

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**MATALAENERGIARAKENTAMINEN
JA RAKENNUSTEN ENERGIALUOKITUS**

**Low-Energy Building and
The Energy Certification of Buildings**

Tarkastaja: Professori, KTT, DI Lassi Linnanen

Ohjaaja: Tutkijakoulutettava, DI Mika Luoranen

Lappeenrannassa 26.9.2008

Satu Erkkilä

Liesharjunkatu 9 B 13

53850 Lappeenranta

p. 044-2573543

SISÄLLYSLUETTELO:

KÄSITELUETTELO.....	3
1 JOHDANTO	4
1.1 Rakennuskannassa piilee suuri energiansäästöpotentiaali	4
1.2 Työn tavoitteet	5
2 RAKENNUSTEN ENERGIA TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	5
2.1 Lämpöhäviöt - energiaa harakoille.....	6
2.2 Ilmatiiviyys	7
2.3 Lämpökuormien hyödyntäminen	8
2.4 Pientalon ekomittarit energiatehokkuuden arvioinnin apuna.....	8
3 MATALAENERGIARAKENTAMINEN.....	11
3.1 Matalaenergiatalo vuosikymmenien ekoteko.....	11
3.1.1 Välietappi matkalla kohti passiivitaloa	12
3.2 Matalaenergiaratkaisut	14
3.2.1 Ikkunat energiatehokkuuden kompastuskivenä	15
3.2.2 Lämmön talteenotto ja hyödyntäminen.....	15
3.3 Matalaenergiapientalo	16
3.3.1 Referenssikohteet	17
3.3.2 Saavutettavat energiansäästöt.....	18
3.4 Matalaenergiakerrostalo	19
3.4.1 Referenssikohteet	20
3.4.2 Saavutettavat energiansäästöt.....	22
3.5 Matalaenergiatoimisto.....	24
3.5.1 Matalaenergiatoimistoissa käytetyt ratkaisut	24
4 RAKENNUSTEN ENERGIALUOKITUS	27
4.1 Laskentaperusteet energialuokan määrittämiseen.....	29
4.1.1 Lämpöhäviöt ja lämmitystarve.....	30
4.1.2 Sähkönkulutus	31
4.1.3 Hyödynnettävät lämpökuormat	31
4.1.4 Jäähdytysenergiatarve	32

4.1.5 Kokonaisenergiantarve ja ET-luku	33
4.2 Nykytilanne ja luokituksen ongelmat.....	33
5 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	35
5.1 Visioita kuluttajien käyttäytymisestä	35
5.2 Mallia maailmalta.....	38
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	40
LÄHTEET	42
LIITTEET	

Liite 1. Malli täytetystä energiatodistuksesta pientalolle.

Liite 2. Energialuokan määrittämiseen tarvittavat lähtötiedot laskentakohteittain.

KÄSITELUETTELO

Energialuokka, A-G, ilmaisee muun muassa rakennuksissa, ikkunoissa ja kodinkoneissa kyseisen kohteen energiatehokkuuden verrattuna muihin vastaaviin kohteisiin. A on vähiten energiaa kuluttava, G puolestaan energiatehokkuudeltaan huonoin vaihtoehto.

ET-luku [$\text{kWh/m}_{\text{br}}^2/\text{a}$] eli energiatehokkuusluku saadaan jakamalla rakennuksen lämmityksen, laitesähkön sekä jäähdytyksen vuodessa tarvitsema energia rakennuksen bruttopinta-alalla. ET-luvulla määritetään rakennusten sijoittuminen energialuokituksessa.

g-arvo [%] eli auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin ilmaisee sen, kuinka hyvin ikkuna pystyy hyödyntämään auringon säteilyenergiaa.

Ilmanvuotoluku n_{50} [1/h] ilmaisee vaipan läpi tunnin aikana vuotavan ilman määrän suhteessa rakennuksen tilavuuteen, kun sisä- ja ulkopuolisen ympäristön paine-ero on 50 Pa.

Rakennuksen bruttopinta-ala [m_{br}^2] kuvaa koko rakennuksen laajuutta, ja se lasketaan rakennuksen kaikkien kerrostasojen kerrosalojen summana huoneiden käyttötarkoituksista riippumatta. Kerrosalojen rajoina ovat ympäröivien ulkoseinien ulkopinnat tai niiden ajateltu jatke, ja kerrosala sisältää myös porraskäytävät sekä alat, joiden huonekorkeus on alle 1600 mm.

U-arvo [$\text{W/m}^2\text{K}$] eli lämmönläpäisykerroin ilmaisee sen lämpövirrantiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eripuolilla vallitsevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. Se määräytyy rakennusosan kerrosten paksuuksien ja lämmönjohtavuuksien mukaan.

1 JOHDANTO

1.1 Rakennuskannassa piilee suuri energiansäästöpotentiaali

Rakennusten lämmityksen osuus Suomen vuosittaisesta energiankulutuksesta on kahdenkymmenen viime vuoden ajan pysynyt melko tasaisesti 22 prosentin tuntumassa (Tilastokeskus 2007). Ilmastonmuutos, jatkuva energianhinnan kasvu sekä tuontienergiasta riippuvaisuus ovat luoneet tarpeen energiankulutuksen vähentämiseksi sekä energiatehokkuuden parantamiseksi niin asumisessa kuin muilla energian loppukäytön sektoreilla.

Euroopan Unionin energiansäästötavoitteisiin kuuluu 20 prosentin lasku energiankulutuksessa vuoteen 2020 mennessä; Suomessa osa tästä vähennystavoitteesta aiotaan saavuttaa kiristämällä rakentamisen energiamääräyksiä 30-40 prosenttia vuoteen 2010 mennessä (Mölsä 2008, 4).

Yksi askel kohti energiansäästötavoitteiden täyttämistä otettiin tammikuun ensimmäisenä päivänä vuonna 2008, kun laki rakennuksen energiatodistuksesta astui voimaan. Lain mukaan kaikille uudisrakennuksille Suomessa tulee laatia energiatodistus, joka osoittaa asunnon energiatehokkuuden verrattuna muihin vastaaviin rakennuksiin. Energiatodistus on esitettävä rakennettaessa, rakennusta myydessä tai vuokrattaessa, ja sillä pyritään ohjaamaan rakentamista yhä energiatehokkaampaan suuntaan. (L 13.4.2007/487.)

Polttoaineiden hintojen tasainen nousu on tehnyt energiatehokkuudesta yhä suuremman kilpailuvaltin rakennuksen koko elinkaaren kustannuksia arvioitaessa (Energiakatsaus 2007). Lämmitysenergian tarvetta vähentämällä voidaan vaikuttaa suoraan myös energiantuotannosta aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin, ja sitä kautta pienentää rakentamisen ja asumisen ympäristövaikutuksia. Rakennustekniikan kehittyminen tuo energiatehokkaat rakenneratkaisut jokaisen omakotitalorakentajan ulottuville, ja kerrostaloratkaisuissakin on alettu ottaa huomioon myös käytön aikaiset kustannukset ja energiankulutus. On syntynyt rakennustrendi nimeltään matalaenergiarakentaminen.

Matalaenergiarakentamisella voidaan jo suunnitteluvaiheessa vähentää rakennuksen energiankulutusta koko sen elinkaaren ajalta ja saavuttaa tuntuvia säästöjä energiakustannuksissa valitusta lämmitysmuodosta riippumatta. Tällöin voittajia ovat niin yhteiskunta, omistaja kuin ympäristökin.

1.2 Työn tavoitteet

Tässä työssä arvioidaan asuntojen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä matalaenergiarakentamisen mahdollisuuksia täyttää energiansäästötavoitteet. Työssä käsitellään matalaenergiarakentamista niin pientalo-, kerrostalo- kuin toimistoratkaisuissa, ja arvioidaan siitä aiheutuvia nousevia rakennuskustannuksia sekä niillä saavutettavia energiansäästöjä. Työn näkökulmana on matalaenergiarakentamisen mahdollisuudet Suomessa, mutta se pohjautuu myös muualla Euroopassa tehtyyn tutkimukseen ja kehitykseen rakennusrintamalla.

Työssä perehdytään myös rakennusten energiatodistuksiin ja energialuokan laskentaan sekä arvioidaan pakollisen energiatodistuksen vaikutusta tulevaisuuden rakennustrendeihin. Tavoitteena on selvittää rakennukselle määrättävän energialuokan laskentaa Suomessa sekä eritellä ratkaisuja, jotka eniten vaikuttavat rakennusten energiankulutukseen, ja joiden avulla voidaan vielä entisestään parantaa energiatehokkuutta.

2 RAKENNUSTEN ENERGIA TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Puolet asumisen energiankulutuksesta kuluu lämmitykseen, viidennes käyttöveden lämmitykseen ja loput kodin sähkölaitteisiin ja valaistukseen (Motiva 2007a). Juuri lämmitystarpeen vähentäminen on yksi suurimmista mahdollisuuksista energiatehokkuuden parantamisessa. Vaikka asukkaiden asumistottumuksilla on suuri vaikutus sähköenergian ja lämpimän käyttöveden tarpeeseen, suurimpien sähkölaitteiden sekä vesikalusteiden järkevällä valinnalla rakennusvaiheessa voidaan vaikuttaa merkittävästi käytön aikaiseen energiankulutukseen.

Myös tarkoituksenmukainen suunnittelu sekä muuntovalmius jatkokäyttöä ajatellen, esimerkiksi kapasiteetin mitoittaminen laajennuksia varten, voidaan lukea kuuluvaksi energiatehokkaan suunnittelun piiriin (Saari 2004, 13).

2.1 Lämpöhäviöt - energiaa harakoille

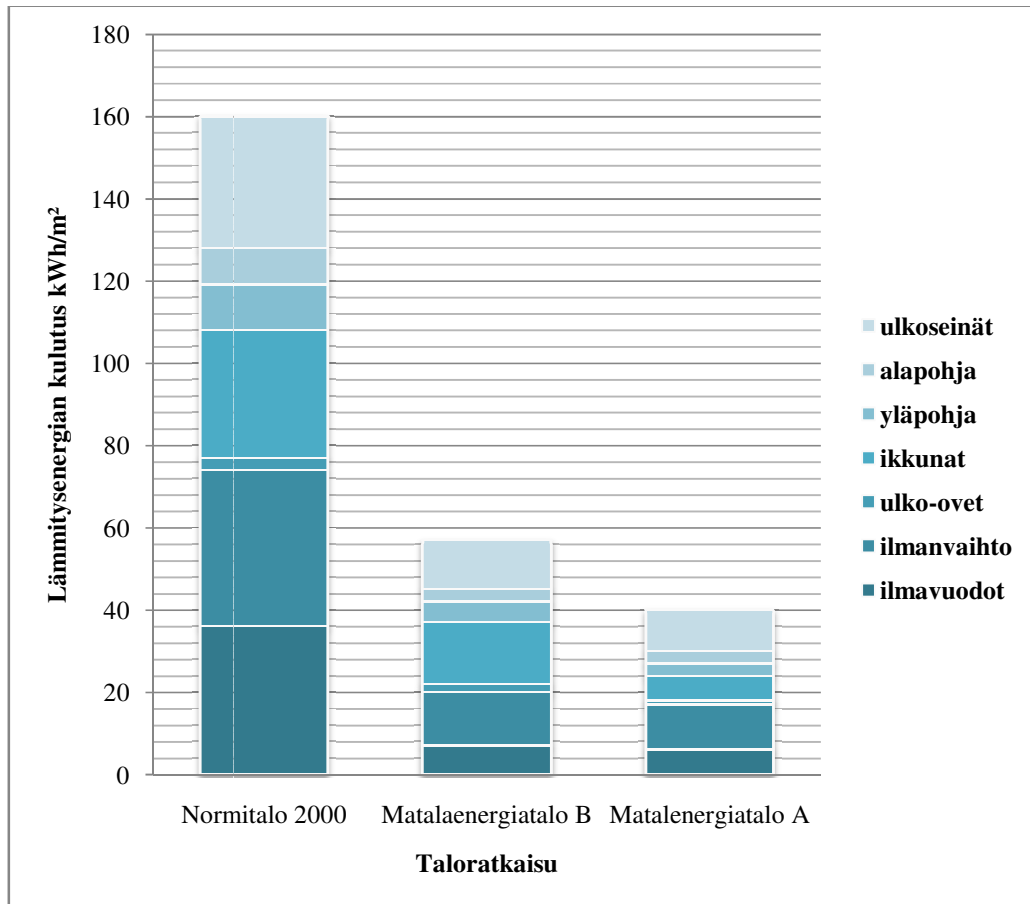
Rakennuksen energiataseen mukaisesti se mikä menee ulos, täytyy myös tuoda sisälle tavalla tai toisella. Luonnollisesti lämpöhäviöt ovat syypäänä lämmitysenergian tarpeeseen, ja niiden määrän verran on tuotava uutta lämpöenergiaa tasetilaan, jotta lämpötila pysyy tavoitearvoissa.

Rakennuksen lämmitysenergiatarpeeseen vaikuttaa koon lisäksi myös sen muoto sekä sijainti tontilla. Ulkovaipan pinta-ala tulisi pitää mahdollisimman pienenä suhteessa asuinpinta-alaan, ja asunnon kulmien lukumäärä kohtuullisena, sillä kulmien tiiveysongelmat lisäävät helposti lämpöhäviöitä. Ikkunoiden läpi puolestaan johtuu jopa kuusi kertaa enemmän lämpöenergiaa kuin seinien, joten niiden lukumäärä ja pinta-alat vaikuttavat luonnollisesti merkittävästi myös lämmitystarpeeseen. Sijoittamalla rakennus tontille järkevästi ja suuntaamalla suurimmat ikkunat etelään ja pienimmät pohjoiseen voidaan auringon säteilyä hyödyntää parhaiten talon lämmityksessä. (Kilpeläinen et al. 2006, 64.) Samalla voidaan hyödyntää ympäristöä esimerkiksi taloa varjostavana tai tuulelta suojaavana tekijänä.

Pientalon lämpöenergian kulutuksesta suurin osa, jopa 60 - 70 prosenttia tapahtuu ulkovaipan kautta johtumishäviöinä, loput kuluu käyttöveden lämmitykseen ja ilmanvaihtoon. Tämän vuoksi ulkovaipan eli ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden ja ulko-ovien lämmöneristävyydellä on suuri merkitys energiatehokkuuden arvioinnissa. (Kilpeläinen et al. 2006, 26.) Kerrostaloissa ulkovaipan häviöt ovat suhteellisesti pienemmät toisiin asuntoihin rajoittuvien seinien lämpöhäviöiden pienuuden ansiosta.

Kuvassa 1 nähdään lämmitysenergian kulutuksen vähentämismahdollisuudet vertailukohteena vuoden 2000 määräysten mukaisesti rakennettu (Normitalo 2000), sekä energialuokan A ja B saavuttavat matalaenergiapientalot. A-luokan saavuttava pientalo kuluttaa vain yhden neljäsosan Normitalo 2000:n lämmitysenergiasta. Suurin vaikutus saavutettavaan säästöön on ul-

koseinien ja ikkunoiden U-arvoilla, ilmanvaihdon tehostamisella sekä ilmavuotojen minimoimisella. (Saari 2004, 10.)



Kuva 1. Lämmitysenergiankulutuksen säästöpotentiaali matalaenergiarakentamisessa (Saari 2004, 10).

