrästä on määritetty myös yhtälön (2) mukainen kerroin sekä eksponentti n. Eksponentin arvo näyttää vaihtelevan tapauskohtaisesti suhteellisen laajalla alueella, joten n = 0,65 ei välttämättä anna oikeansuuntaista tulosta. Ylipaineella saatu n_{50}-arvo on ollut pääsääntöisesti > n_{50} (alipaine). Pien- ja rivitalovalmistajat ovat energiatehokkuuslaskelmien vuoksi mittauttaneet uusien kohteitten tiiviyttä. Rakentajat, jotka ovat kiinnittäneet erityistä huomiota tiiviyteen vaikuttaviin rakennedetaljeihin, ovat saavuttaneet pientalokohteissa tason n_{50} < 1,0 1/h, siis kerrostaloasuntojen tason. Parhaan mitatun pientalon (v. 2010) ilmanvuotoluku n_{50} on ollut 0,1 1/h.

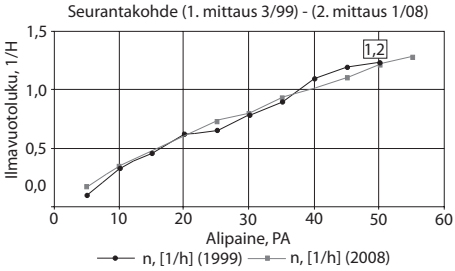
Mittausten virhelähteet ja -tarkkuus

Jokaiseen mittaukseen sisältyy mittausvirheitä. Mittauksen suorittajan tulee tuntea käyttämänsä laitteen toimintaperiaate sekä toiminta-alue. Mikäli mittaustulos on epäilyttävä, mittaukset täytyy toistaa tai tulos täytyy yrittää tarkistaa. Mikäli tiiviyskoelaitteiston puhaltimen kapasiteetti on mitattuun ilmavirtaan verrattuna suuri, on mahdollisuus suuriinkin mittausvirheisiin. Myös ilmavirran mittaustavalla on merkitystä. Pienillä virtauksilla on mahdollisuus epästabiiliin mittaustulokseen sekä virtauksen kanavoitumiseen. Käytännössä tämä esiintyy pienissä ja tiiviissä asunnoissa. Mittaustuloksen esittämistä kahdella desimaalilla yleisesti ja erikseen, kun tulos < 0,5 1/h, tulisi välttää. Mittauksissa esiintyy aina hajontaa ja se tulisi ilmoittaa, jolloin toisen desimaalin tarkkuus on kyseenalainen. Useinkaan tiiviissä ja pienissä asunnoissa pienillä paine-eroilla ei saada aikaan mitattavaa tulosta. Kun paine-ero kasvaa > 20 Pa, voidaan ilmavirtaustakin mitata. Tietenkin esiintyy tapauskohtaisia eroja.

Tiiviyden pysyvyys ja kokonaisilmanvaihtuvuuden mittausmenetelmiä

Tiiviyden pysyvyys

Kun tiiviysmittaukset aloitettiin noin 30 vuotta sitten, mitattujen pientalojen ilmanvuotoluvut liikkuivat keskimäärin alueella 6–7 1/h. Tämän vuosikymmenen alussa uusien pientalojen ilmanvuotoluku on ollut tyypillisesti 2–4 1/h. Tiiviystaso määräytyy rakennusvaiheessa. Jälkeenpäin tiiviystasoa on vaikea oleellisesti parantaa. Tiiviin kohteen ilmatiiviys voi pysyä yleensä tavanomaisessa käytössä suhteellisen vakiona. Ajan mittaan rakennuksen tiiviystaso voi muuttua, ja mitä epätiiviimpi rakennus on, sitä



Kuva 3. Erään kohteen tiiviysmittauksen tulokset vuosilta 1999–2008.

enemmän voi tiiviys heiketä. Kuvassa 3 on esimerkkinä esitetty eräs pientalon mittaustulos, jossa ilmanvuotoluku n_{50} on pysynyt 9 vuoden jälkeen ennallaan. Ilmanvuotoluku oli 1,2 1/h.

