



**PIENTALOJEN
ENERGIAMALLINTAMINEN JA
KULUTUSTIETOJEN
VERTAAMINEN TODELLISIIN
KULUTUKSIIN**

Rami Rantala

Opinnäytetyö
Marraskuu 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

RANTALA, RAMI

Pientalojen energiamallintaminen ja kulutustietojen vertaaminen todellisiin kulutuksiin

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Marraskuu 2015

Opinnäytetyö on osa laajempaa Vuores-projektia, jossa ovat mukana Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK), Tampereen kaupunki, Ekokumppanit Oy sekä ECO2-hanke. Tässä työssä vertailtiin Vuoreksessa sijaitsevien kolmen kohteen energiankulutuksia energiamallinnuksesta saatuihin energiankulutuksiin ja selvitettiin energiankulutuksien eroavaisuuksien syitä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mistä rakennuksien välillä olevat eroavaisuudet energiankulutuksissa johtuvat. Kohteiksi valittiin kolme mahdollisimman samanlaista rakennusta. Kohteista tehtiin energiamallinnukset Indoor Climate and Energy –ohjelmalla. Simuloimalla tietty ajanjakso saatiin kohteiden teoreettiset energiankulutukset. Teoreettisia energiankulutuksia vertailtiin vuoden 2013 todellisiin energiankulutuksiin.

Työn tuloksien ja analyysien perusteella voidaan todeta ilmavesilämpöpumpun ja maalämmön toimivan kivitaloissa hyvin. Ikkunoiden koko ja niiden pinta-ala vaikuttavat energiankulutukseen merkittävästi. Myös käyttäjien lukumäärä ja käyttäjientottumukset vaikuttavat energiankulutukseen suuresti. Työ on varsin kapea-alainen. Se vaatii laajempia tutkimuksia, jotta voitaisiin kertoa tarkempia tuloksia eri lämmitysmuotojen toiminnasta kivitaloissa. Rakennusten keskinäiset eroavaisuudet ja joidenkin keskeisten tietojen puuttuminen toivat haasteita työhön sekä tulosten vertailuun.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Services

RANTALA, RAMI

Detached houses energy modelling and comparing the theoretical energy consumptions with the actual energy consumptions

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 0 pages
November 2015

This thesis is part of the wider Vuores project with City of Tampere, Tampere University of Applied Sciences, Ekokumppanit Oy and ECO2 project. The purpose of the thesis was to compare the actual energy consumptions of three buildings with the theoretical energy consumptions and find out reasons for differences in energy consumptions.

The goal of this study was to find out what causes the differences in energy consumptions between the buildings. The buildings chosen were as similar as possible. Energy models of the buildings were made with Indoor Climate and Energy –program (IDA ICE). By simulating certain period of time we obtained theoretical energy consumptions of the buildings. Theoretical energy consumptions were compared with the energy consumptions of year 2013.

Based on the results and analysis, a conclusion can be drawn that air-water- and ground source heating pumps functions well in stone houses. The size and area of windows affects to energy consumption significantly. Also amount of users and their habits affects significantly. The extent of the study is quite narrow. The subject requires extended research to be able to determine functionality of different heating methods in stone houses. The difference in the buildings and lack of some information brought challenge to the study and made comparing of the results difficult.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tavoitteet	6
1.2	Tutkimusmenetelmät	6
1.3	Energiatehokkuus.....	6
1.4	Rakennuksen energiankulutus	8
1.4.1	Rakennuksen sijainti	8
1.4.2	Rakennuksen muoto ja rakenne	9
1.4.3	Ikkunoiden koko	10
1.4.4	Käyttäjien tottumukset	10
1.4.5	Ilmanvaihto	11
1.4.6	Lämmitysmuoto	11
2	VUORES -PROJEKTI	14
2.1	Vuoreksen asuntomessut.....	14
2.2	Tutkimusprojekti.....	15
3	MALLINTAMINEN	17
3.1	Energia mallintaminen	17
3.2	Simulointi.....	18
4	KOhteET.....	20
4.1	Kohde K.....	20
	TAULUKKO 3: Kohteen K rakenneosien U-arvot	21
4.2	Kohde M	21
4.3	Kohde N.....	23
5	SIMULOINTI.....	25
5.1	Kohde K.....	26
5.2	Kohde M	28
5.3	Kohde N.....	29
6	YHTEENVETO	31
6.1	Kohde K.....	31
6.2	Kohde M	32
6.3	Kohde N.....	34
6.4	Kohteiden energiankulutuksien vertailu keskenään.....	35
	LÄHTEET.....	37

ERITYISSANASTO

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
IDA ICE	IDA Indoor Climate and Energy
ilmanvuotoluku	q_{50} ($m^3/(h \cdot m^2)$) rakennusvaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja. (Rakennusten energiatehokkuus D3, 2011)
kylmäsiilat	kylmäsiilat ovat paikallisia rakennuksen osia, joissa syntyy korkea lämpöhäviö, kuten talon nurkat.
COP-arvo	Hyötysuhde eli COP-arvo (Coefficient of Performance) on arvo, joka kertoo kuinka tehokkaasti kulutettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h

1 JOHDANTO

1.1 Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä energiamallinnukset kolmesta eri kohteesta IDA ICE -ohjelmalla ja vertailla mallinnoista saatuja teoreettisia energiankulutuksia todellisiin energiankulutuksiin sekä selvittää, mistä johtuvat mahdolliset eroavaisuudet energiankulutuksissa. Kohteena oli kaksi omakotitaloa sekä yksi paritalon puolikas. Kaikki kohteet ovat kivirakenteisia. Kohteet sijaitsevat vuoden 2012 asuntomessualueella Tampereen Vuoreksessa.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön energiamallinnukset tehtiin IDA ICE –mallinnusohjelmalla. Ohjelmalla tehtiin kohtuullisen tarkat mallinnukset kohteista ja niiden laitteistoista. Ohjelmalla simuloitiin vuoden 2013 teoreettiset energiankulutukset. Kyseisiä energiankulutuksia vertailtiin tämän jälkeen todellisiin energiankulutuksiin, jotka saatiin asukkaiden myöntämien lupien ansiosta suoraan sähkö- ja kaukolämpöyhtiöiltä.

1.3 Energiatehokkuus

Energiatehokkuus tarkoittaa energiantuotannon ja energiankulutuksen tehostamista ja erilaisten säästötoimien toteuttamista. Pyrkimyksenä on koko energiaketjun optimointi. Energiatehokkuuden ensisijaisena tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen kustannustehokas vähentäminen. (Motiva Oy)

Energiatehokkuus on suuressa roolissa nykyajan rakentamisessa. Euroopan unioni (EU) asettaa yhä tiukempia asetuksia kasvihuonepäästöjen pienentämiseksi. Tämä tarkoittaa energiatehokkuusmääräysten ja –ohjeiden tiukentumista. Käytännössä tämä näkyy esimerkiksi jatkuvasti muuttuvina määräyksinä. EU:n yhteisenä tavoitteena on energiatehokkuuden parantaminen 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2015)

Energiatehokas talo, sen rakenteet ja talotekniikka on suunniteltu toimivaksi kokonaisuudeksi. Hyvistä suunnitelmista kannattaa maksaa, sillä suunnitteluvaiheessa lyödään lukkoon 90 prosenttia rakentamisen kokonaiskustannuksista ja noin 80 prosenttia talon tulevista käyttö- ja energiakustannuksista. Energiatehokkaan talon investointikustannukset nousevat 3-5% normaalia suuremmiksi, mutta lisäinvestointi maksaa itsensä takaisin 6-10 vuodessa jo tämän päivän energianhinnoilla. (Motiva Oy, 2015)

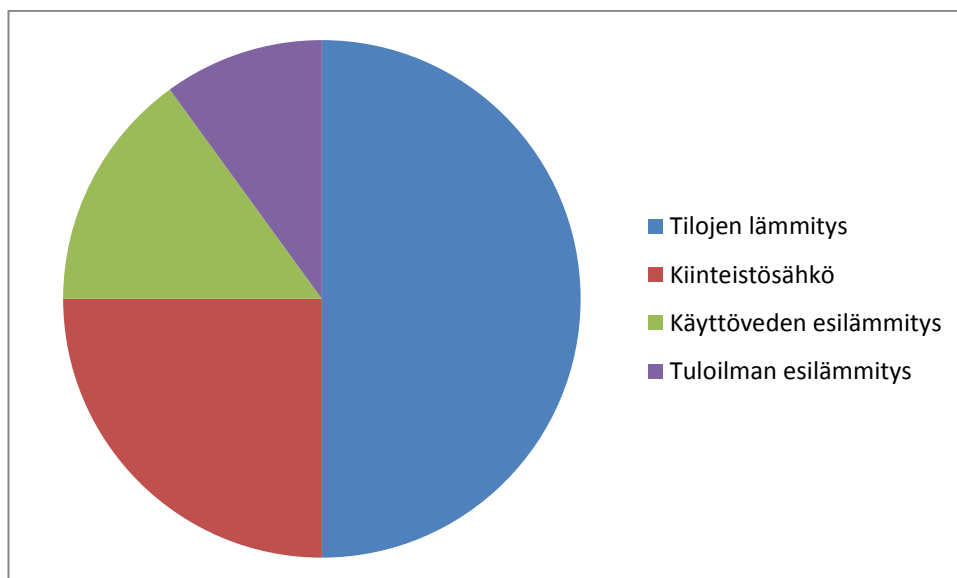
Rakennuksien energiatehokkuutta kuvaa energiaselvityksen yhteydessä lasketut ET- ja E-luku. Vuoden 2010 ET-luku eli energiatehokkuusluku määrää rakennuksen energiatodistuksen energialuokan. Energialuokat ovat A-G, jossa A on energiatehokkain (Kuva 1). Pientalon ET-luku saadaan jakamalla rakennuksen laskennallinen energiantarve rakennuksen bruttoalalla. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain. Esimerkiksi sähkön laskennallinen ostoenergiankulutus kerrotaan kertoimella 1,7 ja uusiutuvien energialähteiden kertoimella 0,5. E-luvun laskenta tuli voimaan 1.7.2012 (D3 Suomen rakentamis-määräyskokoelma 2012). Kohteille on haettu rakennuslupia vuoden 2010 määräysten mukaan jolloin E-lukua ei ole tarvinnut laskea. Kohteille on kuitenkin laskettu E-luvut Vuoreksen asuntomessuja varten.

ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	
	F	
	G	
	Paljon kuluttava	
Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/brm²/vuosi): Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko:		

KUVA 1: Rakennuksen energialuokat vuoden 2010 määräysten mukaan (Ametriini Oy)

1.4 Rakennuksen energiankulutus

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen muoto ja rakenne, käyttäjätottumukset sekä lämmitysmuoto. Kaaviosta 1 nähdään, kuinka pientalon energiankulutus jakautuu. Noin puolet energiasta kuluu lämmitykseen, jolloin siinä on myös suurin potentiaali säästää. Neljännes energiasta kuluu kiinteistösähköön, johon sisältyy kaikki arkipäiväiset sähkölaitteet kuten kahvinkeitin, sähköliesi, pyykinpesukone, valaistus, viihde-elektroniikka yms. Vaikka sähkölaitteiden energiatehokkuus koko ajan paranee, niiden lisääntynyt määrä on kuitenkin kasvattanut energiankulutusta. Viidennes energiankulutuksesta menee käyttöveden esilämmitykseen. (Kodin sähkölaitteet, 2014)



KUVIO 1: Energiankulutuksen jakautuminen pientaloissa (Rakentaja.fi)

1.4.1 Rakennuksen sijainti

Rakennuksen sijainnilla ja ympäristöllä voidaan vaikuttaa energiankulutukseen. Mitä etelämpänä rakennus sijaitsee maantieteellisesti, sitä vähemmän lämmitysenergiaa tarvitaan lämpötilojen ollessa korkeammat. Toisaalta kesällä voidaan joutua jäädyttämään rakennusta. Ympäristöllä on myös merkitystä, koska esimerkiksi lähellä sijaitsevat korkeat rakennukset tai puut luovat varjostuksia, jotka auttavat pitämään rakennuksen viileämpänä kesäisin. Myös ilmansuunnat vaikuttavat. Esimerkiksi rakennuksen suurten ikkunoiden ollessa etelään päin auringon lämpösäteily vaikuttaa

valtavasti enemmän kuin silloin kun ikkunat ovat pohjoiseen päin. Asuinrakennukset tulisi suunnata etelään tai siitä korkeintaan noin 30° poiketen, jotta auringon rakennukseen aiheuttamat lämpökuormat varastoituisivat mahdollisimman hyvin lämmityskautena. Kesällä sen sijaan tulisi suojautua auringolta esimerkiksi julkisivun parvekkeiden, aurinkosuojien ja ulokkeiden avulla.

1.4.2 Rakennuksen muoto ja rakenne

Ylimääräiset neliöt ja kuutiot lisäävät niin rakentamiskustannuksia kuin energiankulutustakin. Mitä suurempi rakennus, sitä enemmän on lämmitettävää. Myös rakennuksen muoto vaikuttaa suuresti energiankulutukseen. Mitä kulmikkaampi rakennus, sitä enemmän kylmäsiltoja. Kylmäsiltoja ovat paikallisia rakennuksen osia, joissa syntyy korkea lämpöhäviö. Kohonnut lämpöhäviö johtuu joko tasaisesta muodosta poikkeavasta rakennusosasta tai rakennusosassa olevista materiaaleista joilla on suuri lämmönjohtavuus. Merkittävimpiä kylmäsiltojen vaikutuksia ovat kohonneet lämmitysenergian häviöt, kosteuden muodostumisen vaara, homesienen muodostumisen vaara sekä terveydelliset haitat.

Rakenteet tulisi olla energiatehokkaita eli niiden U-arvon tulisi olla mahdollisimman hyvä. Rakenteiden U-arvojen eli lämmönläpäisykertoimien tarkoituksena on kuvata eri rakennusosien lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi U-arvo on, sitä parempi lämmöneristyskykykin on. Vuoden 2010 U-arvovaatimukset ovat listattuna alla olevassa taulukossa 1.

TAULUKKO 1: U-arvovaatimukset vuonna 2010

U-arvovaatimus	C3/2010
Ulkoseinä	0,17
Yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16
Ikkuna tai ovi	1,0
Kattoikkuna	1,0
Ikkunapinta-ala	15% kerrosalasta, enintään 50% rakennuksen julkisivupinta-alasta

1.4.3 Ikkunoiden koko

Ikkunoiden koko vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen suuresti. Ikkunat ovat todellisia lämmönhukkaajia, sillä niiden lämmöneristyskyky ei ole hyvä. Lämpö karkaa suurista ikkunoista vauhdilla eli mitä pienemmät ikkunat sitä vähemmän lämpöä pääsee karkuun niistä. Toisaalta ikkunoiden kautta tulee myös lämpöenergiaa rakennukseen auringon paistaessa. Talvella siitä on hyötyä, mutta kesällä aurinko liikalämmittää rakennusta ja sisäilmanlämpötila nousee mukavuusalueen ulkopuolelle, jolloin yleensä ilmanvaihto pyrkii jäähdyttämään huoneilmaa käyttämällä energiaa. Kesällä olisikin hyvä pitää verhot tai sälekaihtimet kiinni päivän kuumimpaan aikaan.

Hyvä lähtökohta energiansäästöille on suunnata melko suuria ikkunoita etelään ja melko pieniä pohjoiseen. Ikkunapinta-alan tulisi riittävän päivänvalon vuoksi olla karkeasti vähintään 15% huoneen lattiapinta-alasta. Se ei saisi kuitenkaan ylittää 40 % julkisivun pinta-alasta, koska liiallisia lämpökuormia tai lämpöhäviöitä on vältettävä. (Kivitalojen ENERGIATEHOKKUUS, 2010)

1.4.4 Käyttäjien tottumukset

Käyttäjien tottumukset vaikuttavat energiankulutukseen nostavasti tai alentavasti riippuen käyttäjistä. Käyttäjä voi käyttötottumuksillaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiankulutukseen. Arkipäiväiset valinnat vaikuttavat energiankulutukseen; miten paljon pitää valoja päällä, kuinka lämpöisenä pitää märkätilojen lattialämmityksiä, lämmittääkö takkaa miten usein, saunooko joka päivä? Lähes kaikki tekeminen vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen ja siitä johtuen asukkailla tulisi olla tarpeeksi tietotaitoa koskien rakennuksensa laitteistoja ja niiden käyttämistä. Asukkaiden tulisi tietää miten laitteistoja tulee käyttää eri tilanteissa, kuinka usein niitä tulisi huoltaa tai jopa vaihtaa uuteen.

Sähkönkulutus nousee, jos sähkölaitteita alkaa olla joka nurkassa, vaikka yksittäinen sähkölaitte ei hirveästi sähköä kulutakaan. Arkipäiväisiä sähkölaitteita hankkiessa kannattaakin valita energiatehokkaita malleja, jotta saadaan minimoitua kokonaissähkönkulutusta. Valaistus on yksi suurimmista kiinteistösähkön kuluttajista,

jolloin siinä on myös suuri säästöpotentiaali. Paras valinta valaisimiksi on LED-lamput erittäin pienen energiankulutuksen takia. (Kodin sähkölaitteet, 2014)

1.4.5 Ilmanvaihto

Suuriosa lämpöenergiasta, jopa 50 %, menee poistoilman mukana niin sanotusti ”harakoille” eli hukkateille. Tästä johtuen ilmanvaihtojärjestelmässä tulisi olla mahdollisimman hyvä lämmöntalteenotto, jolla saadaan mahdollisimman paljon poistoilmavirrasta lämpöenergiaa talteen. Talteen otettu lämpöenergia hyödynnetään tuloilman lämmittämiseen.