2.2 Ilmatiiviys

Eristettyjen rakenteiden yli vallitsee usein lämpötilaeroista, tuulesta sekä ilmanvaihdosta johtuva paine-ero, joka synnyttää ilmavirtauksia ulkoa sisälle päin. Ilmavuotojen tuoma ulkoilma tuntuu vetona, ja sen lämmittämiseen kuluu turhaa energiaa. Ilmatiivis ulkovaippa vähentää hallitsematonta ilmanvaihtoa ja sen aiheuttamaa energian kulutusta. Myös ulkovaipan kylmäsiltoja, eli eristekerroksen paikallisesti läpäiseviä kylmyyttä johtavia rakenteita tulisi välttää lämmönjohtavuuden hallitsemiseksi. Tiiveyden aikaansaaminen edellyttää huolellista työtä

rakentamisvaiheessa, muttei kuitenkaan merkittävästi nosta rakennuskustannuksia. (Kilpeläinen et al. 2006, 26.)

Koska tiivis ulkovaippa ehkäisee ilmavuotoja, ja sitä kautta tapahtuvan ilmanvaihdon, tulee hyvän sisäilman laadun ylläpitämiseen kiinnittää erityistä huomiota. Hyvän sisäilmaston ylläpitämiseen kuuluu olennaisena osana sekä lämmityksen että ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö ja ohjaus. Hallittu ja energiatehokas ilmanvaihto toteutetaan käyttämällä lämmöntalteenottolaitetta, joka valitaan mitoitusarpeen mukaisesti hyötysuhteeltaan mahdollisimman korkeaksi. (Kilpeläinen et al. 2006, 26.)

2.3 Lämpökuormien hyödyntäminen

Suomen noin 1,1 miljoonasta omakotitalosta vain noin 23 % on varustettu lämpöä talteenottavalla ilmanvaihdolla; muut hohkavat suurella energialla lämmitetyn huoneilman suoraan ulkoilmaan. Yhteensä Suomen omakotitalojen arvellaan aiheuttavan hiilidioksidipäästöjä 7 - 8 miljoona tonnia vuosittain, joten jo lämmöntalteenotolla saavutettava säästö energiankulutuksesta vähentäisi päästökuormaa suuresti. Uuden pientalon poistoilman lämpöenergiasta on rakennusmääräysten mukaan otettava talteen vähintään 30 %, mikä lämmöntalteenottolaitteen hyötysuhteeksi on vielä melko alhainen. (Mattila 2008, 20.)

Itse tuotetun lämmön talteen ottamisen lisäksi voidaan lämpöä hyväksikäyttää myös muista talon sisäisistä kohteista. Ilmaisia lämpökuormia, kuten ihmisistä ja sähkölaitteista vapautuvaa lämpöenergiaa hyödyntämällä voidaan merkittävästi pienentää ostettavan lämpöenergian tarvetta, ja täten parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. (Tuomaala 2007, 9.)

2.4 Pientalon ekomittarit energiatehokkuuden arvioinnin apuna

Oulun kaupungin rakennusvalvontaviraston vuosina 2003 - 2005 toteuttaman projektin perusteella määriteltiin viisi ekomittaria, joiden avulla voidaan arvioida pientalon teknistä laatua, energiatehokkuutta sekä ympäristövaikutuksia. Pientalon ekotehokkuuden mittareiksi määriteltiin tällöin vaipan johtumishäviöluku, pientalon lämmöntarve, energiatehokkuuden hinta,

ilmanvuotoluku sekä energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten teknisen laadun pisteet. (Hekkanen et al. 2006, 13.)

Vaipan johtumishäviöluku kuvaa rakennuksen suunnitteluratkaisun ja rakenteiden U-arvon perusteella vaipan kokonaisjohtumishäviötä (W/K), ja se voidaan asuntopinta-alalla jakamalla ilmaista myös suhteellisena johtumishäviölukuna, joka kuvaa suunnitteluratkaisun energiataloudellisuutta ($W/m^2_{as}K$). Suunnitteluratkaisua ja rakennevalintoja voidaan pitää energiataloudellisuudeltaan erinomaisena, kun asunnon johtumishäviöluku on pienempi kuin $0,5 W/m^2_{as}K$. Nykymääräysten mukaisilla rakenteilla ja taloudelliseltaan kohtuullisella rakennussuunnitelmalla tavanomainen johtumishäviöluku on $0,5 - 0,8 W/m^2_{as}K$. (Hekkanen et al. 2006, 15.)

Pientalon lämmöntarve määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 laskentamallin pohjalta kehitetyllä laskentaohjelmalla. Lämmöntarvelaskelman perusteella kohteelle voidaan tulostaa sertifikaatti, jossa esitetään kohteen kokonaislämmöntarve, ostettava lämpöenergian määrä ja kustannukset, lämmitysenergian kulutusluokka, sähköenergian tavoitekulutus ja kustannukset vuodessa, sekä lämmityksen ja sähkön kulutuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt vuodessa. (Hekkanen et al. 2006, 18.)

Energiatehokkuuden hinnan avulla voidaan rakennuksen vaipan elinkaarikustannukset laskea ja laskelman perusteella päättää, minkälaisia rakenteita kohteessa kannattaa käyttää. Energiatehokkuuden hinta perustuu nykyarvomenetelmällä laskettuihin elinkaarikustannuksiin, ja vaipan lisäksi koko elinkaarelta kertyvä hinta voidaan laskea myös ilmanvaihtojärjestelmälle. (Hekkanen et al. 2006, 26.)

Ilmanvuotoluku perustuu kohteessa tehtävään tiiviysmittaukseen ja lämpökamerakuvaukseen. Tiiviysmittauksessa taloon synnytetään 50 Pa:n alipaine ja mitataan vuotoilman määrää sekä kartoitetaan vuotokohtia myös lämpötekniisten parannusehdotusten vuoksi. Rakenteiden lämpötekniiset puutteet ja ilmavuodot voidaan paikantaa kenttätutkimuksessa lämpökamerakuvauksella, jonka tulokset esitetään pientalon käyttö- ja huolto-ohjeisiin liitettävänä laatutodistuksena. (Hekkanen et al. 2006, 30.)

Taulukossa 1 on vertailtu normaalitalon sekä energiatehokkaaksi suunnitellun talon suunnitteluratkaisujen vaikutusta lämmöntarpeeseen erittelemällä eri tekijöiden vaikutus. Lasketusta lämmöntarpeesta on vähennetty sisäisten lämpökuormien, auringon sekä uusiutuvien energioiden, kuten puunpolton osuus, jolloin saadaan selville ostettavan lämpöenergian määrä, ja käytön aikaisten kustannusten arvioiminen on helpompaa.

Taulukko 1. Suunnitteluratkaisuiltaan edullisen pientalon lämmöntarve (Hekkanen et al. 2006, 18).

Lämmöntarpeen aiheuttaja	Normaalitalo [kWh/m ² _{as} a]	Matalaenergiatalo [kWh/m ² _{as} a]
Alapohja	16	10
Ulkoseinät	28	17
Yläpohja	10	5
Ikkunat	25	18
Ulko-ovet	6	3
Yhteensä (1)	85	53
Vuotoilmanvaihto	20	6
Hallittu ilmanvaihto	35	20
Yhteensä (2)	140	79
Lämmin käyttövesi	23	23
Yhteensä (3)	163	102
Sisäiset energiat	-47	-58
Yhteensä (4)	116	44
Aurinko	0	-10
Kotimainen bioenergia	-5	-20
Ostettava lämpöenergia	111	14

Viimeinen ekomittari, energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten teknisen laadun pisteet, puolestaan on osa pientalon tähtiluokitusta, joka voidaan arvioida projektin yhteydessä kootun verkkokyselyn perusteella. Energiatehokkuuden arviointi suoritetaan pitkälti samalla tavalla kuin nykyisen energialuokan laskenta, ja ympäristövaikutusten arvioinnissa huomioidaan rakentamisesta ja asumisesta aiheutuvat päästöt, vaikutus luonnon monimuotoisuuteen, raaka-aineiden ja energian käyttö sekä terveydelle haitalliset päästöt. (Hekkanen et al. 2006, 75.)

Pientalon ekomittarit ottavat nykyistä energialuokitusta monipuolisemmin huomioon rakentamisen kokonaisvaikutukset ja niiden avulla on helpompi vertailla vaihtoehtoja suunnitteluvaiheessa. Ne kuitenkin jäänevät tulevaisuudessa vähemmälle käytölle energiatodistuksen pakollisuuden vuoksi, mutta toisaalta energiatehokkaaseen ja ympäristöystävälliseen rakennukseen tähtäävä rakentaja saa jatkossakin ekomittareiden avulla tietoa ja viitteitä suunnitellun rakennuksen ominaisuuksista.

3 MATALAENERGIARAKENTAMINEN

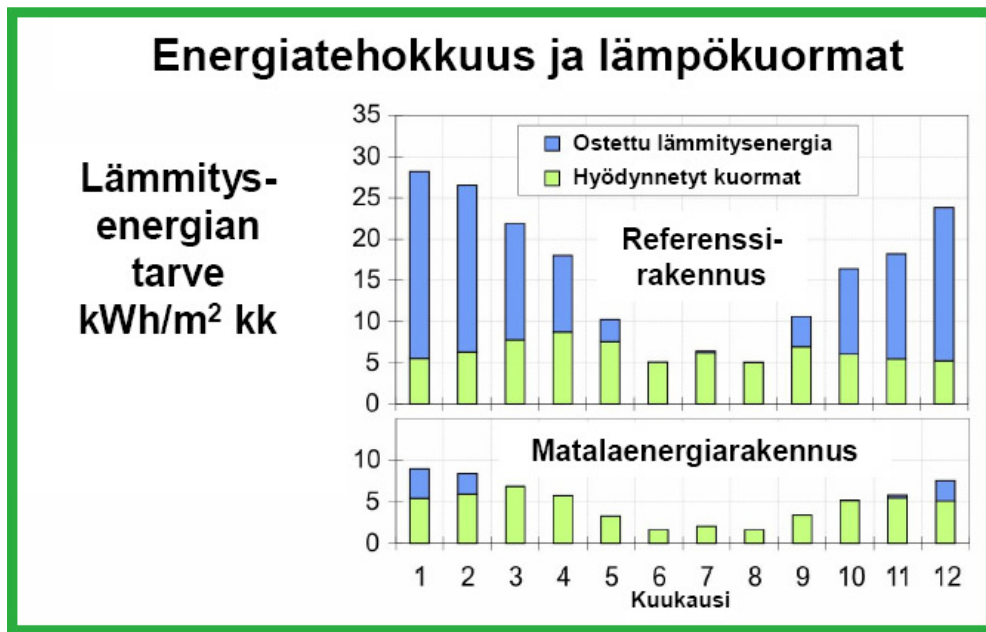
3.1 Matalaenergiatalo vuosikymmenien ekoteko

VTT:n määritelmän mukaan matalaenergiatalo on rakennus, joka kuluttaa korkeintaan puolet määräysten mukaisesti rakennetun vastaavan rakennuksen lämmitysenergiasta (Saari 2004, 3). Matalaenergiarakentamiseen tarvittava tekniikka on jo olemassa, ja tutkimusten perusteella on kehitetty useita rakennustapoja vastaavan energiansäästön saavuttamiseksi. Erityisen aktiivisia matalaenergiarakentamisen kehittämisessä ovat olleen eristeitä varmistavat yritykset sekä energiatehokkuuden parissa työskentelevät tutkimustahot.

Matalaenergiarakentamisen lämmönsäästöpotentiaali koko rakennuskannassa on 15 %. Mikäli jatkossa rakennettaisiin vain matalaenergiataloja, vuonna 2025 energiaa säästyisi arviolta 7 TWh, mikä on saman verran kuin Loviisan ydinvoimalan vuosittainen sähköntuotanto. (Saari 2004, 7.) Täten myös energiantuotannosta aiheutuvat päästöt olisivat helposti pienennettävissä rakennusmääräysten tiukentamisen avulla.

Matalaenergiarakentamisen etuna on se, että merkittävän energiansäästön lisäksi ratkaisut varmistavat myös terveellisen sisäilmaston, ja hyvä eristys suojaa kosteusvaurioilta sekä vähentää vedontunnetta. Lisäksi ratkaisut toteutetaan rakenteissa, jotka taloon tarvitaan joka tapauksessa, eivätkä hyvin suunnitellut energiansäästöihin tähtäävät rakennemuutokset edes huomattavasti nosta rakennuskustannuksia. (Feist 2001, 8.)

Matalaenergiatalon vähäinen energiankulutus selittyy ilmaisten lämpökuormien hyödyntämisellä, jolloin rakennuksen varsinainen lämmityskausi voidaan lyhentää jopa kolmeen kuukauteen. Ostettavan lämmön tarpeen muutosta on kuvattu kuvassa 2, vertaillen normaalia ja matalaenergiataloa toisiinsa tarvittavan lämpöenergian suhteen.



Kuva 2. Lämpökuormien hyödyntämisen vaikutus lämmitystarpeeseen (Tuomaala 2007, 9).

Energiankulutuksen pienenemisen lisäksi kustannuksia voidaan jo rakennusvaiheessa säästää esimerkiksi pienemmän lämmitysjärjestelmän tarpeen, jäähdytyslaitteen tarpeettomuuden, energiaverkkoihin liittymismaksun, lämpöpattereiden tarpeettomuuden tai pienentyneen kosteusvaurioriskin vuoksi. Hyvän eristämisen suunnittelun ja toteutuksen ansiosta myös ääneneristys, akustiikka ja sisäilmasto paranevat, ja myös allergiaoireet pienenevät niistä kärsivillä, sillä siitepölyä ja muita epäpuhtauksia sisältä ulkoilma ei pääse vuotamaan rakenteiden läpi puhdistamattomana sisäilmaan.

3.1.1 Välietappi matkalla kohti passiivitaloa

Kehityksen seuraava askel tulee olemaan passiivitalo, jonka lämmittämiseen tarvitaan erittäin vähän - jos ollenkaan - ulkopuolisia lämmönlähteitä. Passiivitalon lämmitysenergiankulutuk-

seksi on määritelty Etelä-Suomessa 20 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa 30 kWh/ m², eli vain noin neljäsosa nykyisten talojen kulutuksesta. (VTT 2006.)

Matalaenergia- tai passiivitaloon valittavat raaka-aineet ja rakenteet ovat ominaisuuksiltaan energiatehokkaampia kuin tämän hetkisten Suomen rakennusmääräysten velvoittamat. Taulukossa 2 on vertailtu nykyisten rakennuksen, matalaenergiarakennuksien ja passiivitalojen ratkaisuja. Ikkunoiden g-arvo ilmaisee sen, kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringon säteilyenergiaa

Taulukko 2. Rakenne-erot nykyisten, matalaenergia- ja passiivitalojen välillä (Airaksinen 2008, 17).

	Nykyiset rakennukset	Matalaenergia-rakennukset	Passiivitalot
Rakenteiden lämmöneristys			
• U-arvot, W/m ² K	0,17 - 0,25	0,1 - 0,15	< 0,15
Ikkunat			
• U-arvo, W/m ² K	1,0 - 1,4	0,8 - 1,2	< 0,8
• g-arvo, %	50 - 70	40 - 60	> 50
Tiiveys			
• n ₅₀ , 1/h	1,5 - 5,0	0,8 - 1,5	< 0,6
Ilmanvaihdon LTO			
• Lämpötilahyötysuhde, %	50 - 80	60 - 85	80
• Vuosihyötysuhde, %	30 - 50	50 - 65	50
Kodinkoneet, energialuokka	A - D	A - B	A

Suomessa ensimmäinen sertifioitu passiivitalo rakennetaan tämän vuoden aikana Vantaa Tikkurilaan muun muassa VTT:n, Paroc:in ja Tekes:in yhteisprojektina. Tikkurilan passiivitalon rakennuskustannusten on arvioitu olevan 5-10 % normaalitaloa korkeammat, mihin osaltaan on vaikuttanut aiempien esimerkkien puutteesta johtuva ylimääräinen rakennesuunnittelu. Vantaan passiivitalon eristepaksuudet ovat kaksinkertaiset verrattuna tavalliseen taloon: alapohjassa 350 mm (EPS), ulkoseinissä 450 mm (vuorivilla) ja yläpohjaan 600 mm (vuorivilla). Talo lämmitetään ilmanvaihtolaitteella ja korvausilman tuloventtiileihin asennetaan lämpövasutukset. Alustavien laskelmien mukaan talon lämmöntarve tulee olemaan 4000 kWh ja energiankulutus kokonaisuudessaan 10 000 kWh vuodessa. (Kupiainen 2008, 22-24.) Tällöin huo-

neistoalaltaan 187 m²:n rakennuksen lämmitysenergiantarve olisi noin 22 kWh/m² vuodessa, mikä vielä hienoisesti ylittää Etelä-Suomeen rakennetulle passiivitalolle määritellyn rajan.