Tiiviyden mittaaminen merkkiainemenetelmällä

Rakennuksen kokonaisilmanvaihdon ja hallitun ilmanvaihdon yhteyttä voidaan tutkia merkkiainekokeen avulla, pitoisuuden alenemamenetelmällä. Tutkittavaan tilaan johdetaan merkkiainetta, ilokaasua (typpioksiduuli, N_2O) tai rikkiheksafluoridia (SF6), ja seurataan pitoisuuden laskua. Pitoisuuden aleneman avulla voidaan määrittää kokonaisilmanvaihtokerroin. Kun samanaikaisesti mitataan venttiilikohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat, saadaan erotuksena vuotoilmanvaihto kyseisessä mittaustilanteessa. Menetelmää voidaan käyttää myös vuotoilmanvaihdon määrittämiseen, kun ilmanvaihtojärjestelmä pysäytetään ja estetään ilman virtaus ilmanvaihtokanaviston kautta.

Tiiviysmittauksen suorittaminen rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä

Rakennuksen tai sen osan ilmanpitävyys voidaan mitata myös rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. Mittausten edellytyksenä on, että poistoilmakoneet tai poistoilmakone ovat portaattomasti säädettäviä. Toinen edellytys on, että pääilmavirta koneen tai koneiden yli voidaan mitata. Mikäli rakennuksessa on useita ilmanvaihdon konehuoneita ja ilmanvaihtokoneita, voidaan tarvittaessa käyttää useampaakin puhallinta.

Yleensä on määritetty n_{50} alipaineessa, mutta periaatteessa ylipainemittauskin olisi mahdollista. Mittaus suoritetaan sulkemalla tuloilmapuhaltimet ja ajamalla poistoilmapuhaltimilla 5–10 Pa:n portain alipaine rakennukseen. Jos 50 Pa:n paine-eroa ei saavuteta, mutta käytettävissä on 4–5 mittauspistettä, voidaan n_{50} tuloksista laskea.

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

Rakennuksen omia laitteita käytettäessä suurin ongelma on rakennuksen muiden läpivientien kuin iv-läpivientien tulppaus. Huippuimurit voidaan katolta päällystää hupulla. Mikäli vain rakennuksen osa paineistetaan (esimerkiksi yhden ilmanvaihtokoneen palvelualue), on ongelmana rakennuksen osien välien tiivistäminen. Erityisesti jos käytävätiloissa on alaslaskuja, on niiden yläpuolisten tilojen tiivistäminen vaikeaa, joskus mahdotontakin, ilman erityisjärjestelyjä.

Mikäli konehuoneessa on mitattavan puhaltimen ilmamäärämittari tai mittausyhteet, voidaan ilmamäärät mitata ilmamäärämittarista tai paineeromittarilla mittarin paineyhteistä puhaltimen ominaiskäyrää käyttäen. Vaihtoehtoisesti voidaan luottaa puhaltimen osoittavaan näyttöön, jos sellainen on, mutta varminta on käyttää kalibroitua mittaria. Joissakin tapauksissa valvomoon paineerolähettimeltä saatu viesti on ollut virheellinen. Mikäli puhaltimen ilmamääriä ei voida suoraan mitata, mutta pääkanavassa on mittausyhteet (esim. mittasiipi tai pitot-yhteet), voidaan ilmavirrat määrittää niistä. Jos mittausyhteiden jälkeen tai niitä ennen ei ole riittävästi häiriöetäisyyttä, mittaustuloksessa on virhettä.

Ilmamäärät voidaan mitata myös merkkiaineen avulla. Tällöin mitataan merkkiainesyöttö ennen puhallinta ja merkkiaineen konsentraatio puhaltimen jälkeen. Painesuhteet on syytä mitata molemmilta julkisivuilta mitattavasta kerroksesta tai, jos koko rakennus mitataan, puhaltimien ohjaukseen tarvittava paine-eromittaus tehdään esimerkiksi rakennuksen keskikerroksesta. Rakennuksen painesuhteet muuttuvat pystysuunnassa Tehtyjen mittausten perusteella omia laitteita käyttämällä saadaan yleensä toistettava tulos, jonka mittaustarkkuus saattaa ilmamäärämittauksen epätarkkuuden vuoksi vaihdella.