Koneellisessa ilmanvaihdossa voidaan tarpeenmukaisella käytöllä pienentää energiankulutusta käyttötavoista, asumistilanteesta ja lämmöntalteenotosta riippuen. Tarpeenmukainen käyttö tarkoittaa, että poissa ollessa ilmanvaihtokone ei ole normaalilla puhallusteholla vaan poissaoloasennossa ja silloin kun on enemmän väkeä paikalla niin lisätään ilmanvaihtoa. Vaikutus energiankäyttöön on lämmöntalteenotolla varustetussa normaalissa omakotitalossa noin 900 *kWh/vuosi* ja ilman lämmöntalteenottoa noin 1100 – 1500 *kWh/vuosi* riippuen talon koosta ja asumistilanteesta. (Energiatehokas ilmanvaihto)

Kesällä lämmöntalteenoton ohitus auttaa säästämään energiaa ja mahdollistaa viileämmän tuloilman sisäänpuhalluslämpötilan. Ohitus voidaan toteuttaa yksinkertaisella ohituspellillä, joka käännetään lämmönsiirtiminen ilmareittien esteeksi niin, että lämmöntalteenotto poistoilmasta tuloilmaan estyy. (Energiatehokas ilmanvaihto)

1.4.6 Lämmitysmuoto

Sähkölämmitys on uusissa pientaloissa suosituin lämmitysmuoto. Suora sähkölämmitys on yleisin sähkölämmitysmuoto, mutta erilaiset lämpöpumpuilla varustetut sähkölämmitystavat ovat yleistymässä kovaa vauhtia. Sähkölämmityksen suosion syynä on helppokäyttöisyys, vaivattomuus sekä hyvä hyötysuhde. Sähkölämmitys on helposti

ohjattava ja se reagoi nopeasti sisäisiin lämmönvaihteluihin. Myös sähkölämmityksen investointikulut ovat pienet. (Koti ja lämmitys, 2014)

Maalämmön osuus uudisrakentamisessa on jo lähes 30 %. (Kotitalouksien sähkönkäyttö, 2011) Maalämpöpumput toimivat sähköllä. Ne siirtävät maahan, kallioon tai veteen varastoituneen aurinkoenergian taloon lämmitysenergiaksi. ”Ilmainen” energia kerätään talteen keruupiireillä. Keruupiirit sijoitetaan joko pintamaahan, peruskallioon tai veteen. Kerätty energia muutetaan käytettäväksi joko talon tai käyttöveden lämmittämiseen. Maalämpöpumpun toiminnan tehokkuus ilmoitetaan lämpökertoimella eli COP (coefficient of performance) –kertoimella. COP kertoo maalämpöpumpun tuottaman lämpöenergian ja kuluttaman sähkön suhteen. Tavallisesti maalämpöpumppujen lämpökerroin on 2,0-3,0 eli jokaista lämpöpumpun käyttämää kilowattituntia kohden otetaan maasta, porakaivosta tai järvestä 1,0-2,0 ilmaista kilowattituntia lämpöä. Parhaimmin maalämpö toimii lämmönjakojärjestelmien kanssa, joissa on alhainen lämpötila, esimerkiksi vesikiertoisen lattialämmityksen kanssa. (Koti ja lämmitys, 2014)

Ilmavesilämpöpumput hyödyntävät ulkoilmasta saatavaa energiaa ja siirtävät keräämänsä lämmön vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Ilmavesilämpöpumput toimivat yleisesti noin -20 celsius asteeseen, jonka jälkeen pumppu alkaa käyttämään sähkövastusta. Yleisin käyttökohde on liittää ilmavesilämpöpumppu jo olemassa olevan vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän rinnalle tai tilalle. (Koti ja lämmitys, 2014)

Kaukolämmön toimintavarmuus on lähes sataprosenttinen. Kaukolämpö tuotetaan lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksissa tai lämpökeskuksissa. Asiakkaille lämpö tulee kaukolämpöverkostossa kiertävästä vedestä, jonka lämpötila vaihtelee sään mukaan 65-115 celsiusasteen välillä. Alimmillaan se on kesällä, jolloin rakennuksien lämmitystarve on pieni. Lämmin vesi johdetaan rakennuksen lämpökeskukseen, jossa se luovuttaa lämpöenergian lämmönsiirtimien avulla lämmitysverkostoon sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen. (Koti ja lämmitys, 2014)

Kaukolämmön investointikulut ovat pienemmät kuin maalämmöllä. Pitkällä aikavälillä maalämpö osoittautuu kuitenkin tutkimuksissa kaukolämpöä halvemmaksi. Maalämmön hankintakustannukset ovat suuremmat kaukolämpöön verrattuna, mutta maalämpöjärjestelmän etuna on sähkön hinnasta riippuvat alhaiset käyttökustannukset.

Kaukolämmön hinta kuitenkin riippuu asuinpaikkakunnasta ja vaihtelu saattaa olla huomattavaa. (Kaukolämpö vs Maalämpö, 2012)

2 VUORES -PROJEKTI

Tampereelle rakennetaan pikkukaupunkia viheralueiden ja vesistöjen keskelle hyvien kulkuyhteyksien varrelle. Moderni ja ekologinen Vuores tarjoaa luonnonläheisyyden lisäksi pikkukaupungin palvelut sekä tunnelman.

2.1 Vuoreksen asuntomessut

Vuoreksessa järjestettiin vuonna 2012 valtakunnalliset asuntomessut. Asuntomessujen teemana oli laadukas arkkitehtuuri, luonnonläheisyys, ekologisuus, huipputekniikka ja luovuus. Asunnoista pyrittiin tekemään myös erittäin energiatehokkaita uusinta teknologiaa käyttäen. Kohteita messuilla oli kaiken kaikkiaan 39, joihin sisältyi suurimmaksi osaksi omakotitaloja, mutta myös pari-, rivi- ja kerrostaloasuntoja.

Vuoreksen tärkeimpiä teemoja on energiatehokkuus, mikä ilmenee messualueen omakotitaloissa joista yhdeksän on passiivi- ja kaksi nollaenergiataloa. Talojen lämmöntuotannossa käytetään uusiutuvaan energiaan perustuvia ratkaisuja. Tampereen kaupungin ECO2 -ilmasto- ja energiaohjelma oli tiiviisti mukana Vuoreksen asuntomessujen toteutuksessa ja toiminnassa. Tampereen kaupunki kannusti rakentajia energiatehokkuuteen myös alentamalla tonttien vuokraa 50 prosentilla viideksi vuodeksi talon ollessa energiankulutukseltaan vähintään passiivitalon tasolla. (Tampere.fi).



KUVA 2: Asuntomessualue, Vuores

2.2 Tutkimusprojekti

Asuntomessualueen pientaloille käynnistettiin vuonna 2013 tutkimusprojekti Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) talotekniikan koulutusohjelman hankkeena. Projektissa vertaillaan toteutuneita energiankulutuksia laskennallisiin arvioihin, tutkitaan sisäilmaolosuhteita mittaamalla sekä perehdytään asukkaiden kokemuksiin kohteiden toimivuudesta ja käytettävyydestä. Mukana tutkimusprojektissa ovat Ekokumppanit Oy, ECO2 -hanke, Tampereen ammattikorkeakoulu ja Tampereen kaupunki.

Projektin keskeinen tarkoitus on tutkia kohteiden mitattuja energiankulutuksia, verrata niitä laskennallisiin kulutuksiin ja tutkia mistä mahdolliset eroavaisuudet johtuvat. Tähän liittyy keskeisesti energiankulutukseen vaikuttavien tekijöiden erittely. Tarkoituksena on myös tutkia energiatehokkaiden ratkaisujen kustannuksia, toimivuutta ja käytännöllisyyttä. Tarkastelun alla ovat myös kohteiden sisäilmaolosuhteet. Keskeistä on myös tarkastella energiaratkaisujen käytettävyyttä ja asukkaiden kokemuksia.

3 MALLINTAMINEN

Tässä opinnäytetyössä mallintamiseen käytettiin IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) –ohjelmaa. IDA ICE on uudentyyppinen simulointiohjelma, joka vie rakennusten energiatehokkuuslaskennan uudelle tasolle. Ohjelman avulla voidaan mallintaa rakennus, sen järjestelmät ja säätölaitteet tarkasti (Equa.se).