Myös Valkeakosken vuoden 2009 asuntomessuille toteutetaan passiivienergiatalo. Sen on arvioitu tarvitsevan erillistä lämmitystä ulkoilman lämpötilan laskiessa -5...-10 asteen alapuolelle, ja kovilla pakkasilla lämmitystehon tarpeeksi on arvioitu 10-20 W neliometriä kohden. Kesällä puolestaan sisälämpötila on 3-4 astetta matalampi kuin kevytrakenteisessa talossa. Valkeakosken talon ilmanvuotoluku on alle 0,6 l/h, ja ikkunoiden auringonsäteilyn läpäisykerrointa vähennetään rakennesuojauksella. Ulkoseinien ja alapohjan U-arvo on 0,10 W/m²K, yläpohjan vain 0,006 W/m²K ja ulko-ovien 0,4-0,7 W/m²K. (Kupiainen 2008b, 26-27.) Valkeakosken passiivitalon energiankulutus tulee olemaan 25 kWh/m² Keski-Suomen standardien mukaan, joten puhutaan merkittävästä hyppäyksestä kohti energiatehokkaampaa rakentamista (Paroc 2008, 16).

Koska passiivitalokonseptin ideana on välttyä ”ylimääräiseltä” lämmöntuotolta ja tulla toimeen suurimmaksi osaksi lämpökuormien energialla, toimivat ratkaisut luultavasti vain, kun talossa asutaan jatkuvasti. Suomessa passiivitalojen ongelmana tulee olemaan se, kuinka ne lämmitetään kylmien talvien aikana jaksoina, mikäli asukkaat ovat useamman viikon poissa, eikä asumisesta aiheutuvia lämpökuormia ole talon lämmitykseen käytettävissä. Vaikka järjestelmä varustettaisiin lisälämmittimellä, ei se yksinään tule kattamaan koko rakennuksen lämmöntarvetta kylminä pakkaspäivinä, ja toisaalta taas lämmitintä on turha mitoittaa vastaamaan ääriolosuhteita, kun se tällöin vain pienen osan ajasta toimisi järkevällä toimintasuhteella.

3.2 Matalaenergiaratkaisut

Matalaenergiarakennuksessa perusratkaisut tähtäävät lämpöhäviöiden minimoimiseen ja lämpökuormien hyödyntämiseen. Hyvä eristys ja ilmantiiviys ovat lähtökohtia talon suunnittelulle, mutta myös muilla valinnoilla voidaan edelleen pienentää lämmitysenergiantarvetta. Ulkovaipan rakennevalinnoilla - lähinnä eristemateriaalilla ja sen kerrospaksuudella - voidaan suoraan vaikuttaa vaipan lämpöhäviöihin, ja ilmantiiviys saavutetaan parhaiten hyvällä liitosten hallinnalla ja huolellisella työllä, joten niiden käsittelyyn ei paneuduta sen tarkemmin tässä yhteydessä.

3.2.1 Ikkunat energiatehokkuuden kompastuskivenä

Ikkunat ovat talossa kuin talossa ulkovaipan heikoin lenkki. Niiden läpi karkaava lämpöenergia saattaa olla jopa kuusinkertainen muun ulkovaipan keskiarvoon nähden, eikä hyvin suunniteltu ikkunakaan toimi oikein, mikäli se on huonosti paikoilleen asennettu. (Kilpeläinen et al. 2006, 64.)

Etelään suunnattavat ikkunat tarjoavat hyödynnettäväksi suuren määrän luonnonvaloa, mutta aurinkoisina vuodenaikoina ne päästävät sisälle myös haitallisen paljon lämpöä. Rakennusteknisesti auringonpaahteen pääsyä sisätiloihin voidaan vähentää räystäällä, säleiköillä sekä muilla suojilla, mutta huomaamattomampi keino on käyttää auringonsuojakalvolla varustettuja ikkunoita. Ikkunakalvoja on käytetty jo parinkymmenen vuoden ajan, mutta uuden nanoteknologian ansiosta niiden käyttökelpoisuus ja tehokkuus ovat kasvaneet huomattavasti. Ikkunakalvo estää lämpöä läpäisemästä ikkunoita, jolloin jäähdytystehontarve pienenee hellejaksojen aikana. Kylmällä ilmalla kalvo puolestaan vähentää ikkunoiden kautta tapahtuvaa lämmönhukkaa. (Lavento 2008, 20.) Kun tarkoituksena kuitenkin on myös auringosta saatavan lämmön hyväksikäyttö, ei kalvotus välttämättä sovi kaikkiin kohteisiin.

Ikkunoille on kehitetty vapaaehtoinen energiamerkintä, joka ilmoittaa ikkunan vuodessa kuluttaman lämmitysenergian suhteessa muihin ikkunoihin. Energialuokituksessa lasketaan U-arvon, g-arvon sekä ikkunan ilmanpitävyyden mukaan vertailuarvo E, jonka yksikkö on kWh/m²a. Esimerkiksi E-arvo 100 kWh/m²a tarkoittaa, että jokainen ikkunaneliömetri kuluttaa 100 kWh energiaa vuodessa. (Motiva 2007b.)

Ikkunan energiatehokkuutta voidaan parantaa muun muassa pinnoitteilla sekä täytekaasuilla. Selektiivipinnoitteet ovat läpinäkyviä metalli- tai metallioksidipinnoitteita, jotka läpäisevät ja heijastavat säteilyn eri taajuuksia eri tavalla. Niillä voidaan vähentää ikkunan lasien välistä lämpösäteilyä ja täten parantaa lämmöneristävyttä. Toinen keino ikkunoiden eristävyysparantamiseen on täyttää eristyslasien välitila ilmaa hidasliikkeisemmällä kaasulla, kuten jalokaasuilla. Myös välilistan materiaalilla on vaikutusta koko ikkunan energiatehokkuuteen; ruostumaton teräs, lämpömassalista ja muovi eristävät alumiinia paremmin, jolloin ikkunan keskimääräinen U-arvo paranee. (Motiva 2007b.)

3.2.2 Lämmön talteenotto ja hyödyntäminen

Jo luvussa 2.3 käsiteltiin lämmön talteenottoa osana ilmastointiprosessia, jolloin sisäilman lämpö voidaan hyödyntää ulkoilman lämmityksessä ennen huonetilaan johtamista. Toinen - vielä suhteellisen vähäisessä käytössä oleva - ratkaisu on myös lämmitetyn käyttöveden lämpöenergian hyödyntäminen käytön jälkeen. Se vaatisi mahdollisesti suuremman alkuinvestoinnin sekä kohdekohtaisen kannattavuuslaskelman, mutta etenkin lämpimän veden suurkultuskohteissa suurella vaivalla lämmitetyn veden lämpöenergian hyötykäyttö toisi selviä säästöjä.

Koska rakennuksen lämpöhäviöt on minimoitu, on käyttöveden lämmityksellä entistä suurempi osa energiankulutuksessa. Häviöitä voidaan vähentää jopa 20 - 40 % minimoimalla lämpimän käyttöveden verkoston pituus, ja mahdollisesti lämmittämällä varaajan ja jakeluputkiston ympäristyä, jolloin lämpöhäviöt palautuisivat lämpökuormina veden lämmitykseen. Mikäli komponentit sijaitsevat lämmitetyn tilan ulkopuolella, tulee ne eristää huolellisesti sekä häviöiden pienentämiseksi että kesäaikaisen turhan lämpökuorman minimoimiseksi. Käyttöveden lämmitykseen voidaan hyödyntää myös aurinkoenergiaa, lämpöpumppua tai suorälämmitteistä varaajaa, jolloin investointikustannukset nousevat, mutta käytön aikainen primäärienergiankulutus pienenee. (Feist 2001, 9.)

3.3 Matalaenergiapientalo

Rakentamismääräysten mukaan rakennettu 140 m²:n pientalo tarvitsee vuodessa lämpöenergiaa noin 15000 - 20000 kWh ja sähköenergiaa noin 5000 - 8000 kWh, jolloin tarvittavan energian kustannukset maksavat asukkaalle nykyisillä energianhinnoilla noin 1300 - 1700 €/a, ja esimerkiksi 50 vuoden aikana yhteensä noin 65000 - 85000 €. Pienillä lisäinvestoinneilla rakennusvaiheessa koko käytön aikaiset energiakustannukset olisivat matalaenergiatekniikan avulla helposti puolitettavissa. (Hekkanen et al. 2006, 64.)

Matalaenergiapientalo on rakentamiskustannuksiltaan korkeintaan 5 % tavallista kalliimpi, ja sen elinkaarikustannukset ovat 10 - 25 % määräysten mukaisesti rakennettua taloa edullisemmat. Elinkaaritaloudeltaan, eli koko käyttöikänsä kustannusten osalta arvioituna matalaenergiatalo on 30 % - 50 % tavallista parempi. (Nieminen 2007, 9.)

3.3.1 Referenssi-kohteet

Motiva järjesti vuonna 2000 matalaenergiapienalo-suunnittelukilpailun, jonka tarkoituksena oli suunnitella neljän hengen energiategokas pienalo. Kilpailutöiden tilojen ja käyttöveden lämmitykseen sekä sähkөөn kuluva energia sai olla korkeintaan $135 \text{ kWh/m}^2_{\text{br}}$. Voittajataloja teolliseen tuotantoon valittiin kahdeksan, joiden keskimääräinen laskennallinen energiankulutus oli $114 \text{ kWh/m}^2_{\text{br}}$. (Motiva 2001, 13.)

Taloista alhaisimman ominaisenergiankulutuksen, $65 \text{ kWh/m}^2_{\text{br}}$, saavutti Helsingin talopiste Oy:n Sotka Ekola. Sen ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo-poistoilmanvaihdolla, jossa on lämmön talteenotto sekä vesikiertoinen jälkilämmitin. Lämmitys on toteutettu maalämpöpumpulla ja vesikiertoisella lattialämmityksellä. (Helsingin talopiste 2001.)

Kilpailun keskitasoa edustaa puolestaan Uudenmaan Rakennuslinja Oy:n Matalaenergiatalo, jonka ominaisenergiankulutus on $93 \text{ kWh/m}^2_{\text{br}}$. Talossa on lämmöntalteenotolla toimiva koneellinen tulo- ja poistoilman vaihto, ja lämmitys on hoidettu huonekohtaisella sähkölämmityksellä ja tulisijalla. (Uudenmaan rakennuslinja 2001.)

Vuoden 2007 asuntomessuille Hämeenlinnaan rakennettiin 262 neliömetrin suuruinen matalaenergiatalo Villa Real. Sen ulkoseininä käytettiin jyrkää puolen metrin paksuista yksiaineista Siporexia, jolloin rakenteen U-arvo oli $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rakennuksen ilmanvuotoluku on alle yhden, mikä osaltaan auttoi saavuttamaan energiankulutukseksi vain $60 \text{ kWh/m}^2_{\text{br}}$. Lämmitys on hoidettu kalliolämpöpumpulla, joka tuottaa lämpöenergiaa neljä kertaa käyttämänsä sähkön verran. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 77 %, ja kesällä taloa jäähdytetään kallio- kylmäpumpun avulla. Rakennuksessa on panostettu muun muassa valaistukseen ohjaukseen ja läsnäolotunnistimiin myös sähkönkulutuksen pienentämiseksi. (Insinööritoimisto Villa Real 2007.)

Näiden kahden MotiVoittaja- talon ja Villa Realin rakenteiden U-arvoja on vertailtu taulukossa 3 rakennusmääräyskokoelman asettamiin minimiarvoihin. Paras rakenneosakohtainen arvo on korostettu lihavoinnilla. Kuten vertailusta näkee, saattavat matalaenergiarakennustenkin rakenneratkaisut erota toisistaan huomattavasti, joten energiansäästöön vaikuttava kokonai-

suus on hankalasti tulkittavissa ilman yksityiskohtaisia tietoja. Näistä kohteista ainoastaan Villa Realin ilmanvuotoluku oli arvioitu, joten tiiveyden osalta kohteita ei voida tässä yhteydessä vertailla.

Taulukko 3. Referenssitilojen ja rakennusmääräysten vertailu rakennetasolla (Helsingin talopiste 2001, Uudenmaan rakennuslinja 2001, Insinööritoimisto Villa Real 2007 ja RakMK C3, 6).

Vertailukohde	Rakenneosan U-arvo [W/m ² K]				
	Ulkoseinä	Alapohja	Yläpohja	Ovi	Ikkuna
Sotka Ekola - matalaenergiapientalo	0,144	0,17	0,097	1,0	1,2
Uudenmaanrakennuslinja - matalanenergiatalo	0,141	0,176	0,106	1,0	1,2
Villa Real	0,21	0,15	0,10	<1,0	0,7...1,0
Suomen Rakennusmääräys- kokoelman vertailuarvo	0,24	0,15 - 0,19	0,15	1,4	1,4

3.3.2 Saavutettavat energiansäästöt

Oulun rakennusvalvontavirasto on määritellyt yhteistyössä neljän talotehtaan kanssa viitteelliset toimenpiteet, joiden avulla säästetään 20 - 80 % pientalon lämmitysenergiasta verrattuna määräysten vähimmäistasoon. Taulukossa 3 on esitelty nämä säästötävät sekä niille arvioidut lisäkustannukset ja takaisinmaksuajat

Taulukko 4. Toimenpiteiden vaikutus säästöihin ja kustannuksiin (Rakennusvalvonta Oulu 2007, 2).