Ilmanvuotokohtien paikantaminen

Ilmanvuotokohdat paikannetaan lämpökuvauksella tai merkkisavuilla. Ilmanvuodot voidaan paikantaa myös ultraäänellä, jos äänilähde sijaitsee (tai on asennettavissa) mitattavan rakennusosan toisella puolella. Lämpökuvaus on tehokkain keino ilmanvuotokohtien paikantamisessa. Usein tiiviysmittauksen tilaajat unohtavat vuotokohtien paikantamisen, todennäköisesti kustannussyistä. Vuotokohtien paikantaminen myös tiiviissä rakennuksissa on olennainen osa ilmanpitävyyden mittausta. Tiiviysmittaus voidaankin suorittaa rakenteiden lämpökuvauksen yhteydessä /9/, jolloin ilmanvuotokohdat voidaan erottaa rakenteellisista kylmäsilloista. Mikäli vuotokohtia ei paikanneta, on vaarana että pahimmassa tapauksessa mittaukset joudutaan uusimaan.

Tiiviyden kehittämistä käytännössä

Oulun kaupungin Rakennusvalvontavirasto on pientalon teknisen laadun kehityshankkeessaan pyrkinyt järjestelmällisesti parantamaan vaipan ilmatiiviyttä /10/. Tavoitteellinen työ alkoi vuonna 2005 Oulun asuntomessurakentamisesta. Vuoden 2007 alusta viraston toimenpiteet tiiviyden kehittämiseksi ovat liittyneet tehokkaimpana yksittäisenä keinona pientalojen energiatehokkuuden parantamiseen. Oulun pientalotuotantoa koskevat tulokset ovat mielenkiintoisia sekä tiiviyden että energiatehokkuuden paranemisen osalta.

Viimeaikaisten kosteusvauriopohdintojen seurauksena Oulun kaupunki on alkanut ohjeistaa pienrakentamisen ilmatiiviyttä myös energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien vaurioriskien tehokkaimpana hallintakeinona. Asuntomessutaloissa, joissa tiiviyteen oli kiinnitetty erityistä huomiota, saavutettiin keskimääräinen ilmanvuotoluku 2,0. Tämä arvo on Oulussa jo ohitettu. Koko uudispientalotuotannon vuotoluku on pudonnut keskimäärin tasolle 1,5 ja se vaihtelee käytännössä satojen mittausten perusteella välillä 0,2–2,0 1/h. Samalla on saavutettu lämmitysenergian kulutuksessa vuoden 2008 koko omakotitalotuotannossa keskimäärin 31 %:n laskennallinen säästö määräystasoon verrattuna.

Kun oletetaan Oulussa ilmanvuotoluvun olleen aikaisemmin maan keskiarvossa 3–4 1/h, merkitsee nykyinen tilanne ilmanvuotoluvun 2–3 yksikön parannusta. Se puolestaan merkitsee pelkästään lämmitysenergian kulutuksessa noin 15 %:n säästöä eli puolta saavutetusta kokonaissäästöstä. Tiiviyden parantamisen edellyttämä lisäkustannus on ollut vähäinen. Se onkin energiansäästössä erittäin kustannustehokas keino.

Oulun rakennuttajien kiinnostuminen tiiviys- ja energia-asioista sekä tapahtunut kehitys perustuvat pitkälti rakennusvalvonnan tavoitteenasetteluun ja ohjaukseen, jota on tukenut voimallinen kehitysyhteistyö alueen toimijoiden kanssa. Oulun rakennusvalvonta on tiiviyskortissaan ohjeistanut omaan rakennuslupavalmisteluunsa liittyvän tiiviyden arvioinnin ja saavuttamisen. Laatukortit ovat viraston kotisivuilla (http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/) /11/. Rakennusvalvonnan mielestä työkalujen pitää olla yksinkertaisia ymmärtää ja selkeitä soveltaa, ei kaiken kattavia.