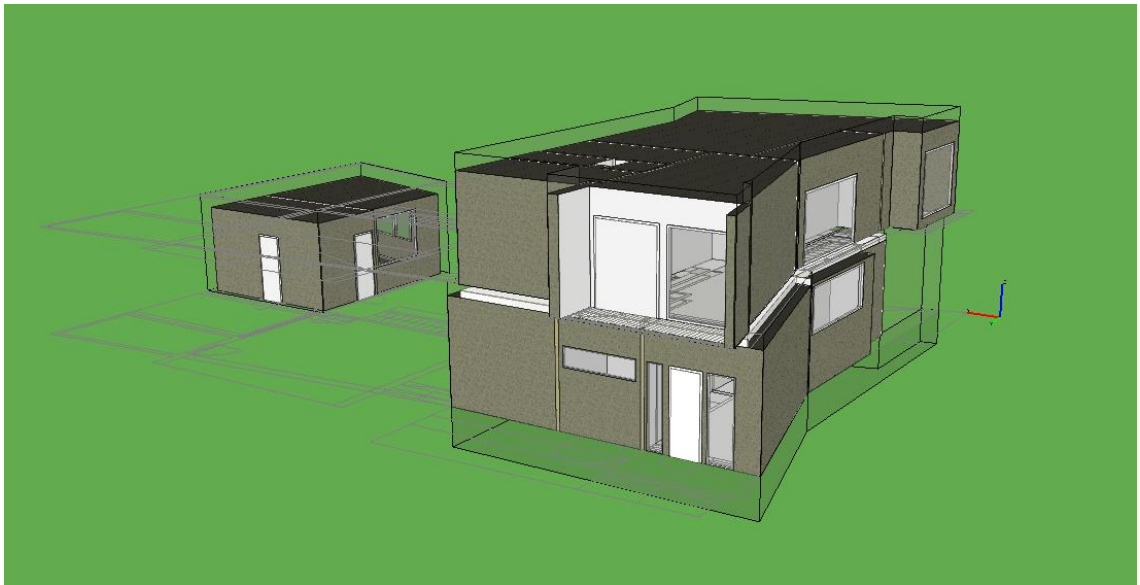
3.1 Energia mallintaminen

Yhä useammin uudisrakennuksen suunnitteluvaiheessa otetaan mukaan energia mallintaminen. Mallintamisen avulla voidaan tehdä tarkka malli rakennuksesta, sen rakenteista, laitteista ja säädöistä sekä käytöstä.

IDA ICE –ohjelma toimii kaikenlaisten rakennusten tarkassa mallintamisessa. Mallinnuksessa otetaan huomioon kaikki rakenteiden materiaaleista ja paksuuksista lähtien aina rakennuksien sijaintiin ja varjostuksiin asti. Mallinnuksessa määritellään myös rakennuksen niin sanotusti ”heikot lenkit”. Näihin kuuluu kylmäsillat, laitteiden energiahukat sekä vuotoilmavirrat.

Lämmityslaitteet ja lämmönjakotapa valitaan sen mukaan mitä rakennukseen on suunniteltu tai jo valittu. Laitteista otetaan huomioon niiden hyötysuhteet, mitoituslämpötilat sekä hukkaenergiat.

Rakennuksen käyttöajat valitaan todenmukaisiksi. Kaikille sähkölaitteille valitaan käyttöajat sen mukaan kuinka rakennusta käytetään. Esimerkiksi omakotitalossa asukkaat eivät ole kokoajan paikalla vaan laitteiden suurin käyttöaste on aamuisin ja iltaisin. Viikonloppuina käyttö jakaantuu tasaisemmin koko päivälle, koska asukkaat ovat enemmän läsnä kuin arkipäivinä.



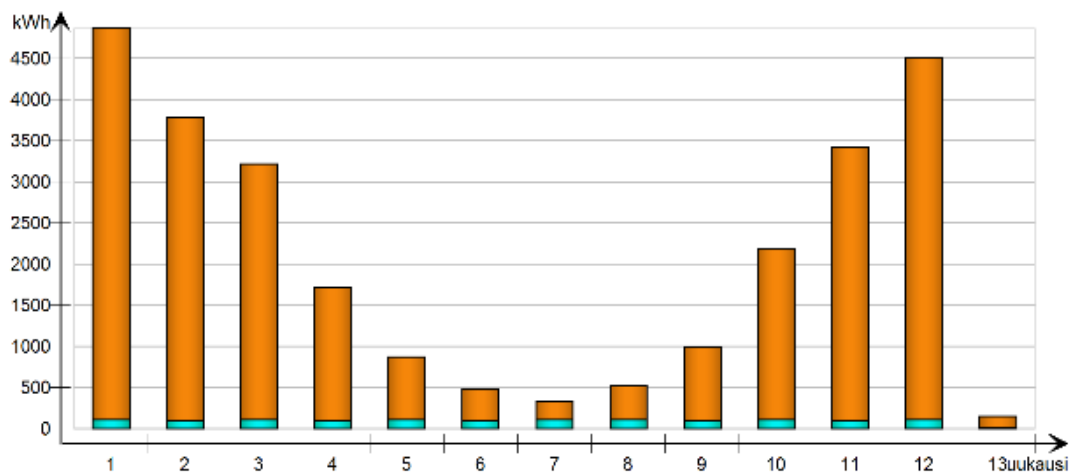
KUVA 3: IDA ICE -mallinnus

3.2 Simulointi

Rakennuksen tarkan mallintamisen jälkeen voidaan tehdä simulointi. Simuloimalla saadaan rakennuksen teoreettinen energiankulutus halutulta ajanjaksolta. Tämä teoreettinen energiankulutus kertoo sen, minkä verran rakennuksen tulisi kuluttaa energiaa sekä mihin energia kuluu teoriassa. Simulointi ottaa huomioon lähestulkoon kaiken, niin rakennuksen sijainnin, vuoden keskilämpötilat kuin puiden varjostuksetkin. Simuloinnista saadaan tulostettua tarkka energiaraportti (Kuva 4) siitä, kuinka suuri on rakennuksen energiankulutus ja mihin se kuluu.

		Ostoenergiankulutus		Tarve
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	0	0.0	0.0
■	Electric cooling	0	0.0	0.0
■	HVAC aux	1253	7.3	0.15
■	Electric heating	25765	150.1	12.0
Yhteensä, Kiinteistösähkö		27018	157.4	
Yhteensä		27018	157.4	
□	Equipment, tenant	0	0.0	0.0
Yhteensä, Asukkaan sähkö		0	0.0	
Yhteensä		27018	157.4	

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuukausi	Kiinteistösähkö				Asukkaan sähkö
	Lighting, facility	Electric cooling	HVAC aux	Electric heating	Equipment, tenant
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	0.0	0.0	105.3	4762.0	0.0
2	0.0	0.0	95.1	3689.0	0.0
3	0.0	0.0	105.3	3108.0	0.0
4	0.0	0.0	102.4	1609.0	0.0
5	0.0	0.0	106.5	764.7	0.0
6	0.0	0.0	103.6	378.0	0.0
7	0.0	0.0	107.4	216.1	0.0
8	0.0	0.0	107.2	419.0	0.0
9	0.0	0.0	103.2	888.7	0.0
10	0.0	0.0	105.9	2077.0	0.0
11	0.0	0.0	102.0	3316.0	0.0
12	0.0	0.0	105.3	4396.0	0.0
13	0.0	0.0	3.4	141.3	0.0
Yhteensä	0.0	0.0	1252.5	25764.8	0.0

KUVA 4: Pieni osa energiaraportista

4 KOHTEET

Opinnäytetyöhön valittiin kolme kohdetta, K, M ja N. Kohteista kaksi on omakotitaloja ja yksi paritalon puolikas. Kohteiden haluttiin olevan mahdollisimman samankaltaisia rakenteeltaan, jotta voitaisiin vertailla myös eri lämmitysmuotojen toimivuutta kohteissa. Kohteet ovat samaa kokoluokkaa, myös paritalon puolikas. Kaikki kolme kohdetta ovat kivitaloja. Lämmitysratkaisuuksina ovat kaukolämpö, ilmavesilämpöpumppu sekä maalämpö. Kaikissa kolmessa kohteessa lämmönjakotapana on vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteista oli saatavilla vuoden 2013 energiankulutukset.

4.1 Kohde K

Vuoreksessa sijaitseva kohde K on isohko omakotitalo. Huoneistoalaa on 148,5 m² kahdessa kerroksessa. Ylempi kerros koostuu pelkästään parvesta, joka sijaitsee rakennuksen toisessa päädyssä. Asukkaita kohteessa on kaksi. Lämmitysratkaisuna on ilmavesilämpöpumppu joka lämmittää niin lämmitysveden kuin lämpimän käyttövedenkin. Lämmönjakotapana on vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteessa on koneellinen ilmanvaihto lämmön talteenotolla, jonka vuosihyötysuhde on jopa 73 %. Takkaa lämmitetään hyvin harvoin. Kohde kuuluu energialuokkaan A ja tavoitteena on passiivienergiatalo. Kohteessa runkomateriaalina on käytetty betonielementtejä. Julkisivumateriaalina on käytetty ohutta rappaista. Vesikatteet on tehty kaksinkertaisesti kumibitumikermistä.



KUVA 5: Kohde K (Asuntomessut.fi)

Kohteen K perustiedot ovat listattuna alla olevassa taulukossa (taulukko 2).

TAULUKKO 2: Kohteen K perustiedot

Kohde K	
Talotyyppi	Omakotitalo
Huoneistoala	148,5 m ²
Kokoonpano	4h + k + s + parvi + autotalli
Asukasmäärä	2
Kerrosluku	2
Runkomateriaali	Betonielementti
Lämmitysmuoto	Ilmavesilämpöpumppu
Lämmönjako	Vesikiertoinen lattialämmitys
Ilmanvaihto	Koneellinen, LTO
E-luku	134
Energialuokka	A
Tiiveys n ₅₀	0,29
Energiankulutus	Sähkö 17035 kWh

Kohteen K rakenneosien U-arvot (taulukko 3) ovat rakennusvuoden vaatimustason (taulukko 1) verrattuna erinomaiset. Kaikki U-arvot ovat alle vaatimustason. Ulkoseinien ja alapohjan U-arvot ovat lähes puolet pienempiä kuin vaatimuksissa.

TAULUKKO 3: Kohteen K rakenneosien U-arvot

Rakenneosien U-arvot (W/m ² K)					
Kohde	Ulkoseinät	Yläpohja	Alapohja	Ovet	Ikkunat
K	0,09	0,08	0,08	0,9	0,8

4.2 Kohde M

Vuoreksessa sijaitseva kohde N on paritalon puolikas. Isossa paritalon puolikkaassa huoneistoalaa on 147 m² ja kerroksia on kaksi. Asukkaita kohteessa on neljä. Lämmitysratkaisuna on kaukolämpö ja lämmönjakotapana vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteessa on koneellinen ilmanvaihto lämmön talteenotolla, jossa hyötysuhde on pienimmillään 45 %. Takkaa lämmitetään hyvin harvoin. Kohde kuuluu energialuokkaan B. Kohteessa runkomateriaalina on käytetty Siporexin 500 millimetrin paksuisia massiiviharkkoja. Julkisivumateriaaleina on käytetty rappausta, puuverhousta sekä liuskekiveä. Vesikatteet on tehty bitumista. Kohteessa on myös 66 metriä rännilämmityksiä ja autontallin oven edustalla sulanapitokaapelia.



KUVA 6: Kohde M (Asuntomessut.fi)

Kohteen M perustiedot ovat listattuna alla olevassa taulukossa (taulukko 4).

TAULUKKO 4: Kohteen M perustiedot

Kohde M		
Talotyyppi	Paritalo	
Huoneistoala	147 m ²	
Kokoonpano	4h + k + s + autotalli + kattot.	
Asukasmäärä	4	
Kerrosluku	2	
Runkomateriaali	Kivi	
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö	
Lämmönjako	Vesikiertoinen lattialämmitys	
Ilmanvaihto	Koneellinen, LTO	
Energialuokka	B	
Tiiveys n50	-	
Energiankulutus	Sähkö	10518 kWh
	Kaukolämpö	19366 kWh
	yhteensä	29884 kWh

Kohteen M rakenneosien U-arvot ovat listattuna alla olevassa taulukossa (taulukko 5). Kaikki muut U-arvot ovat vaatimustasoon (taulukko 1) nähden hyviä lukuunottamatta ulkoseinien U-arvoa joka ylittää vaatimustason.

TAULUKKO 5: Kohteen M rakenneosien U-arvot

Rakenneosien U-arvot (W/m ² K)					
Kohde	Ulkoseinät	Yläpohja	Alapohja	Ovet	Ikkunat
M	0,22	0,09	0,15	1	0,88

4.3 Kohde N

Vuoreksessa sijaitseva kohde N on isohko omakotitalo, jossa huoneistoalaa on 148m² kahdessa kerroksessa. Asuntoon kuuluu myös pihalla sijaitseva erillinen saunarakennus. Asukkaita kohteessa on kolme. Lämmitysratkaisuna on maalämpö ja lämmönjakotapana vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteessa on koneellinen ilmanvaihto lämmön talteenotolla ja viilennystoiminnolla. Kohde kuuluu energialuokkaan A. Kohteessa runkomateriaalina on käytetty valuharkkoa ja betonia. Julkisivumateriaalina on käytetty rappausta. Vesikattorakenteet ovat puusta ja vesikatteet ovat huopaa sekä konesaumattua peltiä.



KUVA 7: Kohde N (Asuntomessut.fi)

Kohteen N perustiedot ovat listattuna alla olevassa taulukossa (taulukko 6).

TAULUKKO 6: Kohteen N perustiedot

Kohde N	
Talotyyppi	Omakotitalo
Huoneistoala	148 m ²
Kokoonpano	3h + k + s + varasto + autok.
Asukasmäärä	3
Kerrosluku	2
Runkomateriaali	Kivi
Lämmitysmuoto	Maalämpö
Lämmönjako	Vesikiertoinen lattialämmitys
Ilmanvaihto	Koneellinen, LTO
E-luku	149
Energialuokka	A
Tiiveys n₅₀	0,60
Energiankulutus	Sähkö 22857 kWh

Kohteen N rakenneosien U-arvot (taulukko 7) ovat hieman vaatimustasoa (taulukko 1) paremmat. Varsinkin ovien U-arvo on varsin pieni.

TAULUKKO 7: Kohteen N rakenneosien U-arvot

Rakenneosien U-arvot (W/m²K)					
Kohde	Ulkoseinät	Yläpohja	Alapohja	Ovet	Ikkunat
N	0,17	0,09	0,15	0,8	0,85

5 SIMULOINTI

Kohteiden K, M ja N mallinnuksille tehtiin energiasimulointi ajanjaksolle 1.1.2013 – 31.12.2013. Sää tietoina käytettiin Tampereen sää tietoja ja tuuliprofiilina taajamaa. Lämmitysmuotoina kohteille K ja N käytettiin sähkölämmitystä ja kohteelle M kaukolämpöä. Kohteiden K ja N lämmitysjärjestelmien COP-arvot saatiin Matias Kosusen opinnäytetyöstä ”Lämmitysratkaisuiden energiankulutus ja käyttökustannukset pientaloissa”. Kohteiden mallinnuksia on hieman yksinkertaistettu. Kohteiden mallinnuksissa kattojen muoto ei vastaa todellisuutta, mutta sen vaikutus ei ole merkittävän suuri. Simuloinnissa ei myöskään otettu huomioon rakennuksen ympäristön aiheuttamia varjostuksia.

Simuloinneissa käytettiin vakio vuotoilmavirtaa $q_{v,vuotoilma}$ ($l/s m^2$) (kaava 2). Ohjelma laskee rakennuksen vakio vuotoilmavirran, kun sinne asetetaan vuotoilmakerroin. Vuotoilmakerroin laskettiin Rakennusmääräyskokoelma D3 mukaan kaavalla 3. Laskuissa käytettiin ilmanvuotolukua q_{50} , joka laskettiin kohteille K ja N Rakennusmääräyskokoelma D5 kaavan 3.10 mukaan ilmanvuotoluvusta n_{50} (kaava 1). Kohteen M ilmanvuotolukua ei ollut saatavilla, joten sen ilmanvuotolukuna käytettiin Rakennusmääräyskokoelma D3 kohdan 2.5.7 mukaan $2,0 m^3/h m^2$.

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} \cdot V \quad (1)$$

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50} \cdot 1000}{3600 \cdot x} \cdot A_{vaippa} \quad (2)$$

$$vuotoilmakerroin = \frac{q_{50} \cdot 1000}{3600 \cdot x} \quad (3)$$

joissa

n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku ($m^3/h m^2$)
V	rakennuksen ilmatilavuus, m^3

A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala, m^2
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja neli-kerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/h yksiköstä m^3/s yksikköön
1000	kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/s yksiköstä l/s yksikköön

Kohteille vuotoilmakertoimiksi saatiin laskettua:

TAULUKKO 8: Kohteiden ilmanvuotoluvut ja -kertoimet






Kohde	Ilmanvuotoluku n_{50}	Ilmanvuotoluku q_{50}	vuotoilmakerroin
K	0,29	0,326	0,0038
M	-	2,000	0,0230
N	0,60	0,600	0,0069

Kylmäsiltojen ja jakelujärjestelmän lämmönhäviöiden arvoina käytettiin normaaleja arvoja. Keskimääräinen lämpimän käyttöveden kulutus oli 100 litraa / henkilö / vuorokausi. Valaistuksen ja laitteiden käyttöaikatauluna käytettiin rakennusmääräyskokoelma D3:ssa olevia valaistuksen ja laitteiden käyttöasteita. Käyttöastekertoimet ovat valaistukselle 0,1 ja laitteille 0,6.






5.1 Kohde K

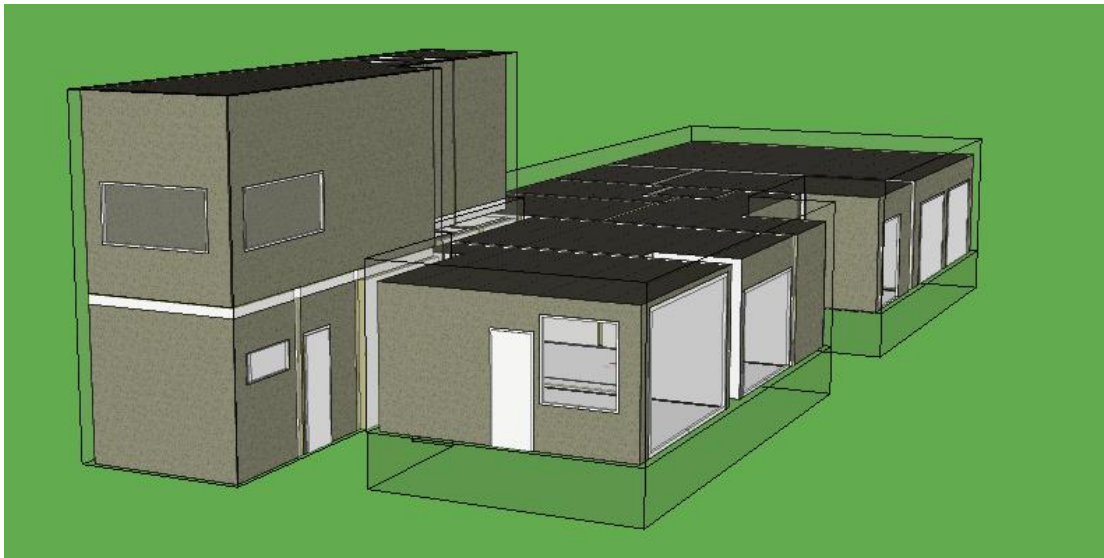
Kohteesta K tehtiin kaksi simulointia. Ensimmäisessä (taulukko 9) simuloinnissa sähkölämmityksen COP arvona käytettiin 2,0, joka on ilmavesilämpöpumpun hyötysuhde. Toisessa (taulukko 10) simuloinnissa sähkölämmityksen COP arvona käytettiin 1,0, joka vastaa suoran sähkölämmityksen hyötysuhdetta.

TAULUKKO 9: Kohteen K ostoenergiankulutus, COP 2,0

		Ostoenergiankulutus		Tarve
		kWh	kWh/m ²	kW
	Lighting, facility	1085	5.6	0.12
	Electric cooling	79	0.4	0.36
	HVAC aux	1418	7.3	0.17
	Electric heating	5722	29.4	4.56
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	8304	42.7	
	Yhteensä	8304	42.7	
	Equipment, tenant	4882	25.1	0.56
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	4882	25.1	
	Yhteensä	13186	67.8	

TAULUKKO 10: Kohteen K ostoenergiankulutus COP 1,0

		Ostoenergiankulutus		Tarve
		kWh	kWh/m ²	kW
	Lighting, facility	1085	5.6	0.12
	Electric cooling	79	0.4	0.36
	HVAC aux	1418	7.3	0.17
	Electric heating	11443	58.8	9.11
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	14025	72.1	
	Yhteensä	14025	72.1	
	Equipment, tenant	4882	25.1	0.56
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	4882	25.1	
	Yhteensä	18907	97.2	








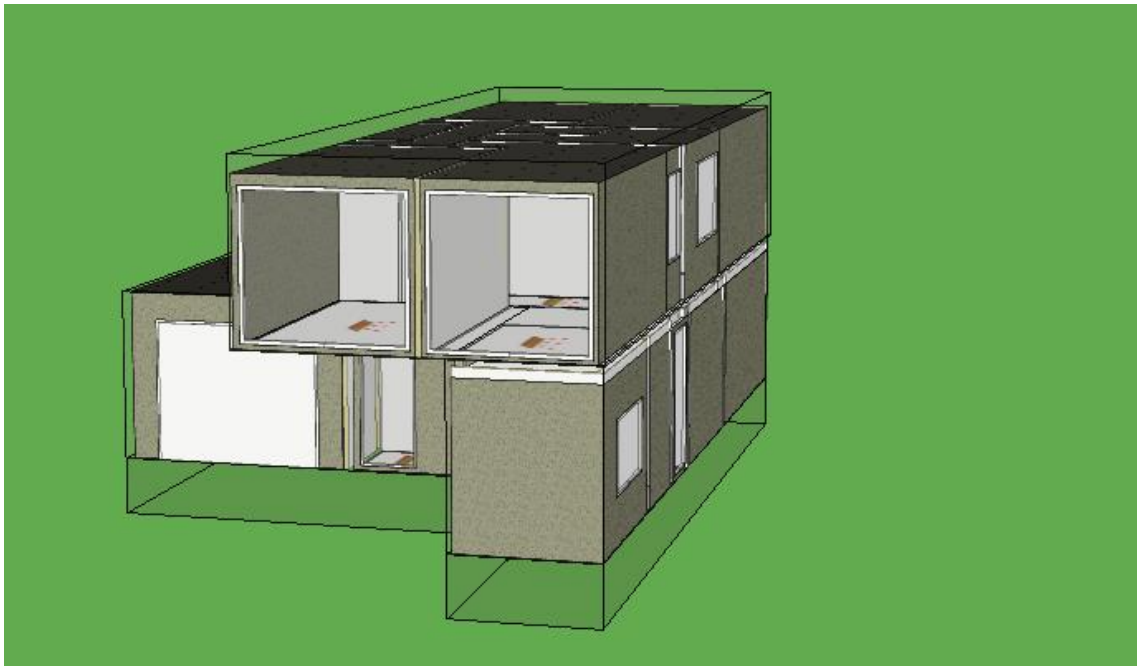
KUVA 8: Kohteen K mallinnus

5.2 Kohde M

Kohteen M teoreettiseksi vuotuiseksi ostoenergiankulutukseksi (taulukko 11) saatiin 28970 kWh.

TAULUKKO 11: Kohteen M ostoenergiankulutus

	Ostoenergiankulutus		Tarve
	kWh	kWh/m ²	kW
 Lighting, facility	906	5.4	0.1
 HVAC aux	687	4.1	0.08
Yhteensä, Kiinteistösähkö	1593	9.4	
 District cooling	245	1.5	0.75
 District heating	23158	137.2	11.75
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	23403	138.7	
Yhteensä	24996	148.1	
 Equipment, tenant	3974	23.6	0.45
Yhteensä, Asukkaan sähkö	3974	23.6	
Yhteensä	28970	171.7	



KUVA 9: Kohteen M mallinnus

5.3 Kohde N

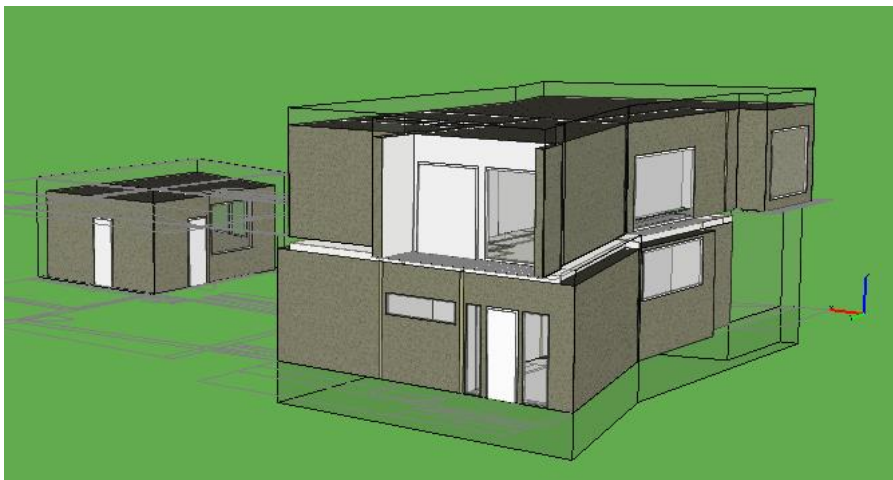
Kohteesta N tehtiin kaksi simulointia, joissa käytettiin sähkölämmitystä. Ensimmäisessä simuloinnissa (taulukko 12) sähkölämmityksen hyötysuhteena eli COP-arvona käytettiin maalämpöpumpun COP-arvoa 2,3. Toisessa simuloinnissa (taulukko 13) COP-arvona käytettiin 1,0 mikä vastaa suoran sähkölämmityksen hyötysuhdetta.

TAULUKKO 12: Kohteen N ostoenergiankulutus, COP 2,3

		Ostoenergiankulutus		Tarve
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	3749	21.8	0.44
■	Electric cooling	0	0.0	0.0
■	HVAC aux	1248	7.3	0.15
■	Electric heating	9827	57.2	5.15
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	14824	86.4	
	Yhteensä	14824	86.4	
	Equipment, tenant	6027	35.1	0.81
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	6027	35.1	
	Yhteensä	20851	121.5	

TAULUKKO 13: Kohteen N ostoenergiankulutus, COP 1,0

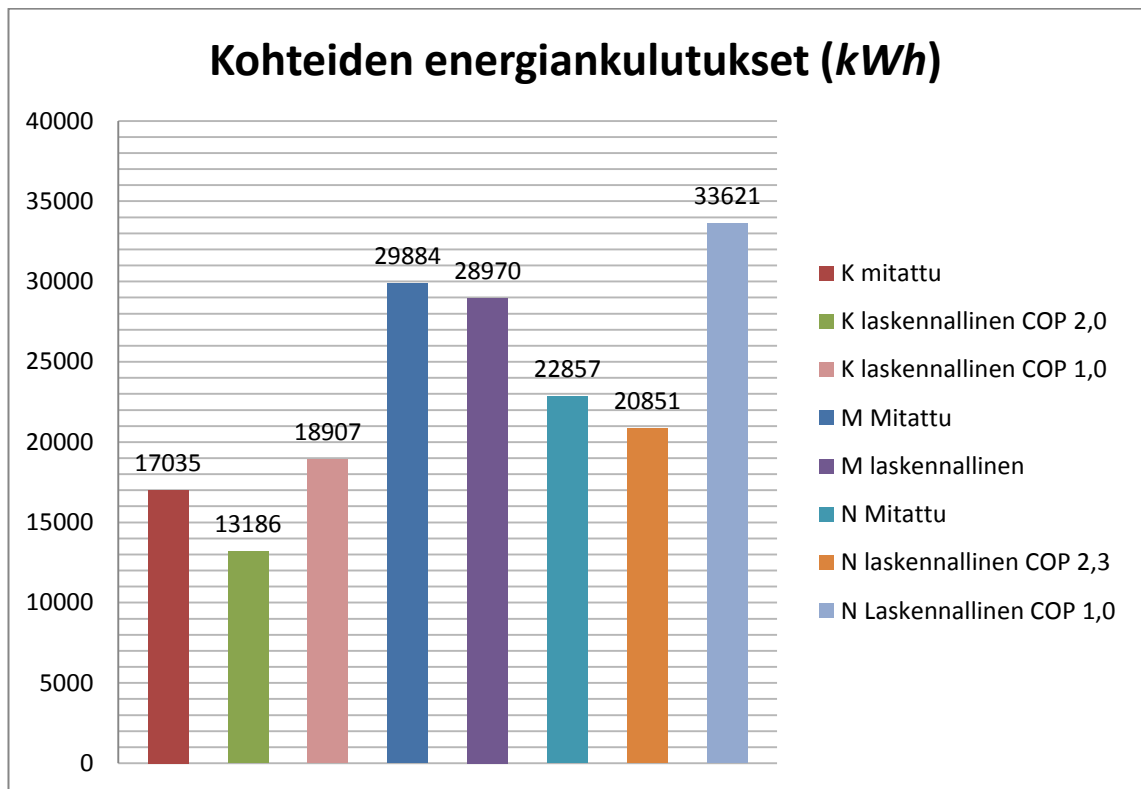
		Ostoenergiankulutus		Tarve
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	3749	21.8	0.44
■	Electric cooling	0	0.0	0.0
■	HVAC aux	1248	7.3	0.15
■	Electric heating	22597	131.6	11.83
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	27594	160.7	
	Yhteensä	27594	160.7	
□	Equipment, tenant	6027	35.1	0.81
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	6027	35.1	
	Yhteensä	33621	195.8	



KUVA 10: Kohteen N mallinnus

6 YHTEENVETO

Simuloinneista saadut tulokset olivat sekä odotettavia, että yllätyksellisiä. Kohde K on kohteista energiatehokkain kuten mitatut kulutuslukemat antoivat ymmärtää. Kohteen K laskennallinen energiankulutus COP 2,0 arvolla on noin viidesosan mitattua energiankulutusta pienempi. Seuraavaksi energiatehokkaimman kohteen N simuloinnista COP-arvolla 2,3 saatu energiankulutus on lähes yhden neljäsosan pienempi kuin kohteen mitattu energiankulutus. Kuten kahdessa muussa kohteessa, on myös kohteen M laskennallinen energiankulutus pienempi kuin mitattu energiankulutus.



KUVIO 2: Kohteiden ostoenergiankulutukset

6.1 Kohde K

TAULUKKO 14: Kohteen K energiankulutukset

Kohteen K energiankulutukset (kWh)			
Energiamuoto	Mitattu	Laskennallinen COP 2,0	Laskennallinen COP 1,0
Sähkö	17035	13186	18907

Kuten taulukosta 11 nähdään kohteen K mitattu energiankulutus on yli 3800 kWh suurempi kuin laskennallinen energiankulutus COP 2,3 arvolla. Kohteen suureen energiankulutukseen verrattuna laskennalliseen energiankulutukseen ei ole yhtä suurempaa energiankulutuksen aiheuttajaa vaan se koostuu useammasta pienemmästä. Käyttötottumuksilla voidaan vaikuttaa suuresti energiankulutukseen ja ne ovat yksi suurista tekijöistä. Simuloinneissa on käytetty lämpimän käyttöveden kulutuksena 100 l / henk / päivä, joka on varsin varovainen arvio. Todellisuudessa lämpimän käyttöveden kulutus voi olla väliltä 100 – 250 l / henk / päivä riippuen käyttäjistä.

Simuloinnissa käytettiin arvioitua keskimääräistä COP-arvoa 2,0 joka voi poiketa todellisesta arvosta. Ilmavesilämpöpumpun hyötysuhde vaihtelee riippuen ilman lämpötilasta. Ilmavesilämpöpumppu toimii hyvin aina -20 °C asti, mutta tuota kylmemmässä ilmassa ilmavesilämpöpumpun hyötysuhde laskee. Eli juuri niinä kylmimpinä päivinä, jolloin lämmitystarve on suurimmillaan, ilmavesilämpöpumpun hyötysuhde voi laskea jopa suoran sähkölämmityksen hyötysuhteen tasolle. Tämä aiheuttaa eroja energiankulutuksessa.

Vertailun vuoksi kohteesta tehtiin simulointi myös suoran sähkölämmityksen hyötysuhteella eli COP-arvolla 1,0. Kuten taulukosta 14 nähdään energiankulutus nousi lähes 2000 kWh ylitse mitatun energiankulutuksen. Simulointien tuloksien eroista nähdään, että ilmavesilämpöpumppu säästää huomattavasti energiaa kohteessa K.

6.2 Kohde M

TAULUKKO 15: Kohteen M energiankulutukset

Kohteen M energiankulutukset (kWh)		
Energiamuoto	Mitattu	Laskennallinen
Sähkö	10518	5567
Kaukolämpö	19366	23403
Yhteensä	29884	28970

Kuten taulukosta 12 nähdään, kohteen M laskennallinen energiankulutus on noin 1000 kWh pienempi kuin mitattu kulutus. Kaukolämmön kulutus on simuloinnista saaduissa tuloksissa noin 4000 kWh mitattua suurempi kun taas mitattua sähkönkulutus on simuloinnista saatua sähkönkulutusta noin 5000 kWh suurempi.

Kohteessa on rännilämmitykset, joiden ohjauksessa on ollut ongelmia. Ne ovat olleet lähes kokoajan päällä mikä osittain selittää korkean sähköenergian kulutuksen. Käyttötottumukset kuten kuinka paljon käyttää valoja, keittää kahvia tai pitää televisiota päällä, vaikuttavat suuresti sähköenergiankulutukseen, Kiukaan käyttö on vähäistä, joten se ei vaikuta suuresti sähköenergiankulutukseen.

Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijat yhteistyössä opettajien kanssa teki kohteeseen M kunnossapitotarkastuksen 9.2.2015 Käyttö ja kunnossapito –kurssilla. Raportin mukaan ilmanvaihtojärjestelmänä toimiva ilmalämpöpumpun asetusarvo oli katselmushetkellä 28 °C. Tästä johtuen järjestelmä on yrittänyt pitää sisäilman lämpötilan 28 °C vaikka ei siihen pystyisikään. Järjestelmällä ei ole tarkoitus lämmittää rakennusta. Järjestelmä on varmasti käyttänyt tarpeettomasti energiaa. (Kunnossapitotarkastus, 2015)

Lämmityksen säädössä on ollut ongelmia. Tästä johtuen autotalli on ollut tarpeettoman lämmin, mikä voisi selittää osittain kohteen suurta kaukolämmön kulutusta. Laskennallinen kaukolämmön kulutus on kuitenkin todellista kulutusta suurempi. Tämän perusteella lämmitysjärjestelmä toimii normaalisti ja kaukolämmön suuri kulutus johtuu rakennuksen muodosta tai rakenteista. Kohteen ulkoseinien U-arvo on yli kaksi kertaa suurempi kuin kohteen K. Kuten taulukosta 13 nähdään, pienentämällä ulkoseinän U-arvo kohteen K tasolle, kaukolämmön kulutus laskee 2369 kWh.

TAULUKKO 16: Kohteen M kaukolämmön kulutus ulkoseinien eri U-arvoilla.

Seinän U-arvo	Kaukolämpö (kWh)
0,22	23403
0,09	21034

Ikkunat ovat suuria energiasyöppöjä. Kohteessa ikkunapinta-alaa on paljon mikä selittää osittain suurta kaukolämmön kulutusta.

6.3 Kohde N

TAULUKKO 17: Kohteen N energiankulutukset

Kohteen N energiankulutukset (kWh)			
Energiamuoto	Mitattu	Laskennallinen COP 2,3	Laskennallinen COP 1,0
Sähkö	22857	20851	33621

Simuloinnissa kohteen N lämmitysmuotona oli sähkölämmitys. Kohteesta tehtiin kaksi simulointia. Ensimmäisessä simuloinnissa sähkölämmityksen COP-arvona käytettiin 2,3 joka vastaa maalämmön hyötysuhdetta. Toisessa simuloinnissa COP-arvona käytettiin suoran sähkölämmityksen arvoa 1,0. Kuten taulukosta 14 nähdään laskennalliseksi energiankulutuksesta saatiin noin 2000 kWh pienempi kuin kohteen mitatusta energiankulutuksesta. Mitään suurta yksittäistä energiankulutuksen nostattajaa ei löytynyt, mutta kohteessa valaistus kuluttaa reippaasti energiaa verrattuna kohteisiin K ja M. Ero mitatun ja laskennallisen energiankulutuksen välille koostuu pienemmistä tekijöistä.