Säästö	Toimenpiteet	Takaisinmaksuaika
20 %	Peruslaatuista eristettä alapohjassa 150 mm, yläpohjassa 350 mm ja seinässä 190 mm U-arvot ikkunoissa 1,3 W/m ² K ja ovissa 1,1 W/m ² K Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde 40 % Talon ulkovaipan ilmatiiveys 4 1/h	Tämän tuotteen perushinta on lähtökohtana seuraavien kohtien lisäkustannuksille
30 %	Parannetaan ulkovaipan ilmatiiveys -> 2 1/h	Lisäkustannus 0 - 300 €
35 %	a) Ulkovaipan ilmatiiveys 2 1/h Lämmöneristys: yläpohja 450 mm, alapohja 200 mm, seinä 190 mm	4 - 7 vuotta Lisäkustannus 1500 - 2000 €

	Ikkunat ja ovet: U-arvo = 1,1 W/m ² K b) Ulkovaipan ilmatiiveys 2 l/h LTO:n vuosihyötysuhde 50 %	3 - 6 vuotta Lisäkustannus 1000 - 1500 €
50 %	Matalaenergiataso saavutetaan toteuttamalla 3a) toimenpiteet ja lisäämällä vaippaan kauttaaltaan eristystä 50 mm. LTO:n vuosihyötysuhde 60 %	6 - 10 vuotta Lisäkustannus 3000 - 5000 €
60 % - 80 %	Toteutetaan kaikki edelliset valinnat ja lisäksi hyödynnetään ilmaisenergioita (aurinko, maa ilma)	yli 10 vuotta Lisäkustannus 5000 - 15000 €

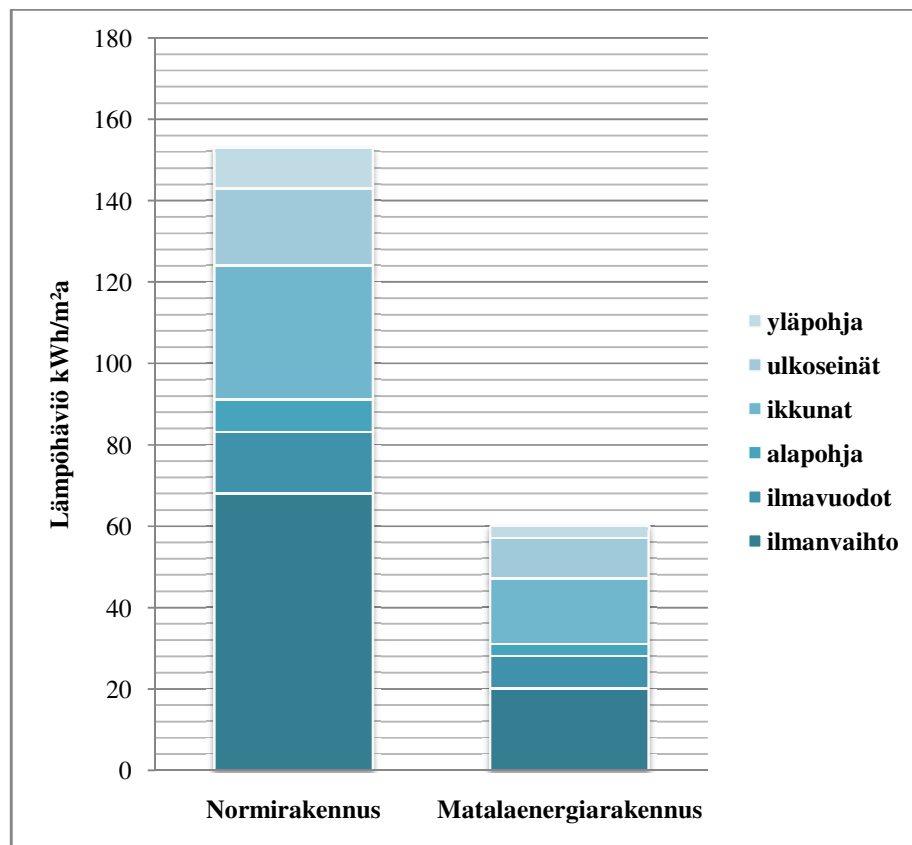
Matalaenergiatason saavuttamiseen tarvittavat lisäkustannukset on siis näiden laskelmien mukaan saatu takaisin alle kymmenessä vuodessa riippuen energian hintakehityksestä. Huomattavaa on se, että jopa 20 - 30 % säästöt rakennusmääräysten mukaisesti rakennetun talon energiankulutuksesta on saavutettavissa käytännössä ilman lisäkustannuksia. Myöskään matalaenergiatason saavuttamiseen tarvittavista investoinneista puhuttaessa ei voida väittää, että lisäkustannukset olisivat kohtuuttomia rakennuksen kokonaiskustannuksiin verrattuna.

3.4 Matalaenergiakerrostalo

Kerrostaloissa energiatehokkuuden kehittymistä on osaltaan luultavasti hidastanut se, että asunnot tulevat yleensä vuokralle, jolloin asumisen kulutuksen minimoimiseen ei löydy intressejä rakennuttajapuolella. Yleensä myös suunnittelu- ja rakentamisaikataulut ovat tiukkoja, joten uusien vaihtoehtojen punnitseminen ja vertailu jäävät vähiin aikataulutetun suunnittelu-prosessin aikana.

Matalaenergiarakentamisella asuinkerrostalojen lämmönkulutus voidaan kuitenkin puolittaa ja sitä kautta kokonaisenergiankulutusta vähentää huomattavasti, kuten kuvan 3 kaaviosta voidaan todeta. Lämpöhäviöiden osalta suurin säästöpotentiaali on ilmanvaihdossa, mutta myös rakennevalinnoilla sekä tiiveyden varmistamisella voidaan merkittävästi pienentää lämmitysenergiankulutusta. Ulkoseinien parantamisen suhteellisen pieni vaikutus kokonaissästöihin selittyy sillä, että useimmissa kerrostaloissa ulkovaipan pinta-alan suhde rakennuksen

bruttopinta-alaan on huomattavasti pientaloa pienempi, jolloin muusta käytöstä aiheutuva energiankulutus on suhteellisesti suurempaa. Koska pienissäkin kerrostalohuoneistossa on yleensä useampi ikkuna, on ikkunoiden suhteellisen suuri osuus ulkovaipasta havaittavissa lämpöhäviöissä.



Kuva 3. Lämpöhäviöiden muutos matalaenergiarakennuksessa (Saari 2004, 11).

3.4.1 Referenssikohteet

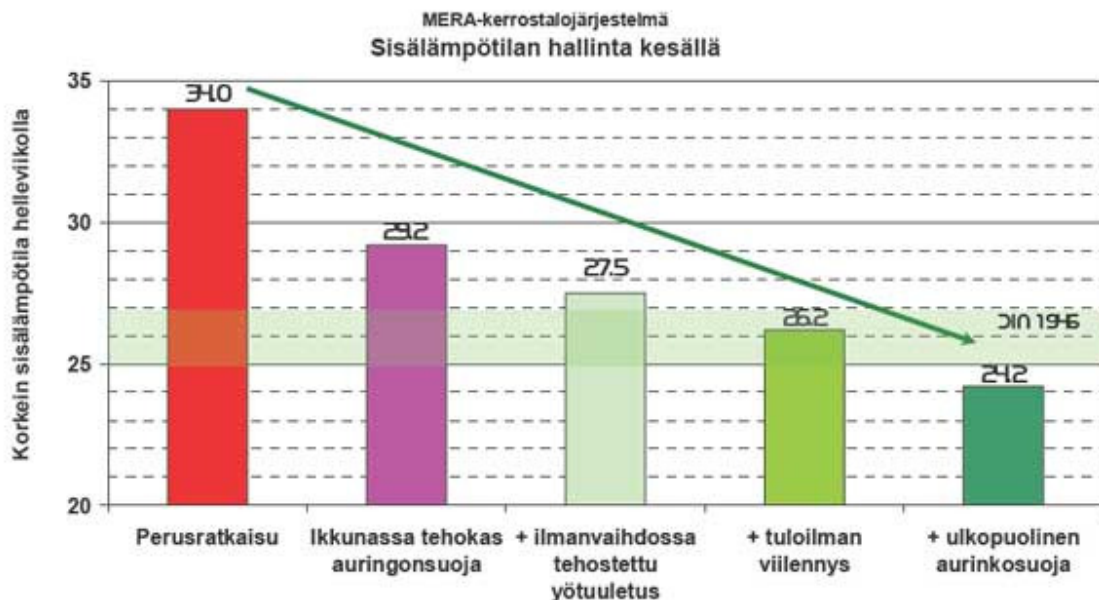
3.4.1.1 MERA-kerrostalojärjestelmä

Energiatehokasta MERA-kerrostalojärjestelmää on kehitetty ja testattu 1980-luvulta lähtien. Ensimmäinen pilottikohde rakennettiin Rkl Reponen Oy:n kerrostaloasuntoon Espoon Leppävaaraan vuonna 2005. Asunnossa ei ole lämmityspattereita vaan se lämpenee suurimman osan talvea ihmisistä ja laitteista peräisin olevalla lämmöllä, ja jäljelle jäävä lämmitystarve katetaan

ilmanvaihtolämmityksellä. VTT on tutkinut asunnon energiankulutusta muun muassa 80 mittausanturilla, ja lämmityskustannuksissa lasketaan saavutettavan 70 % säästöt normikerrostaloon verrattuna. (Rakennusliike Reponen 2007.)

Kerrostalojärjestelmässä on käytetty huoneistokohtaista ilmanvaihtolämmityskonetta, jossa on lämmön talteenotto, lämmönsiirtimen huurtumisenesto sekä energiatehokkaat tasavirtapuhaltimet. Ulkovaipassa on käytetty matalaenergiabetonirakenteita, ja ikkunat on valittu kahdesta umpiolasielementistä koostuviksi, jolloin U-arvo on vain 0,80 W/m²K. Ulkoseinien U-arvo on 0,16 - 0,18 W/m²K, yläpohjan 0,08 W/m²K, alapohjan 0,15 W/m²K ja ulko-ovien 0,4 W/m²K. (Miettinen, sähköpostiviesti 14.2.2008.)

Kuvassa 4 on esitelty esimerkkinä sisätilan lämpötilan hallintamenetelmä kesähelteillä. Kuvasta näkyy hyvin yksittäisten ratkaisujen summautuva vaikutus lämpötilan alenemisena, jolloin aktiivista jäähdytystä ei välttämättä tarvita laisinkaan. Kun sisälämpötilan nousu pystytään minimoimaan rakenne- ja käyttöratkaisuilla, saavutetaan standardin DIN 1946 mukainen sisälämpötilanhallinta kesällä normihellejaksonkin aikana ilman perinteisiä jäähdytyskoneita. (Miettinen, sähköpostiviesti 14.2.2008.)



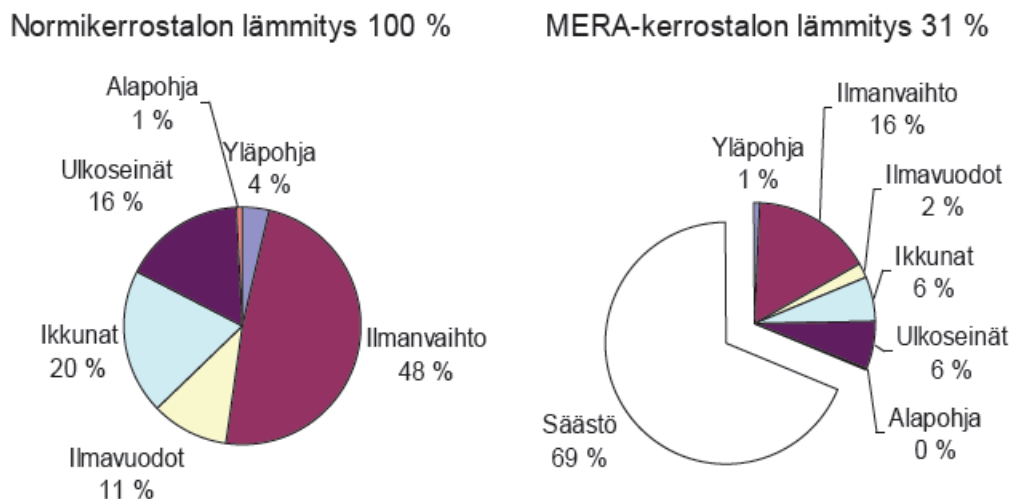
Kuva 4. Sisälämpötilan hallinta MERA -kerrostalojärjestelmässä (Miettinen, sähköpostiviesti 14.2.2008).

3.4.1.2 Linnanpuisto

Oulun Linnanmaalle on syksyllä 2007 alettu rakentaa matalaenergiakerrostaloa, jonka on laskettu käyttävän 34 % vähemmän energiaa kuin vastaavan normikerrostalon. Energiansäästöt eivät yllä MERA-järjestelmän saavuttamiin tuloksiin, mutta niiden arvellaan kannustavan yhä useampia rakennuttajia huomioimaan matalaenergiarakentamisen kilpailuvaltti. Linnanpuiston ulkovaipan lämmönläpäisykertoimet on saatu laskettua suhteellisen alhaisiksi; esimerkiksi yläpohjan U-arvo on vain 0,09 W/m²K. Ikkunoiden U-arvo on saatu laskettua arvoon 0,85, ja vastaavasti ilmastoinnin lämmöntalteenoton hyötysuhde on 55 %. Rakennuttajan mukaan matalaenergiaratkaisut nostavat kerrostalon hintaa 5 - 10 %. (Koivu 2007, 13.)

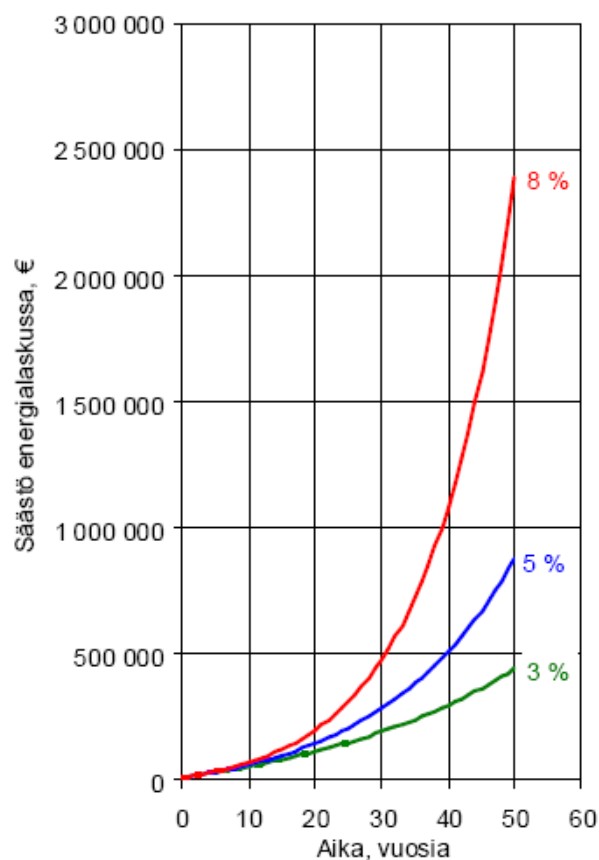
3.4.2 Saavutettavat energiansäästöt

MERA-kerrostalossa matalaenergiaratkaisuja käyttämällä on saatu laskettua lämmitysenergiatarve 31 prosenttiin normaalin kerrostalon lämmitystarpeesta (Kuva 5). Koska lämmitysenergiatarve pienenee merkittävästi, ei rakennukseen valittavalla lämmitysmuodolla ole enää niin suurta vaikutusta, mikä saattaa lisätä jälleen sähkölämmityksen käyttöä kerrostaloasunnoissa etenkin kaukana olemassa olevasta kaukolämpöverkostosta. Kuvasta näkee vielä hyvin yksilöitynä kunkin rakenneosan suhteellisen osuuden kokonaisenergiesäästöistä.



Kuva 5. Lämmityssäästöpotentiaali MERA-kerrostalossa (Miettinen, sähköpostiviesti 14.2.2008).

Kaukolämmön hinta on noussut 2000-luvulla vuosittain 8 %, ja myös sähkönhinnan keskimääräinen nousu on 3 - 6 % vuodessa. Kuvassa 6 on arvioitu MERA-matalaenergiakerrostalojärjestelmän säästömahdollisuudet ostetun energian suhteen verrattuna normikerrostaloon, kun energian hinnan arvellaan nousevan 3 %, 6 % tai 8 % vuodessa. (Airaksinen 2008, 21.) Elinkaaren pituudeksi arvioidun 50 vuoden aikana kokonaissästöt nousevat siis jopa 2,4 miljoonaan euroon, mikäli energian hinnankasvu jatkaa nykyistä trendiään.



Kuva 6 MERA-kerrostalon säästö energialaskussa (Airaksinen 2008, 21).

Matalaenergiakerrostalon rakentamiskustannukset ovat vain 2-5 % vastaavan normikerrostalon rakennuskustannuksia korkeampia, jolloin ”matalaenergistämisen” takaisinmaksuaika on 5 - 7 vuotta (Airaksinen 2008, 32). Tietysti energianhintojen edelleen kohotessa saadaan myös investointihinta yhä nopeammin kustannussäästöistä takaisin.