Tiiviyden vaikutus energiankulutukseen sekä sisäolosuhteisiin

Tällä hetkellä ei ole käytettävissä yksittäisiä kohteita lukuun ottamatta laajaa mitattua tietoa tiiveyden vaikutuksesta energiankulutukseen. Koska sisäolosuhteet ovat aina usean tekijän summa, hal-

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

litsemattomat ilmanvuodot vaikuttavat myös välillisesti energiankulutuksen nousuun. Mikäli lämpöviihtyvyys (vedontunne, pintalämpötilat) laskee, sitä kompensoidaan sisälämpötilaa nostamalla, esimerkiksi 2–3 °C. Väärin tasapainotettu ilmanvaihto (liian suuri alipaine) lisää ilmanvuotoja vuotoreittien kautta ja siltä osin energiankulutusta. Lisäksi hallitsemattomat ilmanvuodot rakennuksen osista toisiin tai esimerkiksi alapohjasta rakennukseen voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia ja pahimmassa tapauksessa terveyshaittoja. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän palvelualueet eivät ole keskenään tasapainotetut ja alapohjarakenne vuotaa rakennuksen käyttökerroksiin, voivat alapohjassa olevan, mahdollisesti kontaminoituneen materiaalin päästöt levitä asuin- tai käyttökerroksiin. Ilmanvaihtojärjestelmiä on jouduttu muuttamaan, korjaamaan ja säätämään, sekä rakenteita tiivistämään. Jälkikäteen tiivistäminen voi osoittautua vaikeaksi. Eräissä kohteissa on rakennuksen alapohjaa vasten oleva lattiarakenne jouduttu kapseloimaan. Joissakin tapauksissa tuuletetun alapohjan maa-aines on jouduttu vaihtamaan ja ryömintätilaa suurentamaan. Vastaavia tapauksia on ollut myös omakotitalokauppojen yhteydessä, kun rakennukseen on tehty kuntotutkimus. Kun vanhojen rakennusten ilmanvaihtojärjestelmää on muutettu painovoimaisesta koneelliseksi, ovat vuosien mittaan seinärakenteeseen esimerkiksi sisäilman vesihöyryn tiivistymisen johdosta kontaminoituneet pitoisuudet tulleet takaisin huoneilmaan painesuhteiden muuttuessa. Rakennusten ilmanpitävyys ei ole siis pelkästään energiatehokkuuteen liittyvä asia, vaan se vaikuttaa myös rakennuksen sisäilmaston laatuun ja ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan.

Taulukko 3. Ilmanpitävyyden vaikutus energiankulutukseen.

Esimerkissä käyntiaikoja muutetaan 12 tunnista 10 tuntiin vuorokaudessa.

- Kaukolämmitysenergian kulutus on 23,1 kWh/m^3.
- Ilmanvaihdon lämmön talteenoton parantamisella voidaan ilmanvaihdon lämpöhäviöihin vaikuttaa edelleen pienentävästi.
- Lämmön talteenoton hyötysuhdetta muutetaan 50 %:sta 60 %:iin.
- Kaukolämmitysenergian kulutus on tämän arvion mukaan 20,1 kWh/m^3.
- Rakennuksen ilmanpitävyyttä parantamalla voidaan yleensä parantaa sekä sisäilmastoa että energiatehokkuutta.
- Esimerkkikoulun rakenneyksityiskohtien huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella tavoitellaan ilmanvuotokertoimen pienentämistä arvosta 0,1 1/h arvoon 0,05 1/h.
- Kaukolämmitysenergian kulutus on tämän neljännen vaiheen arvion mukaan 18,1 kWh/m^3.
- Esimerkkikoulun kaukolämmitysenergian ensimmäinen kulutusarvio 26,3 kWh/m^3 saatiin yksinkertaisin tarkennuksin pienentymään yli 30 % arvoon 18,1 kWh/m^3.

Tavoitteen toteutuminen edellyttää huolellista toteutusta, oletusten mukaista käyttöä ja asiantuntevaa ToVa(toimivuuden varmistus)-toimintaa rakennuksen suunnitellun käyttöiän ajan.

Seuraavana esitetään esimerkkilaskelma erään koulun energiankulutusarviosta /12/, joka tehtiin käyttöönoton yhteydessä. Kohde on Uudellamaalla, rakennustilavuus on 20 000 m^3. Energiankulutusarviot on laskettu aikaisemmin voimassa olleen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5, ohjeet 1985, pohjalta. Laskennan tuloksena saatava kaukolämmitysenergian ensimmäinen kulutusarvio on 26,3 kWh/m^3. Ilmanvaihdon lämpöhäviö on ensimmäisen arvion mukaan 25,7 kWh/m^3 ja osuudeltaan suurin lämpöhäviökomponentti. Kohteen kulutus toisena käyttövuotena oli lähellä laskettua – tämän laskelman tarkoituksena oli esittää, kuinka suhteellisen vähänkin energiaa kuluttavassa rakennuksessa voi esiintyä merkittävää säästöpotentiaalia (taulukko 3).

Rakennusten ilmanpitävyys ja energiatehokkuuslaskelmat

Viitteen /6/ mukaisesti vuotoilma vaikuttaa merkittävästi rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Pientaloissa laskennallinen kokonaisenergiankulutuksen lisäys on keskimäärin 4 % (vaihteluväli 2–7 %) jokaista n_{50}-luvun kokonaisyksikön lisäystä kohti. Kokonaisenergiankulutus on tyypillisessä pientalossa (n_{50} = 4,0 1/h) 6–20 % suurempi kuin erinomaisen ilmanpitävyystason ($n_{50} \leq 1{,}0$ 1/h) omaavassa pientalossa /6/.

Rakennusten tiiviysmittaus tulisi katsoa osaksi toimivuuden varmistamista (ToVa) /12, 13/, jolloin rakennusten ilmanpitävyyteen vaikuttavat asiat tulee ottaa nykyistä paremmin huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Jotkut yritykset ovatkin aloittaneet kehitystyön, jossa luodaan suunnittelu- ja toteutusvaiheen kattava menettely, esimerkkinä kosteudenhallintasuunnitelmaan verrattava energianhallintasuunnitelma.

Erilaisten simulointitulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että rakennusten keskimääräinen vuotoilmanvaihtuvuus ja lämmitysenergian kulutus kasvavat lähes lineaarisesti ilmanvuotoluvun n_{50} myötä. Ilmanvuotojen eli hallitsemattoman ilmanvaihdon osuutta rakennuksen lämmitysenergian kulutuksessa voidaan arvioida esimerkiksi erilaisten energiatehokkuuden laskentaohjelmien avulla.

Eri yhteyksissä on keskusteltu myös siitä, voiko rakennus olla "liian tiivis". Todellisuudessa kyse on ollut enemmänkin toimimattomasta ilmanvaih-

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

dosta. Rakenteita tiivistämällä, mutta jättämällä ilmanvaihto ennalleen (esimerkkinä painovoimainen ilmanvaihto), on heikennetty ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä. Jos kohteessa on koneellinen poistoilmanvaihto, rakenteiden tiivistäminen vääristä paikoista on kasvattanut alipainetta ja sen seurauksena osa tuloilmasta on tullut tiivistämättömien vuotoreittien kautta ja aiheuttanut vetoa.

Sisäilman laadusta ja lämpöviihtyvyydestä valitetaan edelleen, vaikka rakennusten ilmanpitävyys on käytettävissä olevan aineiston perusteella parantunut. Sisäilmastoon ja lämpöviihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä on useita, ja liian usein kiinnitetään huomiota vain yhteen ainoaan tekijään. Usein koetaan vetohaittoja, jotka johtuvat lämmitysjärjestelmän ja ulkoseinärakenteiden (kuten suurten ikkunapintojen) yhteensopimattomuudesta, vaikka ulkoseinärakenteet olisivat tiiviitä. Vetohaittoja kompensoidaan sisälämpötilan nostolla. Yhden asteen sisälämpötilan noston vaikutus lämmitysenergian kulutukseen on samaa tasoa kuin ilmanpitävyyden huononeminen yhdellä yksiköllä.