Kohteen simuloinnissa käytetty COP-arvo on arvioitu keskimääräinen hyötysuhde maalämpöpumpulle. Käytännössä maalämpöpumpun hyötysuhde vaihtelee lämpötilojen mukaan. Tämä aiheuttaa eroja energiankulutuksien välillä.

Myös kohteesta N tehtiin vertailun vuoksi simulointi COP-arvolla 1,0 joka vastaa suoraa sähkölämmitystä. Kuten taulukosta 17 nähdään, maalämpöpumppu laskee energiankulutusta noin yhden kolmasosan verrattuna suoraan sähkölämmitykseen.

6.4 Kohteiden energiankulutuksien vertailu keskenään

TAULUKKO 18: Kohteiden kokonais- ja neliökulutukset vuodelta 2013 huoneistoalan mukaan

Kohde	Lämmitysmuoto	Sähkö		Kaukolämpö		Yht	
		Kokonaiskulutus kWh/a	Neliökulutus kWh/m ²	Kokonaiskulutus kWh/a	Neliökulutus kWh/m ²	Kokonaiskulutus kWh/a	Neliökulutus kWh/m ²
K	Ilmavesilämpö	17035	104			17035	104
M	Kaukolämpö	10518	72	19366	132	29884	204
N	Maalämpö	22857	168			22857	168

Kuten taulukosta nähdään, kohde K on huomattavasti energiatehokkaampi kuin kohteet M ja N. Kohteen K energiankulutus huoneistoneliötä kohden vuonna 2013 oli lähes puolet pienempi kuin kohteen M. Kohteiden energiankulutuksien eroihin vaikuttavat rakennuksien muoto, eristys, ikkunat, lämmitysmuoto lämpöhäviöineen, ilmatiiveys sekä käyttäjätottumukset. Sijainnin voidaan sanoa olevan kaikilla kohteilla sama ja siten myös sääolosuhteiden.

Kohteen K muoto poikkeaa hieman kohteiden M ja N muodoista. Kohde K ei ole täysin kaksikerroksinen rakennus vaan siinä on parvi, jonka osuus rakennuksen lattiapinta-alasta on huomattavasti pienempi kuin kohteiden M ja N toisien kerroksien. Kerroksien lukumäärä vaikuttaa rakennuksen vuotoilmamäärään. Kaavassa 2 on kerroin x , joka pienenee kerrosten määrän kasvaessa, jolloin rakennuksen vuotoilmamäärä suurenee.

Kohteessa K on parhaimmat eristykset. Kohteen U-arvot ovat huomattavasti parempia verrattuna kahden muun kohteen U-arvoihin. Esimerkiksi kohteessa M seinien U-arvo on yli kaksi kertaa huonompi kuin kohteen K. Kuten taulukosta 13 nähdään, nostamalla ulkoseinien U-arvo kohteen K tasolle saataisiin säästöä yli 2000 kWh vuodessa. Kun kohteen N simuloinnissa käytettiin kohteen K rakennusosien U-arvoja saatiin myös yli 2000 kWh säästöä vuodessa.

TAULUKKO 19: Kohteiden ikkunapinta-alat

Kohde	K	N	M (arvio)
Ikkunapinta-ala	43,57	64,68	55

Kuten taulukosta 16 nähdään, kohteessa N ikkunapinta-alaa on yksikolmasosa enemmän kuin kohteessa K. Ikkunoiden keskikoko on myös suurempi. Suuret ikkunat ovat suuria energianhukkaajia ja nostavat energiankulutusta lämmityskaudella. Kohteen M ikkunapinta-ala on arvioitu mallinnuksen perusteella. Kohteessa ikkunoita ei ole montaa, mutta ne ovat keskikooltaan suuria.

Kohteiden K ja N ilmanvuotoluvut on ilmoitettu vuoden 2010 määräysten mukaan n_{50} arvoilla. Kohteen K ilmanvuotoluku on yli puolet pienempi kuin kohteen N. Rakennuksen tiiveydellä on suuri vaikutus kohteen energiankulutukseen. Suuren ilmanvuotoluvun omaavassa rakennuksessa on suuret lämpöhäviöt ilmapuotojen takia. Tiiveys vaikuttaa suoraan energiankulutukseen. Kohteen M ilmanvuotolukua ei ole saatavilla.

Käyttäjätottumukset ja käyttäjien lukumäärä näyttelevät usein suurta roolia energiankulutuksessa. Kuinka lämpimänä pidetään sisäilman lämpötilaa, lattialämmitystä tai ilmanvaihdon sisäänpuhalluslämpötilaa. Jo yhden celsiusasteen pudotuksella sisälämpötilassa voidaan säästää 5% lämmityskuluissa. Sähkölaitteiden käytössä on myös eroa. Mitä enemmän laitteita käytetään sitä enemmän energiaa kuluu. Kohteen asukkaiden määrän kasvaessa kasvaa myös energiankulutus. Lämpimän käyttöveden ja sähkölaitteiden käyttäjiä on enemmän, jolloin myös käyttöveden ja sähkölaitteiden energiankulutus lisääntyy. Kulutuksen lisääntyminen näkyy rakennuksen energiankulutuksessa sillä lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluu noin viidennes rakennuksen energiankulutuksesta Kohteessa K on kaksi henkilöä, kohteessa M neljä ja kohteessa N kolme.

Rakennukset ovat yksilöitä ja työn laajuus suppea. Tämän opinnäytetyön perusteella ei voida todeta kaukolämmön olevan huono vaihtoehto, vaikka se tämän työn tuloksien perusteella kaikista energiatehottomin ratkaisu kivitalon lämmitysmuodoksi onkin. Aihe vaatii lisää laajempia tutkimuksia siitä, mikä lämmitysmuoto sopii parhaiten kivitaloihin. Kaikenlisäksi kohteet olivat alle vuoden ikäisiä kun vuoden 2013 energianmittaukset aloitettiin. Tämä voi hyvinkin vaikuttaa tuloksiin, sillä rakennukset vaativat yleensä useamman vuoden kunnes rakennus kuivuu ja lämmitysjärjestelmien säädöt asettuvat aloilleen.

LÄHTEET

Vuores, Tampere, Luettu 10.1.2015

<http://www.tampere.fi/vuores.html>

Asuntomessut Tampereella, Vuores, Suomen asuntomessut, Luettu 10.1.2015

<http://www.asuntomessut.fi/tampere-2012/vuores>

Kohdetietoluettelo, Suomen asuntomessut,2012. Luettu 10.1.2015

IDA Indoor Climate and Energy, EQUA Simulation AB, Luettu 10.1.2015

<http://www.equa.se/fi/>

Rakennusten lämmöneristys C3, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, 2010. Luettu 10.1.2015

Rakennusten energiatehokkuus D3, Suomen rakentamismääräyskokoelma
Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, 2011. Luettu 10.1.2015

Kivitalojen ENERGIATEHOKKUUS, Betoniteollisuus ry, 2010. Luettu 20.2.2015

Energiatehokkuus, Työ- ja elinkeinoministeriö, Luettu 23.2.2015

<http://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus>

Matalaenergiarakentaminen, asuinrakennukset, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009. Luettu 25.2.2015

Säästövinkkejä kaukolämpötalouksiin, Energiateollisuus ry, 2014. Luettu 10.4.2015

<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/energiansaastotietoa/saastovinkkejä-kaukolampotalouksiin>

Kodin sähkölaitteet, Energiateollisuus ry, 2014. Luettu 10.4.2015

<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kodin-sahkolaitteet>

Koti ja lämmitys. Energiateollisuus ry, 2014. Luettu 10.4.2015

<http://energia.fi/koti-ja-lammitys>

Kotitalouksien sähkönkäyttö, Adato energia Oy, 2011. Luettu 10.4.2015

Energia & tehokkuus, Energiatehokkuus, RAKLI ry, Luettu 10.4.2015

Millainen on energiatehokas pientalo?, MotivaOy, Luettu 10.4.2015

http://motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo

Energiatehokkaan talontekijän muistilista, Millainen on energiatehokas pientalo?,
MotivaOy, Luettu 10.4.2015

http://motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/energiatehokkaan_talontekijan_muistilista

Matalaenergiatalon määritelmiä, Millainen on energiatehokas pientalo?, MotivaOy,
Luettu 10.4.2015

http://motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmiä

Perustietoa, Energiatehokas koti, 2014. Luettu 11.4.2015

<http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa>

Suunnittelu, Energiatehokas koti, 2014. Luettu 11.4.2015

<http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu>

Energiatehokkuus, energiavirasto, 2015. Luettu 15.5.2015

<https://www.energiavirasto.fi/energiatehokkuus;jsessionid=E9A01AC499084FCE1535955B83EF56B0>

Energiatehokas ilmanvaihto, Motiva Oy. Luettu 15.5.2015

http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas_ilmanvaihto.pdf

Kaukolämpö vs Maalämpö, Geo Drill Oy, 2012. Luettu 20.5.2015

<http://www.geodrill.fi/kaukolampo-maalampo>

Kunnossapitotarkastus, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2015. Luettu 27.5.2015

Lämmitysratkaisuiden energiankulutus ja käyttökustannukset pientaloissa, Kosunen Matias, 2014. Luettu 2.6.2015