3.5 Matalaenergiatoimisto

Saksan asumis- ja ympäristöinstituutin mukaan myös toimistotalon energiankulutusta pystytään pienentämään 70 % valitsemalla energiatehokkaita ratkaisuja niin rakentamisessa kuin toimiston käytön aikana. (Knissel 2002, 1.) Matalaenergiatoimistoja on rakennettu ja testattu jo pitkään, mutta niiden rakentaminen on jäänyt suhteellisen vähäiseksi. Yksi syy lienee se, että vain menestyvä yritys pystyy luottamaan tulevaisuuteensa niin vahvasti, että panostaa omaan toimistotaloon, jonka rakentamisessa sijoitetuilla kustannuksilla on useiden vuosien takaisinmaksuaika. Lisäksi yritysten henkilöstömäärä muuttuu, jolloin tiloja saatetaan joutua vaihtamaan, ja monet yritykset ovat toimitiloissaan vain vuokralla. Tällöin päättäjäsessa on jälleen rakennuttajat ja sijoittajat, jolloin pääsylliseksi matalaenergiatoimistotalojen vähyteen voidaan olettaa tiedon, ja sitä kautta kysynnän puute.

Pääasiassa toimistorakennuksen matalaenergiasuunnittelussa on otettava huomioon samat perusratkaisut kuin asuintaloissakin: eristys, tiiveys, lämmön talteenotto ja lämpökuormien hyödyntäminen. Muutamissa referenssikohteissa käytettyjä ratkaisuja sekä niiden vaikutuksia energiansäästöön on esitelty seuraavassa kappaleessa.

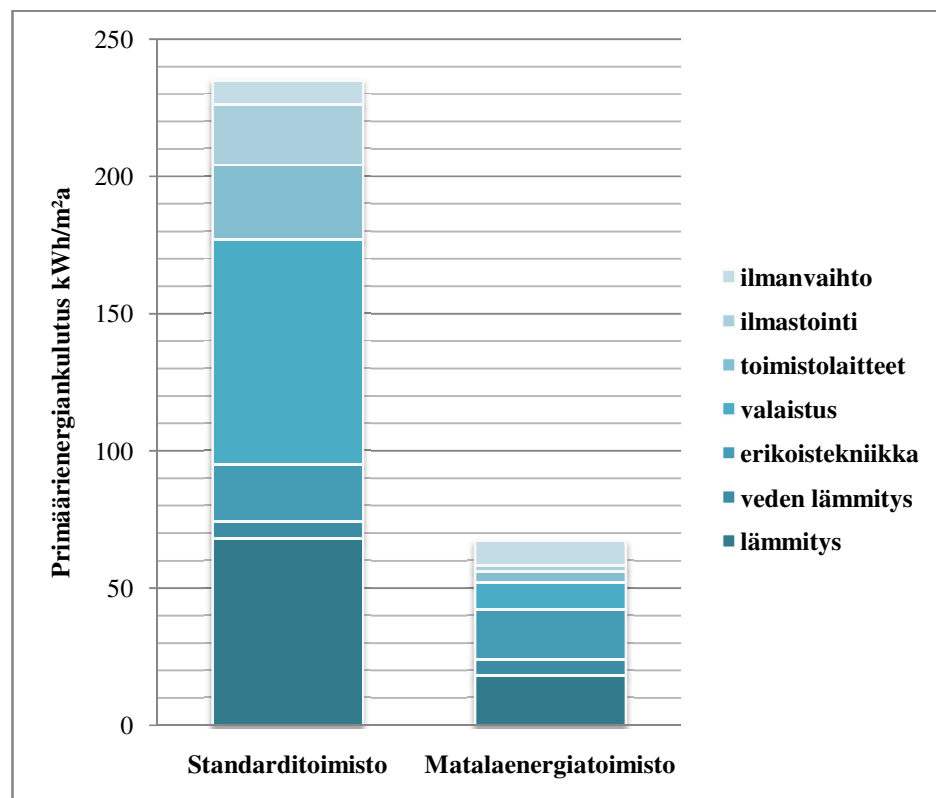
3.5.1 Matalaenergiatoimistoissa käytetyt ratkaisut

Vuonna 1992 toteutettiin matalaenergiatoimistotalon METOP -prototyyppi, joka energiatehokkuudessa saavutti nykyisen energialuokan A. Lämmitys toteutettiin rakennuksen sisäisiä lämpökuormia kaluste- ja laiteratkaisuilla hyödyntämällä, eikä rakennuksessa ollut lainkaan patteriverkostoa. Erillistä lämmitystä tarvittiin vain ajoittain ulkolämpötilan ollessa alle -15 °C. Esimerkiksi METOP -hankkeessa käytettyjen ikkunoiden U-arvo oli vain 0,5 W/m²K, mikä on alle puolet nykyisestä rakennusmääräysten raja-arvosta. (Tuomaala 2007, 16.)

Myös Iso-Britanniassa rakennettiin vuonna 1997 energiatehokas BRE-toimisto. Eteläseinustan pinta-alasta 45 % on ikkunoita, joiden U-arvo on 1,5 W/m²K. Kesähelteitä varten ikkunoihin asennettiin ulkopuolinen varjostin, joka vähentää ylimääräistä lämpökuormaa ja siten jäähdystarvetta. Ulkoseinän U-arvo on 0,3 W/m²K, ja koko rakennuksen rakenteet varastoivat lämpöä. Tarvittava lisälämmitys hoidetaan lattialämmityksen avulla. (Natvent 1998, 1.)

Energiansäästöön BRE-toimistossa pyrittiin vähentämällä valaisutarvetta ja käyttämällä energiatehokkaita valaisimia. Lisäksi ilmanvaihto rakennettiin toimimaan suurimmaksi osaksi painovoimaisesti, jolloin ilmansiirtoon kuluva energia säästettiin suurelta osin. Tuloilmakanavistoon asennettiin myös puhaltimet ilmanvaihdon tehostamista varten esimerkiksi tilanteessa, jossa luonnollinen lämpötilaero tai tuuliolosuhteet eivät kuljeta raitista ilmaa rakennukseen tarpeeksi. Kesäaikana rakennusta jäähdytetään viileällä ulkoilmalla maksimoimalla lämmönsiirto rakennuksen ja ulkoilman välillä erityisesti tarkoitusta varten rakennetussa ontelokatos-
sa. (Natvent 1998, 1.)

Kuvassa 7 on esitetty käyttökohteittain erään saksalaisen toimistorakennuksen energiankulutuksen vähentämismahdollisuudet, joilla saavutetaan 70 %:n säästöt. Energiankulutus on laskettu primäärienergiankulutuksena toimiston bruttopinta-alaa kohti. Tämä tarkoittaa sitä, että sähkönä käytetty energia saa suuremman painoarvon, koska sen valmistamiseen kuluu enemmän primäärienergiaa kuin esimerkiksi lämmön tuottamiseen. (Knissel 2002, 2.)



Kuva 7. Toimistorakennuksessa saavutettavat energiansäästöt kohteittain (Knissel 2002, 2).

Energiansäästö on saavutettu seuraavilla toimenpiteillä (Knissel 2002, 3-6.):

- Eristyksen paksuus 300 - 400 mm
- Kolmikerroksiset ikkunalasit ja ilmatiiviit ikkunakarmit
- Tehokkaalla lämmön talteenotolla varustettu ilmanvaihtokone ja maalämpöputkisto lämmön keruuseen
- Energiatehokas valaistus, joka on ohjattu sammumaan päivänvalon saavuttaessa tarvittavan valaisuraja-arvon
- Huoneiden jako alueisiin valaistusintensiteetin mukaan, jolloin perusvalaistus (220 Lux) on riittävä kattovalaisimilla, ja tarvittava kohdevalaistus (500 lux) hoidetaan pöytävalaisimilla
- Energiatehokkaiden laitteiden valinta
- Ilmanlaatu pysyy tavoitetasolla ilman aktiivista ilmastointia, rakennus tuuletetaan ja viilennetään yöilmalla.

Maksimoimalla päivänvalon pääsy myös sisempiin osiin toimistorakennusta, voidaan vähentää keinotekoisien valaistuksen tarvetta, mutta ikkunat tulee kuitenkin valita siten, etteivät johtumislämpöhäviöt tai auringonpaisteen kuumentava vaikutus nouse liian suuriksi. Sekä valaistus että lisäilmanvaihto voidaan yhdistää myös liikkeentunnistimeen, jolloin toimiston ollessa tyhjillään ei kulu turhaa energiaa. (Energy Efficient Office 2007.)

Suurin osa toimiston lämpökuormasta tulee erilaisista koneista. Niinpä kiinnittämällä huomiota niiden energiankulutukseen jo hankintavaiheessa, sekä virransäästöasetuksiin käytön aikana, voidaan pienentää poistattavan lämpöenergian määrää. Toisaalta laitteista vapautuva lämpö myös vähentää lämmitystarvetta talvisin. (Energy Efficient Office 2007.)

4 RAKENNUSTEN ENERGIALUOKITUS

Vuoden 2008 alusta valmistuviin uudisrakennuksiin on tullut pakolliseksi myös rakennuksen energialuokan määrittäminen sekä siitä tehtävä energiatodistus. Muihin rakennuksiin lakia sovelletaan vuoden 2009 alusta, joskin se enintään kuuden asunnon rakennuksiin on tällöin edelleen vapaaehtoinen. Rakennusta tai sen osaa taikka niiden hallintaoikeutta myydessä tai vuokrattaessa tulee esittää voimassa oleva energiatodistus. Uudisrakentamisessa alustava pääsuunnittelijan todistus on esitettävä jo rakennuslupaa haettaessa, ja ennen rakennuksen käyttöönottoa se on varmennettava. (L 13.4.2007/487 5-6 §.)

Energiatodistusta ei vaadita alle 50 m²:n rakennuksilta, enintään 4 kk vuodessa käytettäviltä vapaa-ajan asuinrakennuksilta, väliaikaisilta rakennuksilta, teollisuus- ja korjaamorakennuksilta, vähäisen energiantarpeen maatilarakennuksilta, suojelluilta rakennuksilta eikä kirkoilta. Uudisrakennuksilla se on yleensä voimassa neljä vuotta, mutta esimerkiksi enintään kuuden asunnon rakennuksilla kymmenen vuotta. Kymmenen vuoden voimassaoloaika pätee myös jo olemassa oleville pienille rakennuksille sekä energiakatselmuksen yhteydessä tehdyille ja erillisille energiatodistuksille. (L 13.4.2007/487 4-5 §.)

Energiatodistusta määritellään jo olemassa olevissa pientalokohteissa laskennallisesti ja kerrostaloissa toteutuneen energiankulutuksen mukaan; uusissa rakennuksissa arvioitu energiankulutus lasketaan jo suunnitteluvaiheessa. Rakennuksen energiatodistusta ilmaistaan energiatodistuksessa energiatodistusluvulla (ET-luku), joka saadaan jakamalla rakennuksen vuotuinen energiamäärä, eli lämmitysenergian, sähköenergian sekä mahdollisen jäähdytysenergian summa, rakennuksen bruttopinta-alalla. (L 13.4.2007/487 2 §.) Vertailun mahdollistamiseksi kaikkien rakennusten energialuokka lasketaan Suomessa Jyväskylän säävyöhykkeen säädataan pohjautuen (A 19.6.2007/765 liite 2). Esimerkki täytetystä pientalon energiatodistuksesta sekä siinä esiintyvistä tiedoista on esitetty liitteessä 1. Jo olemassa olevien rakennusten energiatodistusta varten tehtävän tarkastuksen yhteydessä tarkastaja täyttää myös lomakkeen toimenpide-ehdotuksista rakennuksen energiatodistuksen parantamiseksi, sekä arvion niiden toteuttamisen vaikutuksesta energiakulutukseen (A 19.6.2007/765 liite 6).

ET-luku määritellään kussakin laskentaluokassa omalla tavallaan, jolloin luokan sisäinen vertailu onnistuu hyvin, mutta laskentaluokkien välillä luvut eivät ole toisiinsa verrannolliset. Eri rakennustyyppit jaetaan laskentaluokkiin seuraavasti (A 19.6.2007/765 liite 1):

- Pienet asuinrakennukset
- Suuret asuinrakennukset
- Toimistorakennukset
- Liikerakennukset
- Opetusrakennukset
- Päiväkodit
- Terveydenhoitorakennukset
- Kokoontumisrakennukset
- Uimahallit
- Muut.

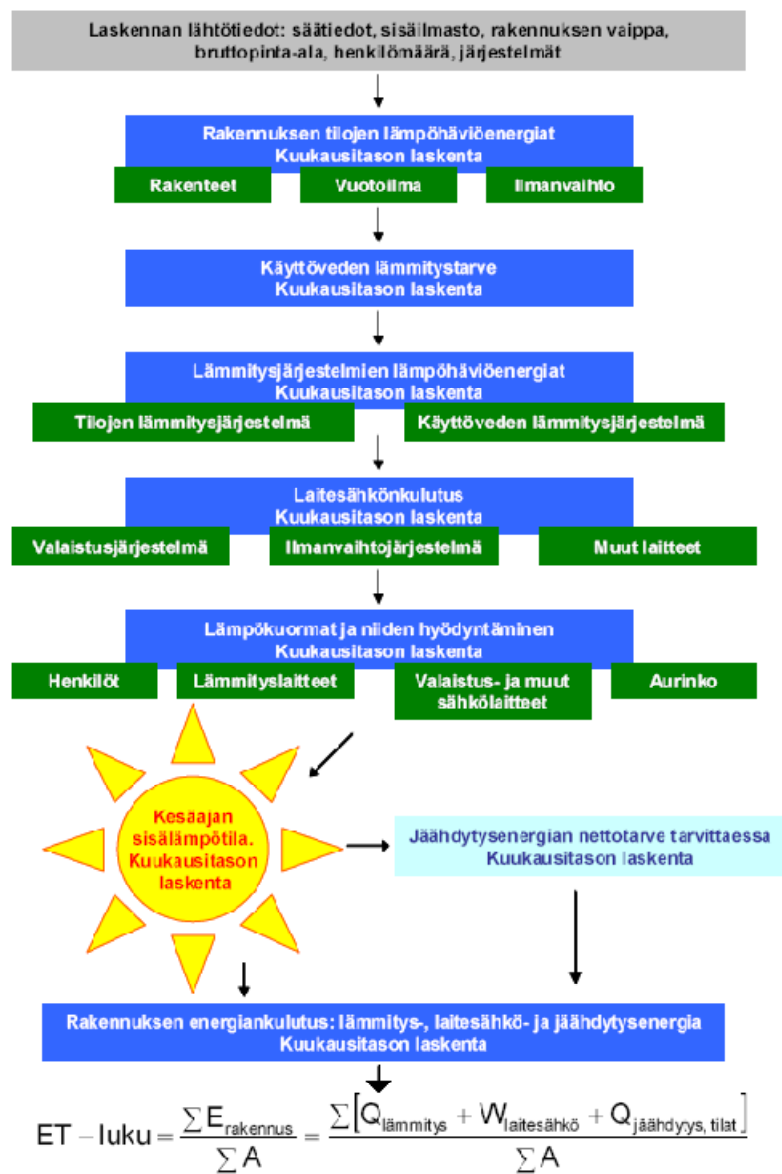
Taulukossa 5 on vertailtu kerrostalojen, pienten asuintalojen sekä toimistorakennuksien energiatehokkuusluvun ja energialuokan vastaavuuksia. Kerrostaloissa vähäisempään energiakulutusvaatimukseen vaikuttaa se, että ulkoseinien osuus rakennuspinta-alaa kohden on pienempi, jolloin myös lämpöhäviöt pienenevät. Edelleen toimistorakennuksissa energiankulutukseen vaikuttaa suhteellinen käyttöaika sekä mahdollisesti laitteista ja ihmisistä hyödynnettävissä olevat lämpökuormat.

Taulukko 5. Energialuokan määrittäminen ET-luvun mukaan (A 19.6.2007/765 Liite 1).

Energialuokka	ET-luku [$\text{kWh/m}^2_{\text{br}}/\text{a}$]		
	Pienet asuintalot	Kerrostalot	Toimistorakennukset
A	- 150	- 100	- 90
B	151 - 170	101 - 120	91 - 110
C	171 - 190	121 - 140	111 - 130
D	191 - 230	141 - 180	131 - 170
E	231 - 270	181 - 230	171 - 230
F	271 - 320	231 - 280	231 - 320
G	321 -	281 -	321 -

4.1 Laskentaperusteet energialuokan määrittämiseen

Energialuokan laskenta etenee Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Kuvassa 8 on esitelty energiankulutuksen laskennan päävaiheet lähtötietojen keruusta rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen, joka pinta-alalla jaettuna ilmaisee ET-luvun.



Kuva 8 Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet (RakMK D5, 11).

Tässä luvussa laskennan päävaiheet käydään periaatteellisesti läpi; laskennan yksityiskohdat, kaavat ja arvojen soveltaminen on esitetty kattavasti rakentamismääräyskokoelmassa, joten niiden tarkempaan käsittelyyn ei ole tässä yhteydessä tarvetta. Laskennan menetelmänä käytetään energiatasemenetelmää, jossa energiankulutus lasketaan kuukausittain periaatteella, että kuukauden aikana rakennuksen sisään tuleva energia on sama kuin poistuva energiamäärä. Lähtötietoina käytetään yleensä kuukauden keskimääräisiä arvoja. (RakMK D5, 9.)

4.1.1 Lämpöhäviöt ja lämmitystarve

Ensimmäisenä lasketaan lämpöenergiähäviöt eli johtuminen vaipasta, vuotoilman lämmitys sekä ilmanvaihdon lämmitys. Rakenteiden läpi johtuvaan energiaan vaikuttaa olennaisesti rakenteen U-arvo sekä sisä- ja ulkolämpötilojen erotus laskentakautena. Rakenteiden epätiivyyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia saadaan laskettua vuotoilmakertoimen, rakennustilavuuden, ilman ominaisuuksien ja lämpötilaeron avulla. (RakMK D5, 18-20.)

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan samalla periaatteella lämpötilaeron ja tilavuusvirran avulla, mutta siinä huomioidaan, myös lämmön talteenoton hyötysuhde, jolloin poistoilmasta tuloilmaan siirtyvä lämpö huomioidaan muun lämmöntarpeen vähenemisenä. (RakMK D5, 22.)

Seuraavaksi lasketaan käyttöveden lämmitystarve veden lämpöominaisuuksien, lämpimän käyttöveden määrän sekä lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilojen erotuksen avulla. Kulutusta voidaan arvioida muun muassa henkeä tai pinta-alayksikköä kohti lasketusta ominaiskulutuksesta. Mikäli lähtötietoina on käyttöveden kokonaiskulutus, voidaan lämpimän käyttöveden osuutena käyttää 40 %. (RakMK D5, 26-27.)

Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat syntyvät lämmön kehityksen, varastoinnin, siirron ja luovuttamisen aikana. Lämmönkehityslaitteiden lämpöhäviöenergiat lasketaan yleensä valmistajan ilmoittamasta tai muulla tavalla todetusta lämpöhäviötehosta. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöille on annettu rakennusmääräyskokoelmassa bruttopinta-alaan suhteutetut ominaislämpöhäviöt, joita käytetään ellei muita selvityksiä ole käytettävissä. (RakMK D5, 28-29.)

Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia lasketaan kehitys-, kierto- ja varaaja-häviöiden summana. Yleensä kehityshäviöt sisältyvät jo tilojen lämmityksen kehityshäviöihin, joten niitä ei tarvitse erikseen laskea. Kiertohäviöt voidaan laskea kiertopiirin ominaislämpöhäviöiden avulla tai kierto-vesivirran avulla. (RakMK D5, 31.)

4.1.2 Sähkönkulutus

Laitesähkönkulutukseen lasketaan mukaan laitteiden sähköenergiankulutus ilman lämmitykseen tai jäähdytykseen käytettyä sähköä. Rakennusmääräyskokoelmassa on arvioitu valaistuksen, ilmanvaihtojärjestelmän sekä muiden sähkölaitteiden vuosittaista ominaiskulutusta pinta-alayksikköä kohden, mutta laskennalle on esitetty myös yksityiskohtaisempia kaavoja, mikäli tarkempia tietoja on saatavilla. (RakMK D5, 33.)

Valaistuksen sähkönkulutus voidaan laskea tilan tarvittavan valaistuksen tehon, tilan pinta-alan, tyypillisen käyttöajan ja valaistuksen ohjausmenetelmän avulla. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutuksessa huomioidaan puhaltimien tai ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus, joka voidaan laskea suunnitellun ominaislämpötehon, ilmavirran ja käyntiajan tulona. Muiden sähkölaitteiden kulutus voidaan laskea laiteryhmäkohtaisesti ominaislämpöenergian perusteella. (RakMK D5, 34-37.)

4.1.3 Hyödynnettävät lämpökuormat

Lämmityksessä hyödynnettäviä lämpökuormia arvioidaan henkilöistä, lämmityslaitteista, valaistuksesta ja sähkölaitteista sekä ikkunoiden kautta vapautuvan lämpökuorman sekä niiden hyödyntämistä avustavien avustavien avulla. Henkilöiden luovuttama lämpöenergia voidaan laskea keskimääräisen lämpötehon, henkilömäärän ja oleskeluajan mukaan. Yhden henkilön lämpötehoa voidaan käyttää arvoa 70 W. Mikäli tarkempia tietoja ei ole saatavilla, voidaan lämpöenergia laskea myös vuotuisen ominaislämpöenergian mukaan rakennustyyppin pinta-alaa kohti arvioituna. (RakMK D5, 39.)

Jo häviöissä määritelty lämmityslaitteista vapautuva lämpöhäviöenergia voidaan olettaa siirtyvän 70 % hyödynnettäväksi lämpökuormana, ellei tarkempaa tietoa ole. Vastaavasti käyttöveden lämmitysjärjestelmän häviöistä voidaan laskea 30 % veden lämmityksen tarvitsemasta

energiasta ja 50 % lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta olevan hyödynnettävissä lämpökuormana. Sähköenergiankulutuksesta 100 % valaistuksen sähköenergiasta, 50 % koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiasta ja 60 % muiden laitteiden sähköenergiasta voidaan laskea hyödynnettäväksi lämpökuormana. (RakMK D5, 41.)

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan säteilyenergia sisältää sekä ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tulevan että välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä sisälle tulevan energian. Se lasketaan pystypinnalle tulevan säteilyenergian, ikkunan pinta-alan, läpäisykertoimen ja ikkunan g-arvon tulona. Läpäisykertoimessa huomioidaan myös ikkunan karmien, verhojen sekä varjostuksen vaikutus. (RakMK D5, 43-44.)

Lämpökuormaenergia voidaan hyödyntää vain, mikäli samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. Lämpökuormien kuukausittaiselle hyödyntämistäasteelle on esitetty rakennusmääräyskokoelmassa monimutkainen laskentatapa, johon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa lämpökuormaenergian ja lämpöhäviöenergian suhdeluku sekä rakennuksen aikavakio. (RakMK D5, 47.)

4.1.4 Jäähdytysenergian tarve

Jäähdytysenergian tarvetta arvioidaan kuukausittaisen keskimääräisen sisälämpötilan perusteella ensisijaisesti huoneissa, joissa suunnittelija arvioi olevan korkeimmat lämpötilat kesän aikana. Mikäli sisääntulevat lämpökuormat ovat suurempia kuin kokonaislämpöhäviöt, niin sisälämpötila nousee. Jäähdytysenergian tarve on se osa lämmityksessä hyödyntämättömän lämpökuorman vaikutuksesta, joka täytyy poistaa rakennuksesta halutun sisälämpötilan toteuttamiseksi. Tavoitelämpötila voidaan arvioida tapauskohtaisesti, jolloin myös jäähdytyskoneen tarve voidaan kyseenalaistaa joissain tapauksissa. Lämpötilaan voidaan vaikuttaa myös esimerkiksi tuuletuksella sekä öisellä jäähdytyksellä. (RakMK D5, liite 2.) Jäähdytysjärjestelmän hyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 0,7, ellei tarkempia tietoja ole (RakMK D5, 17).

4.1.5 Kokonaisenergiantarve ja ET-luku

Kokonaisenergiantarve saadaan laskettua edellä määriteltyjen lämmitysenergian, laitesähköenergian ja jäähdytysenergian yhteenlaskettuna kulutuksena koko vuoden ajalta. Energiatehokkuusluku saadaan jakamalla tuo määrä rakennuksen bruttopinta-alalla. Laskennan eri vaiheisiin tarvittavat lähtötiedot on eritelty liitteessä 2 olevassa taulukossa laskentakohteittain.

4.2 Nykytilanne ja luokituksen ongelmat

Vuoden 2007 rakennusmääräysten mukaan rakennettu talo saa useimmiten energialuokan D (alle 230 kWh/m²a), joten vanhassa - valitettavan laajassa - rakennuskannassa löytynee Suomessa paljon parantamisen varaa energiatehokkuuden näkökulmasta. Eri aikakausina rakennettujen talojen nykyistä energiankulutusta on arvioitu lämmityksen, talotekniikan sähkönkulutuksen, lämpimän veden sekä asukkaiden energiankulutuksen suhteen taulukossa 6. Taulukossa arvioitu kokonaisenergiankulutus antaa suuntaa myös eri aikakausien rakennusten mahdollisesta energialuokasta, vaikka arvioitu aikakauden kokonaiskulutus heitteleekin useamman energialuokan verran. Joidenkin arvioiden mukaan vanhat rintamamiestalot voisivat kuluttaa jopa 310 kWh lämmitysenergiaa neliötä kohden vuodessa, mikä on kymmenkertainen määrä nykypäivän passiivitalon lämmitysenergiantarpeeseen verrattuna (Kupiainen 2008, 23).

Taulukko 6. Eri aikakausina rakennettujen talojen nykyinen energiankulutus (Tuomaala 2007, 8).

Kulutuskohde	Rakennuskausi					
	→ 1960	1960 →	1970 →	1980 →	2003 →	Ekotalot
Energia hyvän sisäilman lämpötilan ylläpitämiseen, kWh/m² vuodessa						
Lämmitys	160 – 180	160 – 200	120 – 160	100 – 140	80 – 120	40 -60
Laitteistojen sähkölukutus						
Talotekniikka	20 – 30	20 – 30	20 – 40	20 – 40	10 – 30	10 - 30
Asukkaiden energiankulutus						
Lämmin vesi	20 – 60	20 – 60	20 – 60	20 – 60	20 – 50	20 - 40
Kotitaloussähkö	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 - 30
Yhteensä kWh/m² vuodessa						
Asuminen	220 – 310	220 – 330	180 – 300	160 – 280	130 – 240	90 – 160

Vuonna 2007 noin 70 % uusista pientaloista rakennettiin talopaketeista (Suomi rakentaa 2008). Muutoinkin valmistalo-, taloelementti ja ”avaimet käteen” -talot ovat yleistyneet viime vuosina huomasti rakentamiseen uhrattavan ajan jatkuvasti vähentyessä. Valmistaloratkaisussa ostajalla jää varsin vähän vaikutusmahdollisuuksia talon ominaisuuksien valinnassa, ellei hän hyvissä ajoin sovi toimittajan kanssa haluttavista muutoksista. Tällöin energiatehokkuuden varmistaminen jää valmistajan harteille, ja monet valmistajat ovatkin jo huomioineet matalaenergiamalliston tuotantolinjassaan, ja tulevaisuudessa myös talopaketeista löytynee arvioitu energialuokitus valmiina kuluttajien valintaa helpottamaan.

Uusien elementtirakenteisten puutalojen ilmanvuotoluku on Suomessa tavallisesti 1,0 - 4,0 l/h (Kupiainen 2008, 24). Rakennusmääräyskokoelmassa (RakMK D5, 21) oletusarvona käytetään arvoa 4,0 l/h, eli mikäli ei ole syytä epäillä rakennuksen saavan parempaa arvoa, ei tiivysmittausta tarvitse edes tehdä. Passiivitaloissa kuitenkin pyritään pienempään arvoon kuin 0,6 l/h, joten jo pienillä toimenpiteillä olisi mahdollista päästä määräyksiä tiiviimpiin taloratkaisuihin. Oma ongelmansa on se, että kuinka moni rakentaja haluaa kustantaa kalliin tiivysmittauksen vain saadakseen talolleen astetta paremman energialuokan.

Rakennusmääräyskokoelmassa on määritetty lämmöntuottolaitteen, sähköntuotto- ja muuntolaitteen ja lämmöntalteenottolaitteen hyötysuhteita, joita voi käyttää mikäli valmistajan määrittelemää hyötysuhdetta ei ole käytettävissä. Tällöin ei ole edes kannattavaa selvittää valmistajan määrittämää hyötysuhdetta, mikäli sen oletetaan jäävän annettua arvoa huonommaksi. Myös muissa laskennan vaiheissa on oikoteitä, joita käyttämällä voi pystyä vaikuttamaan laskennan tulokseen positiivisesti. Yksi energialuokituksen ongelmista onkin se, että jokainen energialuokkaa arvioiva laskija saattaa saada samalle rakennukselle eri ET-luvun, mikä aiheuttaa myös vaaran siitä, että luokkaa mahdollisesti pystyisi parantamaan pienillä oletuksilla ja laskentatavan muutoksilla myyntituottokuviot silmissä kiiluen.

Etenkin laskennallisesti etukäteen määrätyn energialuokan suuri ongelma on se, että valmistamisen jälkeen rakennukseen muuttava kuluttaja muuttaa myös energiankulutusta, jolloin todellinen kulutus saattaa olla jopa pari luokkaa suurempi kuin ennakkoon määritelty. Lämpimän käyttöveden kulutus, huonelämpötilan säätö sekä valitut sähkölaitteet sekä niiden määrä vaikuttavat lopulliseen energiankulutukseen, jolloin osa kuluttajista saattaa pettyä etukäteen

määritettyyn energialuokkaan, eikä ymmärrä kulutuksen nousun riippuvan omista elintavoistaan. Tällöin energialuokitus menettää maineensa, eikä siihen kiinnitetä seuraavaa asuntoa hankittaessa niin paljon huomioita.

5 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Energiatodistusten vaikutuskehityksessä kysynnällä ja asenteiden kehityksellä on merkittävä rooli. Mikäli kuluttajat tiedostavat energiatehokkuuden vaikutuksen energialaskussaan ja alkavat suosia paremman energialuokan saavuttavia taloja, myös tarjonta alkaa vähitellen mukautua kysynnän asettamiin tarpeisiin. Asuntoa ostettaessa energialuokituksen painoarvo nousee nopeammin kuin vuokra-asumisen osalta. Toisaalta itse rakennettaessa mahdollisuudet energiatehokkuuden huomioimiseen ovat hyvät jo suunnitteluvaiheessa. Tällöin projektiin tarvitaan rakennuttajan ohella myös suunnittelijan tietämys ja kiinnostus.

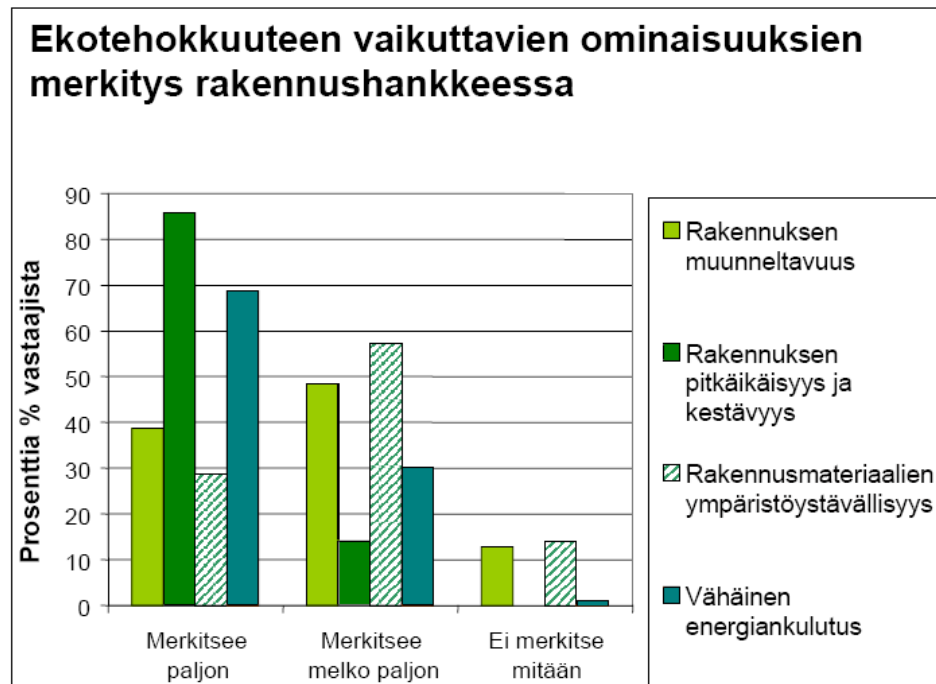
5.1 Visioita kuluttajien käyttäytymisestä

Kuluneena vuonna rakennusten energiatehokkuus on ollut medioissa paljon esillä pakolliseksi tulleen energiatodistuksen ansiosta. Ainakin aiheen näkyvyydestä päätellen voisi kuvitella tietämyksen lisääntyneen, ja uusien pientalorakentajien kiinnostuksen matalaenergiarakentamisen tuomia energiasäästöjä kohtaan kasvaneen.

Energiatehokkuustietoinen kysyntä nostanee hyvän energialuokan saavuttavien asuntojen hintoja, jolloin myös rakennuttajien luulisi huomaavan kasvavan kysyntäraon tuottomahdollisuuden ja alkavan vastata kysyntään. Energiataloudellisesti tarkasteltuna energiatehokas asunto maksaa mahdollisesti korkeamman hintansa käytön aikana muutaman ensimmäisen käyttövuoden aikana takaisin. Matalaenergiarakentaminen ei ole kuitenkaan vielä viime vuosina saavuttanut Suomessa oletettua suosiota pientalorakentajien keskuudessa, saati sitten kerrostalorakentamisessa.

VTT tutki vuonna 2002 omakotitalorakentajien valmiutta ympäristöystävällisten rakentamistapojen valitsemiseen sekä yleisiä asenteita rakennusten energiatehokkuudesta ja energiansääs-

töön investoimisesta. Kuluttajien lisäksi tutkimuksessa haastateltiin talotehtaiden edustajia sekä heidän käsityksiään rakentajien valintakriteereistä ja ympäristötietoisuudesta. (Mikkola & Riihimäki 2002, 3.) Kuvassa 9 näkyy ekotehokkuuteen vaikuttavien ominaisuuksien painotukset omaa taloa rakennettaessa. Lähes 90 % on arvioinut rakennuksen pitkäikäisyyden ja kestävyiden merkitsevän paljon, ja lähes 70 % vähäisen energiankulutuksen merkitsevän paljon taloa rakennettaessa.



Kuva 9. Oman pientalon ominaisuuksien valintakriteerit rakennushankkeessa (Mikkola & Riihimäki 2002, 37).

66 % vastanneista oli myös sitä mieltä, että vähäisellä energiankulutuksella on suuri positiivinen vaikutus talon jälleenmyyntiarvoon. Arvioitaessa tuotteen vähäisen energiankulutuksen merkitystä valintapäätökseen vastauksen ”merkitsee paljon” tai ”merkitsee melko paljon” antoi 86 % kysyttäessä rakennusmateriaaleista, 95 % lämmityksestä ja ilmanvaihdosta, ja 83 % koko talopakelistä. Kuitenkaan tutkimuksessa mukana olleet talotehtaat eivät kokeneet kysynnän energiatehokkaita ratkaisuja kohtaan kasvaneen, ja usein ratkaisevin tekijä talopäätöksessä oli kokonaishinta. (Mikkola & Riihimäki 2002, 38-44.)

Ristiriidassa edellä mainittujen tutkimustulosten kanssa on myös se, että matalaenergiataloja ei ainakaan MotiVoittaja-kilpailussa pärjänneiltä talotehtailta ole mennyt kaupaksi juuri nimeksikään, eivätkä kuluttajat muillakaan tavoin ole luoneet kyselyn tuloksien ennakoimaa kysyntää sektorilla. Toisaalta myöskään erityistä matalaenergiatalomainontaa ei ole ollut havaittavissa aivan viime kuukausia lukuun ottamatta, joten valmistaloista muokattavat matalaenergiaratkaisut myydään oletettavasti ”tiskin alta” niitä varta vasten kysymään tulleeille kuluttajille. Nyt alkuvuodesta uuden potkun saanut rakentamisen energiatehokkuus -keskustelu on kyllä luultavasti saanut talovalmistajat kaivamaan taas matalaenergiatalojen mainosmateriaalin esille, ja tästä voisikin olettaa alkavan energiatodistuksesta johtuvan uuden kysynnän aallon.

Viime aikoina tasaisen varmasti nousseet energian ja sähkön hinnat puhututtavat kyllä kahvipöytäkeskusteluissa, mutta perusluonteeltaan pihi suomalainen tekee lopullisen ratkaisunsa ennen kaikkea kokonaishinnan perusteella - johon valitettavan harvoin on muistettu laskea myös käytön aikaiset kustannukset mukaan. Se, mille tasolle energiatarkastuksen hinta olemassa oleville rakennuksille tulee lähivuosina juurtumaan, vaikuttanee paljon siihen, kuinka yleisesti omakotitalon omistajat rakennustaan ilman myyntiaikeita haluavat arvioida. Tarkastuksen yhteydessä esitettävät parannusehdotukset energiansäästöpotentiaaleineen saisivat varmasti monen harkitsemaan peruskorjausta ja lisäeristämistä aiemmin kuin talon elinkaaren mukaisesti olisi tarve. Koska suurin osa taloista on jo vuosikymmeniä vanhoja, nousevat korjausrakentamisen mahdollisuudet rakennuksen energiatehostamisessa suureen asemaan tulevaisuudessa.

Eristyksen lisääminen ja ulkovaipan tiivistäminen kuulostavat kovin yksinkertaiselta ratkaisulta suurien säästöjen saavuttamiseksi, mutta monet suunnittelijat saattavat vierastaa lähes puolen metrin eristyksiä seinissä, ja kaikkiin seinäratkaisuihin tuplamäärää eristystä ei edes pystyne integroimaan. Vastaavasti ilmantiiveyden osalta tavoitetasosta tulisi sopia rakentajan tai urakoitsijan kanssa ja painottaa sitä, että lopputulos testataan rakennuksen valmistuttua, minkä luulisi motivoivan astetta huolellisempaan tiivistystyöhön.

5.2 Mallia maailmalta

Etelä-Ruotsissa rakennus saa määräysten mukaan vuoden aikana kuluttaa veden ja sisätilojen lämmitykseen, ilmastointiin sekä ilmanvaihtoon korkeintaan 110 kWh/m², ja maan pohjoisissa osissa vastaavasti korkeintaan 130 kWh/m² (Larsson 2007, 7). Vastaavalla energiankulutuksella suomalainen pientalo saavuttaisi jo kirkkaasti A-luokan.

Norjassa rakennusmääräyksiä on viimeksi tarkastettu vuonna 2007. Uusien määräysten tasolle on siirryttävä vuoden 2009 loppuun mennessä, ja tavoitteena on leikata uusien rakennusten energiankulutusta 25 %. (BE 2007, 2.) Rakennuksen eri osien korkeimmat sallitut lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa on esitetty alla olevassa taulukossa. Kuten voidaan huomata, Suomen arvot ovat pohjoisen naapuruskolmikön korkeimpia, vaikkei arvoissa ulkoseinää lukuun ottamatta suuria eroja olekaan.

Taulukko 7. Määräysten mukaisten U-arvojen erot Suomen, Ruotsin ja Norjan välillä.

	Ruotsi (Boverket 2006, 86.)	Norja (BE 2007, 4.)	Suomi (RakMK C3, 5.)
Alapohja	0,15	0,15	0,15-0,19
Yläpohja	0,13	0,13	0,15
Ulkoseinä	0,18	0,18	0,24
Ikkuna	1,3	1,2	1,4
Ulko-ovi	1,3	1,2	1,4

Rakennusten energialuokitus tuli pakolliseksi kaikissa EU-maissa vuoden 2008 alusta, mutta energialuokkien jaottelun energiatehokkuuden mukaan on jokainen valtio pystynyt määräämään itse. Vertailtaessa Suomen, Ruotsin ja Saksan pientalon energialuokkien rajoja (taulukko 8), ovat erot huimat (jälleen Suomen tappioksi), vaikka Keski-Euroopan lauhkeamman ilmastoin vaikutus huomioitaisiin lukuja vertaillen.

Taulukko 8. Energialuokituksen ET-lukujen vertailu Suomen, Ruotsin ja Saksan pientalojen välillä.

Energialuokka	Ruotsi	Saksa	Suomi
A	100	30	150
B	130	50	170
C	160	70	190
D	190	90	230

Keski-Euroopan ilmastossa tavoitteena on lämmitysenergian tarpeen rajoittaminen alle 15 kWh/m² vuodessa, mikä on reilusti alle viidesosa tyypillisten talojen energiankulutuksesta. (Passive House Institute 2006). Saksassa matalaenergiataloja on rakennettu ja kehitetty jo 80-luvun puolivälistä lähtien ja niiden kokonaismäärä lähenee jo kymmentä tuhatta (Feist 2001, 5). Esimerkiksi ensimmäinen vuonna 1990 Saksan Darmstadtin rakennettu passiivitalon vuosittainen energiankulutus on vain 10 kWh/m², ja tekniikka on kehittynyt huomasti sen rakentamisen jälkeen. Saksan lauhkeammassa ilmastossa on toteutettu myös monia kohteita, joihin ei ole asennettu mitään ulkoisia lämmityslaitteita, vaan ne lämpenevät täysin auringon ja lämpökuormien avulla. Pien-, rivi- ja kerrostalojen lisäksi standardia on sovellettu muun muassa toimistorakennuksiin ja marketteihin. (Passive House Institute 2006.)

Aikoinaan Suomen rakentamisnormit ovat olleet maailman tiukimmasta päästä, mutta nyt kehityksestä on jääty jälkeä. Esimerkiksi Saksassa normeja tiukennetaan 30 % vuosien 2008-2009 aikana ja toiset 30 % jälleä vuonna 2012. Tanskassa puolestaan normeja tiukennettiin vuonna 2006 25 - 30 %, ja 25 % jälleä vuosina 2010 sekä 2015. (Tynkkynen 2008, 7.)

Mikäli EU:n energiatehokkuusohjelma toteutuu, tulee passiivirakentaminen olemaan uudisrakentamisen standardina jo vuodesta 2015 eteenpäin. Keski-Euroopassa passiivitaloja on jo useita tuhansia; nyt olisi Suomenkin jo korkea aika vastata energiansäästöhaasteisiin ja ottaa askel kohti matalaenergiarakentamisen aikakautta. (Paroc 2008, 16.)

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennuskannassa piilee suuri säästöpotentiaali kansainvälisten ja kansallisten energiansäästötavoitteiden kiristyessä tulevaisuudessa. Suomen rakennusmääräykset ovat jääneet viime vuosikymmenten aikana jälkeen muun Euroopan kehityksestä, ja niiden kiristäminen on edessä vääjäämättömänä. Tietotaito matalaenergiarakentamiseen on jo kaikkien saatavilla, mutta vasta nyt, energiatodistusten tullessa vuoden 2008 alussa pakolliseksi, alkoi suurempien massojen kiinnostus kohdistua myös rakentamisen mahdollisuuksiin energiansäästötavoitteiden saavuttamisessa.

Tärkeimmät tekijät energiatehokkaassa rakentamisessa ovat hyvä eristys, rakennuksen tiiveys sekä lämpökuormien hyödyntäminen talvisin ja välttäminen kesäisin. Pientaloissa päästään helposti alle puoleen ja pienellä vaivalla jopa yhteen neljäsosaan rakennusmääräysten mukaisen talon energiankulutuksesta, eivätkä rakennuskustannukset nouse juuri 5 % enempää. Kerrostaloissa voidaan puhua jopa 70 % säästöistä vain muutaman prosentin lisäinvestoinnin avulla. Sama tekniikka voidaan hyödyntää myös toimistoihin sekä koko rakennuskantaan yleisesti.

Matalaenergiaratkaisut ovat saavutettavissa helposti normaalirakenteisiin ja huolellisuuteen enemmän panostamalla, ja pienemmän lämmöntarpeen ansiosta tarvittava laitekanta jopa yksinkertaistuu nykyisin käytettävästä. Koska tiiviys estää hallitsemattoman ilmanvaihdon rakennuksen vaipan kautta, on ilmanvaihtolaitteistolla toteutettu sisäilmasto terveellinen, viihtyisiä ja vedoton.

Rakennukselle määritettävä energialuokka lasketaan vuodessa tarvittavan lämmitys, sähkö- ja jäähdytysenergian suhteena rakennuspinta-alaan, jolloin rakennukset ovat omissa luokissa keskenään verrattavissa asteikolla A-G. Uudisrakennuksiin todistus tuli pakolliseksi vuoden 2008 alusta, ja muihin sitä sovelletaan vuoden 2009 alusta alkaen, vaikkakin se pientaloihin on edelleen vapaaehtoinen. Asuntoa myydessä tai vuokrattaessa todistus on kuitenkin pakollinen, mikä vaikuttanee energiatehokkaiden asuntojen kysyntää nostavana tekijänä tulevaisuudessa.

Matalaenergiarakentamisesta tiedottamisen lisääntymisen johdosta myös rakennuttajat luultavasti tulevat kiinnittämään yhä enemmän huomiota rakennevalintoihin lisäkustannuksista huolimatta. Omakotitalon rakentajat ovat tutkitusti kiinnostuneita energiansäästöä ja ympäristöasioista, mutta viime vuosina kysyntä ja tarjonta eivät jostain syystä ole kohdanneet toisiaan. Suurin merkitys rakennuskannan energiatehostamiseen olisi kuitenkin rakennusmääräysten merkittävällä kiristämällä jo lähivuosina, sillä pelko rakennuskustannusten noususta ei saa olla ainoana esteenä suuren energiansäästöpotentiaalın tavoittelussa. Myös energialuokitusta tulee kiristää niin, että A-luokan saavuttava talo on selkeästi matalaenergiarakennus, jotta kuluttajille jää oikea mielikuva energialuokituksen yhteydestä todelliseen energiakulutukseen.

Suomessa energiatehokasta rakentamista ohjaa ennen kaikkea tieto saavutettavasta hyödystä, joka nyt energiatodistusten myötä tulee ainakin uudisrakentajilla kasvamaan. Koska kuluttaja äänestää rahapussillaan, saadaan heidät mukaan ”energiansäästötalkoisiin” tiedottamalla, ohjaamalla ja patistamalla kohti energiatehokasta rakentamista, jolla saavutettavat kustannussäästöt puhuvat puolestaan.

LÄHTEET

A 19.6.2007/765. Asetus rakennusten energiatodistuksesta.

Airaksinen, Miimu. 2007. Uudisrakennusten energiatehokkuus [verkkodokumentti]. VTT: 2007 [viitattu 14.4.2008]. 32 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
http://www.ril.fi/web/files/airaksinen_ril.pdf.

BE. 2007. Statens Bygningstekniske Etat: Energiltak i småhus [verkkolehti]. BENytt 2007:2. [viitattu 12.4.2008]. 16 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
http://www.be.no/beweb/info/benytt/20072/Benytt2_2007Energi.pdf. ISSN: 0602-8656.

Boverket. 2006. Boverkets Förfatningssamling [verkkodokumentti]. [viitattu 14.4.2008]. 97 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
<http://webtjanst.boverket.se/Boverket/RattsinfoWeb/vault/BBR%5CPDF%5CBFS2006-12BBR12.pdf>.

Energiakatsaus. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö [verkkolehti]. Neljä numeroa vuodessa. 4/2007. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/18453/ekats0407_www.pdf. ISSN 0356-9276.

Energy Efficient Office. 2007. [verkkodokumentti]. Julkaistu 2007, päivitetty 29.3.2007 [viitattu 1.4.2008]. Saatavissa:
http://www.st.gov.my/index.php?option=com_content&task=view&id=1945&Itemid=1238.

Feist, Wolfgang. 2001. Energieeffizienz [verkkodokumentti]. Darmstadt: 2001 [viitattu 14.4.2008]. Passivhaus Institut. 22 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
http://www.passiv.de/navi_L/Eneff/Energieeffizienz.pdf.

Hekkanen, Martti et al. 2006. VTT Tiedotteita 2354: Pientalon ekomitititit [verkkodokumentti]. Espoo: 2006 [viitattu 4.3.2008]. 57 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2354.pdf>. ISBN 951-38-6820-6.

Helsingin Talopiste. 2001. Sotka Ekola -tuotekortti [verkkodokumentti]. [viitattu 7.4.2008]. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/59672a9985ccaaace06a976403fcc05c/talo-sotka.pdf>.

Insinööritoimisto Villa Real. 2007. Matalaenergiatalo Villa Real [verkkosivusto]. Julkaistu 2007, päivitetty 30.6.2007 [viitattu 14.4.2008]. Saatavissa: <http://www.real.fi/> (etusivu).

Kilpeläinen, Mikko et al. 2006. Ympäristöopas: Pientalon tekninen laatu [verkkodokumentti]. Helsinki: 2006. Ympäristöministeriö. 98 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=239553&lan=FI>. ISBN 952-11-2281-1 (PDF).

Knissel, Jens. 2002. Energy efficient office buildings [verkkodokumentti]. Darmstadt: 2002 [viitattu 1.4.2008]. Institut Wohnen und Umwelt. 6 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/energy_efficient_office_buildings.pdf.

Koivu, Pirkko. 2007. Matalaenergiarakentamisesta kilpailuvaltti rakentajille?. Rakennustaito 102:9. S. 12-13. ISSN 0048-6663.

Kupiainen, Jari. 2008a. Passiivitaloja rakennetaan myös Suomeen. TM Rakennusmaailma, 54:2. S. 22-24. ISSN 1459-1839.

Kupiainen, Jari. 2008b. Passiivitalon rakentajat torjuvat ilmastonmuutosta. TM Rakennusmaailma, 54:2. S. 26-27. ISSN 1459-1839.

L 13.4.2007/487. Laki rakennuksen energiatodistuksesta.

Larsson, Anders (toim.). 2007. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om energideklaration för byggnader [verkkodokumentti]. [viitattu 14.4.2008]. 15 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://webtjanst.boverket.se/Boverket/RattsinfoWeb/vault/BED%5CPDF%5CBFS2007-4BED1.pdf>.

Lavento, Dakota. 2008. Tekniset ikkunakalvot säästävät energiaa huomaamattomasti. Rakennustaito, 103:3. S. 20-21. ISSN 0048-6663.

Natvent. 1998. Case Study Summary: Energy Efficient Office of the Future, BRE [verkkodokumentti]. [viitattu 1.4.2008]. 4 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://projects.bre.co.uk/natvent/reports/monitoring/summary/gb1summ.pdf>.

Mattila, Ilpo. 2008. Yli 800 00 talosta lämpöä karkaa taivaalle - turhaan. TM Rakennusmaailma, 54:3. S. 20-21. ISSN 1459-1839.

Miettinen, Matti. 2008. MERA esite [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Satu Erkkilä. Lähetetty 14.2.2008 klo 9.38 (GMT +0200). Liitetiedosto: ”Mera-tulosesitteet_180108_4 sivua.pdf(664kt)”.

Mikkola, Kati & Riihimäki, Markku. 2002. VTT Tiedotteita 2170: Omakotitalorakentajien valmius ympäristöystävällisiin rakentamistapoihin [verkkodokumentti]. Espoo: 2002 [viitattu 15.4.2008]. 59 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2170.pdf>. ISBN: 951-38-6096-5.

Motiva. 2001. MotiVoittaja: Matalaenergiapientalon kaupallistamiskilpailu. Loppuraportti [verkkodokumentti]. Helsinki: huhtikuu 2001 [viitattu 7.4.2008]. 32 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/abc74e61c15625e0e599046152a2b3d8/motivoittaja2001-loppuraportti.pdf>.

- Motiva.** 2007a. Kodin energiankulutus. Julkaistu 2007, päivitetty 4.5.2007 [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/asuminen/kodinenergiankulutus/>.
- Motiva.** 2007b. Ikkunoiden energiatehokkuus. Julkaistu 2007, päivitetty 4.5.2007 [viitattu 14.4.2008]. Saatavissa <http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/hankinnat/ikkunat/energiatehokkuus/>.
- Mölsä Seppo.** 2008. Eriste- ja ikkunateollisuus energiapaketin voittajia. Rakennuslehti, 42:4. S. 4. ISSN 0033-9121.
- Nieminen, Jyri.** 2007. Matalaenergiarakentaminen [verkkodokumentti]. VTT: Toukokuu 2007 [viitattu 15.3.2008]. 14 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/nieminen_matalaenergiarakentaminen.pdf.
- Paroc.** 2008. Passiivipientalo nousee Vantaan Tikkurilaan. Rakennustaito, 103:3. S. 16. ISSN 0048-6663.
- Passive House Institut.** 2006. Examples of residential passive houses [verkkodokumentti]. Julkaistu 2006, päivitetty 6.11.2006 [viitattu 8.4.2008]. Saatavissa: http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/Examples_passive_houses.html.
- Rakennusliike Reponen.** 2007. Pohjoismaiden ensimmäisten matalaenergiakerrostalojen rakentaminen alkaa Espoossa ja Heinolassa [verkkodokumentti]. Julkaistu 2007, päivitetty 29.6.2007 [viitattu 12.3.2008]. Saatavissa: <http://www.rklreponen.com/mera.htm>.
- Rakennusvalvonta Oulu.** 2007. Säästä luontoa ja 35 % lämmityskuluissa [verkkodokumentti]. Oulu: tammikuu 2007 [viitattu 1.4.2008]. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/Rak_valv_a4-esite_07_2.pdf.
- RakMK C3.** Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C3: Rakennuksen lämmöneristys, määräykset 2007.

RakMK D5. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5: Rakennustenenergiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, ohjeet 2007.

Saari, Mikko. 2004. Matalaenergiatalot ja sähkölämmitys [verkkodokumentti]. Espoo: Marraskuu 2004 [viitattu 15.3.2008]. 40 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
<http://www.sahkolammitysfoorumi.com/VTT-matalaenergiatalo.pdf>.

Suomi rakentaa. 2008. Asuntorakentamisen näkymät [verkkodokumentti]. Julkaistu 2008 [viitattu 27.3.2008]. Saatavissa:
http://www.suomirakentaa.fi/Pienrakentajasivut/Asuntorakentamisen_nakymat.

Tilastokeskus. 2007. Energian loppukäyttö sektoreittain 1990-2006 [verkkodokumentti]. Julkaistu 2007, päivitetty 12.12.2007 [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa:
http://www.tilastokeskus.fi/til/ekul/2006/ekul_2006_2007-12-12_tie_001.html.

Tuomaala, Pekka. 2007. Rakennusten energiankäyttö – Matalaenergiatalot [verkkodokumentti]. VTT: marraskuu 2007 [viitattu 20.3.2008]. 25 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
[http://www.safa.fi/archive/409_Rakennusten_energiank%E4ytt%F6_-_matalaenergiatalot_\(30.11.2007\).pdf?SAFASID=426466eaa260efb7c9b881f6648304ac](http://www.safa.fi/archive/409_Rakennusten_energiank%E4ytt%F6_-_matalaenergiatalot_(30.11.2007).pdf?SAFASID=426466eaa260efb7c9b881f6648304ac).

Tynkkynen, Oras. 2008. Ilmastonsuojelu, energiatehokkuus ja rakentaminen [verkkodokumentti]. Helsinki: helmikuu 2008 [viitattu 4.4.2008]. 12 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
http://www.rakennuslehti.fi/energiatalkoot/files/260208_energiatalkoot_oras_tynkkynen.pdf.

Uudenmaan rakennuslinja. 2001. Matalaenergiatalo -tuotekortti [verkkodokumentti]. [viitattu 7.4.2008]. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona:
<http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/38029626b4d9115b48ef46180f1a7b81/uudenmaan-rakennuslinja.pdf>.

VTT. 2006. Passiivitalo [verkkodokumentti]. Julkaistu 2006 [viitattu 12.4.2008]. Saatavissa:
http://passiivitalo.vtt.fi/energian_kulutus.html.

Ympäristöministeriö. 2008. Esimerkki täytetystä energiatodistuksesta: rakennuslupamenettelyn yhteydessä annettu energiatodistus [verkkodokumentti]. [viitattu 15.3.2008]. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=69641&lan=fi>.

Liite 1. Malli lasketusta energiatodistuksesta pientalolle (Ympäristöministeriö).

ENERGIATODISTUS																													
Rakennus																													
Rakennustyyppi:	Erillinen pientalo	Valmistumisvuosi: 2007																											
Osoite:	Kotikatu 1 00100 Helsinki	Rakennustunnus: 427-403-2-17 D 001																											
		Asuntojen lukumäärä: 1																											
Energiatodistus perustuu laskennalliseen kulutukseen ja on annettu																													
<input checked="" type="checkbox"/> rakennuslupamenettelyn yhteydessä																													
<input type="checkbox"/> erillisen tarkastuksen yhteydessä																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ET-luku</th> <th>Vähän kuluttava</th> <th>Rakennuksen ET-luokka</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 150</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>151 - 170</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>171 - 190</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>191 - 230</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>231 - 270</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>271 - 320</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>321 -</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><i>Paljon kuluttava</i></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka	- 150			151 - 170			171 - 190			191 - 230			231 - 270			271 - 320			321 -			<i>Paljon kuluttava</i>		
ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka																											
- 150																													
151 - 170																													
171 - 190																													
191 - 230																													
231 - 270																													
271 - 320																													
321 -																													
<i>Paljon kuluttava</i>																													
Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/bm ² /vuosi):		222																											
Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko: Pienet asuinrakennukset																													
Energiatehokkuusluokitus perustuu rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen. Todellinen kulutus riippuu rakennuksen sijainnista, asukkaiden lukumäärästä ja asumistottumuksista.																													
Todistuksen antaja:	Todistuksen tilaaja:																												
Pekka Pääsuunnittelija	Matti Meikäläinen																												
Alekirjoitus:																													
Todistuksen antamispäivä:	Viimeinen voimassaolopäivä:																												
1.1.2008	31.12.2017																												

Energiatodistus perustuu lakiin rakennusten energiatodistuksesta (487/2007) ja 19.6.2007 annettuun ympäristöministeriön asetukseen energiatodistuksesta. Tämä energiatodistus on asetuksen lomakkeen 1 mukainen.

ENERGIATODISTUKSEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT					
Rakennuksen laajuustiedot					
Bruttoala	163 brm ²				
Rakennustilavuus	522 rak-m ³	Ilmatilavuus	382 m ³		
Huoneistoala	147 hu ²	Henkilömäärä	4		
Rakenteet					
Rakennusosat					
		Pinta-ala (m ²)	U-arvo (W/m ² K)		
Ulkoseinät					
Tiiliverhoitu puurunko, 175 mm mineraalivilla		90	0,24		
Kevytsoharkko 350. Eristemateriaali EPS		23	0,24		
Yläpohja					
Harjakatto, 100 mm mineraalivillalevy+ 200 mm puhallusvilla		147	0,15		
Alapohja					
Maanvarainen teräsbetoni-laatta 70 mm, EPS 100 mm		147	0,24		
Ovet					
Puualumiinirunko. Eristemateriaali EPS		8,2	1,4		
Ikkunat					
				g _{ikkunat}	F _{ikkunat}
Pohjoiseen	MSE-puualumiini, kami 170, sel.lasi	8,8	1,4	0,55	0,75
Itään	MSE-puualumiini, kami 170, sel.lasi	1,3	1,4	0,55	0,75
Etelään	MSE-puualumiini, kami 170, sel.lasi	11,1	1,4	0,55	0,75
Länteen	MSE-puualumiini, kami 170, sel.lasi	3,2	1,4	0,55	0,75
Tehollinen lämpökapasiteetti C_{rak omiv} Wh/(brm² K)		70			
Ilmanvaihto					
Rakennuksen ilmanvuotoluku n ₅₀		4	1/h		
Ilmanvaihdon poistomavirta		0,053	m ² /s		
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde		30	%		
Vedenkulutus					
Lämpimän käyttöveden kulutus		73	m ³ /vuosi		
Huoneistokohtainen vedenmittaus ja laskutus		kyllä	<input checked="" type="checkbox"/>	ei	<input type="checkbox"/>
Lämmitysjärjestelmät					
Lämmönkehitys	Kaukolämpö	sisältää käyttöveden lämmityksen		kyllä	<input checked="" type="checkbox"/>
Lämmönjakotapa	Vesikiertoinen lattialämmitys, 40/35 °C				
Lämmönvaraajat					
Lämpimän käyttöveden kiertojohdo		kyllä	<input checked="" type="checkbox"/>	ei	<input type="checkbox"/>
- kiertojohdoon on liitetty märkätilojen lämmityslaitteita		kyllä	<input type="checkbox"/>	ei	<input checked="" type="checkbox"/>
Energiätehokkuusluvun laskenta					
Lämmitysenergian kulutus		27 990 kWh/vuosi			
Laitesähköenergian kulutus		8 150 kWh/vuosi			
Jäähdytysenergian kulutus		kWh/vuosi			
Rakennuksen energiankulutus yhteensä		36 140 kWh/vuosi			
Rakennuksen energiatehokkuusluku		222 kWh/brm²/vuosi			

Liite 2. Energialuokan määrittämiseen tarvittavat lähtötiedot laskentakohteittain. (RakMK D5)

Laskentakohte	Tarvittavat lähtötiedot
Tilojen lämpöhäviöenergiat	Rakennusosien pinta-alat
	Rakennusten lämmönläpäisykertoimet
	Rakennuksen ilmatilavuus
	Ilmanvaihdon ilmavirrat
	Ilmanvaihtojärjestelmän käyntiajat
	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde
Käyttöveden lämmitystarve	Henkilöiden lukumäärä tai rakennuksen bruttopinta-ala
Lämmitysjärjestelmän lämpö-energiähäviöt	Rakennuksen bruttopinta-ala
	Yleistiedot lämmitysjärjestelmästä
Laitesähkönkulutus	Rakennustyyppi
	Rakennuksen bruttopinta-ala
Lämpökuormat	Rakennustyyppi
	Rakennuksen bruttopinta-ala
	Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat
	Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain sekä auringon säteilyn läpäisykerroin
	Rakennuksen lämpöhäviöenergiat
Lämmitysteho	Rakennusosien pinta-alat
	Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet
	Rakennuksen ilmatilavuus
	Ilmanvaihdon ilmavirrat
	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet mitoitustilanteessa
	Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama
	Lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet