

# Rakennuksen energiatehokkuus

Kim Koivula

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Hajautetut Energiajärjestelmät
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Kim Koivula
Työn nimi:	Rakennuksen energiatehokkuus
Työnohjaaja (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Toimeksiantaja:	
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Energiatehokkuus rakentamisessa on noussut hyvin ajankohtaiseksi aiheeksi, sillä ihmiset haluavat rakentaa itselleen mukavan sekä energiatehokkaan talon. Suomessa rakentamista säätelee ympäristöministeriön laatima rakentamismääräyskokoelma.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä käsitellään rakennuksen energiatehokkuutta, siihen vaikuttavia tekijöitä sekä energiatehokkuuden määrittämiseen käytettäviä työkaluja. Työssä käsitellään myös rakentamiselle asetettuja vaatimuksia, energiatehokasta talotekniikkaa sekä eri energiatalo muotojen vaatimuksia ja ominaisuuksia.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena on saada rakentajalle kokonaiskuva siitä mitä energiatehokkuus tarkoittaa ja siihen vaikuttavista tekijöistä.</p>	
Avainsanat:	Energiatehokkuus, rakentaminen, energiatalot
Sivumäärä:	38
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	30.5.2016

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade Energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Kim Koivula
Arbetets namn:	Rakennuksen energiatehokkuus
Handledare (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Energieffektivitet inom byggandet har stigit till ett aktuellt ämne, på grund av att människor vill bygga åt sig själv ett energieffektivt och bekvämt hem. I Finland regleras byggandet av byggnadsbestämmelser som är utarbetade av miljöministeriet.</p> <p>I detta arbetet behandlas byggnadens energieffektivitet, saker som påverkar det och verktyg som används för att bestämma energieffektiviteten. I arbetet behandlas också byggnadsbestämmelser, energieffektiv husteknik samt olika krav och egenskaper hos olika energihus.</p> <p>Syftet med arbetet är att få byggaren en helhetsbild av vad energieffektivitet betyder och vad som påverkar det.</p>	
Nyckelord:	Energieffektivitet, konstruktion, energi hus
Sidantal:	38
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	30.5.2016

DEGREE THESIS	
Arcada	
DegreeProgramme:	Distributed Energy Systems
Identificationnumber:	
Author:	Kim Koivula
Title:	Rakennuksen energiatehokkuus
Supervisor (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>Energy efficiency in the construction business has risen to a current issue because people want to build themselves an energy efficient and comfortable home. In Finland the construction of houses is regulated by the building regulations that are published by the Ministry of the environment.</p> <p>The energy efficiency of a house, factors that effect it and the tools that are used to measure energy efficiency are dealt with in this thesis. Also the building regulations, energy efficient building services and different features and requirements that are set for the different energy houses.</p> <p>The meaning of this thesis is to get the builder a good picture about what energy efficiency is and what factors will effect it.</p>	
Keywords:	Energy efficiency, construction, energy house
Number of pages:	38
Language:	Finnish
Date of acceptance:	30.5.2016

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ENERGIATEHOKKUUS</b> .....	<b>8</b>
2.1	Energiatehokas rakentaminen .....	8
2.1.1	<i>Energiatodistus</i> .....	11
2.1.2	<i>E-luku</i> .....	13
2.1.3	<i>Energiaselvitys</i> .....	14
2.1.4	<i>Energiatehokkuusvaatimukset</i> .....	15
2.2	Energiatehokkaat rakenteet .....	16
2.2.1	<i>Tiiviyys</i> .....	16
2.2.2	<i>Lämmöneristys</i> .....	18
<b>3</b>	<b>TALOTEKNIikka</b> .....	<b>21</b>
3.1	Ilmanvaihto .....	21
3.2	Lämmitys .....	24
<b>4</b>	<b>ENERGIATEHOKAS RAKENNUS</b> .....	<b>25</b>
4.1	Matalaenergiatalo .....	26
4.2	Passiivenergiatalo.....	27
4.3	Nollaenergiatalo.....	29
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>33</b>

## Kuvat

- Kuva 1: Energiankäytön jakautuminen suomessa. (Sivu 9)
- Kuva 2: Esimerkki täytetystä yhden asunnon talon energiatodistuksesta. (Sivu 12)
- Kuva 3: Ostoenergiankulutuksen taseraja. (Sivu 13)
- Kuva 4: Esimerkki rakennuksen e-luvun laskennasta. (Sivu 14)
- Kuva 5: Muuttuneet U-arvo vaatimukset 1976-2010 välillä. (Sivu 15)
- Kuva 6: Esimerkkejä rakennusten E-luku vaatimuksista. (Sivu 16)
- Kuva 7: Tyypillisiä ilmanvuotokohtia rakennuksessa. (Sivu 18)
- Kuva 8: Esimerkkejä rakenteiden suurimmista sallituista U-arvoista. (Sivu 19)
- Kuva 9: U-arvon parannuksen vaikutus rakennuksen ulkovaipan lämpöhäviöön. (Sivu 20)
- Kuva 10: Ristivirta-, vastavirtaperiaatteella toimivan lämmönsiirtimen sekä pyörivän lämmönsiirtimen ilmavirtojen suunta kennossa. (Sivu 23)
- Kuva 11: Suomalaisen kotitalouden keskimääräisen sähköenergiakulutuksen jakauma. (Sivu 24)
- Kuva 12: Lämpökamerakuvalla osoitettu kylmäsilta rakennuksen nurkassa. (Sivu 25)
- Kuva 13: Rakentamismääräysten mukaiset U-arvot ja ohjeelliset villa- tai polystyreenieriste paksuudet sekä vastaavat arvot matalaenergiatalolle. (Sivu 26)
- Kuva 14: Esimerkki matalaenergiatalon sekä passiivienergiatalon rakenteista. (Sivu 28)
- Kuva 15: Harkkorakenteisen passiivienergiatalon rakenteiden lämmönluovutus, verrattuna rakentamismääräysten mukaisen kevytrakenteisen talon rakenteiden lämmönluovutukseen. (Sivu 29)
- Kuva 16: Esimerkki nollaenergiatalon talotekniikka järjestelmästä. (Sivu 30)

# 1 JOHDANTO

Euroopan Unioni on asettanut jäsenmailleen yhteiset tavoitteet vähentää kasvihuonepäästöjä. Tavoitteiden yksi keskeisin tekijä on tavoite parantaa energiatehokkuutta 20% vuoteen 2020 mennessä. Rakennukset kuluttavat merkittävän osan kokonaisenergiankulutuksesta ja tästä johtuen rakennuksien energiatehokkuuden parantamisella on suuri merkitys tavoitteiden toteutumisen kannalta. Tästä johtuen energiatehokkuusvaatimuksia tullaan kiristämään entisestään matkalla kohti tavoitteita.

Suomessa uudisrakentamista ja korjausrakentamista säätelee ympäristöministeriön laatima rakentamismääräyskokoelma. Rakentamismääräyskokoelma sisältää yleiset edellytykset ja vaatimukset mitä rakentamiselle, energiatehokkuudelle ja rakennusten teknisille ominaisuuksille on asetettu. Rakentamismääräyskokoelmaa päivitetään vuosittain ja kokoelman energiavaatimuksia tiukennetaan sitä mukaan kuin rakentaminen kehittyy.

Opinnäytetyössäni olen tutkinut rakennuksien energiatehokkuutta, energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä energiatehokkuuden määrittämiseen käytettäviä työkaluja. Olen myös tutkinut millaisia ominaisuuksia eri energiataloilla voi olla.

Rakennusten energiatehokkuus on erittäin ajankohtainen aihe sillä ihmiset haluavat rakentaa kodistaan energiatehokkaan, koska se parantaa asumismukavuutta ja säästää ympäristöä sekä rahaa pitkällä aikajänteellä. Opinnäytetyössäni olen pääsääntöisesti keskittynyt pientaloihin sillä pientalorakentamisessa pienillä toimenpiteillä voidaan saavuttaa suuria eroja rakennuksen energiatehokkuuksissa.

## 2 ENERGIATEHOKKUUS

Energian käyttö on välttämätöntä asuinrakennuksessa. Energiaa tarvitaan muun muassa lämmitykseen, ilmanvaihtoon, lämpimän käyttöveden tuottamiseen, jäähdytykseen ja valaistukseen. Välttämättömän energiankulutuksen pienentäminen on yksi Euroopan Unionin tärkeimmistä tavoitteista, tähän pyritään tiukentamalla rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia.

Energiatehokkuudella kuvataan energian avulla saadun hyödyn suhdetta tarvittavaan energiapanokseen.

Energiatehokkuutta voidaan kuvailla:

- Taloudellisesta näkökulmasta
- Teknisestä näkökulmasta
- Energian laadun näkökulmasta
- Päästö- ja ilmastovaikutusten näkökulmasta
- Omavaraisuuden näkökulmasta [4]

Energiatehokkuutta voidaan parantaa, parantamalla energiankäytön hyötysuhdetta, tätä kutsutaan energiankäytön tehostamiseksi.