Johtopäätökset

Uusissa kohteissa, joissa ilmanpitävyyttä on pyritty parantamaan, on päästy hyviin tuloksiin. Nykyisinkin käytetyillä rakennusmenetelmillä ja asennustavoilla voidaan saavuttaa riittävän hyvä taso. Tuotekehitystä on tapahtunut esimerkiksi läpivientien tiivistyksessä.

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat useat muut tekijät vuotoilmanvaihdon lisäksi. Kun ilmanvuotoluku määritetään 50 Pa:n paine-erolla, saadaan vertailukelpoinen arvo, jossa häiriötekijöiden, kuten sääolosuhteiden, vaikutus on minimoitu. Rakennusten painesuhteiden pitäisi vaihdella 0–10 Pa:n alipaineen välillä. Vanhassa rakennuskannassa, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto ja ulkoilmaventtiilit tai tuloilman tulo järjestetty käytännössä vaipan vuotojen kautta, voi alipaine nousta yli –30 Pa. Samoin jos ilmanvaihtojärjestelmä ei ole oikein tasapainotettu, voi esiintyä liian suuria paine-eroja.

Ilmanvuotoluku kertoo rakennusten tiiviyserot 50 Pa:n paine-eron vallitessa. Tällaisia olosuhteita ei käytännössä esiinny kuin erittäin kovalla tuulella. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot ovat normaalitasolla 0–10 Pa, vuotoilman vaikutus tiiviissä rakennuksissa (n_{50} < 1,0 1/h) on vähäinen muihin tekijöihin verrattuna. Nykyinen kehitys ja ilmanpitävyyden parantaminen ovat oikea toimintatapa rakennusten laadunvalvonnassa ja yleisimmin rakennuksen ja sisäilmaston toimivuuden varmistus (ToVa)menetelmien kehittämisessä. Jos pientalon tai rivitalohuoneiston ilmanvuotoluku n_{50} on 0,4 1/h tai 0,9 1/h, ei sillä rakennuksen lämpötekniseen toimivuuteen ole suurta vaikutusta verrattuna sisälämpötilan noston tai laskun vaikutukseen yhdellä asteella. Suurempi merkitys on myös muilla lämpöviihtyvyyteen vaikuttavilla tekijöillä.

Yhteenveto

Rakennusvaipan ilmatiiviyden merkitys voidaan tiivistää seuraavasti (taulukko 4):

Jatkossa pitäisi pyrkiä asettamaan selvät tavoitearvot eri rakennuksille. Samoin mittausmenetelmiä tulee tarkentaa ja ohjeistaa. Laskentamenetelmiä – ja tiiviyteen kohdistuvaa tutkimista – tulee edelleen kehittää ja jatkaa. Olennaista on valmiista rakennuksista saatava vertailutieto – mikä on ilmanpitävyyden parantamisen todellinen vaikutus energiatehokkuuteen.

Rakennusten ilmanpitävyydessä on tärkeää, että asetetaan tavoitetaso, joka suunnittelu- ja toteutusvaiheen toimenpitein toteutetaan. Tämä edellyttää työmaalla ohjeistamista sekä myös suunnitteludetaljien kehittämistä. Tavanomaisia menetelmiä käyttämällä, mutta kiinnittämällä erityistä huomiota ilmanpitävyyteen vaikuttaviin asioihin, voidaan saavuttaa hyväksi katsottava tiiviystaso, pientaloissa n_{50} < 1,0 1/h. Vuotokohdat pitäisi paikantaa myös tiiviissä rakennuksissa.

Tiiviysmittaus on lämpökuvauksen ja muiden mittausten ohella yksi rakennuksen toimivuuden

Taulukko 4. Ilmanpitävyyden merkitys.

Edut :
- Energiankulutus vähenee. Yhden yksikön (1 1/h) vähennys ilmanvuotoluvussa (n_{50}) vähentää lämmitysenergian kulutusta noin 4–6 % tyypilliseen suomalaiseen pientaloon verrattuna.
- Rakennusvaipan epätiiviydestä johtuvat hallitsemattomat ilmavirtaukset vähentyvät, jolloin vedontunne vähenee ja lattiapinnat eivät jäähdy epämukaviksi.
- Sisäilman kosteuden virtaaminen rakenteisiin vähenee.
- Rakenteista tulevien epäpuhtauksien (mineraalikuidut, mikrobit, radon) virtaaminen sisäilmaan vähenee.
- Ilmanvaihtolaitteiston toiminta on paremmin hallittavissa. Hatarassa talossa lämmöntalteenottolaite ei tuo odotettuja säästöjä.

Huomioitavat asiat:
- Ilmanvaihto on säädettävä tasapainoon erityisen huolellisesti, jotta vältetään liian suuret paine-erot ulko- ja sisäilman välillä (tämä voi ilmetä ikkunoiden ja ovien avaamisen vaikeutena).
- Jos ilmanvaihtokone sammuu esimerkiksi vian tai sähkökatkoksen takia, on ilmanvaihto voitava varmistaa avattavien ikkunoiden tai tuuletusluukkujen avulla.

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry

ja laadunvarmistuksen menetelmistä. Rakennusten lämpökuvaus ja myös tiiviysmittaus on nykyään sertifioitua toimintaa.

Lähteet

1 D3 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010-08-30
2 SFS-EN 13829 2000. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
3 C3 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010
4 D5 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2007
5 Sisäilmaluokitus 2008. Sisäilmayhdistys, Espoo.
6 Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje (Tampereen Teknillinen Yliopisto 2009)
7 www.annex46.org
8 Genge, Colin: International Protocol for the Measurement of Air-leakage in Large Buildings (julkaisussa A.Zhvivov & al: Energy Process Assessment Protocol IEA Annex-46) Retrotec Energy Innovations, Ltd. 2009
9 Kauppinen, T & al: Rakennuksen ilmanpitävyys ja energiatehokkuus. Rakennusfysiikan seminaari 2009. Tampereen Teknillinen Yliopisto
10 Kauppinen, T, Ojanen, T, Kovanen, K, Laamanen, J ja Vähäsöyrinki, E: Rakennusten ilmanpitävyys. Sisäilmastoseminaari 2009. Sisäilmayhdistys, Espoo 2009.
11 http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/
12 ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. Pietiläinen, J & al. VTT Tiedotteita Espoo 2007.
13 Kauppinen, T & al: Energiatehokkuuden ja olosuhteiden hallinta – rakennuksen toimivuuden varmistaminen (ToVa). Sisäilmaseminaari 2007.

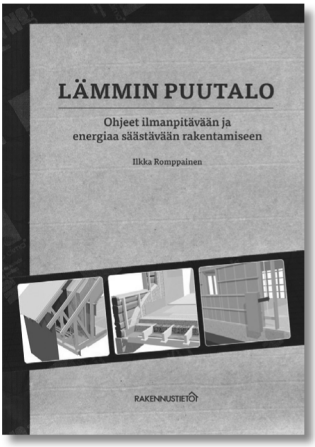
Lämmin puutalo

– Ohjeet ilmanpitävään ja energiaa säästävään rakentamiseen

Romppainen, Ilkka

Rakennuksen vaipan hyvä ilmanpitävyys on laatutarkentamisen keskeinen osa. Kirja tarjoaa yksityiskohtaiset ohjeet ilmanpitävien rakenteiden toteuttamiseksi. Teoksessa on runsaasti 3D-kuvitettuja ohjeita tuulensuojaukseen, eristämiseen sekä ilmansulkujen asennukseen rankarakenteisiin puutaloihin ja hirsitaloihin. Myös korjausrakentamiseen liittyvään lisälämmöneristämiseen annetaan ohjeita.

Rakennustieto Oy, 2010
978-951-682-953-4
68 s., 32 €



Tilaukset verkkokaupasta kauppa.rakennustieto.fi
Puh. 0207 476 401

RAKENNUSTIETO

Rakentajain kalenteri 2011 | © Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry