

TILAELEMENTTITALON TIIVIYS JA KIRISTYVÄT ENERGIAMÄÄRÄYKSET

Jukka Pulkkinen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2010

Rakennustekniikka
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) PULKKINEN, Jukka	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 22.11.2010
	Sivumäärä 57	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus (X) 31.12.2015 saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ()
Työn nimi TILAELEMENTTITALON TIIVIYS JA KIRISTYVÄT ENERGIAMÄÄRÄYKSET		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) KORPINEN, Jussi		
Toimeksiantaja(t) Finndomo Oy, Hartolan tehdas		
Tiivistelmä Opinnäytetyössä tutkittiin ja arvioitiin Finndomon teollisesti valmistamien tilaelementtitalojen tiiviyyttä ja sen kehittämistä. Tavoitteena oli parantaa asuntojen tiiviyyttä ja kehittää kustannustehokkaat ratkaisut sen toteuttamiseen. Asuntojen tiiviys ja energiatehokkuus on tullut rakennusmääräysten kiristymisen myötä tärkeäksi osaksi pientalojen toimitusprosessia suunnittelusta tuotantoon ja työmaa-asennukseen. Suomi on muiden EU-maiden tapaan sitoutunut EU-direktiivin mukaisiin päästöjen vähentämistavoitteisiin ja siihen pohjautuu myös Suomen rakentamismääräyskokoelman energiamääräysten kiristymisen. Työssä selvitettiin nykyisiä energiamääräyksiä asuinrakennuksille ja niiden kehitystä viime vuosina sekä tulevaisuuden näkymiä. Yksi selkeä tavoite energiamääräysten tiukentamisella on hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Opinnäytetyössä kehitetyt ratkaisut paransivat tilaelementtitalojen tiiviyyttä merkittävästi. Tiiviysmittaukset suoritettiin kolmessa asunnossa Etelä-Suomessa ja niissä saavutettiin tavoiteltu tiiviystaso. Tein laadunvarmistamiseksi ohjeet tehdas- ja työmaatoille, jotka on otettu käyttöön yrityksessä.		
Avainsanat (asiasanat) Energiatehokkuus, ilmavuotoluku, ilmatiiviys		
Muut tiedot		



Author(s) PULKKINEN, Jukka	Type of Publication Bachelor's Thesis	Date 25.11.2010
	Pages 57	Language Finnish
	Confidential until (X) 31.12.2015	Permission for web- publication ()
Title AIR-TIGHTNESS OF MODULE HOUSES AND TIGHTENING ENERGY REGULATIONS		
Degree Programme Civil Engineering		
Supervisor(s) KORPINEN, Jussi, Senior lecturer		
Assigned by Finndomo Oy, Hartolan tehdas		
Abstract The study was commissioned by Finndomo Oy, Hartola house factory. The goal of the study was to inspect and develop the air-tightness of Finndomo's module houses. A new construction design was to be made with a maximum cost efficiency and in co-operation with the Finndomo's production department. The tightness and energy efficiency of apartments has become a very important part of the delivery process, from design up to production and worksite assembly. Finland has, along with other EU-countries, committed to the goals of the EU-directive in lowering emissions, and therefore Finland's Construction regulation collection has been tightened in the past few years. The study also surveyed the current energy regulations for new residences and their prospective future changes. One clear goal of the tightening energy efficiency regulations is to lower carbon dioxide emissions. The solutions created in the study improved the air-tightness significantly. Measurements were made in three apartments in southern Finland and they reached the goals that were set. Quality assurance documentation and details were made for the factory and worksite assembling, and they have been taken into use in the company.		
Keywords Energy efficiency, air changes per hours, air-tightness		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO.....	3
1.1 Energiatehokas rakentaminen	3
1.2 Opinnäytetyön tavoite	4
2. RAKENNUKSIEN ILMATIIVIYS	5
2.2 Ilmavuotoluku	5
3. TIIVIYDEN MERKITYS	7
3.1 Ilmanvaihto.....	7
3.2 Kustannukset	7
3.3 Mukavuus	8
3.4 Melu- ja hajuhaitat	9
3.5 Riskit	9
4. ENERGIAMÄÄRÄYKSET JA NIIDEN TULEVAISUUS.....	10
4.1 Energiamääräysten taustaa.....	10
4.2 Nykyiset määräykset	11
4.3 Suuntaus tiukempaan.....	14
4.3 EU-direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta	17
5. TIIVIYDEN MITTAAMINEN JA OSOITTAMINEN VIRANOMAISILLE	18
5.1 Perusteet	18
5.2 Tutkimus	20
5.3 Ilmoitus.....	20
5.4 Seuranta	21
5.5 Painekekeen toteutus	22
6. NYKYISET RAKENNERATKAISUT	27
6.1 Taustaa	27
6.1.1 Määräykset.....	27
6.1.2 Suomen ilmasto ja sen vaihtelut eri alueilla	27

6.2 Rakenteet ja niillä saavutettu tiiviys	29
7. SUUNNITTELUN JA VALMISTUKSEN TARKKUUS JA MERKITYS	31
8. UUDET RAKENNERATKAISUT	33
8.1 Rakenneratkaisujen hakeminen	33
8.2 Kehityskohdat	34
8.3 Parhaiden ratkaisujen valinta ja perustelut	38
9. TIIVIYSMITTAUKSET JA ANALYSOINTIA	38
10. TARVITTAVAT UUDET SUUNNITTELU- JA TOTEUTUSOHJEET SEKÄ MAHDOLLISET KOULUTUSTARPEET	42
10.1 Tiivistysohjeet tehdastuotantoon	43
10.2 Tiivistysohjeet työmaalle	48
11. JOHTOPÄÄTÖKSET LOPPUTULOKSESTA	53
LÄHDELUETTELO	55

LIITTEET

Liite 1	Tiivysmittausraportti 14.09.2010, VTT
Liite 2	Tiivysmittausraportti 27.10.2010, Suomen taloturva Oy
Liite 3	Tiivistysohjeet tehdastuotantoon
Liite 4	Tiivistysohjeet työmaalle ja elementtien saumojen liitosdetaljit
Liite 5	Tarkastuspöytäkirja elementtituotantoon
Liite 6	Tarkastuspöytäkirja tilaelementin vaipan tiivistykseen
Liite 7	Tarkastuspöytäkirja vaipan liittymistä työmaalle

1. JOHDANTO

1.1 Energiatehokas rakentaminen

Tarve rakennusten energiatehokkuuden kehittämiseen on syntynyt rakentamismääräysten tiukentumisen myötä. Lähtökohta rakentamismääräysten tiukentumiselle on ollut EU:n energiatehokkuus direktiivi. Energiatehokkuuden parantamisella pyritään vähentämään kiinteistöjen energian kulutusta, sillä kiinteistöjen määrä kasvaa ja myös energiakustannukset nousevat koko ajan. Suomessa rakennusten osuus on tällä hetkellä melkein 40 prosenttia koko energiakulutuksesta. Rakennukset ovatkin suurin yksittäinen hiilidioksidipäästöjen tuottaja Suomessa. (Määttä 2010, 7)

Rakennuksen hyvä ilmatiiviys on yleensä edullinen tapa vähentää energian kulutusta, sillä pientalojen laskennallinen kokonaisenergiankulutuksen lisäys on 2 – 7 % jokaista n50-luvun lisäystä kohti (Kauppinen, Kouhia, Kovanen, Ojanen, Laamanen, Mäkikyrö, Seppälä & Vähäsöyrinki, 2009. 313). Esimerkiksi jos normaalin asuinrakennuksen ilmapuotoluku $n_{50} = 4 \text{ 1/h}$ ja huolellisesti rakennetun $n_{50} = 1 \text{ 1/h}$, päästään tällä parannuksella jopa yli 20 %:n säästöihin. Kun jo suunnitteluvaiheessa kiinnitetään riittävästi huomiota liitosdetaljeihin ja työmaalla toteutetaan tehdyt suunnitelmat huolellisesti voidaan suhteellisen pienin panostuksin päästä hyvään ilmanpitävyyteen ja saada rakennuksista energiatehokkaampia. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton hyvä hyötysuhde yhdessä tiiviin ulkovaipan kanssa mahdollistavat ns. hukkalämmön tehokkaan hyödyntämisen.