Energiankäytön tehostamisella tarkoitetaan sellaisten toimenpiteiden suorittamista jotka pienentävät energiamäärän tarvetta. Energiankäytön tehostamisen toimenpiteet eivät kuitenkaan saa vaikuttaa heikentävästi suoritteiden laatutekijöihin, kuten esimerkiksi sisäilmaston laatuun. [5]

### 2.1 Energiatehokas rakentaminen

Rakennusten energiankulutuksen pienentäminen sekä energiatehokkuuden tehostaminen on olennainen osa taistelua kasvihuonepäästöjä vastaan. Noin 40 prosenttia Euroopan Unionin kokonaisenergiakulutuksesta aiheutuu rakennusten energiankulutuksesta.

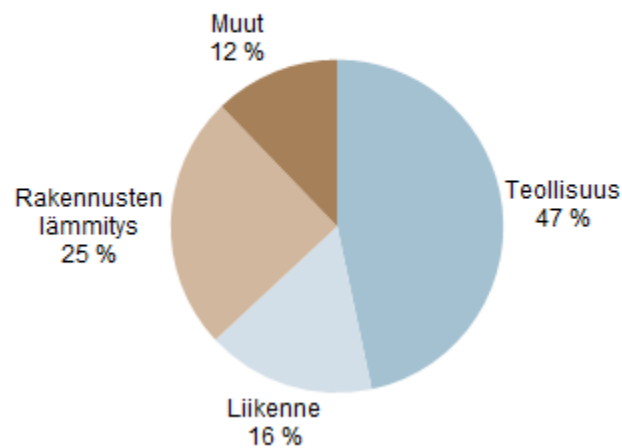


Rakennuksia rakennetaan koko ajan lisää mikä tarkoittaa myös energiankulutuksen lisääntymistä. Tämän takia rakennusten energiatehokkuuden parantamisella on merkittävä osuus matkalla EU:n energiatavoitteisiin. [1]

Suurin osa rakennusten energiantarpeesta koostuu talon lämmityksestä. Tämä tarkoittaa että olennainen osa energiatehokkaassa rakentamisessa on rakennuksen ulkovaipan tiivyyden sekä riittävän lämmöneristävyuden varmistaminen.

Vuonna 2014 Suomessa käytettiin noin 372 TWh energiaa josta noin 25% kului rakennusten lämmittämiseen [3]

Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2014



Kuva 1: Energiankäytön jakautuminen Suomessa 2014. [2]

Energiatehokkaan rakentamisen lähtökohtina voidaan pitää:

- Lämpöhäviöiden pienentämistä
- Sähkönkäytön tehostamista
- Ilmaisenergioiden käyttöä
- Energiankulutuksen ohjaamista
- Energiamuodon valintaa

[7]

Energiatehokasta rakennusta ei saavuteta ainoastaan yksittäisillä toimenpiteillä vaan se vaatii erilaisten kokonaisuuksien hallintaa. Keskeinen tekijä energiatehokkuudessa on rakennetekniikan sekä talotekniikan sovittaminen yhteen. Tämän saavuttamiseksi tulee valita yksinkertaisia, toimintavarmoja sekä yhteensopivia järjestelmiä.

Energiatehokkuuteen vaikuttaa moni tekijä niin arkkitehtisuunnittelussa, rakennesuunnittelussa kuin talotekniikkasuunnittelussa.

Arkkitehtisuunnittelussa vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- Rakennuksen sijainti
- Rakennus materiaalit
- Rakennuksen muoto

Rakennesuunnittelussa sen sijaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- Rakenteiden lämpötekniset ominaisuudet
- Rakenteiden kosteustekniset ominaisuudet
- Rakenteiden ilmatiiviys

Talotekniikkasuunnittelussa puolestaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- Lämmitysjärjestelmän valinta
- Ilmanvaihtojärjestelmän valinta
- Automaatiojärjestelmän valinta

[7]

Energiatehokas rakennus on käyttäjälleen mahdollisimman hyödyllinen sekä viihtyisä, kuitenkin aiheuttamatta suurta kuormitusta ympäristölle. Energiatehokkaan rakennuksen hyötyjä ovat muun muassa:

- Rakennuksen toimivuus sekä viihtyvyys
- Edulliset ylläpitokustannukset
- Pitkä elinkaari
- Korkeampi jälleenmyyntiarvo

### 2.1.1 Energiatodistus

Energiatodistus on todistus joka määrittää rakennuksen energiatehokkuuden. Energiatodistus perustuu Euroopan Unionin direktiiviin jolla EU-maat pyrkivät rakennusten energiatehokkuutta parantamalla vähentämään kasvihuonepäästöjä. Uudisrakentamisessa on käytetty energiastodistusta jo vuodesta 2008 lähtien, vuodesta 2009 se on ollut käytössä myös suurten rakennusten myynti- sekä vuokraustilanteissa.

Energiatodistuksesta tulee selvittää seuraavat laskennat:

- Rakennuksen pinta-alat (seinät, ikkunat, ylä- ja alapohjat)
- Rakennusosien U-arvot
- Massiivisuus rakennuksen ominaisuuksien pohjalta
- Ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän hyötysuhteet
- Lämpökuormat
- Uusiutuvan energian osuus [12]

Energiatodistus on laskennallinen ja se perustuu pelkästään rakennuksen ominaisuuksiin. Huomioon otettavia seikkoja ovat rakennuksen lämmöneristys, ikkunat, ilmanvaihto sekä lämmitys, asukkaiden energiankulutustottumuksia ei huomioida.

Laskennallinen vertailu mahdollistaa erilaisten rakennusten energiatehokkuuden vertailun. [12]

Energiatodistuksen avulla pystytään vertailemaan eri rakennuksien sekä myyntitilanteissa että vuokraustilanteissa. [6]

Energiatodistuksen laati aina pätevä henkilö, joka on rekisteröity energiastodistusten laatijoista pidettävään rekisteriin.

# ENERGIATODISTUS

Todistustunnus: A12345 Valmistumisvuosi: 1977  
Rakennustunnus: 427403217 D 001

Rakennuksen käyttötarkoitus: Yhden asunnon talo

Rakennuksen nimi ja osoite:

oma koti  
Mallikatu 1, 12345 Malliainen

Vähän kuluttava	E-luokka
A	
B	
C Uudisrakennus 2012	
D	
E	E
F	
G	
Paljon kuluttava	

E-luku on 325 kWh/m<sup>2</sup>  
Luokittelustaikko: Luokka 1 Erilliset pientalot  
E-luku perustuu rakennuksen laskennalliseen energiankulukseen eri energiamuodoilla painotettuna. Toteutunut energiankulutus riippuu esimerkiksi käyttäjien lukumäärästä ja käyttötottumuksista.

Todistuksen laatija:  
Eero Energiakonsultti

Yritys:  
Eeron Energiakonsultit Oy

Allekirjoitus:

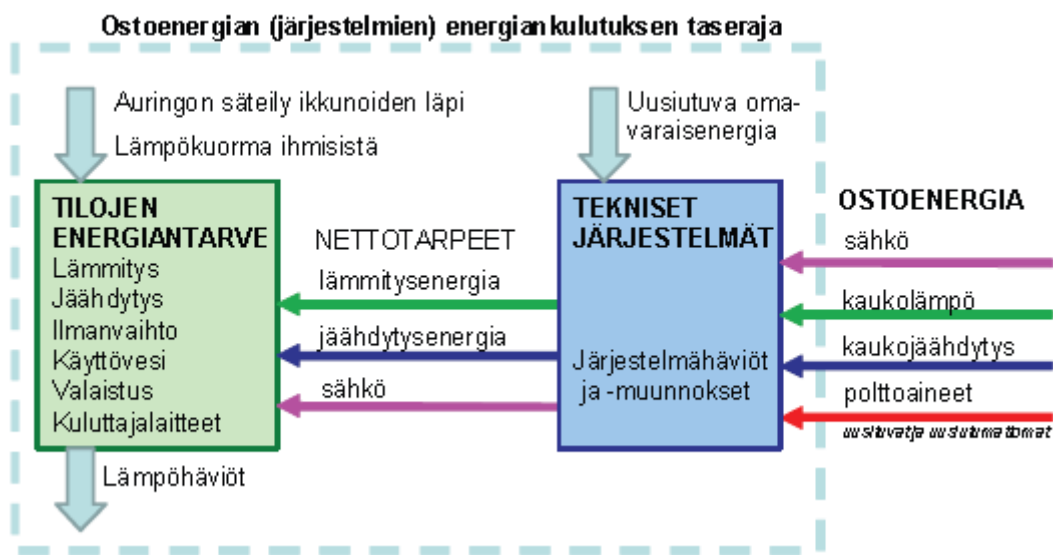
Todistuksen laatimispäivä:  
15.4.2012

Viimeinen voimassaolopäivä:  
15.4.2022

Kuva 2: Esimerkki täytetystä yhden asunnon talon energiatodistuksesta. [18]

## 2.1.2 E-luku

E-luku otettiin käyttöön vuonna 2012 kun uudet rakennusmääräykset astuivat voimaan. E-lukua käytetään kuvaamaan rakennuksen kokonaisostoenergian kulutusta lämmitettyä nettoalaa kohden. Ostoenergialla tarkoitetaan sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta ja uusiutuvista tai fossiilisista polttoaineista saatavaa energiaa. Omavaraisenergioita kuten esimerkiksi aurinkoenergiaa ei huomioida e-luvun laskennassa.



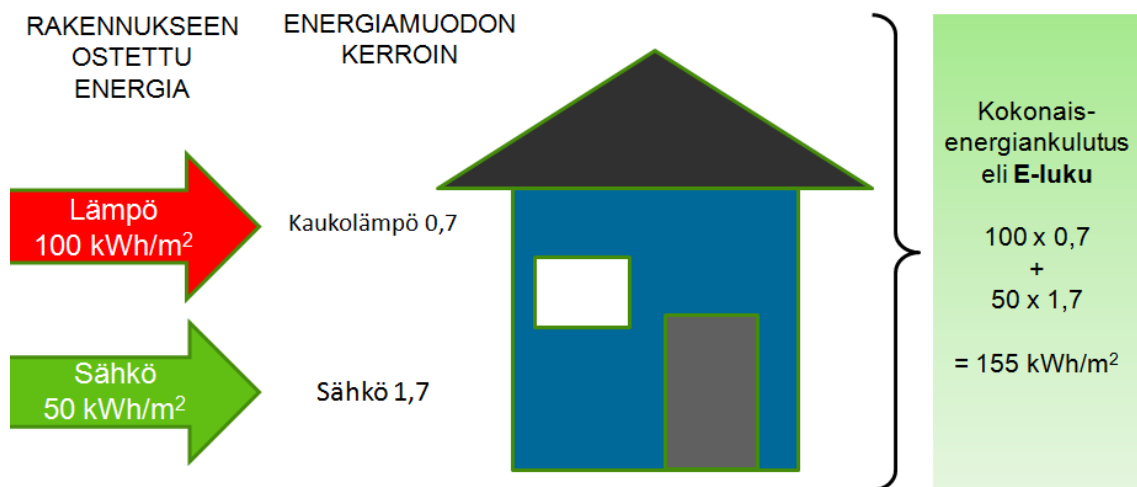
Kuva 3: Ostoenergiankulutuksen taseraja. (Määrittää missä kulkee ostoenergian raja) [10]

E-luvun laskentaa varten on määritetty eri kertoimia erilaisille ostoenergiamuodoille, tällä pyritään suosimaan uusiutuvia energiamuotoja.

### Energiamuotojen kertoimet

- Sähkö, 1.7
- Kaukolämpö, 0.7
- Kaukojäähdytys, 0.4
- Fossiiliset polttoaineet, 1.0
- Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet, 0.5

[9]



Kuva 4: Esimerkki rakennuksen E-luvun laskennasta [11]

### 2.1.3 Energiaselvitys

Energiaselvityksen avulla arvioidaan rakennuksen tulevaa energiatehokkuutta. Energiaselvitys on tehtävä rakennuksen suunnitteluvaiheessa ja se on esitettävä rakennuslupahakemuksessa. Energiaselvitys on päivitettävä sekä varmennettava pääsuunnittelijalla ennen rakennuksen käyttöönottoa.

Rakennuslupahakemukseen liitettävä energiaselvitys sisältää yleensä seuraavat tarkastellut:

- Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus
- Ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho
- Rakennuksen lämmitysteho
- Arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja tarvittaessa jäähdytysteho
- Rakennuksen energiankulutus ja ostoenergiakulutus
- Rakennuksen energiatodistus [19]

## 2.1.4 Energiatehokkuusvaatimukset

Rakentamismääräysten vaatimukset kiristyvät jatkuvasti kun rakentamisessa pyritään kohti nollaenergiarakentamista. Rakennusmääräyksien tavoitteena on rakennusten energiatehokkuuden parantaminen sekä uusiutuvien energiamuotojen käytön edistäminen.

Suomen rakentamismääräysten energiatehokkuusvaatimukset määräytyvät Euroopan Unionin energialainsäädännön mukaan. Suomen rakentamismääräysten osa D3 määrittää energiatehokkuusvaatimukset rakentamisessa sekä asettaa säännöt energianlaskennalle. [8]

Energiatehokkuusvaatimukset ovat kiristyneet vuosien mittaan uusien rakennusmenetelmien, uusien materiaalien sekä ilmastonmuutoksen myötä. Vaatimusten kiristyksissä on keskitytty suurimmaksi osaksi rakenteiden lämmöneristysten parantamiseen sekä tiiviyden parantamiseen.

### U-arvo vaatimuksien muutos 1976-2010

Vuosiluku	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä, U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja, U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja, U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna, U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	2,10	2,10	2,10	1,40	1,40	1,00
Ovi, U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	-	-	-	1,40	1,40	1,00

Kuva 5: Muuttuneet U-arvo vaatimukset 1976-2010 välillä. [16]

01.07.2012 voimaan tulleiden uusimpien määräysten myötä on siirrytty kokonaisenergiatarkasteluun. Kokonaisenergiatarkastelu perustuu energiatehokkuuden kokonaisvaltaiseen suunnitteluun, tämä tarkoittaa että rakennukselta vaaditaan muutakin kuin hyvää lämmöneristystä. Uusien määräysten mukaan rakennukselle lasketaan E-luku missä käytetyt energiamuodot sekä rakennuksen pinta-ala otetaan huomioon. E-luvulle on määräyksissä asetettu tietty vaatimustaso jonka saavuttamistapaa ei ole rajoitettu, tästä johtuen uudet määräykset eivät rajoita rakentajaa vaan päinvastoin avaa uusia mahdollisuuksia energiatehokkaan rakennuksen saavuttamiseksi. [17]

## Rakennusten E-luku vaatimukset

Talotyyppi	Lämmitetty nettoala, A(netto)	kWh/m <sup>2</sup> vuodessa
Pientalo	$A(\text{netto}) < 120\text{m}^2$	204
Pientalo	$120\text{m}^2 > A(\text{netto}) < 150\text{m}^2$	$372 - 1,4 \times A(\text{netto})$
Pientalo	$150\text{m}^2 > A(\text{netto}) < 600\text{m}^2$	$173 - 0,07 \times A(\text{netto})$
Pientalo	$600\text{m}^2 > A(\text{netto})$	130
Rivi- ja ketjutalo	-	150
Asuinkerrostalo	-	130
Toimistorakennus	-	170
Liikerakennus	-	240
Majoitusliikerakennus	-	240
Opetusrakennus ja päiväkot	-	170
Liikuntahalli	-	170
Sairaala	-	450

Kuva 6: Esimerkkejä rakennusten E-luku vaatimuksista. [9]

## 2.2 Energiatehokkaat rakenteet

Rakennuksen rakenteiden ilmantiiviyys sekä lämmöneristävyys ovat tärkeä osa energiatehokkaan rakennuksen toteutusta. Suomen ilmasto altistaa rakenteet hyvinkin vaativille ja vaihteleville sääolosuhteille. Talvisin on kylmä, tämän myötä lämmöneristävyys tulee olla hyvin toteutettu, kun taas kesällä on kuuma joten rakennus tulee myös saada tehokkaasti viilennettyä jotta asumismukavuus ei kärsi.

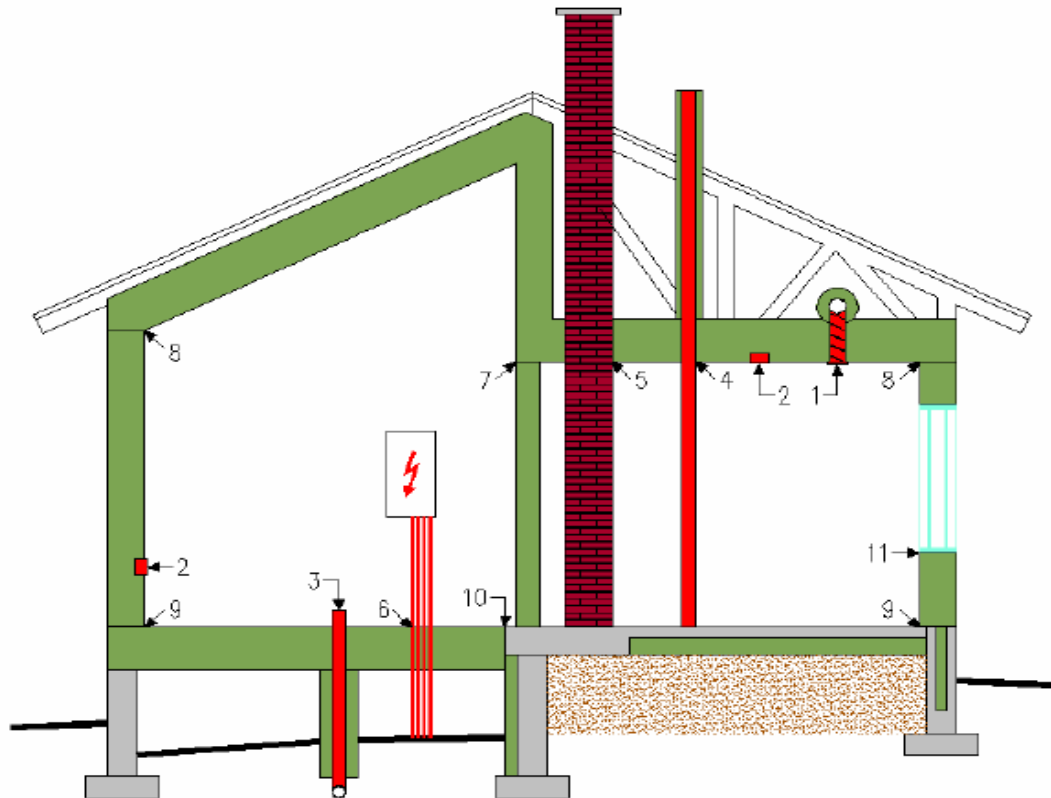
### 2.2.1 Tiiviys

Rakennuksen ulkovaipan rakenteiden sekä liitosten kautta vuotava ilma on erittäin tärkeässä roolissa rakennuksen energiatehokkuutta silmällä pitäen, mitä suurempi vuotoilman määrä on sitä suuremmaksi myös lämpöhäviöt kasvavat. Energiatehokkaan rakennuksen ulkovaipan tulee siis olla ilmatiivis, jotta säästytään ylimääräisiltä lämpöhäviöiltä.



Rakennuksen ilmatiiveys pystytään mittaamaan luomalla paine-ero sisätilojen sekä ulkotilojen välille, jonka jälkeen mittauslaitteistolla saadaan tulokseksi ilmantiiveysluku, eli n50-luku. N50-luku määrittää kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuuden verran ilmaa, vuotaa ulkovaipan läpi tunnissa. N50-luvun yksikkö on 1/h eli kertaa tunnissa.

Mittaamattoman rakennuksen ilmantiiveysluvuksi oletetaan 4,0 1/h. Energiatehokkaan rakennuksen ilmantiiveysluku tulisi olla 1,0 1/h tai pienempi, tämä tuottaa noin 20% energiansäästön 4,0 1/h arvoon verrattuna. Passiivitalon ilmantiiveysvaatimus on enintään 0,6 1/h. [13]



- 1 Ilmansulun ulkopuolelle tehtyjen IV-asennusten läpiviennit
- 2 Ilmansulun ulkopuolelle tehtyjen sähköasennusten läpiviennit
- 3 Viemäreiden läpiviennit alapohjassa
- 4 Viemärin tuuletusputken läpivienti yläpohjassa
- 5 Savuhormin läpivienti yläpohjassa
- 6 Sähköpääkeskuksen johtojen läpiviennit alapohjassa
- 7 Kantavien väliseinien liittymät
- 8 Ulkovaipparakenteiden liittymät
- 9 Elementtien saumat
- 10 Tuulettuvan ja maanvaraisen alapohjan liittymä
- 11 Ikkunoiden ja ovien liittymät

Kuva 7: Tyypillisiä ilmanvuotokohtia rakennuksessa. [23]

### 2.2.2 Lämmöneristys

Rakennuksen lämmöneristysten suunnittelussa kannattaa jo nyt miettiä rakennusmääräyksiä energiatehokkaampia ratkaisuja. Hyvä lämmöneristys on tehokas ja edullinen tapa vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen rakennusvaiheessa.

Lämmöneristyksen laatua mitataan lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla. Lämmönläpäisykertoimen yksikkö on  $W/m^2K$  ja sen avulla määritetään lämpövirta joka jatkuvuustilassa läpäisee pintayksikön suuruisen rakenteen. [14]

### Suurimmat sallitut U-arvot kylmän ja lämpimän tilan välisissä rakenteissa

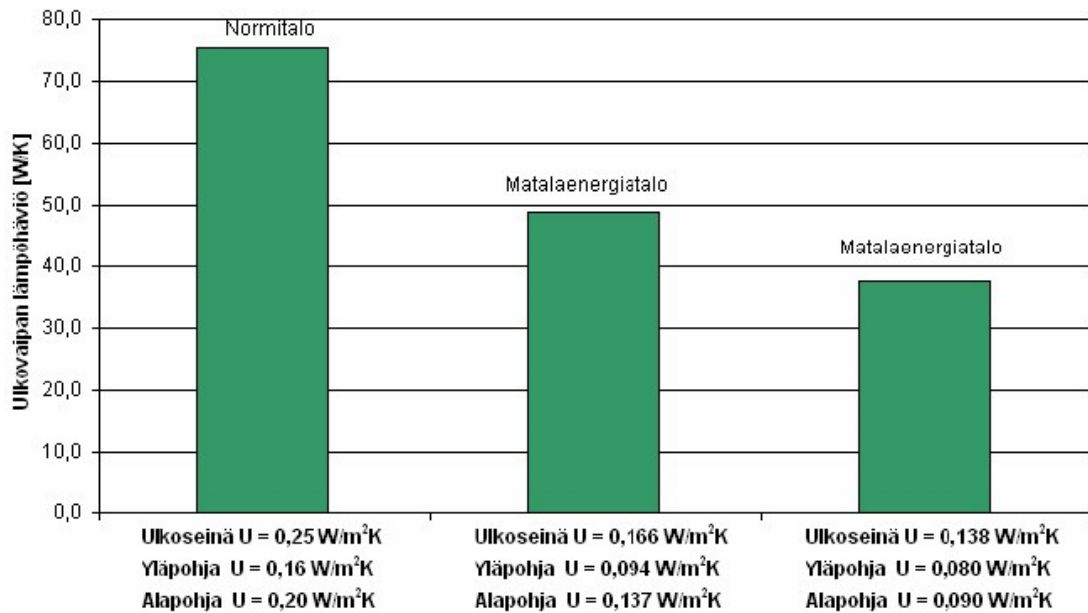
<b>Rakennusosa</b>	<b>U-arvo, <math>W/m^2K</math></b>
Seinä	0,17
Hirsiseinä	0,40
Yläpohja, ulkoilmaan	0,09
Alapohja, ryömintätilaan	0,17
Rakennusosa maata vasten	0,16
Ikkuna, ovi	1,00

### Suurimmat sallitut U-arvot puolilämpimän ja lämpimän tilan välisissä rakenteissa

<b>Rakennusosa</b>	<b>U-arvo, <math>W/m^2K</math></b>
Seinä	0,26
Hirsiseinä	0,60
Yläpohja, ulkoilmaan	0,14
Alapohja, ryömintätilaan	0,26
Rakennusosa maata vasten	0,24
Ikkuna, ovi	1,4

Kuva 8: Esimerkkejä rakenteiden suurimmista sallituista U-arvoista. [33]

Suurin osa lämpöhäviöistä koostuu yläpohjan sekä seinien lämpöhäviöistä, sillä lämpötilaero alapohjan ja maa-aineen välillä on huomattavasti pienempi kuin seinien ja yläpohjan lämpötilaero ulkoilman välillä. Alapohjan hyvä lämmöneristys on kuitenkin tärkeää, sillä se vaikuttaa olennaisesti rakennuksen asumisviihtyvyyteen.



Kuva 9: U-arvon parannuksen vaikutus rakennuksen ulkovaipan lämpöhäviöön. Esimerkissä on käytetty lämpötilaerona 1 astetta ja ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöitä ei ole huomioitu. [23]

Lämmöneristeen suunnittelussa tulee olla tarkkana, sillä liika lämmöneristys huonontaa rakenteiden kosteusteknisiä ominaisuuksia. Lämmöneristyksen parantuessa, rakenteen ulko-osat viilenevät mikä vuorostaan lisää kosteuden kondensoitumista, tämä luo hyvät olosuhteet homeen kasvulle rakenteissa. Lämmöneristeen lisääminen johtaa myös jäädytystarpeen lisääntymiselle rakennuksessa, tämä vähentää merkittävästi eristämisen hyötyä energiakulutusta silmällä pitäen. [15]

### 3 TALOTEKNIikka

Talotekniikalla tarkoitetaan kiinteistön teknisiä järjestelmiä ja laitteita kuten:

- Ilmanvaihtoa
- Vesi- ja viemärijärjestelmää
- Lämmitysjärjestelmää
- Jäähdytysjärjestelmää
- Energiantuotanto laitteita
- Valaistusta

Nämä järjestelmät ovat myös melko tarkasti säädeltävissä toimivan automaatiojärjestelmän avulla. Vaikka osa talotekniikasta toimii automaattisesti niin talon omistajan täytyy tietää miten eri talotekniikkajärjestelmiä säädetään sekä huolletaan. Tästä johtuen myös talon asukkaalla on vaikutus energiatehokkuuteen.

Kuten aikaisemmin on jo todettu, rakennuksen energiatehokkuus ei johdu ainoastaan yhdestä osa-alueesta, vaan se vaatii rakennuksen suunnittelua kokonaisuutena. Suunnitelmalla talotekniikkajärjestelmä huolella ja sovittamalla se saumattomasti muuhun rakennustekniikkaan saavutetaan paras mahdollinen lopputulos energiatehokkuuden kannalta. Toimivan ja energiatehokkaan ilmanvaihdon tehtävä on pitää rakennuksen sisäilmasto miellyttävänä sekä johtaa ylimääräinen kosteus hallitusti ulos rakennuksesta, jolloin kosteus ei tunkeudu rakenteisiin ja aiheuta ongelmia. Lämmityksessä taas on huomioitava mitä energiamuotoa käytetään sekä lämmöntalteenoton toimivuus. Tiivien rakenteiden avulla taas saadaan sisäilmaston lämpö-, ilma- sekä kosteusolosuhteet pidettyä toivotulla tasolla.