Energiataloudellisuus on otettava huomioon talotoimitusprosessissa jo suunnitteluvaiheessa. Tiiviyden ottaminen huomioon selkeinä rakennelinjoina rakennuksen arkkitehtuurissa mahdollistaa mahdollisimman energiatehokkaan ja kustannustehokkaan lopputuloksen. Arkkitehdin tekemillä perusratkaisuilla on suuri merkitys kus-

tannustehokkaan lopputuloksen saavuttamisessa. Tärkeintä onkin että arkkitehti saadaan ottamaan huomioon energia- ja kustannustehokkuus arkkitehtuurin suunnittelussa. Arkkitehti- ja rakennesuunnittelijan olisikin hyvä pitää avoin keskusteluyhteys koko suunnitteluprosessin ajan, jotta toiminnan kehittäminen ja kustannus- sekä energiatehokas lopputulos onnistuisivat mahdollisimman hyvin.

Viime aikoina energiatehokkuuteen on taloteollisuudessa kiinnitetty enemmän huomiota, jotta asiakkaat saisivat rahoilleen entistä paremmin vastinetta. Rakennusten tiiviydellä ja tehokkaalla ilmanvaihdoilla on suuri merkitys energiataloudellisuuteen, joten siitä onkin tullut osaltaan kilpailutekijä eri talovalmistajien välillä. Asuntojen energiatehokkuuteen vaikuttavat kestävien ja tiiviiden rakenneratkaisujen lisäksi merkittävästi käyttäjien kulutustottumukset, joten myös niiden huomioon ottaminen ja energian kulutuksen ohjeistus kuuluvat osana energiatehokkaaseen rakentamiseen.

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyössä tutkittiin ja arvioitiin Finndomon teollisesti valmistamien tilaelementtitalojen tiiviyttä ja sen kehittämistä. Tavoitteena oli pienentää ilmavuotolukua ja saada asunnot täyttämään entistä paremmin nykyiset energiamääräykset. Tavoitteena oli myös kehittää kustannustehokkaat rakenneratkaisut tiiviyden toteuttamiseksi ja laadun varmistamiseksi. Asuntojen ilmatiiviys ja energiatehokkuus ovat muodostuneet rakentamismääräysten kiristymisen myötä tärkeäksi osaksi asuntojen toimitusprosessia suunnittelusta tuotantoon ja työmaa-asennukseen. Työssä on otettu myös hieman kriittisesti kantaa nykyisiin rakennusvalvontojen erilaisiin käytäntöihin tiiviyden osoittamisesta. Eri kaupungeissa ja kunnissa käytännöt asuntojen tiiviyden osoittamisesta poikkeavat toisistaan merkittävästi, mutta todennäköistä on, että niitäkin tullaan tulevaisuudessa yhdenmukaistamaan.

Opinnäytetyössä tarkkailtavat rakenneratkaisut valittiin kokemusperäisesti yhdessä Finndomon tuotannon kanssa. Suurin haaste tilaelementtirakentamisessa on ollut lohkojen saumakohtien sekä LVIS-tekniikan vaipan läpivientikohtien tiivistäminen. Osa näistä kohdista tiivistetään jo tehtaalla ja osa vasta työmaalla. Laadunvarmistuksesta huolehtivat vastaavat työnjohtajat ja siihen oli tarkoitus luoda tässä opinnäytetyössä ohjeistus. Myös erityisistä kohdista, joiden rakenteelliset ja työtekniset seikat ovat kriittisiä lopputuloksen kannalta luotiin työohjeet ja –kuvat. Myös laadunvarmistukseen kiinnitettiin huomiota, jotta tuotteiden tasainen ja korkea laatu voidaan varmistaa.

2. RAKENNUKSIEN ILMATIIVIYS

Rakennusten ilmatiiviydestä annetaan määräykset Suomen rakentamismääräyskoelmassa. Rakennuksen osien, kuten ilmanvaihtojärjestelmän, lämmitysjärjestelmän sekä sisäilman laadun ja rakenteiden toimivuuden kannalta rakennusten ilmatiiviyteen tulee kiinnittää huomiota. Erityisesti liitoskohtien huolelliseen suunnitteluun ja toteutukseen tulee paneutua riittävästi. (RakMk C3 2010, 4; RakMk D3 2010, 8.)

2.2 Ilmavuotoluku

Rakennuksen ilmatiiviyys kuvaa rakennuksen ilmanpitävän kerroksen tiiviyttä ja sen esittämiseen käytetään ilmavuotolukua n_{50} . Luku ilmaisee rakennuksen ilmatiiviyden lukuarvona tilavuuden suhteen $[1/h]$. Ilmavuotoluku kertoo kuinka monta kertaa 50 Pascalin $[Pa]$ paine-erossa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu ilmanvuotokohtien läpi tunnissa. Ilmavuotoluku n_{50} on yksi osa rakennuksen energiaselvitystä ja vaikuttaa yleensä suuresti siihen mihin energialuokkaan rakennus sijoittuu. (Aho & Korpi 2009, 7.) Suomessa ilmavuotoluku määritetään menetelmällä, jossa verrataan ilmanvuotokohtien läpi kulkevaa ilmavirtaa rakennuksen sisätilavuuteen. Mukaan lasketaan ko-

ko rakennuksen ulkovaipan sisäpuolelle jäävä tilavuus väliseinineen. (RT 80-10974 2009,12.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on esitettyä viitteellisiä arvoja tyypillisistä rakennusten ilmanvuotoluvuista (ks. TAULUKKO 1). Taulukosta 1 ilmenee tyypillisiä ilmavuotolukuja erilaisille rakennuksille. Rakennukset on jaettu pientaloihin sekä asuinkerrostaloihin ja toimistorakennuksiin. Taulukossa jaotellaan ilmanpitävyys kolmeen eri luokkaan: hyvä, keskimääräinen ja heikko sekä on selvitetty yleisellä tasolla kuinka näissä luokissa ilmanpitävyys on otettu huomioon suunnittelussa ja valmistuksessa.

TAULUKKO 1. Tyypillisiä vaipan ilmavuotolukuja (RakMk D5 2010, 21)

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

3. TIIVIYDEN MERKITYS

3.1 Ilmanvaihto

Rakennusten vaipan ulko- ja sisäpuolen välillä vallitsee yleensä paine-ero, jonka aiheuttaa lämpötilaerot tai tuuli. Paine-eroista seuraa vaipan läpi ilmavirtauksia, jotka voivat lisätä säästä riippuen tarpeettomasti ilmanvaihtoa ja lämmönkulutusta. Sään vaikutuksen suuruus riippuu rakennuksen vaipan tiiviyydestä ja ilmanvaihtotavasta. Varsinkin epätiiviyssä rakennuksessa seinien läpi virtaavan ilmavirran suuruus kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa. Energian kulutuksen kannalta olisi siis tärkeää, että rakennuksessa on tiivis ulkovaippa. (Seppänen & Seppänen 1996, 76.)

Toimivalla ilmanvaihdolla on suuri merkitys hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa, koska ilma ei käytännössä vaihdu ollenkaan vuotokohtien kautta. Tämän takia rakennuksessa tulee olla riittävä ja oikeaoppisesti hieman alipaineiseksi säädetty ilmanvaihto, jolla taataan terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto. Tämä luonnollisesti edellyttää myös tuloilmasuodattimen vaihtoa riittävän usein. Lisäksi on suositeltavaa asentaa rakennuksen sisätiloihin merkkivalo tai näyttötaulu, josta käy ilmi onko ilmanvaihtolaitteisto toiminnassa. Hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa saadaan ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta maksimaalinen hyöty, koska lähes kaikki ilma virtaa rakennukseen ja sieltä pois lämmöntalteenoton kautta. (RT 80-10974 2009, 4.)

3.2 Kustannukset

Tiiviiden kehittäminen ei välttämättä lisää kustannuksia, jos löydetään oikeat työtavat ja rakenneratkaisut. Siihen tulee ainakin pyrkiä. Kustannuksia tulee ehkä enemmän siitä, että asiaa tutkitaan. Eri vaihtoehtojen vertailemisen jälkeen valitaan rakenteellisesti ja työteknisesti sekä kokonaiskustannuksia ajatellen toimivimmat ratkaisut.

Aiheen tutkimiseen ja kehittämiseen käytetty aika ja raha saadaan takaisin tehokkaampina työtapoina ja parempana energiatehokkuutena.