#### 3.1 Ilmanvaihto

Hyvä ilmanvaihto perustuu siihen että likainen ilma sekä kosteus johdetaan hallitusti ulos likaisista tiloista kuten kylpyhuoneesta, keittiöstä ja WC:stä, ja puhdasta ilmaa puhalletaan oleskelutiloihin kuten olohuoneeseen ja makuhuoneisiin. Edellä mainittujen toimenpiteiden avulla saadaan sisäilmastoon miellyttävä lämpötila sekä kosteusprosent-

ti. Oleskelutilojen lämpötila tulisi olla noin 21 astetta ja kosteusprosentin ei tulisi ylittää 45%. [28]

Ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko koneellisesti tai painovoimaisesti, kummatkin järjestelmät perustuvat paine-eroon. Painovoimaisen ilmanvaihdon perustana toimii tuulen ja lämpötilaeron yhteisvaikutuksena syntyvä paine-ero. Painovoimaimen ilmavaihto ei kuitenkaan ole yhtä toimiva ja energiatehokas vaihtoehto kuin koneellinen ilmanvaihto, tästä syystä energiatehokkaissa rakennuksissa käytetään järjestelmällisesti koneellista ilmanvaihtoa. Koneellisessa ilmanvaihdossa luodaan paine-ero rakennuksen sisätilan ja ulkotilan välille puhaltimien avulla.

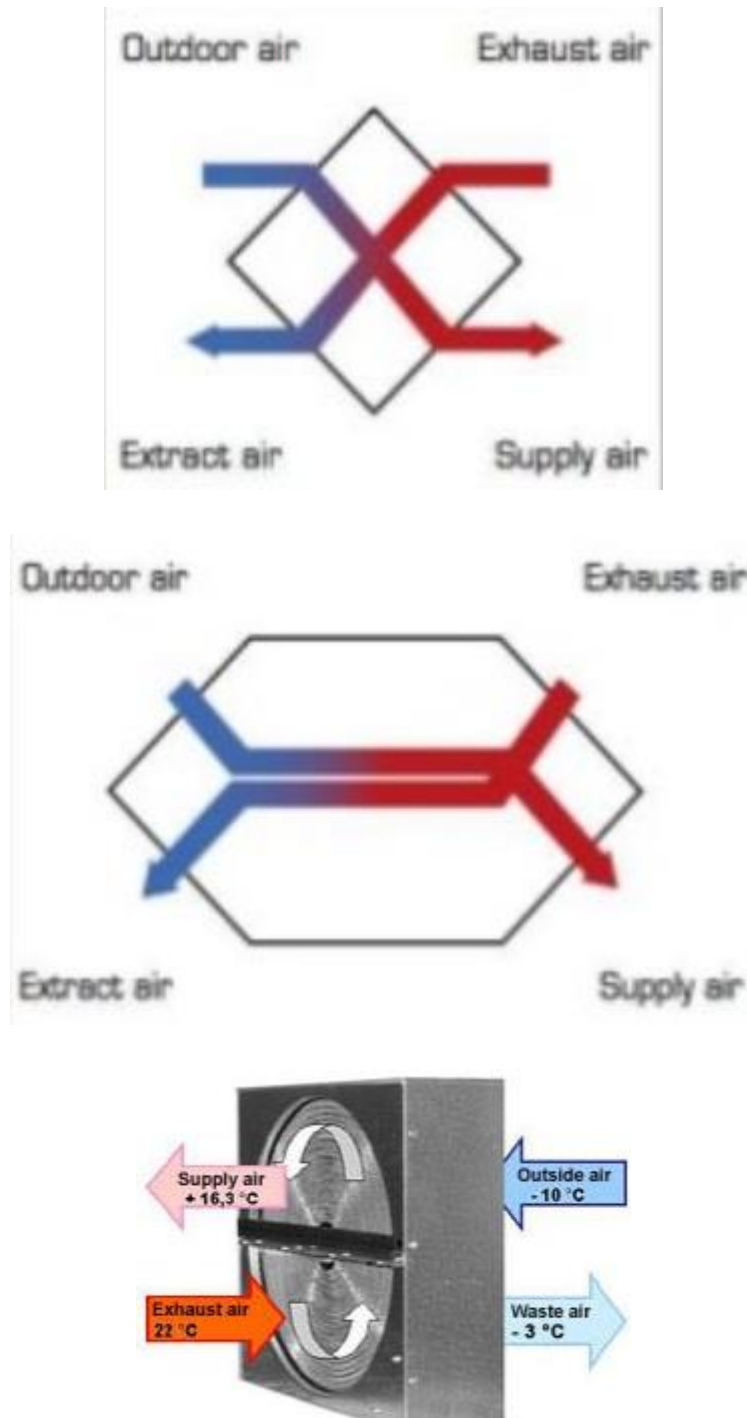
Ilmanvaihdon ilmamäärät mitoitetaan joko arvioidun henkilökuormituksen tai huoneen pinta-alan mukaan, tästä huolimatta tulisi ilmanvaihdolle silti varata vähintään noin 30% tehostusvaraa. Mikäli pientalon ilmavirrat mitoitetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti tulee ilmavirraksi keskimäärin noin  $0.35 \text{ dm}^3/\text{s} / \text{m}^2$ . [29]

Tehokas lämmöntalteenotto sekä hyvä säädettävyyden on olennaista ilmanvaihdon energiatehokkuuden kannalta. Lämmöntalteenotto perustuu siihen, että lämpöä siirretään likaisesta ja lämpimästä ilmasta, viileään ja puhtaaseen ilmaan, tämä vähentää tuloilman lämmitystarvetta. Lämmöntalteenotto toteutetaan pientaloissa useimmiten ristivirta-, vastavirtaperiaatteella toimivilla levylämmönsiirtimillä, myös pyörivä lämmöntalteenottoa käytetään.

Ristivirta- sekä vastavirtaperiaatteella toimivien levylämmönsiirtimien käytössä likainen ja puhdas ilma eivät pääse kosketukseen toistensa kanssa, tästä johtuen likaista ilmaa ei vahingossa sekoitu puhtaaseen ilmaan. Pyörivässä lämmöntalteenotossa puolestaan likainen ja puhdas ilma pääsevät kosketuksiin samojen osien kanssa, tätä kautta saadaan myös tarvittaessa kosteutta siirrettyä likaisesta ilmasta puhtaaseen. Koska likainen ja puhdas ilma pääsevät kosketuksiin samojen osien kanssa, ei pyörivää lämmöntalteenottoa suositella kovin likaisen poistoilman lämmöntalteenottoon.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on hyvä. Ristivirtalämmönsiirtimellä varustetun ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhde on noin 45-50%, vastavirta lämmön-

siirtimellä varustetun ilmanvaihtokoneen noin 70-75% ja pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetun ilmanvaihtokoneen noin 70-75%. [29]



Kuva 10: Ristivirta-, vastavirtaperiaattella toimivan lämmönsiirtimen sekä pyörivän lämmönsiirtimen ilmavirtojen kierto kennossa. [30, 31]

## 3.2 Lämmitys

Jokainen asuinrakennus tarvitsee lämmitystä enemmän tai vähemmän. Kuten aikaisemmin jo todettu, vuonna 2014 noin 25% koko suomen energiakulutuksesta käytettiin rakennuksien lämmitykseen, tästä johtuen rakennuksen lämmitysjärjestelmän energiatehokkuus on erittäin suuressa merkityksessä energiakulutuksen näkökannalta. [2]

Rakennuksen lämmittämiseen kuluu noin 52% koko rakennuksen käyttämästä energiasta. [32]



Kuva 11: Suomalaisen kotitalouden keskimääräisen sähköenergiakulutuksen jakauma. [32]

Rakennuksen lämmityksen energiatehokkuuteen vaikuttaa moni tekijä, kuten rakenteiden lämmöneristys ja tiiviys, lämmitysjärjestelmän valinta, energiatehokas laitteisto sekä asianmukainen huolto ja ohjaus. Suurimmat vaikuttavat tekijät energiatehokkuuden kannalta ovat rakenteiden tiiviys ja lämmöneristys, sillä nämä määrittävät rakennuksen lämmitysenergian tarpeen.

Lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden kannalta on tärkeää että se on järjestetty hyvin. Energian tulisi olla helposti saatavilla, halpaa sekä uusiutuvaa ja ympäristöystävällistä. Kaukolämpö sekä maalämpö ovat suosituimpia energiantuotantomuotoja energiatehokkaassa rakentamisessa. Kaukolämpö on sähkön ja lämmön yhteistuotannosta hyötykäytettyä hukkalämpöä, maalämmössä käytetään maaperään varastoitunutta energiaa.



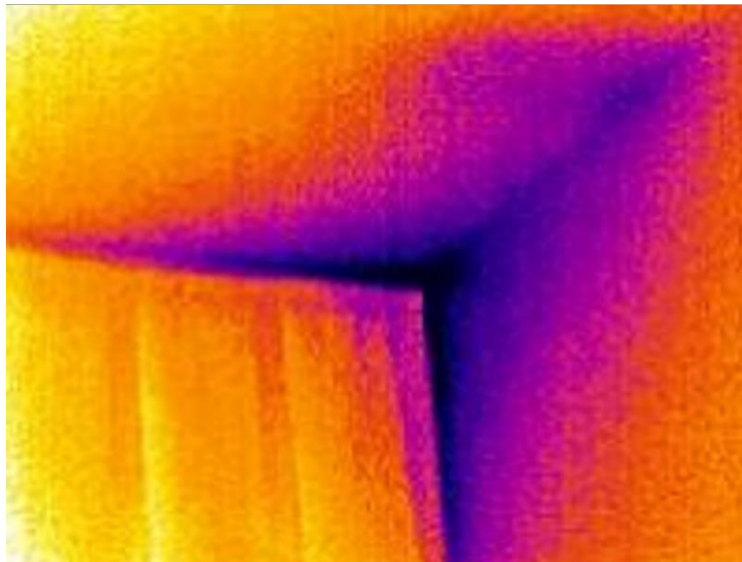
## 4 ENERGIATEHOKAS RAKENNUS

Energiatehokas rakentaminen on lisääntynyt paljon sillä ihmiset haluavat itselleen terveellisen sekä kestävän talon. Pientalojen uudisrakentamisen ympärille on syntynyt uusia käsitteitä kuten matalaenergiatalo, passiivienergiatalo ja nollaenergiatalo, näitä kutsutaan energiataloiksi.

Energiatehokas talo perustuu muun muassa lämpöhäviöiden minimointiin, ilmavuotojen minimointiin, hyvään ilmanvaihtoon sekä tehokkaaseen ilmanvaihdon lämmöntalteenottoon, optimoituun lämmitysjärjestelmään ja tarpeiden mukaan suunniteltuun pinta-alaan.

Rakennuksen suunnitteluvaiheessa tulee miettiä huolella tilantarvetta, tilantarvetta suunnitellessa tulee myös ottaa tulevaisuuden tarpeet huomioon. Hyvin suunniteltu tilantarve parantaa asumisenaikaista energiatehokkuutta sillä hukkaneliöitä ei tällöin synny. Pienempi rakennuspinta-ala näkyy myös suoraan rakennuskustannuksissa, ”Mikä on rakennuksen halvin neliö? Se neliö jota ei tarvitse rakentaa.” näin sanoo Toni Kekki matalaenergiatalon suunnitteluohjeessaan vuonna 2009.

Energiatehokkuuden näkökulmasta suorakulmainen rakennus on paras vaihtoehto. Jokainen kulma ja nurkka on lämpöhäviöiden sekä ilmanvuodon kannalta haastavia, näiden kohtien suunnittelu sekä toteutus tulee tehdä huolella. [21]



Kuva 12: Lämpökamerakuvalla osoitettu kylmäsilta rakennuksen nurkassa [20]

Rakennuksen sijainti on myös otettava huomioon suunnitteluvaiheessa. Energiantehokkuuteen rakennuksen sijainnissa vaikuttaa esimerkiksi:

- Onko rakennus auringossa vai varjossa
- Onko rakennusmaaperä kosteaa vai kuivaa
- Millaiset tuuliolosuhteet kohdistuvat rakennukseen

Energiatehokas rakennus saavutetaan parhaiten, hyvän suunnittelun ja laadukkaan toteutuksen johdolla. [21]

## 4.1 Matalaenergiatalo

Matalaenergiatalon rakentaminen on Suomessa arkipäivää. Useailta talopakettien valmistajilta löytyy jo valmiita matalaenergiatalopaketteja. Matalaenergiatalon energiankulutus on huomattavasti pienempi kuin normitalon.

Matalaenergiataloksi luokitellaan, vanhan mutta yleisesti käytetyn määritelmän mukaan, talo joka käyttää puolet vähemmän lämmitysenergiaa verrattuna rakentamismääräyksien minimitasoon mukaan rakennettuun taloon. 2010 voimaan tulleiden uusien rakentamismääräysten tiukentumisen myötä myös matalaenergiatalon määritelmä muuttui. Uusien määräysten mukaan matalaenergiatalon laskennalliset lämpöhäviöt saavat olla enintään 85% talolle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Matalaenergiatalon lämmitystarve on noin 40-60 kWh/brm<sup>2</sup>,a (kilowattituntia bruttoalaa kohti vuodessa).

Rakennusosa	Normitalo		Matalaenergiatalo	
	U-arvo	Eristepaksuus	U-arvo	Eristepaksuus
Ulkoseinä	0,24 W/m <sup>2</sup> K	150 - 200mm	0,13 - 0,15 W/m <sup>2</sup> K	250 - 350mm
Yläpohja	0,15 W/m <sup>2</sup> K	300mm	0,08 - 0,12 W/m <sup>2</sup> K	400 - 500mm
Alapohja	0,25 W/m <sup>2</sup> K	100 - 150mm	0,13 - 0,15 W/m <sup>2</sup> K	200 - 300mm
Ovi	1,40 W/m <sup>2</sup> K	-	0,4 - 0,5 W/m <sup>2</sup> K	-
Ikkuna	1,40 W/m <sup>2</sup> K	-	1,0 - 1,3 W/m <sup>2</sup> K	-

Kuva 13: Rakentamismääräysten mukaiset U-arvot ja ohjeelliset villa- tai polystyreenieriste paksuudet sekä vastaavat arvot matalaenergiatalolle. [21]

Matalaenergiatalon tulee olla erittäin ilmatiivis, sillä suuret ilmavuodot tuottavat enemmän lämpöhäviöitä ja lämmitystarve nousee. Matalaenergiatalon ilmanvuotoluku tulisi

olla alle 0.6 l/h, tämän hetkiset rakentamismääräykset sallivat ilmanvuotoluvun 2.0 l/h asti. [21]

Matalaenergiatalo pystytään rakentamaan nykyisiä rakentamismääräyksiä noudattamalla ja lisäämällä vähän rakennepaksuuksia u-arvojen parantamiseksi.

## 4.2 Passiivienergiatalo

Passiivienergiatalo on talo joka on optimoitu säästämään energiaa. Yleisen määritelmän mukaan passiivienergiatalo ei tarvitse lämmitysenergiaa eikä jäähdytysenergiaa. Keski-Euroopan ilmastossa tähän tavoitteeseen on kustannustehokkaasti mahdollista päästä mutta Suomen ilmastossa ei vielä pystytä rakentamaan kustannustehokkaasti täysin passiivienergiataloja. Passiivienergiatalo on ikään kuin välivaihe matkalla kohti nollaenergiatalojen ja plusenergiatalojen rakentamista.

Etelä-Suomessa passiivienergiatalon lämmitysenergian tarve on noin 20 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa kun taas Pohjois-Suomessa vastaava luku on noin 30 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa.

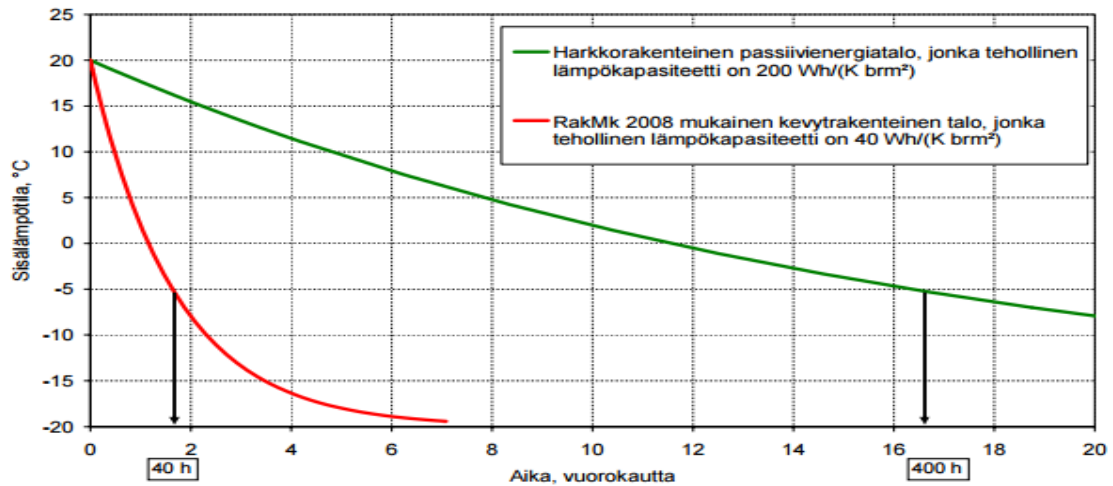
Passiivitalolle tyypillisiä ominaisuuksia ovat:

- Erittäin hyvä lämmöneristys
- Erittäin ilmatiiviit rakenteet
- Ilmanvaihdon tehokas lämmöntalteenotto
- Varaavan massan hyödyntäminen
- Ilmaisenergioiden tehokas hyödyntäminen



Kuva 14: Esimerkki matalaenergiatalon sekä passiivienergiatalon rakenteista. [27]

Passiivienergiatalossa rakennusmassaa hyödynnetään ilmaisten lämpökuormien varastointiin ja lämmön luovutukseen. Raskaaseen rakennusmassaan varastoidut lämpökuormat hidastavat talon viilenemistä talvella tehokkaasti ja vähentää tätä myöten merkittävästi ostoenergian tarvetta. 80% harkkorakenteisen passiivienergiatalon lämmitystarpeesta tulee lämpökuormien hyödyntämisestä. [22]



Kuva 15: Harkkorakenteisen passiivenergiatalon rakenteiden lämmönluovutus, verrattuna rakentamismääräysten mukaisen kevytrakenteisen talon rakenteiden lämmönluovutukseen. [22]

Passiivenergiatalon kustannustehokas perusratkaisu talotekniikan osalta on ilmanvaihtolämmitys joka täydennetään käyttövesivaraajalla. Ilmanvaihtolämmitys perustuu hallittuun koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon. Lämmöntalteenoton ansiosta ulospuhallettavan ilman sisältämä lämpö hyödynnetään erittäin tehokkaasti sisään otettavan ilman lämmittämiseen.

Ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän lämpötilojen säätökyky on hyvä. Ilmanvaihdon säätö pystyy nopeasti reagoimaan muuttuviin olosuhteisiin mikä parantaa niin energiatehokkuutta kuin asumismukavuutta.

Passiivenergiatalon saavuttaminen vaati suunnitteluvaiheessa saumatonta yhteistyötä eri alojen suunnittelijoiden välillä. Passiivenergiatalo tulee talotekniikkajärjestelmineen suunnitella kokonaisuutena jotta haluttu lopputulos saavutetaan. [22]

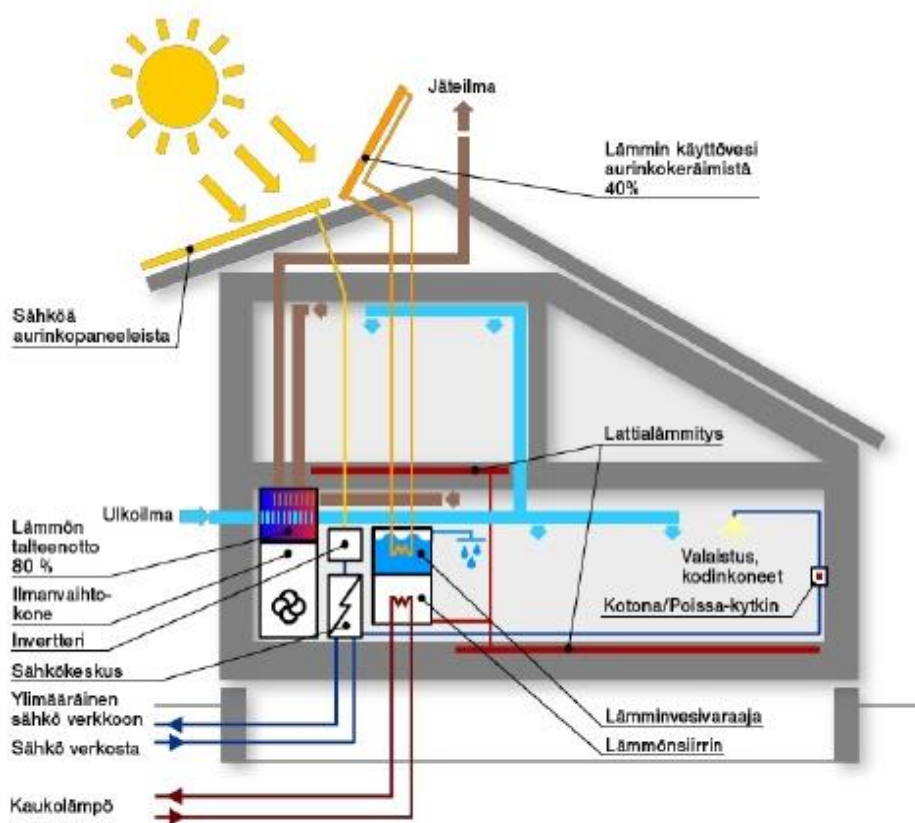
### 4.3 Nollaenergiatalo

Nollaenergiatalosta puhuttaessa voidaan tarkoittoa kahta asiaa: nettonollaenergiataloa tai lähes nollaenergiatalo. Nettonollaenergiatalo on rakennus joka tuottaa uusiutuvaa energiaa verkostoihin syötettäväksi yhtä paljon kuin rakennus käyttää ulkopuolelta ostettua energiaa. Nettonollaenergiatalon energiatase lasketaan vuositasona. Energioiden,

kuten kiinteistösähkön sekä tilojen ja käyttöveden lämmityksen, minimointi on edellytys nettonollaenergiatalon rakentamiselle.

Lähes nollaenergiatalo on talo joka kuluttaa erittäin vähän energiaa ja jossa merkittävä osa rakennuksen energiantarpeesta on tuotettu lähistöllä, uusiutuvien energiamuotojen avulla. Lähes nollaenergiatalolle ei ole määritelty mitään yhteistä vaatimisarvoa vaan vaatimusten täytyminen katsotaan tapauskohtaisesti. [24]

Nollaenergiatalon energiankulutus tulee olla erittäin pieni jotta sama energiamäärä pystytään kustannustehokkaasti tuottamaan paikallisesti. Nollaenergiatalon energiankäyttö on hyvin tarkasti säädeltävissä hyvän automaatiojärjestelmän avulla. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyvä hyötysuhde on tärkeässä roolissa nollaenergiatalossa sillä hyvin pieni osa lämmitysenergiasta menee tätä kautta hukkaan. Lämmöntalteenoton hyötysuhde tulisi nollaenergiatalossa olla vähintään 80% ja ilmanvuotoluku enintään 0,4 l/h. [24]



**AURINKOSÄHKÖPANEELIT / TUOTTO: 7020 kWh/a**

**AURINKOKERÄIMET / TUOTTO 2660 kWh/a**

Kuva 16: Esimerkki nollaenergiatalon talotekniikka järjestelmästä. [26]

Nollaenergiatalon ominaisuudet vastaavat hyvin pitkälti passiivienergiatalon ominaisuuksia, näiden lisäksi nollaenergiatalossa tulee olla jonkinlainen konkreettinen energiantuottolähde, kuten esimerkiksi aurinkopaneli. Pientalorakentamisessa nollaenergiatalot ovat Suomessa vielä harvinaisia sillä esimerkiksi aurinkopanelin asentamisesta syntyvä investointi on jo melko suuri, tästä johtuen harva päätyy tällaiseen ratkaisuun.

Suomessa nollaenergiataloja on rakennettu ainakin Järvenpäässä sekä Kuopiossa. Taloissa käytetään lämmitysenergiana maa- sekä aurinkolämpöä. Kummassakin talossa seinäpaksuus on noin 30cm ja lämmöneristeenä on käytetty polyuretaanieristettä. Taloissa ei ole lainkaan lämmitysradiaattoreita, talo lämmitetään ilmanvaihtolämmityksellä jolla on erittäin tehokas lämmöntalteenotto. Taloissa on lisäksi mukavampi sisäilma kuin vanhemmissa taloissa sekä lämpimämmät rakenteiden sisäpinnat. Nollaenergiamuotoisen talon energiankulutus on vain noin kymmenesosa 1970-luvun talon energiankulutukseen verrattuna. [25]

## 5 YHTEENVETO

Rakennusten energiatehokkuus parantuu vuosi vuodelta sitä mukaan kun rakentaminen sekä rakennusmateriaalit kehittyvät. Ympäristöministeriön laatiman rakentamismääräyskokoelman vaatimukset tiukentuvat jatkuvasti, mikä väistämättä johtaa siihen että suomen rakennuskannan energiatehokkuus paranee.

Rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuusvaatimukset ovat uudistuneet ja tiukentuneet vuosien varrella, aikaisemmissa uudistuksissa keskityttiin lähinnä u-arvo vaatimusten tiukentamiseen mutta viimeisimmässä uudistuksessa siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun. Kokonaisenergiatarkastelun myötä rakentamismääräyskokoelma ei enää rajoita tapaa tai menetelmää millä rakennus saadaan energiatehokkaaksi, kunhan rakennus täyttää vaatimukset.

Talotekniikka tulee suunnitella hyvin ja sovittaa saumattomasti yhteen muun rakennustekniikan kanssa jotta saavutetaan paras lopputulos energiatehokkuuden kannalta. Ilmanvaihdon merkitys on hyvin suuri, varsinkin jos rakennuksessa on käytössä ilmanvaihtolämmitys. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on nykypäivänä jo erittäin suuri, mikä vähentää lämmitystarvetta merkittävästi.

Rakennusten energiatehokkuuden vertailu sekä osto- että vuokratilanteessa tulee lisääntymään, energiaselvityksen sekä energiatodistuksen avulla tämä on mahdollista.

Uudisrakentaminen on matkalla kohti nollaenergiarakentamista. Suomessa täysin nollaenergiatalon rakentaminen ei ole vielä kustannustehokkaasti mahdollista, mutta rakentaminen kehittyy jatkuvasti ja suunta on oikea, tulevaisuudessa nollaenergiatalot tulevat olemaan arkipäivää.



## LÄHTEET

1] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF> (haettu 17.3.2016)

2] Motiva, energian loppukäyttö, 2016,  
[http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto\\_suomessa/energian\\_loppukaytto](http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_loppukaytto) (haettu 14.3.2016)

3] Motiva, energian kokonaiskulutus, 2016.  
[http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto\\_suomessa/energian\\_kokonaiskulutus](http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus) ,  
(haettu 14.3.2016)

4] Rakli, energiatehokkuus,  
<http://www.rakli.fi/energia-tehokkuus/energiatehokkuus.html> (haettu 14.3.2016)

5] Työ- ja elinkeinoministeriön puitesopimus kiinteistöalan energiankäytön tehostamisesta, 2009.

[https://www.tem.fi/files/29308/PUSO\\_Kiinteistoala\\_Final\\_091202.pdf](https://www.tem.fi/files/29308/PUSO_Kiinteistoala_Final_091202.pdf)

(haettu 14.3.2016)

6] Motiva, energiatodistus, 2016.

<http://www.motiva.fi/rakentaminen/energiatodistus> (haettu 15.3.2016)

7] Avoinautomaatio, rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 2012.  
[http://www.avoinautomaatio.fi/doc/standardi\\_sfs-en\\_15232/Rakennusten-automaation-vaikutus-energiatehokkuuteen.pdf](http://www.avoinautomaatio.fi/doc/standardi_sfs-en_15232/Rakennusten-automaation-vaikutus-energiatehokkuuteen.pdf) (haettu 17.3.2016)

8] Ympäristöministeriö, rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö, 2015

[http://www.ymparisto.fi/maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakennuksen\\_energiatehokkuutta\\_koskeva\\_lainsaadanto](http://www.ymparisto.fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto) (haettu 17.3.2016)

9] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3, 2012.

[http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf) (haettu 5.5.2016)

10] Energiatodistuksen kokonaisenergiankulutuksen (E-luvun) määrittäminen, 2013.

<http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6186.pdf> (haettu 17.3.2016)

11] E-Luvun laskentaesimerkki, 2011.

[https://www.google.fi/search?q=esimerkki+E-luvun+laskennasta&espv=2&biw=1680&bih=949&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjvwwHX6MfLAhVjDZoKHSUD7cQ\\_AUIBigB#imgrc=w8ewhxY51Iuw8M%3A](https://www.google.fi/search?q=esimerkki+E-luvun+laskennasta&espv=2&biw=1680&bih=949&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjvwwHX6MfLAhVjDZoKHSUD7cQ_AUIBigB#imgrc=w8ewhxY51Iuw8M%3A) (haettu 17.3.2016)

12] Energiatodistus.info, energiatodistus

<http://www.energiatodistus.info/> (haettu 17.3.2016)

13] Energiatehokaskoti.fi, ilmanpitävyys, 2016.

[http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen\\_suunnittelu/ilmanpitavyys](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ilmanpitavyys)

(haettu 29.3.2016)

14] Virtuaali ammattikorkeakoulu, U-arvot.

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490/1119952720312/1119957895471/1119957967792.html> (haettu 29.3.2016)

15] Energiatehokkaan rakennuksen ja vaipparakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta, Professori Juha Vinha, 2013.

<http://www.ouka.fi/documents/486338/db0c5c7a-6af0-421f-81ba-52975c867c6e>

(haettu 4.4.2016)

16] Ympäristö.fi, energiatodistus opas, Liite: Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja.

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058> (haettu 4.4.2016)

17] Sitra.fi, rakentamismääräysten uudistaminen 2012 – kokonaisergiatarkastelu, 2012.

<http://www.sitra.fi/hankkeet/rakentamismaaraysten-uudistaminen-2012-kokonaisenergiatarkastelu> (haettu 4.4.2016)

18] Motiva, esimerkki täytetystä energiatodistuksesta.

[http://www.motiva.fi/files/5695/Esimerkki\\_taytetysta\\_energiatodistuksesta.pdf](http://www.motiva.fi/files/5695/Esimerkki_taytetysta_energiatodistuksesta.pdf)

(haettu 4.4.2016)

19] Rakennustieto, rakennusten energiaselvitys; vaatimusten todentamista ja laskentaa, 2008.

[http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P\\_37.html](http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/P_37.html) (haettu 4.4.2016)

20] Jonsto.fi, esimerkki lämpökamerakuvasta.

<http://www.jonsto.fi/rakennus/lampokuvaus1.jpg> (haettu 11.4.2016)

21] Karelia, energiatehokas pientalo, Toni Kekki, 2009.

[http://www.karelia.fi/lahiverkko/ajankohtaista/materiaali/Energiatehokas\\_pientalo\\_Kekki\\_Toni.pdf](http://www.karelia.fi/lahiverkko/ajankohtaista/materiaali/Energiatehokas_pientalo_Kekki_Toni.pdf) (haettu 11.4.2016)

22] VTT, passiiviennergialo harkoista – LVI-tekniikan ratkaisumallit ja suunnitteluohje

[www.harkkokivitalo.fi/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r](http://www.harkkokivitalo.fi/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r)

(haettu 14.4.2016)

23] Puuinfo.fi, energiaa säästävä pientalo, suunnitteluohje matalaenergiarakentamiseen, 2006.

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/energia-a-saastava-pientalo/energiaasaastavapientalo.pdf> (haettu 14.4.2016)

24] Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus, lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeet, 2013.

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUK Ew- jNk47prZ\\_MAhVpIMAKHa07AoMQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ara.fi%2Fdownload%2Fname%2F%257BE7FE1AD9-4529-4CC5-8063-8D7D078C15E8%257D%2F24217&usg=AFQjCNG94HoTNDGcyktwwbFoMqdjBW NuCA&cad=rja](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUK Ew- jNk47prZ_MAhVpIMAKHa07AoMQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ara.fi%2Fdownload%2Fname%2F%257BE7FE1AD9-4529-4CC5-8063-8D7D078C15E8%257D%2F24217&usg=AFQjCNG94HoTNDGcyktwwbFoMqdjBW NuCA&cad=rja) (haettu 21.4.2016)

25] Yle, nollaenergiatalot tekevät tuolaan Suomeen, 2010

[http://yle.fi/uutiset/nollaenergiatalot\\_tekevät\\_tuloaan\\_suomeen/5569218](http://yle.fi/uutiset/nollaenergiatalot_tekevät_tuloaan_suomeen/5569218)

(haettu 21.4.2016)

26] Lantti, suomalainen nollaenergiatalo, 2012

<http://image.slidesharecdn.com/nollaenergiarakentaminen-120629012909-phpapp01/95/nollaenergiarakentaminen-11-728.jpg?cb=1340933433> (haettu 25.4.2016)

27] Esimerkki matalaenergia- ja passiivienergiatalon rakenteista.

[http://spu.studio.crasman.fi/pub/Website+material/Pictures/Illustration,+feeling/3D\\_energiarakennekuva.jpg](http://spu.studio.crasman.fi/pub/Website+material/Pictures/Illustration,+feeling/3D_energiarakennekuva.jpg) (haettu 25.4.2016)

28] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2, 2012.

[http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf) (haettu 5.5.2016)

29] VTT, energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas, 2014.

[http://talotekniikka.teknologiateollisuus.fi/sites/lvi-talotekniikka/files/file\\_attachments/Pientalon%20ilmanvaihto-opas.pdf](http://talotekniikka.teknologiateollisuus.fi/sites/lvi-talotekniikka/files/file_attachments/Pientalon%20ilmanvaihto-opas.pdf)

(haettu 29.4.2016)

30] Esimerkki ilmavaihtokoneen pyörivästä lämmöntalteenotosta.

<http://www.ventilation-ftx.se/wp-content/uploads/2012/06/FTX-rotor.jpg> (haettu

2.5.2016)

31] Esimerkki ilmanvaihtokoneen ristivirta- ja vastavirtalämmöntalteenotosta.

<http://image.slidesharecdn.com/levaritkoulutusv01-160228154058/95/levaritkoulutus-v01-5-638.jpg?cb=1456674093> (haettu 2.5.2016)

32] Vattenfall, rakennuksen sähköenergian jakauma.

[http://www.vattenfall.fi/fi/file/370x210\\_Rakennuksen-energiata\\_10346053.jpg](http://www.vattenfall.fi/fi/file/370x210_Rakennuksen-energiata_10346053.jpg)

(haettu 5.5.2016)

33] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C3, 2010.

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjO6eCfr8XMAhVMLcAKHUwdAy8QFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B7BF051A7-6436-4724-A1FD-7688A56FB09B%257D%2F102966&usq=AFQjCNGanDB2C5PdIwvKnJkd\\_a9ZRIWQCg](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjO6eCfr8XMAhVMLcAKHUwdAy8QFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B7BF051A7-6436-4724-A1FD-7688A56FB09B%257D%2F102966&usq=AFQjCNGanDB2C5PdIwvKnJkd_a9ZRIWQCg) (haettu 6.5.2016)