Rakennusosalalla hintakilpailu on kovaa ja asiakkaan kannalta hinnoittelua on saatu viime aikoina hieman selkeämmäksi eri talovalmistajien välille. Kuluttajavirasto antoi vuonna 2009 ohjeet talopakettien hinnoitteluun ja toimitussisältöjen tietoihin, että asiakas pystyisi paremmin vertaamaan mitä eri talopaketit sisältävät ja mitä jää asiakkaalle tehtäväksi ja ostettavaksi. Energiatehokkuudella asiakkaalle voidaan perustella esimerkiksi tuotteen hieman korkeampi hinta, koska asiakas saa hyödyn paremmasta energiatehokkuudesta pienempinä lämmityskustannuksina.

Toisaalta talotoimittajat pyrkivät välttämään hintojen korotusta, jotta tuotteen lähtöhinta pysyisi mahdollisimman alhaisena. Hintaa asiakkaat kuitenkin ensimmäisenä katsovat vertaillessaan talopaketteja. Ratkaisuna hinnoitteluun voisi esimerkiksi olla, että paremman tiiviyn ja siitä johdannaista olevan energiatehokkuusluokan asiakas saisi halutessaan ostaa lisätoimituksena. Lisähinta voisi muodostua käytännössä kalliimmista eristeistä ja tiivisteistä sekä mahdollisesta lisätyöstä.

Suunnitteluun tällainen tiiviyspaketti vaikuttaa yksinkertaisimmillaan vain erilaisina valmistusdetaljeina, joten suunnittelukustannuksia siitä aiheutuu vain kertaluontoisesti.

3.3 Mukavuus

Asumismukavuuteen vaikuttavat erityisesti tiiviit alapohjan ja ulkoseinien alaosan liittymärakenteet. Niiden kautta kulkeutuva kylmä vuotoilma tuntuu asukkaalle ikävänä vedon tunteena ja aiheuttaa rakenteiden sisäpintojen kylmenemistä.

Rakennuksen vetoisuuden vähentämisellä vaikutetaan lisäksi välillisesti energiankulutukseen. Vetoisissa taloissa pidetään yleensä yllä korkeampaa sisälämpötilaa kuin

ilmanpitävissä taloissa saman asumismukavuuden saavuttamiseksi. (Aho & Korpi 2009, 8.)

Hyvällä tiiviydellä on merkitystä asunnon vedottomuuteen, vaikka tuskin on merkitystä sillä onko ilmavuotoluku 1 tai 3. Molemmat luvut merkitsevät jo kohtuullisen tiivistä ulkovaippaa. Käytännössä ei vedon tunnetta tule kummassakaan tapauksessa. Toisaalta mitä tiiviimpi rakennus on, sitä vähemmän on vedontunnetta ja aina tehokkaammin ilmanvaihtokone pystyy hallitsemaan sisäilmastoa ja näin ollen lisäämään asumismukavuutta.

3.4 Melu- ja hajuhaitat

Ilmavuotokohdista voi päästä asuntoihin melu- ja hajuhaittoja. Hyvä ilmanpitävyys parantaa myös rakennuksen paloturvallisuutta hidastamalla savukaasujen leviämistä rakenteiden läpi. Tiiviillä rakenteilla voidaan estää myös radonin pääsy rakenteiden läpi sisäilmaan. Tämä onkin erittäin tärkeä ominaisuus ja perustelu tiiviiden kehittämiseen radonpitoisilla maa-alueilla, koska kyseessä on asukkaiden terveys, eivätkä pelkästään rakenteelliset ja energiataloudelliset näkökohdat. (Aho & Korpi 2009, 8.)

3.5 Riskit

Riskinä nykymääräysten mukaan tehdyissä taloissa on paksujen eristekerrosten ja tiiviin vaipan vuoksi ilmanvaihtokoneen rikkoontuminen. Jos asuntoa ei valvota ja tiiviistä talosta ei kosteus pääse poistumaan, muodostuu merkittävä kosteusvaurioriski. Sama riski muodostuu myös siitä, että vaipan höyrynsulussa on iso vuoto ja ulkoa pääsee kylmä ilma kohtaamaan sisäpuolen lämpimän pinnan. Siitä seuraa että vesi alkaa kondensoitua rakenteeseen.

Yksi riskitapaus on myös se, että höyrynsulku vuotaa ja ilmanvaihto on jostain syystä ylipaineinen. Siitä seuraa, että sisäilman kostea lämmin ilma tunkeutuu rakenteisiin ja kosteus alkaa tiivistyä rakenteeseen, koska kylmä ilma ei pysty sitomaan yhtä paljon kosteutta itseensä kuin lämmin.

Edellä mainitut riskit ovat teoreettisia, mutta juuri niiden välttämiseksi on tiiviyyteen kiinnitettävä erityistä huomiota ja ymmärrettävä sen vaikutus rakennuksen rakenteelliseen ja kosteustekniseen toimivuuteen.

4. ENERGIAMÄÄRÄYKSET JA NIIDEN TULEVAISUUS

4.1 Energiamääräysten taustaa

Euroopan unionilla on tavoitteena vähentää päästöjä 21 prosenttia vuodesta 2005 vuoteen 2020 mennessä. Tähän on myös Suomi sitoutunut muiden EU:n jäsenvaltioiden kanssa. EU on myös valmis nostamaan tavoitteensa 30 prosenttiin, jos muutkin alueet lähtevät mukaan sopimukseen. Tehtyihin tavoitteisiin pääsemiseksi EU ohjaa jäsenmaitaan rakennusten energiatehokkuutta koskevalla direktiivillään. Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen tekemien laskelmien mukaan merkittävin yksittäinen keino hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen on rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. Tästä syystä ympäristöministeriö on kiristänyt Suomen rakentamismääräyskokoelman energiamääräyksiä vuoden 2010 alusta ja määräyksien on tarkoitus kiristyä lisää vuonna 2012. (Hellsten 2009, 10)

Yksistään rakennuksen energiatehokkailla ominaisuuksilla ei kuitenkaan pystytä pienentämään energiankulutusta, koska rakennusten kokonaisenergiankulutukseen vaikuttaa myös lämmityksen tarve, sähkölaitteiden kuluttama energia sekä mahdolli-

seen jäähdytykseen tarvittava energia. Lämmitysenergian tarpeeseen ratkaisulla on kuitenkin suuri vaikutus.

Myös asukkaiden toiminnalla ja kulutustottumuksilla on merkittävä vaikutus rakennusten energiankulutukseen. Energiatehokkaista ratkaisuista saatava hyöty vähenee, jos asukkaat eivät osaa käyttää ilmastointi- ja lämmityslaitteita oikealla tavalla. Vastuu laitteiden käyttöohjeista on laitteen toimittajalla tai rakentajalla, mutta käyttäjien on syytä opetella laitteiden oikeaoppinen ja energiatehokas käyttö.

Asukkaiden käyttämien viihde-elektronikka- ja muiden sähkölaitteiden sähkönkulutuksella on oma vaikutuksensa rakennuksen käyttämään energiaan. Valaistuksessa käytettävien polttimoiden tyyppi vaikuttaa myös tarvittavaan lämmitysenergiaan, koska vanhanaikaiset hehkulanka polttimot tuottavat valon lisäksi paljon lämpöä. Uudenaikaiset energiansäästö-, loisteputki- tai led-valaisimet eivät tuota lämpöä juurikaan, joten niiden käytölle ei sähkölämmitteisessä talossa ole perusteita niiden huomattavasti korkeamman hankintahinnan vuoksi. Käyttöiltään esimerkiksi led-polttimoiden pitäisi valmistajien mukaan olla huomattavasti kestävämpiä kuin hehkulankaiset polttimot, mutta säästö jää todella marginaaliseksi. Todennäköisesti tulevaisuudessa uuden valaistustekniikan yleistyessä ja kehittyessä led-polttimoiden hankintahinta laskee ja energia- ja kustannustehokkuus paranee.

4.2 Nykyiset määräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman vuonna 2010 uudistuneet energiamääräykset kohdistuvat lämmöneristävyyteen, ilmatiivyyteen sekä lämmön talteenottoon (ks. TAULUKKO 2).

TAULUKKO 2. Rakennusosien energiatehokkuusmääryksien kehitys 1976-2010 (Lukkarinen, 2009.)

Rakennusosien U-arvot	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17 / 0,40 hirsi
Yläpohja	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,17/0,16
Ikkuna	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0
Ovi	0,7	0,7	0,7	1,4	1,4	1,0
Muut laskennan lähtöarvot						
Ilmavuotoluku n50	6	6	6	4	4	2
LTO:n vuosihyötysuhde	0	0	0	30 %	30 %	45 %
Vaipan lämpöhäviön jous- to	0	0	0	10 %	20 %	30 %

Kuten taulukosta 2 selviää on lämmöneristysten U-arvoja kiristetty noin 30 prosenttia vuoden 2007 määräysten tasosta. Poikkeuksena edelliseen on hirsirakenteinen seinä, jonka U-arvon vertailuarvo on 0,40 W/m²K. Käytännössä lämmöneristävyysvaatimusten tiukentuminen tarkoittaa eristyspaksuuksien kasvamista tai paremmin lämpöä eristävien materiaalien käyttöä.

Taulukossa 3 on esitetty tarvittavia eristevahvuuksia käytettäessä seinissä ja yläpohjissa perinteisiä mineraalivillaeristeitä sekä alapohjassa polystyreenieristeitä.

TAULUKKO 3. Eristyspaksuudet 2007-2010 (Lukkarinen 2009)

Rakennusosien lämmönläpäsysteimat	2007		2010	
Ulkoseinä	0,24	160 mm mineraalivilla	0,17	+60 % 200...250 mm mineraalivil-laa
Yläpohja	0,15	250...300 mm mineraalivillaa	0,09	+100 % 500...600 mm mineraalivil-laa
Alapohja (maanvarainen) Alapohja (ryömintätilallinen)	0,24	100...150 mm eristettä	0,16 / 0,17	+40 % 150...200 mm mineraalivil-laa

Taulukon 3 mukaisesti lämmönläpäsysteierroin vaatimusten kiristymisen kasvatti rakenteiden eristevahvuuksia ulkoseinissä noin 60 prosenttia, yläpohjassa n. 100 prosenttia ja alapohjassa n. 40 prosenttia. Taulukossa on esitetty myös nykyisten määräysten vaatimat eristepaksuudet. Taulukon 3 arvot ovat lämpimille tiloille asetettuja vertailuarvoja laskettaessa vaipan lämpöhäviöitä. Huomion arvoista on mielestäni myös se että rakenneosan pienessä osassa lämmönläpäsysteierroin saa olla edellä mainittuja arvoja suurempi mikäli se on tarpeen lujuus- tai muista erityisistä syistä.

Ilmanvuotoluvun vertailuarvona käytetään vuoden 2010 alusta n50-lukua 2. Ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona käytetään n50-lukuna arvoa 4. Voidaan käyttää myös pienempää lukua, jos se pystytään osoittamaan ilmatiiviysmittauksella tai muulla menettelyllä.

Taulukon 2 mukaisesti lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvo kasvoi 45 prosenttiin vuoden 2007 määräyksien 30 prosentista. Vaipan lämpöhäviöiden

jousto kasvoi 30 prosenttiin. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennusvaipan lämpöhäviö saa olla 30 prosenttia suurempi kuin vertailuarvoilla laskettu lämpöhäviö, jos ylitys tasataan pienentämällä rakennuksen vuotoilman tai ilmanvaihdon lämpöhäviötä. Esimerkiksi jos jonkin vaipan rakenneosan lämmöneristyksen U-arvo on vertailuarvoja huonompi, voidaan lämpöhäviön ylitys korvata paremmalla lämmön talteenoton hyötysuhteella ja paremmalla ilmatiiviydellä.

4.3 Suuntaus tiukempaan

Vuonna 2012 voimaan tulevat määräykset tulevat kiristämään energiatehokkuusvaatimuksia 20 prosenttia lisää. Määräykset ovat tosin vasta luonnosvaiheessa ja näin ollen täyttä varmuutta tulevista muutoksista ei vielä ole.

Rakentamismääräysten D3 2012 luonnoksessa ei ole lähdetty kiristämään enää yksittäisten rakennusosien U-arvojen vertailuarvoja vuoden 2010 tasosta, mikä on talotehtaiden kannalta erittäin hyvä asia. Vuonna 2010 eristevahvuuksien kasvattaminen aiheutti lähes kaikille teollisesti taloja valmistavalle yritykselle merkittävästi tuotanto- ja suunnittelukustannuksia, koska koko rakennejärjestelmä oli uudistettava vahventuneiden eristekerroksien aiheuttamana. (RakMk D3 2012luonnos, 12.)

Rakentamismääräysten D3 2012 luonnoksessa siis on pidetty 2010 vaatimustaso U-arvoissa, joten energiatehokkuuden kehittäminen kohdentuu energiakulutuksen pienentämiseen muulla tavoin. Luonnoksessa otetaan myös kantaa vahvasti siihen mistä rakennuksen tarvitsema energia on peräisin. Vaatimuksena on että rakennuksen käyttämän uusiutuvan omavaraisenergian tai uusiutuvilla polttoaineilla tuotetun energian määrä on oltava vähintään 25% verrattuna rakennuksen tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksen energian nettotarpeeseen. Esimerkiksi takan lämmittäminen omasta metsästä kaadetuilla puilla ei ole uusiutuvaa omavaraisenergiaa, vaan uusiutuvaa ostoenergiaa. Myöskään lämpöpumpulla saatua energiaa ei huomioida uusiu-

tuvana energiana ellei lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin eli SFP-luku ole vähintään 2,0. (RakMk D3 2012luonnos, 15.)

Energian käyttöä ryhdytään pientaloissa myös mittaamaan sähkön ja lämmityksen osalta erikseen. Muissa kuin pien- ja rivitaloissa aletaan edellisen lisäksi mittaamaan lämpimän käyttöveden kulutusta ja ilmanvaihtojärjestelmän sekä jäähdytyksen sähkökulutusta. Muissa kuin asuinrakennuksissa mitataan jatkossa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton talteen ottamaa energiaa sekä valaistusjärjestelmän sähkönkulutusta. (RakMk D3 2012luonnos, 16.)

Rakennusten tiiviysvaatimuksia ei olla myöskään kiristämässä. Ilmavuotoluku 4 on edelleen yläraja tiiviydelle. Luonnoksen mukaan muun kuin ilmavuotoluvun 4 käyttäminen energiatehokkuuslaskelmissa edellyttää rakennuksen tiiviiden osoittamista mittaamalla edelleen. (RakMk D3 2012luonnos, 10.)

Energiatehokkuuden laskennassa ollaan luonnoksen mukaan siirtymässä kokonaisenergiatarkasteluun, joka onkin jo Keski-Euroopassa vallitseva tarkastelutapa. Se tarkoittaa käytännössä sitä, että rakennuksen kokonaisenergian käyttöä aletaan rajoittaa. Rakennuksen koko energiankulutusta tarkastellaan suhteessa pinta-alaan. Se on merkittävä muutos vuonna 2010 tulleisiin määräyksiin nähden, sillä niissä otetaan enemmänkin kantaa teknisiin arvoihin, kuten lämmön talteenottoon sekä vaipan rakenneosien lämmönläpäisykertoimiin.

Luonnoksen mukaan toinen uudistus energiamääräyksiin tulisi olemaan energialähteen huomioiminen rakennuksen energiatehokkuudessa. Käytännössä jokaiselle energiamuodolle annettaisiin sille ominainen energiamuotokerroin, jotka on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Kertoimia eri energiamuodoille (RakMk D3 2012luonnos, 8)

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	2,0
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

Taulukosta 4 ilmenee siis kertoimia eri energiamuodoille. Kerroin muodostuu sen mukaan kuinka energiatehokkaasti energialähteen energia tuotetaan. Rakennusten energiatehokkuusluku, eli E-luku, lasketaan luonnoksen mukaan kertomalla rakennuksen laskennallinen netto-ostoenergian tarve energiamuotokertoimella. (RakMk D3 2012luonnos, 8.)

Energiaselvitys on nykyään tehtävä haettaessa rakennuslupaa ja sen yhteydessä lasketaan energiatehokkuusluku. Luku määrittelee rakennuksen energialuokan energiatodistukseen. Energiatehokkuusluokat on jaettu porrastetusti kirjaimilla välille A-G, joista paras luokka on A. (RakMk D3 2010, 13.)

Ilmatiiviydellä on uudessa E-luvun lämpöhäviöiden laskennassa myös erilainen merkitys. Tällä hetkellä lämpöhäviöiden laskennassa vuotoilmavirtaa verrataan kohteen ilmamäärään, mutta uudessa laskentatavassa käytetään vertailutekijänä vaipan pinta-alaa. Se tasapuolistaa erityyppisten rakennusten vertailua. Esimerkiksi yksi- ja monikerroksisten rakennusten vertailussa on huomattava ero vaipan pinta-alalla suhteessa ilmamäärään. (RakMk D5 2012luonnos, 17.)

Ympäristöministeriön julkaisemassa energiamääräysten uudistusluonnoksessa esitetään, että rakennuksen energiatehokkuus vaikuttaisi kiinteistöveron suuruuteen. Mitä energiatehokkaampi rakennus olisi, sitä pienempi olisi myös kiinteistövero. Tällä tavalla kannustettaisiin rakentajia ja käyttäjiä ottamaan huomioon rakennuksen energiatehokkuus myös verotukseen vaikuttavana tekijänä. Kyseisessä ehdotuksessa on paljon haasteita, esimerkiksi se, miten energiatehokkuus voidaan suunnitelmien lisäksi todentaa käytännössä. Yksi haaste on myös mittauksen standardisointi, siten että paikallisia eroja ei pääsisi syntymään mittauksissa tai niiden tulkinnoissa. Verolainsäädäntö asettaa myös vaatimuksia energiatehokkuuden määrittäjälle ja eri lämmitysmuotojen arvottaminen lainsäädännön mukaan vaatii vielä tutkimista ja tarkentamista. (Lehtinen, Haakana, Kimari, Marttila, Vanhanen, Martinkauppi, Hurmeranta, Kinnunen, Nenonen & Shemeikka 2009)

4.3 EU-direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta

Rakennukset muodostavat noin 40 prosenttia Euroopan unionin kokonaisenergiankulutuksesta. Rakennusten määrä kasvaa jatkuvasti, mikä nostaa väistämättä energiankulutusta. Energiankulutuksen vähentämiseen pyrkiminen ja uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käyttö ovat rakennusallalla tärkeimmät toimenpiteet, joilla voidaan vaikuttaa unionin energiariippuvuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Yhdessä näillä toimenpiteillä voidaan mahdollistaa, että unioni noudattaa ilmastomuutosta koskevaa yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimukseen (UNFCCC) liitettyä Kiotoa pöytäkirjaa ja sekä pitkän aikavälin sitoumustaan säilyttää maailmanlaajuisen lämpötilan nousu alle 2 °C:ssa että sitoumustaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää vuoteen 2020 mennessä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta. (D.2010/31/EU, 13.)

Tästä syystä EU on tehnyt direktiivin rakennusten energiatehokkuudesta. Direktiivin mukaan energiamääräykset kiristyvät tämän hetken tasosta vuoteen 2020 mennessä

merkittävästi. Tästä johtuen Suomessa on odotettavissa määräyksiin muutoksia vielä vuoden 2012 jälkeenkin. Direktiivin mukaan vuonna 2020 tulisi rakennusten olla lähes nollaenergiataloja.

'Lähes nollaenergiarakennuksella' tarkoitetaan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus, sellaisena kuin se on määritettynä liitteen I (Rakennusten energiatehokkuuden laskennan yleinen yhteinen kehys) mukaisesti. Tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä olisi hyvin laajalti katettava uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia;. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, 18.)

Direktiivin mukaan rakennuksen käyttöenergian tulisi lisäksi koostua pääosin uusiutuvista energiamuodoista. Lisäksi myös korjausrakentamisen vaatimustasoa nostetaan. Rakennusten energiatehokkuuden laskennasta on direktiivissä annettu kaikille jäsenmaille yhteinen kehysohjeistus. (D.2010/31/EU, 19.)

5. TIIVIYDEN MITTAAMINEN JA OSOITTAMINEN VIRANOMAISILLE

5.1 Perusteet

Talotehtaille ja muille toimijoille, jotka rakentavat asuinrakennuksia käyttäen samantaisia vakioituja rakenneratkaisuja on vuoden 2009 lopussa julkaistu Rakennustiedon RT-ohjekortti 80-10974. Sen mukaan voidaan rakentajan tuotannolle määrittää talotyyppikohtainen ilmavuotoluku ilman, että jokaista rakennusta tarvitsee erikseen painekokeella mitata. RT-ohjeen mukaista toimintaa pidetään hyvän rakennustavan

mukaisena, joten voidaan olettaa rakennusvalvontojen hyväksyvän sen mukaiset käytännöt ja ohjeet.

RT-ohjekortin mukaisella menettelyllä voidaan talotehtaan tietyille talotyyppille saada ilmavuotoluku, jota voidaan käyttää energiatodistusta laskettaessa kaikissa saman talotyyppin rakennuksissa. Talotyyppin muodostavat esimerkiksi puurakenteisena tehtävät rakennukset, joissa sekä runko että yläpohja on toteutettu puurakenteisena. Käytännössä Finndomon tapauksessa rivi-, pari ja omakotitalot kuuluvat samaan talotyyppiin, koska niissä toistuvat samat rakenneratkaisut vaipan eri osissa ja liittymissä. Oman talotyyppin muodostaisivat esimerkiksi rakennukset, jotka ovat kivirakenteisia tai kivi- ja puurakenteiden yhdistelmiä. Menettely on jaettu kolmeen vaiheeseen: tutkimukseen, ilmoitukseen ja seurantaan. (RT 80-10974 2009, 4.)

Useita huoneistoja sisältävän pari- tai rivitalon ilmavuotoluku voidaan määrittää mittaamalla ilmanpitävyys vähintään yhdestä huoneistosta jokaista rakennustyyppiä kohden. Rivitalossa mitattavan huoneiston tulee olla päätyhuoneisto, jotta mittava tila rajoittuisi mahdollisimman suurelta osin ulkovaippaan. Kun pientalosta mitataan useampia huoneistoja on ilmavuotoluku mittaustulosten keskiarvo.

Jos halutaan selvittää useammasta huoneistosta muodostuvan rivi- tai paritalon pelkän ulkovaipan ilmavuotoluku on kaikki huoneistot paineistettava samaan paineeseen yhtä aikaa, jotta ilma ei merkittävästi virtaisi huoneistojen välisten seinien läpi. Talon ilmavuotoluku saadaan siinä tapauksessa huoneistokohtaisten ilmavuotolukujen keskiarvona. (RT 80-10974 2009, 13.)

Ilmoitusmenettelyn sijaan on myös aina mahdollista toteuttaa kohdekohtainen ilmanpitävyyden mittaus. Tällöin on rakennuslupavaiheessa suositeltavaa käyttää jonkun verran varmalla puolella olevaa ilmanvuotoluvun suunnitteluarvoa, että sen saavuttaminen ei aiheuttaisi kohtuuttomasti haasteita. Kohdekohtainen mittaus on

merkittävästi kalliimpi toteuttaa, kuin ilmoitusmenettely, joten ensisijainen toimintatapa muodostuu suurimmalla osalla talovalmistajista ilmoitusmenettelystä.

5.2 Tutkimus

Tutkimusmenettely aloitetaan talotoimittajan ja tutkimuksen tekevän ulkopuolisen tahon yhteistyössä valitsemilla talotyyppiin kuuluvien toteutusratkaisujen arvioinnilla. Kun talovalmistajan tuotannosta on valittu tietyntyyppiset rakennukset omaan ryhmäänsä, on ulkopuolisen tahon tehtävä selvitys näissä ratkaisuissa käytetyistä liitoksista, detaljeista, rakennustavoista, rakennusmateriaaleista, rakennusprosessista ja työmaavalvonnasta. Kun edellä mainitut asiat on selvitetty voidaan aloittaa varsinaiset mittaukset. Mittaukset suoritetaan niin, että ulkopuolinen taho valitsee rakentajan tuotannosta vähintään kuusi saman talotyyppin rakennusta, joihin mittaukset tehdään. (RT 80-10974 2009, 4.)

5.3 Ilmoitus

Tutkimuksessa mitattujen ilmavuotolukujen perusteella lasketaan seuraavaksi ilmoitusmenettelyn mukainen talotyyppikohtainen ilmavuotoluku ($n_{50,ilm}$) [1/h], johon käytetään kaavaa numero 1. Kaavassa otetaan huomioon mitattujen kohteiden lukumäärä ja mittaustulosten keskihajonta. (RT 80-10974 2009, 6.)

$$(1) \quad n_{50,ilm} = \overline{n_{50}} + k \cdot s_{n50}$$

missä $\overline{n_{50}}$ = talotyypin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennuksen ilmavuotolukujen keskiarvo [1/h]

k = kerroin, joka riippuu mitattujen rakennusten lukumäärästä [-]

s_{n50} = talotyypin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennusten ilmavuotolukujen keskihajonta [1/h].

Keskihajonta s_{n50} lasketaan *kaavalla 2*

$$(2) \quad s_{n50} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{50,i} - \overline{n_{50}})^2}{n-1}}$$

missä $n_{50,i}$ = yksittäinen rakennuksen ilmavuotoluvun mittaustulos [1/h]

n = talotyypin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennusten lukumäärä.

Kerroin k lasketaan *kaavalla 3*

$$(3) \quad k = 0,674 + \frac{1}{\sqrt{n}}$$

5.4 Seuranta

Laskennasta saatua talotyyppikohtaista $n_{50,ilm}$ -lukua voidaan käyttää kolme vuotta, minkä jälkeen suoritetaan seurantamittauksia kolmen vuoden aikana valmistuneista rakennuksista. Seurantavaiheessa talotoimittaja tai ulkopuolinen taho tekee mittauksista seurantaraportin, josta ilmenevät mahdolliset muutokset aiemmin käytettyihin rakenneratkaisuihin. Seurantajakson aikana tehdään mittaukset talotyypeittäin vähintään kolmeen satunnaisesti valittuun rakennukseen. Kohteiden valinnassa on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan huomioimaan eri asentajat ja eri maantieteelliset alueet.

Jos talotoimittaja tekee seurantamittaukset itse laadunvalvojana toimivan ulkopuolisen tahon on tehtävä tarkistusmittaukset vähintään kolmeen talotoimittajan mittaamaan kohteeseen jokaisella seurantajaksolla. Kohteet voivat kuulua joko samaan tai eri talotyyppiin. Ulkopuolinen taho tekee valinnan tarkistettavista kohteista talotoimittajan antaman listan perusteella.

Ulkopuolinen taho analysoi eri talotoimittajan eri tahojen tekemien seurantamittausten keskinäiset erot ja antaa tarvittaessa lisäohjeita talotoimittajalle mittausten suorittamista varten. Talotoimittaja saa ottaa käyttöön uudet ilmoitetun ilmavuotoluvun arvot seuraavalle seurantajaksolle vasta sen jälkeen, kun ulkopuolinen taho on hyväksynyt niiden perustana olevien seurantamittausten toteutuksen oikeellisuuden sekä ilmoitettujen ilmavuotolukujen laskennallisen määrityksen. (RT 80-10974 2009, 6.)

Jos edellä mainittujen seurantamittausten tuloksien perusteella laskettu ilmavuotoluku poikkeaa aiemmasta ilmanvuotoluvusta, voidaan suorittaa lisämittauksia. Mikäli lisämittausten jälkeenkin ilmavuotoluku poikkeaa aiemmasta, voidaan käyttää seurantamittauksissa saatua lukua jälleen seuraavat kolme vuotta, kunhan poikkeama ei ole yli 0,5 l/h aiemmasta. Jos niin käy, tälle rakennukselle täytyy käyttää omaa arvoaan eikä sitä saa liittää kyseisen talotyypin mukaiseen ilmavuotolukuun. (RT 80-10974 2009, 4-7.)

5.5 Paineokeen toteutus

Ilmanpitävyysmittauksella todennetaan rakennuksen ilmapitävyystaso ilmanvuotoluvun määrittämistä varten. Paineokeessa määritetään ilman tilavuusvirta, joka puhaltaa rakennuksesta pois (alipaineoke) tai rakennukseen (ylipaineoke). Tällä tavoin saadaan haluttu paine-ero rakennuksen vaipan yli. (RT 80-10974 2009, 11.)

Alipainekokeessa tutkittavaan tilaan aiheutetaan puhaltimella 50 Pascalin alipaine ulkoilmaan nähden. Vuotokäyrä ajetaan 5 - 10 Pascalin välein 20 – 60 Pascalin välillä. Alipaineen ylläpitämiseksi tarvittava ilmamäärä mitataan ohjelma-avusteisesti. Tämä ilmamäärä jaettuna tutkittavan tilan ilmatilavuudella tai muulla vaipan alaa kuvaavalla suurella antaa tulokseksi ilmavuotoluvun n_{50} , joka antaa kuvan tutkittavan rakennuksen tai sen osan ilmanpitävyydestä. Suomessa ilmavuotoluku on esitetty yksikössä 1/h. (RakMk D3 2010, 11.)

Mitattavassa kohteessa on ennen mittausta tutkittava kaikki aukot vaipassa, kuten tulisijat, ilmanvaihtuventtiilit, IV-koneen tulo- ja poistoilmakanavat sekä viemärien ja lattiakaivojen kohdat, jotta mittaustilanteessa korvausilmaa ei pääse kohteeseen tai sieltä pois. Ovet ja ikkunat ovat myös suljettuina. Puhallin asennetaan käytännössä yleensä ulko-oveen, kuten kuviossa 1.



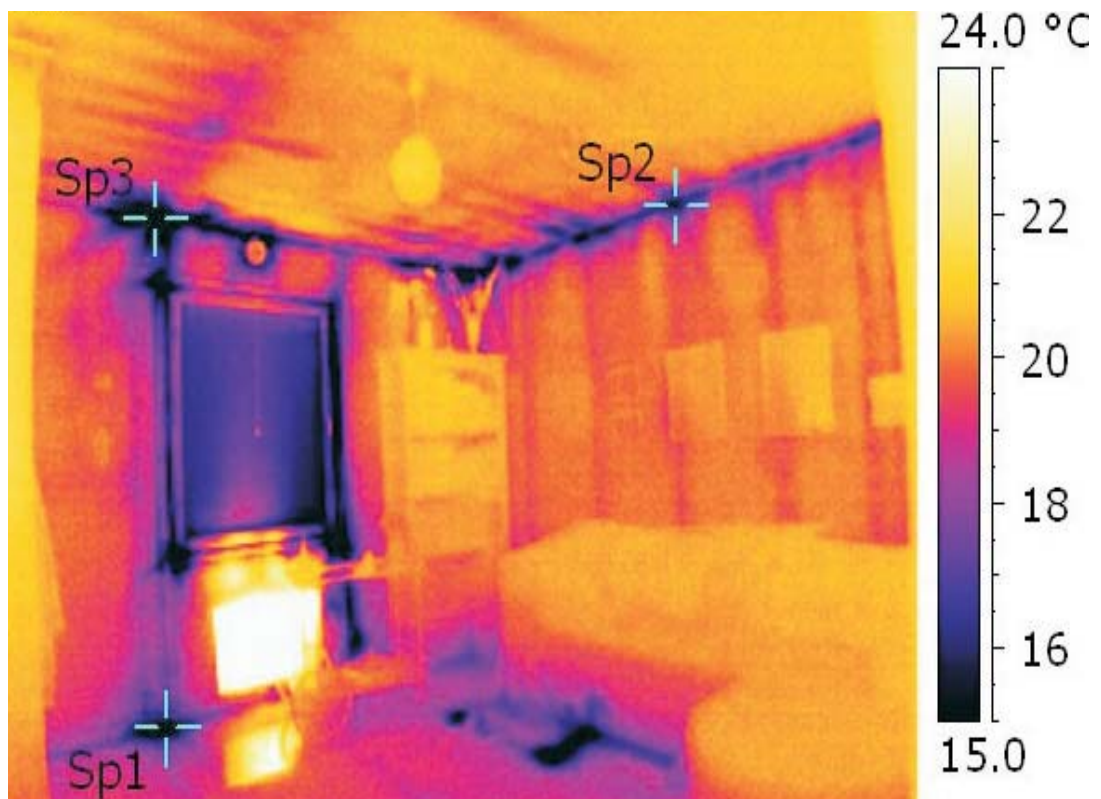
KUVIO 1. Alipaineen synnyttävä puhallin ja mittauslaitteisto (RT 80-10974 2009, 3.)

Vaikka ympäristöministeriön julkaisemassa Tasaustasapöytäkirja 2007 ohjeistetaan, että ilmapöytäkirja mitataan 50 Pa alipaineessa, on suositeltavaa käyttää myös ylipainemittauksia. Siinä tilaan puhalletaan ilmaa, jotta saavutetaan 50 Pascalin ylipai-

ne. Ylipainemittauksessa voidaan huomata joitain vuoto kohtia, jota ei alipainemittauksissa välttämättä huomata, kuten kevytrakenteisen höyrynsulun limityksen vuotoja. Yli- ja alipainemittauksista lasketaan keskiarvo, jos ne poikkeavat toisistaan enintään 0,5 l/h. Muussa tapauksessa valitaan mittaustuloksista suurempi.

Paine-erojen mittaukset tulisi pyrkiä tekemään tuulelta suojassa olevan julkisivun puolelta. Mittauksissa on otettava huomioon ulkoilman tuulennopeus, joka vaikuttaa mittaustulokseen ja suoritettava tarvittaessa tarkistusmittauksia erillisillä mittareilla muista ilmansuunnista. Tarkin mittaustulos saavutetaan siis mahdollisimman tyynellä säällä. (RT 80-10974 2009, 11.)

Ilmavuotojen havaitsemiseen voidaan käyttää merkkisavua, ilmavirtausmittausta tai lämpökameraa ilmatiiviysmittauksen yhteydessä. Alipainepuhallin jätetään mittauksen jälkeen päälle, tällöin alipainetta tulisi olla kohteessa vähintään 50 - 60 Pascalia. Merkkisavuampullilla, ilmavirtausmittarilla tai lämpökameralla (ks. KUVIO 2) tarkastetaan yleisimmät vuotokohtat.



KUVIO 2. Lämpökamerakuvaus, kuva otettu 50 Pa:n alipaineessa (RT 80-10974 2009, 12.)

Lämpökameramittaus on toimiva vain kylmään vuoden aikaan, koska sen toiminta perustuu lämpötilaeroihin. Rakennus on kuvausta tehtäessä alipaineistettava 50 Pa:n alipaineeseen. Kesällä sisä- ja ulkolämpötilan ollessa lähellä toisiaan on mahdotonta havaita lämpökuvauksella vuotokohtia, joista ilma liikkuisi vaipan lävitse. Kylmään vuoden aikaan voidaan lämpökamerakuvasta havaita vuotokohdat, koska kylmä ulkoilma tunkeutuu vaipan vuotokohtien lävitse sisätilaan. Kohdat näkyvät kuviossa 2 huomattavan erilämpöisinä kuin rakenteiden muut sisäpinnat.

Ilmavirtausmittari kertoo anturin läpi virtaavan ilman (m/s) ja näin ollen ilmentää vuotokohtaa. Alipaineistetussa tilassa vuotokohdat huomataan mittarilla kohtuullisen helposti, jos ilmavirtaus on voimakkaampi, kuin normaalissa painetilanteessa.

Ilmavuotoja voidaan havainnoida myös paikantamalla ne merkkisavulla ylipainemittauksen aikana. Idea on vastaavanlainen kuin ilmavirtausmittarilla, mutta savun avulla voidaan silmämääräisesti havainnoida vuotokohtat savun liikkeiden ja virtauksen perusteella.

6. NYKYISET RAKENNERATKAISUT

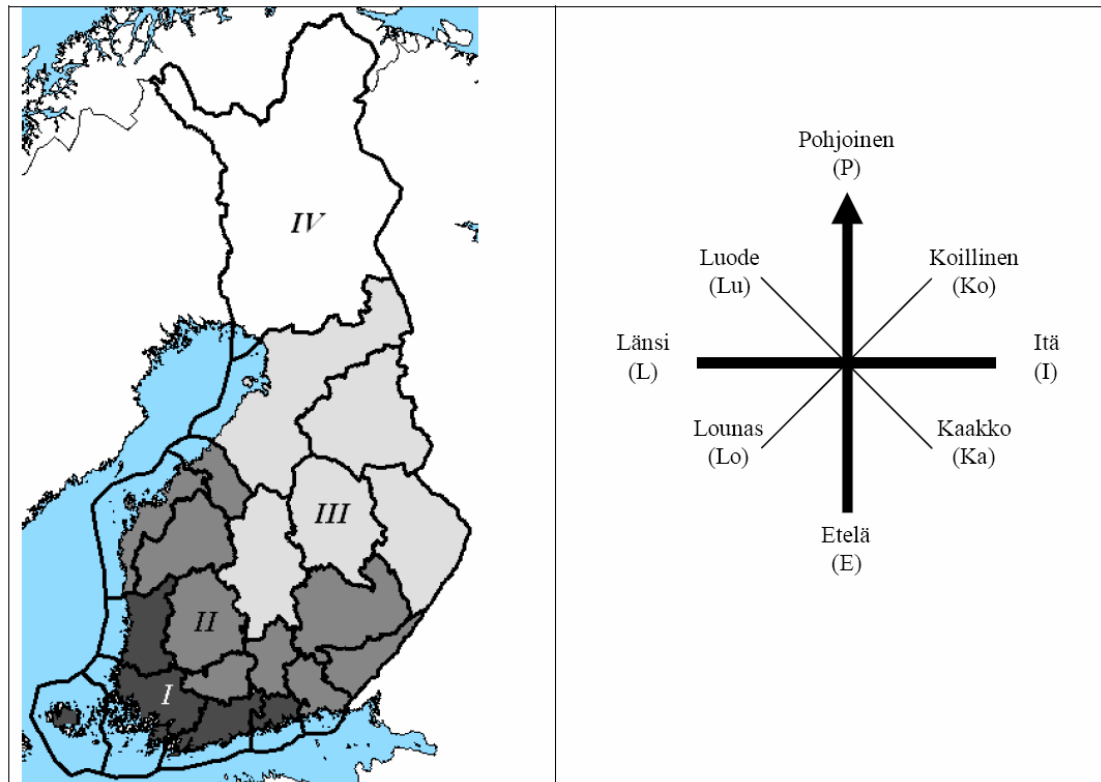
6.1 Taustaa

6.1.1 Määräykset

Ympäristöministeriön uudet energiamääräykset astuivat siis voimaan vuoden 2010 alusta. Määräykset kiristävät rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia kahdessa osassa: ensin noin 30 prosenttia vuonna 2010 ja arviolta 20 prosenttia lisää vuonna 2012. Tiukemmilla energiamääräyksillä on pyritty parantamaan rakennusten energiatehokkuutta ja näin vähentämään ilmastonmuutosta nopeuttavia kasvihuonekaasupäästöjä. Yksi osa energiatehokkuuden parantamista on rakennusvaipan ilmatiiviyyden kehittäminen.

6.1.2 Suomen ilmasto ja sen vaihtelut eri alueilla

Rakentamismääräysten osassa D5 Suomi on jaettu neljään ilmastovyöhykkeeseen, jotka on esitetty KUVIOSSA 3. Eri osissa maata vallitsevat ilmasto-olosuhteet huomioidaan laskettaessa rakennuksen energian kulutusta.



KUVIO 3. Säävyöhykkeet (RakMk D5 2010, 56.)

Suomessa vallitsee niin sanottu väli-ilmasto, jossa on meri- ja mannerilmaston piirteitä riippuen ilmavirtausten suunnasta ja matalapaineiden liikkeistä. Vuoden keskilämpötilat ovat noin 5,5...-1,5 celsius astetta. Talojen lämmitystarve vaihtelee alueittain, periaatteella etelässä on lämpimämpää ja pohjoisessa kylmempää, vuodenaikojen mukaan. (Suomen ilmasto. n.d.)

Tiiviystä ja lisälämmöneristämisestä talviaikaan saatavat hyödyt korostuvat pohjoisemmassa Suomessa, koska lämmitysaika vuodesta on siellä pidempi. Toisaalta lämpimän vuodenajan pidempi kesto Etelä-Suomessa voi aiheuttaa jäähdytuskustannuksia, vaikka talvi olisi siellä leudompi kuin pohjoisessa Suomessa. Suurin osa Finnidon toimittamista taloista toimitetaan Etelä-Suomeen, mutta huomion arvoista on

se, että samat määräykset ja normit ohjaavat koko Suomen uudis- ja korjausrakentamista.

Rakenteiden fysikaalista toimivuutta suunniteltaessa on periaatteena, että ilman suhteellinen kosteus ulkoilmassa on aina vähemmän kuin sisäilmassa Suomen ilmastossa. Siitä syystä tiiviillä höyrynsulkukerroksella mahdollisimman lähellä lämmintä pintaa on tärkeä merkitys. Jos höyrynsulku ei toimisi, eikä ilmanvaihtoa olisi säädetty toimimaan hieman alipaineisena, olisi mahdollista että sisäilmasta, joka on yleensä lämpimämpää kuin ulkoilma, alkaisi tiivistyä kosteutta rakenteisiin aiheuttaen kosteusvaurioriskin.

7. SUUNNITTELUN JA VALMISTUKSEN TARKKUUS JA MERKITYS

Energiatehokkuus on otettava huomioon jo arkkitehtisuunnittelussa. Arkkitehti voi useimmiten vaikuttaa rakennuksen asemointiin tontilla ja ikkunoiden määriin. Nykyisellään vielä harvat arkkitehdit kiinnittävät asiaan riittävästi huomiota ja vaikuttaakin että markkinoiden asettamat energiatehokkuusvaatimukset kohdistetaan useimmiten suunnitteluprosessissa vasta LVI ja rakennesuunnittelulle.

Ilmansuuntien ja ikkunoiden sijoittelulla sekä koolla on suuresti merkitystä asuntojen energiatehokkuuteen. Usein markkinat vaativat A-energiatehokkuusluokan asuntoja, mutta arkkitehtuurista ei olla valmiita tinkimään tai sen määrittelee erittäin erikoinen kaava. Energiatehokkuutta vaaditaan vasta energiaselvityksen tekijältä tai LVI-suunnittelijalta, jotta mieleinen energialuokka saavutettaisi. Arkkitehtuurin ja energiatehokkuuden yhteyttä ei ymmärretä markkinoilla tai kaavoituksessa. LVI- ja rakennesuunnittelijalla on useimmiten rajalliset keinot toteuttaa markkinoiden vaati-

mukset esimerkiksi parantamalla IV-konetta ja tiiviyyttä. Esimerkiksi välttämällä todella suuria ikkunoita ja pitämällä ikkuna-aukkojen määrän muutenkin kohtuullisena suhteessa asunnon ja huoneiden lattiapinta-alaan vaikutetaan energiatehokkuuteen huomattavasti. Toinen tapa vaikuttaa arkkitehtisuunnittelussa energiatehokkuuteen on sijoittaa rakennus tontille niin, että mahdollisimman monta ikkunaa jää eteläsivulle.

Suunnitteluratkaisuilla voidaan merkittävästi vaikuttaa työmaan toteutukseen. Merkitys korostuu koko ajan energiamääräysten kiristyessä ja energiatehokkuus asioiden huomioiminen kaikilla suunnittelun osa-alueilla vaikuttaa halutun lopputuloksen saavuttamiseen todella paljon. Tästä johtuen saumaton yhteistyö eri suunnittelualojen suunnittelijoiden välillä on ehdoton edellytys.

Tässä työssä on keskitytty lähinnä rakennesuunnittelijan osuuteen rakennuksen suunnitteluprosessissa ja tarkemmin tiiviyyteen, kun lähdetään toteuttamaan vähintään nykymääräykset täyttäviä energiatehokkaita puurakenteisia asuntoja.

Rakenne- ja elementtisuunnittelussa tulisi välttää riskialttiiden liitosratkaisuiden käyttöä ja vaipan läpivientien määrä tulisi minimoida mahdollisuuksien mukaan.

Läpivientien sijoituspaikkoja mietittäessä on otettava huomioon työmaa-asennukset, jotta siellä ei tulisi suuria ongelmia niiden sijaintien tai tilan ahtauden takia. Edellä mainittuihin läpivienteihin asettaa rajat LVI- ja rakennussuunnittelija. Rakenne- ja elementtisuunnittelijalla on kuitenkin mahdollisuus paremmin ottaa huomioon rakennetekniset asiat, jotta toteutus olisi mahdollisimman tiivis ja kustannustehokas. Tarvittaessa rakennesuunnittelija voi tehdä yhteistyössä LVI- ja rakennussuunnittelijan kanssa muutosehdotuksia esim. putkilinjojen ja läpivientien sijainteihin aikataulun ja suunnitteluprosessin sen salliessa.

Rakennuksen ilmatiiviyden kannalta mahdollisimman yksinkertaiset liitosrakenteet ovat toteutuksen tasaisen ja hyvän laadun kannalta paras ratkaisu. Tästä johtuen ilmatiiviyys ja sen mahdollisimman yksinkertainen ja kestävä toteutus tulee huomioida jo suunnittelupöydällä. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on myös suunnitella selkeät työ- ja detaljipiirrokset, joista yksiselitteisesti selviää toteutustapa. Detaljeista selviää rakenteissa käytettävät materiaalit sekä mahdollisesti työohjeet ja työjärjestys

Energiatehokkuuden yhteyttä arkkitehtisuunnitteluun pitäisi käsitellä enemmän rakennusalan medioissa ja kouluttaa arkkitehtejä, jotta saataisiin ajatusmaailma käännettyä energiatehokkaaseen suuntaan. Näin energiatehokkuuden toteuttamiselle löytyisi paremmin mahdollisuuksia. Oppilaitoksilla on vastuu huomioida energiatehokkuus -ajattelu mahdollisimman vahvasti jo arkkitehtien koulutuksessa. Osa vastuusta on myös työnantajilla, koska valtaosa arkkitehteistä on työelämässä. Energiatehokkuusvaatimukset tulevat entisestään kiristymään seuraavien vuosien aikana, joten arkkitehtien energiatehokkuuteen kouluttaminen pitäisi aloittaa välittömästi.

LÄHDELUETTELO

Aho, H. & Korpi, M (toim.) 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 140. Tampereen teknillinen yliopisto.

Kauppinen, T., Kouhia, I., Kovanen, K., Ojanen, T., Laamanen, J., Mäkikyrö, T., Seppälä, P & Vähäsöyrynki, E. 2009. Rakennusten ilmanpitävyys ja energiatehokkuus. Rakennusfysiikka 2009 seminaari, Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut 27.-29.10.2009. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustieto Oy.

RakMk C3. 2008. Rakennuksen lämmöneristys, määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C3. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMk C4 2012 luonnos. 2010. Lämmöneristys, ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C4 2012 luonnos 28.9.2010. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMk D3. 2008. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMk D3 2012 luonnos. 2010. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 2012 luonnos 28.9.2010. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMk D5. 2010. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5. Helsinki: Ympäristöministeriö

RakMk D5 2012 luonnos. 2010. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 2012 luonnos 28.9.2010. Helsinki: Ympäristöministeriö

Seppänen, O. Seppänen M. 1996. *Sisäilmasto ja LVI-tekniikka*. Sisäilmayhdistys ry.

Määttä, M. 2010. Uudisrakennusten energiamääräykset uusiksi. Ympäristö-lehti 15.11.2010 nro7/2010. Viitattu 19.11.2010.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=369803&lan=fi&clan=fi>

Hellsten, J. 2009. Kohti vähähiilistä Suomea. Rakennuslehti 15.10.2009 nro 32/2009, 10-11.

Lukkarinen, P. 2009. Rakentamisen ohjaus. Seminaariesitys. Ympäristöministeriö. Viitattu 14.11.2010. www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=109449&lan=fi

Lehtinen, T. Haakana, M. Kimari, R. Marttila, M. Vanhanen, J. Martinkauppi, K. Hurmeranta, U. Kinnunen, H. Nenonen, J. Shemeikka, J. 2009. Rakennusten kiinteistöveron porrastaminen energiatehokkuuden ja lämmitystavan perusteella. Ympäristöministeriö. Julkaistu 14.10.2009. Viitattu 22.3.2010.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=110023&lan=fi>

D.2010/31/EU. 2010. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI RAKENNUSTEN ENERGIAEHOOKKUUDESTA. Uudelleenlaadittu 19.5.2010. Viitattu

13.11.2010. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF>

Suomen ilmasto. n.d. Ilmaston muutos. Ilmatieteenlaitos. Viitattu 13.11.2010.
http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos/suomessa_2.html