

Pro gradu -tutkielma

**Uusiutuvan energian käyttö rakennusten
lämmitysjärjestelmissä ja energiatehokkuuden
huomioiminen yhdyskuntasuunnittelussa**

Mikko Alanne



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteen laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

21.6.2013

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ympäristötiede ja -teknologia

Mikko Alanne: Uusiutuvan energian käyttö rakennusten lämmitys-
järjestelmissä ja energiatehokkuuden huomioiminen
yhdyskuntasuunnittelussa

Pro gradu -tutkielma: 73 s., 3 liitettä (13 s.)

Työn ohjaajat: Yliopistonlehtori, FT Anssi Lensu
Kuopion kaupungin projektipäällikkö Tapio Kettunen

Tarkastajat: FT Jussi Maunuksela, FT Anssi Lensu

Kesäkuu 2013

Hakusanat: Energiatehokkuus, uusiutuva energia, lämmitysjärjestelmät, maankäyttö,
yhdyskuntasuunnittelu.

TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutoksen ja energiakustannusten nousun vuoksi kiinnostus energiatehokkuuteen ja tietoisuus energian säästämisestä sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistarpeesta ovat kasvaneet viime vuosina. Kaavoituksen ja maankäytön toteutuksesta johtuvat ympäristövaikutukset ja kasvihuonekaasupäästöt ovat merkittäviä, joten yhdyskuntasuunnittelun oikeanlaisella säätelyllä voi olla huomattavia vaikutuksia päästöjen kehityksen ohjaamisessa ympäristömyönteisempään suuntaan. Myös rakennusmateriaalit sekä lämmitysjärjestelmien valinta vaikuttavat kokonais-energiatehokkuuteen ja päästöihin.

Kuopion kaupunki pyrkii tiivistämään yhdyskuntarakennetta ja lisäämään täydennysrakentamista kaavoituksen keinoin. Tämän Pro Gradu -tutkielman kohteeksi valittiin Kuopion asemakaavan muutosalue Julkulan kaupunginosassa, johon suunniteltujen asuinkerrostalojen mahdollisia lämmitysratkaisuja vertailtiin sekä elinkaaren aikaisten CO₂-päästöjen että kustannusten osalta. Lämmitysjärjestelmien vertailu suoritettiin laskemalla yhden asuinkerrostalon kuluttama lämmitysenergia kolmella eri energiatehokkuuden tasolla. Vertailuun valitut lämmitysjärjestelmät olivat todennäköisimpiä vaihtoehtoja kyseisessä tapauksessa. Suomessa yleisintä asuinkerrostalojen lämmitysmuotoa, kaukolämpöä, verrattiin uusiutuvaa energiaa hyödyntäviin lämmitysjärjestelmiin. Tulosten perusteella todettiin, että kaukolämmitys on kustannustehokas ja kilpailukykyinen lämmitysmuoto myös energiatehokkaammissa rakennuksissa. Toisaalta kaukolämmön aiheuttamat CO₂-päästöt voivat olla selvästi korkeammat verrattuna maa- ja aurinkolämpöä hyödyntäviin lämmitysjärjestelmiin, mikäli kaukolämmön tuotanto on toteutettu vastaavalla tavalla kuin Kuopiossa.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science
Department of Biological and Environmental Science
Environmental Science and Technology

Mikko Alanne: The utilization of renewable energy in the heating systems of new buildings and consideration of energy efficiency in community planning

Master's thesis: 73 p., 3 appendices (13 p.)
Supervisors: University Lecturer, PhD Anssi Lensu
Project Manager of Kuopio Tapio Kettunen

Inspectors: PhD Jussi Maunuksela, PhD Anssi Lensu
May 2013

Key words: Energy efficiency, Renewable energy, heating systems, land use, community planning.

ABSTRACT

Recently, the interest for energy efficiency has arisen. The knowledge of saving energy as well as of reducing greenhouse gas emissions has increased due to the influence of global warming and the growth of energy costs. The actualization of community planning and land use is causing significant environmental impacts and greenhouse gas emissions. Therefore, their regulation may have remarkable effects on guiding the development of emissions to environmentally friendlier direction. In addition, construction materials and the choice of heating systems are affecting the energy efficiency and emissions.

The city of Kuopio is aiming at compressing the community structure and increasing the complementary building by community planning. The target of this Master's thesis was the comparing of the possible heating system solutions for the apartment buildings in the changing street plan of Julkula, Kuopio by costs and CO₂-emissions during the life cycle. The heating systems were compared by calculating the heating energy spent by an apartment building in three different energy efficiency levels. The heating systems selected for the comparison were the most probable options for the case considered. District heating, which is the most common form of heating in apartment buildings in Finland, was compared to systems utilizing renewable energy. On the basis of the results, it was concluded that district heating is a cost effective and competitive form of heating also in buildings with better energy efficiency. On the other hand, the CO₂-emissions caused by district heating can be clearly higher compared to the systems utilizing ground heat and solar thermal power if similar heat production systems are used as in Kuopio.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	1
2	TUTKIMUKSEN TAUSTA	4
2.1	Lainsäädäntö	4
2.1.1	Päästövähennystavoitteet Euroopan Unionissa	4
2.1.2	Energiatehokkuusmääräykset	5
2.1.3	Rakennuksen kokonaisenergiankulutus	7
2.2	Yhdyskuntarakenne	8
2.2.1	Suomen rakennuskanta	8
2.2.2	Elinkaariajattelu	11
2.2.3	Ekologinen ja kulttuurihistoriallinen yhdyskunta	12
2.3	Energiajärjestelmät yhdyskunnissa	13
2.3.1	Energiantuotanto Suomessa	13
2.3.2	Hajautettu energiantuotanto	16
2.3.3	Kaukolämmitys	17
2.4	Uusiutuva energia yhdyskunnassa	18
2.4.1	Uusiutuvalla energialla kohti päästötavoitteita	18
2.4.2	Aurinkoenergia	19
2.4.3	Tuulienergia	20
2.4.4	Maalämpö	21
2.5	Kaavoituksen vaikutusmekanismit energiatehokkuuteen	22
2.5.1	Maakunta-, yleis- ja asemakaava	22
2.5.2	Tontin luovutusehdot ja rakennusvalvonta	24
2.6	Rakennustyyppien ja -materiaalien vaikutus energiatehokkuuteen	25
2.6.1	Rakennusmateriaalit	25
2.6.2	Rakennusten elinkaaren aikaiset päästöt	27
2.6.3	Rakennusten energiatehokkuus	28
2.6.4	Lämmön talteenotto	29
2.6.5	Jäähdytys	30
3	AINEISTOT JA MENETELMÄT	32
3.1	Asemakaavan kohdealue: Julkula	32
3.2	Alueen ominaispiirteitä ja mahdollisia taloratkaisuja	32
3.3	Paikkatietotarkastelun menetelmät ja aineistot	34
3.4	Lämmitysjärjestelmien vertailu	36
3.4.1	CO ₂ -päästöt ja kustannukset	36

3.4.2	Kaukolämpö	37
3.4.3	Maalämpö	37
3.4.4	Aurinkolämpökeräimet ja kaukolämpö	39
3.5	Laskelmissa käytetyt kaavat ja taustatiedot	39
3.5.1	CO ₂ -Päästöt	39
3.5.2	Kustannukset	40
3.5.2.1	Kaukolämmön kustannukset	41
3.5.2.2	Maalämpöjärjestelmän kustannukset	42
3.5.2.3	Aurinkolämpökeräimillä tuetun kaukolämpöjärjestelmän kustannukset	43
3.5.2.4	Matala- ja passiivienergiatalojen takaisinmaksuajat	44
4	TULOKSET	46
4.1	Kerrostalorakennuksen lämmitysenergian kulutus	46
4.2	CO ₂ -päästöt	46
4.3	Kustannukset	49
4.3.1	Kaukolämmitys	49
4.3.2	Maalämpöjärjestelmä	49
4.3.3	Aurinkolämpökeräimet ja kaukolämpö	50
4.4	Matala- ja passiivienergiarakennusten takaisinmaksuajat	51
4.5	Näkyvyystarkastelu ja auringonsäteilyn määrä	52
5	TULOSTEN TARKASTELU	58
5.1	Elinkaaren aikaiset CO ₂ -päästöt	58
5.2	Kustannukset	59
5.3	Näkyvyystarkastelu	60
5.4	Auringonsäteily	61
5.5	Tuloksissa huomioitavia asioita	61
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
	KIITOKSET	66
	KIRJALLISUUS	67
	LIITTEET	

Lyhenneluettelo

UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
CO ₂ -ekv.	hiilidioksidiekvivalentti
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
E-luku	Energialuku (rakennuksen energiatehokkuus)
LCA	Life Cycle Assessment
CHP	Combined Heat and Power
ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus
n-m ²	nettoneliömetri
br-m ²	bruttoneliömetri
k-m ²	kerrosneliömetri
SPF	Seasonal Performance Factor
COP	Coefficient Of Performance

1 JOHDANTO

Euroopan Unionilla on voimakas pyrkimys laskea kasvihuonekaasupäästöjä nykyisestä tasosta ilmastomuutoksen hidastamiseksi. Tätä tavoitetta varten säädetyt EU:n direktiivit ohjaavat kansallisella tasolla tehtävää lainsäädäntöä ja laadittavia määräyksiä. Jäsenvaltioille on määritelty omat kasvihuonekaasujen vähentämistä koskevat päästötavoitteet, ja Suomen tavoite on vähentää päästöjä 16 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Kuopion kaupungin vuonna 2003 valmistunut ilmastostrategia päivitettiin vuonna 2008 ilmastopoliittiseksi ohjelmaksi vuosille 2009 – 2020. Lisäksi kaupunki on sopinut työ- ja elinkeinoministeriön kanssa kuntien energiatehokkuussopimuksen vuonna 2007. Sopimuksessa on määritelty Kuopion kaupungille vuoteen 2016 mennessä 9 %:n energiankäytön tehostamistavoite, joka energiayksiköiksi muunnettuna tarkoittaa 18,2 GWh. Tämän vuoksi Kuopion kaupungin toimintasuunnitelmaan on hyväksytty energiatehokkuushanke aikavälille 2008 – 2016 ja sen toimenpiteet ulottuvat useille osa-alueille (Kuopion kaupunki 2009).

Julkisen sektorin tärkeä rooli rakentamisessa ja kuntien vastuu maankäytön suunnittelusta, kaavoituksesta ja rakennusvalvonnasta vaikuttaa kokonaisvaltaisesti yhdyskunnan ohjaamiseen. Kunnat voivat vaikuttaa merkittävästi energiankäyttöön ja sen tehokkaaseen hyödyntämiseen, sillä noin 40 % energian loppukäytöstä menee rakentamiseen ja rakennusten käyttöön, jos liikenteen vaikutusta ei oteta huomioon (Martinkauppi 2010). Tämän vuoksi maankäytön ja rakentamisen suunnittelulla on erityisen tärkeä merkitys energiankulutuksessa, ja ne molemmat ovatkin hyvästä syystä edellisessä kappaleessa mainittujen toimenpiteiden kohteena. Rakennusten energiatehokkuutta on siis parannettava ja uusiutuvan energian käyttöä lisättävä, jotta tavoitteet voidaan saavuttaa ja kasvihuonekaasupäästöt saadaan vähenemään. Myös monet muut osapuolet, kuten urakoitsija, omistajat, käyttäjät sekä erilaisten kiinteistöpalveluiden tuottajat, vaikuttavat rakennusten toimintoihin. Parhaan lopputuloksen kannalta olisi tärkeää, että eri osapuolten tavoitteet ekotehokkuuden kannalta olisivat samansuuntaiset. Verkoston monitahoisuus on johtanut kiinteistöalan päätöksentekoketjun hajanaistumiseen, mikä saattaa hankaloittaa tavoitteiden saavuttamista. Myös toimijoiden erilaiset ansaintalogiikat, mielenkiinnon kohteet, asenteet, tavoitteet, muutosvastarinta sekä suunnitelmien eripituiset aikavälit tai elinkaariajattelun puuttuminen vaikeuttavat arvoketjun ohjaamista, kokonaisuuden hallintaa sekä kestävästä kehitystä (Martinkauppi 2010).

Annunziata ym. (2012) selvittivät tutkimuksessaan Euroopan Unionin jäsenvaltioiden kansallisten sääntelykeinojen yhdenmukaisuutta. Tarkasteltavia asioita olivat säännösten vaikutukset innovaatioihin ja politiikkaan, uusiutuvan energian integroinnin lisääminen energiatehokkaisiin rakennuksiin, säännösten integrointi energiatehokkuuteen liittyviin investointeihin asuntomarkkinoilla sekä rakennusten energiatehokkuuden tukemisen työllisyysvaikutukset. Tulokset osoittivat, että maiden välisessä kansallisten säännösten suunnittelussa on hajanaisuutta. Tämä vahvistaa säännösten yhdenmukaistamisen, poliittisten keinojen sekä maiden välisten vuorovaikutusten parantamisen merkitystä (Annunziata ym. 2012). Kestävän kehityksen luominen kiinteistö- ja rakennusalalle edellyttää avointa keskustelua ja vuorovaikutusta eri tahojen välillä. Tällä hetkellä energiatehokkuus nähdään kiinteistöjen käyttäjien ja omistajien näkökulmasta hyvin voimakkaasti taloudellisena sekä imagollisena asiana, ja energiaa säästäviin toimenpiteisiin ollaan valmiita ryhtymään yleensä vain, mikäli kustannuksissa säästetään. Kestävää kehitystä mahdollistavia tekijöitä ovat esimerkiksi käyttäjien kasvavat vaatimukset energiatehokkaammista rakennuksista ja laitteista, uudet kannustimet ja ohjauskeinot, korjaus- ja täydennysrakentaminen eli olemassa olevan infrastruktuurin hyödyntäminen, uudet teknologiset ratkaisut, sekä tuottavuuden ja tehokkuuden parantaminen (Martinkauppi 2010). Energiatehokkuuden parantaminen on siis vakaa pitkän aikavälin keino päästöjen vähentämiseksi, mutta parempien tulosten aikaansaamiseksi energiatehokkuuden vaikutusvaltaisia puolestapuhujia tarvitaan lisää (Nässén & Holmberg 2005).

Rakennetun ympäristön energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen kehityssuunnat ovat epävarmoja. Merkittävimpiä epävarmuustekijöitä energiankulutuksen vähentämisessä ovat nykyisen rakennuskannan energiatehokkuuden parantumisen määrä ja liikenteen kehittyminen. Nykyajan ja lähitulevaisuuden energiahuoltoratkaisut vaikuttavat pitkälle tulevaisuuteen ja ne ovat keskeisiä kasvihuonekaasupäästöjen suunnan määrittäjiä. Rakennusten osuus energiankulutuksesta on vähitellen laskemassa, sillä energiaa enemmän kuluttavat vanhat rakennukset poistuvat uusien energiatehokkaampien rakennusten tieltä tai vanhoja järjestelmiä uudistetaan energiatehokkaammiksi (Martinkauppi 2010). Australiassa tehdyn tutkimuksen mukaan päästöjä vähennettäessä rakennusten lämmityksen energiatehokkuuden parantamisella voidaan ylläpitää kuluttajien etuja. Toisaalta keskittyminen teknisesti tehokkaisiin ratkaisuihin häiritsee muiden hyödyllisten päästöjä vähentävien keinojen kehittymistä. Lyhyen aikavälin saavutukset energia-

tehokkuudessa ovat olleet ristiriidassa pidemmän aikavälin energiankulutuksen kanssa, sillä 50 vuoden aikana Australian energiankulutus asukasta kohti on pysynyt hyvin tasaisena. Vaikuttaa siltä, että energiatehokkuuden parantaminen mahdollistaa elintason ja kulutustottumusten kasvua muun vuosittaisen energiantarpeen jatkaessa kasvuaan (Palmer 2012).

Tässä työssä tarkastellaan maankäytön suunnittelua ja uudisrakentamista sekä pyritään selvittämään keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi näiden osa-alueiden muodostamalla rajapinnalla. Rakennusten erilaisten lämmitysjärjestelmien vertailulla kustannuksien, päästöjen sekä ympäristövaikutusten näkökulmasta havainnollistetaan vallalla olevaa vaihtoehtojen kirjoa ja tuodaan esille yhdyskuntarakenteen vaikutusta päätöksentekoon. Kaavoituksen osuus ja sen vaikutuksen mekanismit yhdyskunnan energiankäytön suunnannäyttäjänä sekä kaavoituksen suhde verkoston muihin toimijoihin ovat myös tarkastelun kohteena. Yhdyskuntarakenteen ja kaavoituksen vaikutus liikenteeseen ja sen päästöihin sekä liikenteen merkitys energiatehokkuuden näkökulmasta on rajattu tämän tutkielman ulkopuolelle, koska kyseinen aihe olisi laajentanut liian paljon työn sisältöä.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTA

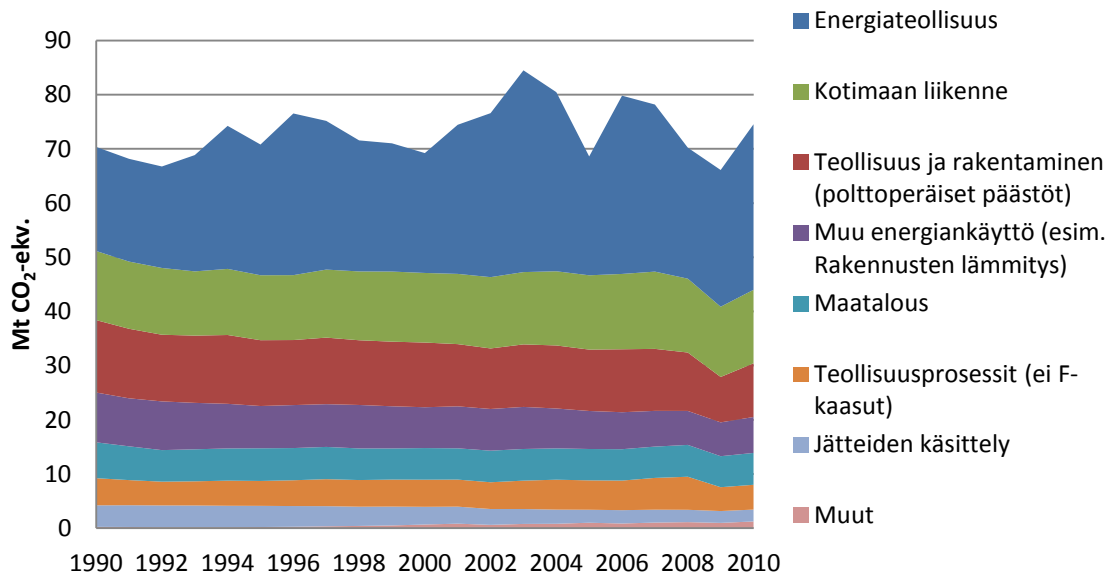
2.1 Lainsäädäntö

2.1.1 Päästövähennystavoitteet Euroopan Unionissa

Yhdistyneiden kansakuntien puitesopimuksen (UNFCCC) perimmäisenä tavoitteena on vakauttaa ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuus tasolle, jossa ihmisten toiminnan vaaralliset vaikutukset ilmastojärjestelmään poistuisivat. Maapallon keskimääräisen pintalämpötilan kokonaisuus ei saisi olla yli 2 °C suhteessa esiteollisena aikakautena vallinneeseen keskilämpötilaan, jotta tavoite toteutuisi. Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) mukaan tavoitetta ei saavuteta, ellei kasvihuonekaasupäästöjen kasvua pysäytetä vuoteen 2020 mennessä. Euroopan Unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Päästövähennyksien saavuttamiseksi on luotu päästöoikeuksien kaupankäyntijärjestelmä sekä maakohtaisia velvoitteita (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2009a). Kaupankäyntijärjestelmän avulla tavoitellaan 21 %:n päästövähennyksiä vuoden 2005 tasosta ja loput päästöjen vähennysvelvoitteet on jaettu maakohtaisiin tavoitteisiin. Suomen osalta velvoite tarkoittaa päästökaupan ulkopuolella olevien päästöjen 16 %:n vähennystä vuoteen 2020 mennessä vuoden 2005 tasosta, joka on hieman pienempi kuin vuoden 1990 päästöt (kuva 1), (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2009b). UNFCCC:n edistymistä taistelussa ilmaston lämpenemistä vastaan helpottaa ympäristöystävällisiä yhtiöitä suosivat sijoittajat, jotka toiminnallaan kannustavat yrityksiä vähentämään päästöjä (Khan & Chowdhury 2012).

Suurimmat päästöjen aiheuttajat Suomessa ovat energiateollisuus ja kotimaan liikenne. Niiden jälkeen tulevat teollisuudesta ja rakentamisesta aiheutuvat polttoperäiset päästöt (kuva 1). Kuvassa 1 kasvihuonekaasupäästöt on suhteutettu hiilidioksidiksi ja päästöt eivät sisällä maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätaloussektorin (LULUCF -sektori) päästöjä. Euroopan Unionin jäsenmailla on myös yhteinen tavoite saavuttaa vuoteen 2020 mennessä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun energian osuudeksi 20 % loppuenergian käytöstä. Suomelle asetettu kansallinen velvoite EU:n yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi on määräaikaan lisätä uusiutuvan energian osuutta energian loppukäytöstä vuoden 2005 tasosta eli 28,5 %:sta 38 %:iin (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2009c, Motiva 2012a). Vuoden 2012 ennakkotietojen mukaan uusiutuvan energian osuus loppuenergian

kulutuksesta oli 30 % (tilastokeskus 2013a). Seuraavassa luvussa käsiteltävien kansallisten määräysten yksi tärkeimmistä tarkoituseristä on juuri edellä mainittujen tavoitteiden toteutuminen.



Kuva 1. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys Suomessa vuodesta 1990 alkaen ja päästöjen aiheuttajat ilman LULUCF-sektoria (Tilastokeskus 2010).

2.1.2 Energiatehokkuusmääräykset

Kansallisten määräysten toteutus hoidetaan Suomessa pääasiassa maankäyttö- ja rakennuslain, maankäyttö- ja rakennusasetuksen, rakentamismääräyksien sekä energiatodistuksen avulla. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD (2010/31/EU) määrittelee kansalliset minimivaatimukset sekä uudis- että korjausrakentamisen energiatehokkuudelle. Direktiivin myötä energiatodistusten ja valvonnan tärkeys kasvaa. Lisäksi se edellyttää lämmitysjärjestelmien, ilmastointikoneiden ja vaihtoehtoisten energiajärjestelmien tarkasteluvelvoitetta. Direktiivi sisältää myös vaatimuksia teknisille järjestelmille, vaatimuksen seuraamusjärjestelmän asettamisesta kaikkiin säädöksiin sekä monenlaisia raportointivelvoitteita (Martinkauppi 2010).

Rakennusten energiankulutukseen voidaan vaikuttaa kiristämällä normimääräyksiä tai lisäämällä kiinnostusta energiatehokkaampaan rakentamiseen esimerkiksi markkina- taloudelliseen ohjaukseen perustuvien keinoin. Energiatehokkuusnormien tulisi välittyä käytännön rakentamisessa sovellettavien rakentamismääräyksien kautta parantamaan energiatehokkuutta. Määräysten kiristäminen asteittain on keino saavuttaa

yhteiseurooppalainen kymmenen vuoden tavoite uudisrakentamisen lähes nollaenergiatasosta, jolloin rakennusten tarvitseman energian määrän tulisi olla lähes olematon tai hyvin vähäinen, joka tulisi edelleen kattaa uusiutuvan energian avulla (D3 Srmk 2/11, Martinkauppi 2010). Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin sisältöä tuodaan Suomeen kansallisena täytäntöönpanona uusien määräysten ja säädösten avulla. Uusi rakennusten energiatehokkuutta käsittelevä Ympäristöministeriön asetus on tullut voimaan 1.7.2012 ja sen yksi kenties merkittävin muutos on rakennusten kokonaisenergiankäytön kriteerinä toimivan E-luvun käyttöönotto.

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 (D3 Srmk 2/11).

Jatkossa uudisrakennuksien energialuokitus määritellään siis E-luvun perusteella. Eri rakennustyypeille on määritetty E-luvun raja-arvo, jota ei saa ylittää. E-luku määritellään suhteellisena asuinpinta-alaan ja sen arvo on asuinkerrostalolle selkeästi pienempi kuin pinta-alaltaan alle 120 m² olevalle pientalolle (taulukko 1). Asetus rakennusten energiatehokkuudesta pitää sisällään myös rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot, vaatimuksia ja määräyksiä kesäajan huonelämpötilan hallinnasta, rakennusvaipan ilmanpitävyydestä, rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöistä sekä ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudesta (D3 Srmk 2/11).

Taulukko 1. Uudisrakennusten E-luvun yläraja-arvoja eri rakennuksille, kWh/m² a (D3 Srmk 2/11).

Rakennustyyppi	E-luku
Asuinkerrostalo	130
Pientalo <120 m ²	204
Pientalo >600 m ²	130
Hirsitalo <120 m ²	229
Hirsitalo >600 m ²	155
Rivi- ja ketjutalo	150
Toimistorakennus	170

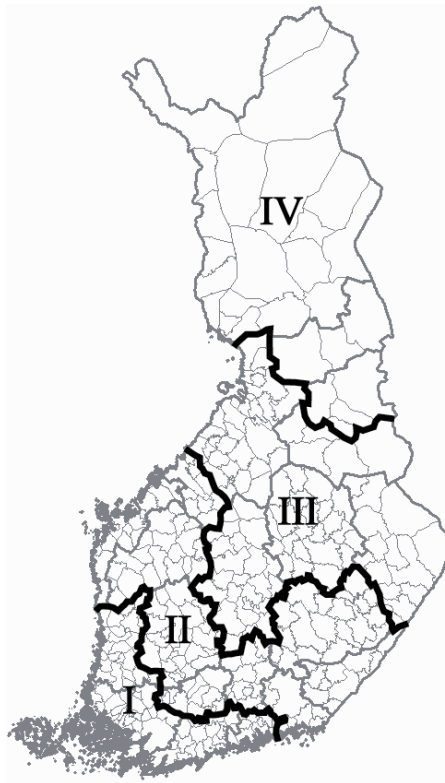
2.1.3 Rakennuksen kokonaisenergiankulutus

Rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen selvittämiseksi on laskettava E-luku (kWh/m^2). E-luku lasketaan ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulolla (taulukko 2). Rakennuksen ostoenergiankulutuksen tarkassa määrittämisessä on otettava huomioon sisäilmasto-olosuhteiden, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikojen sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvot sekä rakennuksen suunnitteluasiakirjoista löytyvät lähtöarvot. Lisäksi lämmitystehon ja energiankulutuksen arvioinnissa hyödynnetään paikallisen ulkoilman säätietoja käyttämällä kyseessä olevan vyöhykkeen ulkoilman lämpötila-arvoja (kuva 2, taulukko 3). E-lukua laskettaessa uusiutuva omavaraisenergia ei ole ostoenergiaa, vaan sen lasketaan vähentävän ostoenergian kulutusta (D3 Srmk 2/11).

Taulukko 2. Energiakertoimet eri energiamuodoille E-lukua laskettaessa (D3 Srmk 2/11).

Energiamuoto	Energiakerroin
sähkö	1,7
kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Ohessa on laskuesimerkki E-luvulle talosta, jonka vuotuinen kokonaisenergiankäyttö on 200 kWh/m^2 , josta käyttösähkön osuus on $1/4$. Lämmitysenergiasta tuotetaan $2/3$ kaukolämmöllä ja $1/3$ uusiutuvalla omavaraisenergialla. Talon E-luku: $100 \text{ kWh/m}^2 \times 0,7 - 50 \text{ kWh/m}^2 \times 0,5 + 50 \text{ kWh} \times 1,7 = 130 \text{ kWh/m}^2$.



Kuva 2. Lämmitystehon ja energiankulutuksen arvioinnissa käytettävät säävyöhykkeet (D3 Srmk 2/11).

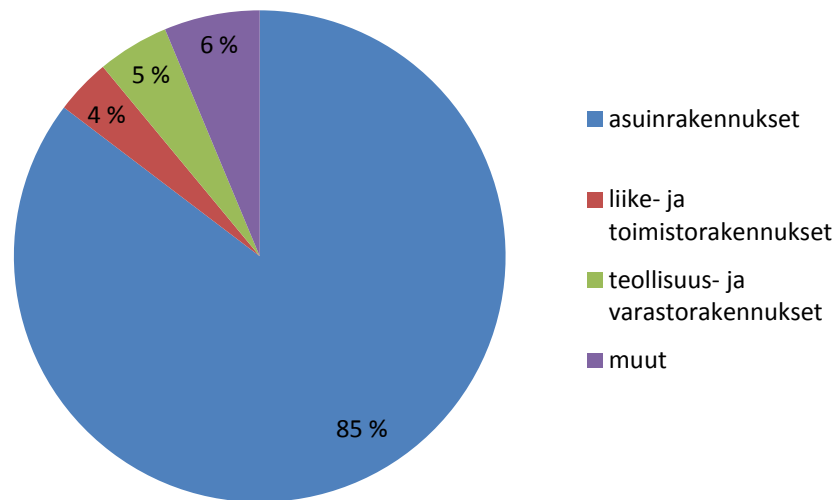
Taulukko 3. Lämmitystehon ja energiankulutuksen arvioinnissa käytettävät lämpötilat (D3 Srmk 2/11).

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

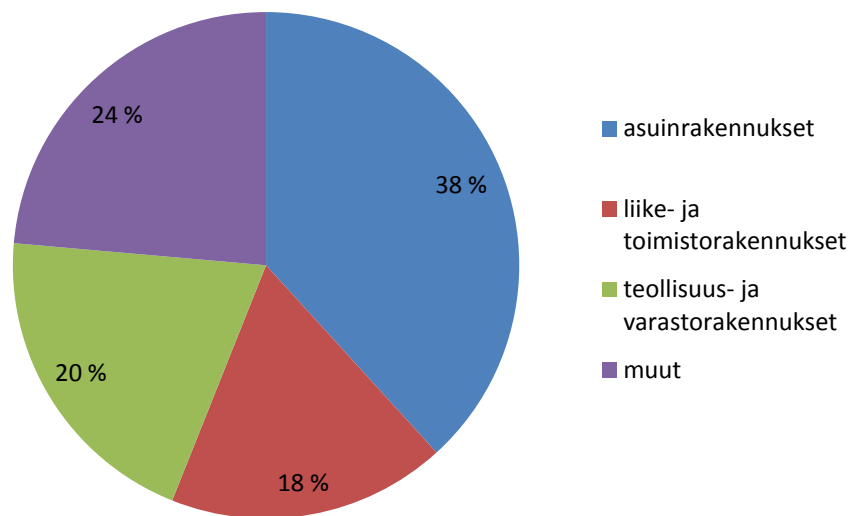
2.2 Yhdyskuntarakenne

2.2.1 Suomen rakennuskanta

Tilastokeskuksen (2011a) mukaan Suomen rakennuksista, joita on yli 1,4 miljoonaa, 85 % on asuinrakennuksia (kuva 3). Vuonna 2011 valmistuneiden rakennusten hieman alle 36 miljoonasta tilavuuskuutioista 38 % sisältyi asuinrakennuksiin, joten se on merkittävin rakennussektori Suomessa (kuva 4).



Kuva 3. Suomessa olevien rakennusten käyttötarkoitusten jakauma vuonna 2011 (Tilastokeskus 2011a).

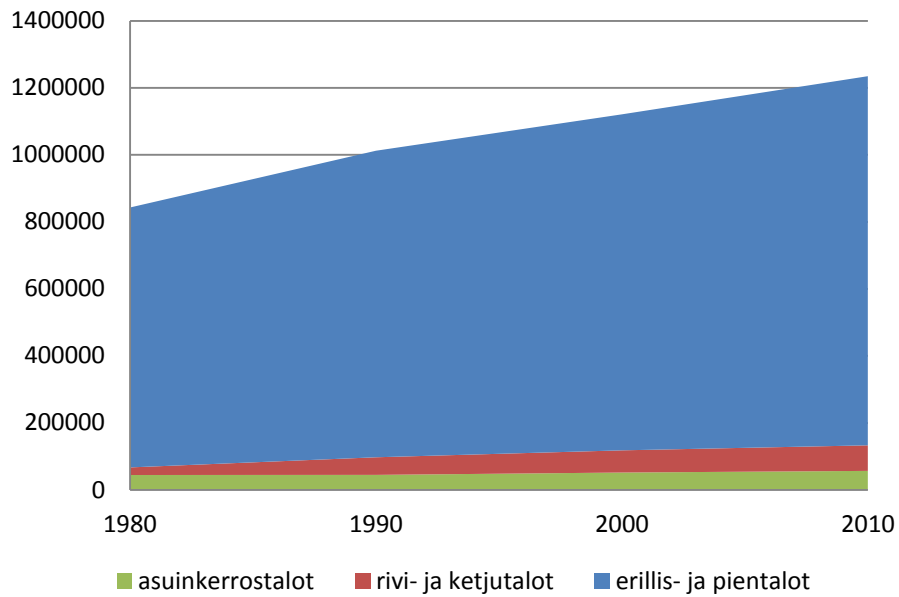


Kuva 4. Vuonna 2011 valmistuneiden rakennusten jakauma rakennettujen tilavuuskuutioiden perusteella (Tilastokeskus 2011a).

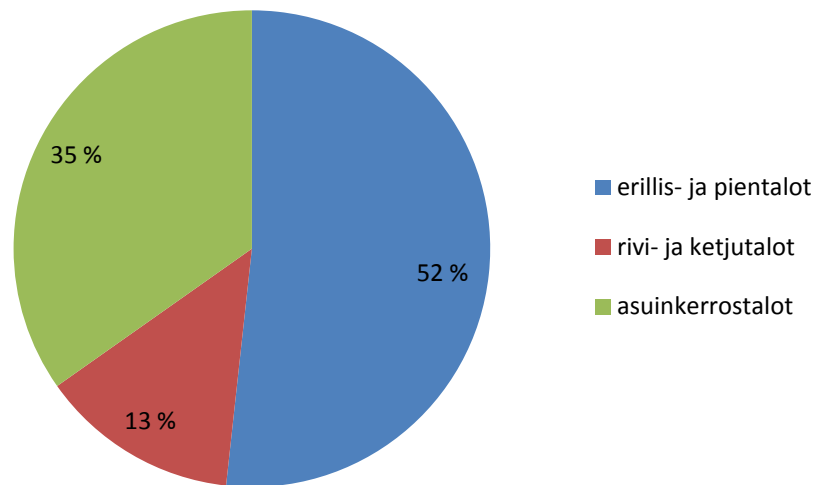
Tiivis ja ehyt yhdyskuntarakenne toteutuu silloin, kun erilliset asuinalueet ovat mahdollisimman lähellä palveluita sekä työpaikkoja ja lisäksi asutaan kerros-, pienkerros- tai rivitaloissa, jolloin henkilöä kohden käytetään vähemmän maapinta-alaa kuin väljässä omakotiasumisen rakenteessa. Myös matala, eli mahdollisimman vähän ylimääräisiä

tilavuuskuutioita sisältävä, ja tiivis pientalorakentaminen voi olla yhtä tehokasta kuin tavanomainen kerrostalo, jolloin asumisviihtyvyyttä ehkä saadaan paremmaksi. Talotyyppien valinta ja rakentamisen määrä ovat riippuvaisia yhdyskuntarakenteeseen liittyvistä ratkaisuista. Tiiviiseen yhdyskuntarakenteeseen kuuluvat infrastruktuuri-investoinnit ovat pienemmät, sillä hajanainen yhdyskuntarakenne kuluttaa enemmän energiaa elinkaarensa aikana, ja verkostojen ja palvelujen rakentamisesta, ylläpidosta ja käytöstä aiheutuvat päästöt kasvavat suhteessa niiden käyttäjien määrään (Martinkauppi 2010).

Hajaantuva infrastruktuuri aiheuttaa liikenteen kasvua työ-, koulu- ja asiointimatkojen pidentyessä. Joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen mahdollistava yhdyskuntarakenteellinen ratkaisu voi myös vaikuttaa kulkutapavalintoihin ja sen kautta vähentää liikenteen rasiutusta ympäristölle. Yhdyskuntarakenteen nykyinen kehitys vaikuttaa laajalaisesti rakennetun ympäristön päästöihin ja energiankulutukseen tulevaisuudessa. Asuinrakennuksista erillis- ja pientalot ovat lukumäärältään selvästi suurin ryhmä ja niitä on viime vuosikymmenten aikana rakennettu lisää myös eniten (kuva 5). Tähän vaikuttaa ihmisten mukavuudenhalu ja mieltymys asua väljästi, mikä aiheuttaa suuremman kysynnän erillis- ja pientaloille. Tällä hetkellä yli puolet Suomen väestöstä asuu erillis- ja pientaloissa ja vain 35 % asuinkerrostaloissa (kuva 6). Tavoitteeksi tulisi asettaa yhdyskuntarakenteen tiivistäminen sekä julkisten että yksityisten palvelujen järkevä sijoittaminen. Näin myös toteutetaan paremmat edellytykset kaukolämmön toiminnalle energiatehokkaammissa rakennuksissa sekä parannetaan hajautetun energiahuollon toteuttamista. Rakentamatta jätetyt kaavoitetut tontit aiheuttavat suunnitellun verkoston vajaakäyttöä ja vähentävät yhdyskuntarakenteen eheyttä (Martinkauppi 2010).



Kuva 5. Asuinrakennusten määrän kehitys Suomessa 1980 – 2010 (Tilastokeskus 2011a).



Kuva 6. Tilanne vuoden 2011 lopussa Suomen väestön jakaumasta rakennustyyppien suhteen (Tilastokeskus 2011b).

2.2.2 Elinkaariajattelu

Kun toteutetaan elinkaariajattelun periaatteita, tarkastellaan rakennetun ympäristön aiheuttamia ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren aikana. Ympäristön hyvinvoinnin kannalta olisi tavoiteltavaa saada rakennuskantaan enemmän sellaisia rakennuksia, joiden koko elinkaaren aikaiset kuormitukset ovat mahdollisimman vähäiset (Lappalainen 2010). Dodoo ym. (2011) tutkimustulokset osoittivat rakennusten elinkaaren aikaisen primääri-

energiankulutuksen ja lämmitysjärjestelmän valinnan merkityksen rakennetun ympäristön energiankäytön vähentämisessä. Myös rakennusmateriaalin valinnalla osoitettiin olevan kasvava merkitys elinkaaren aikaiseen energiankulutukseen rakennusten energia-tehokkuuden parantuessa. Betonirakennusten tuotannonaikaisen energiankulutuksen osuus primäärienergiasta oli tutkimustulosten perusteella kaksinkertainen verrattuna puurakenteisiin rakennuksiin (Dodoo ym. 2011). Rossin ym. (2012) tutkimustulokset vahvistavat, että rakennusten käytönaikaisen energian merkitys on huomattavin elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen muodostumisessa. Elinkaariajattelun tulisi olla tärkeässä roolissa kun rakennuksia suunnitellaan tai tehdään päätöksiä ympäristön rakentamisesta, jolloin myös kiinteistön arvo säilyy paremmin ja käyttökustannukset ovat pienemmät.

Taloudellisten tunnuslukujen lisäksi tarvitaan mittareita ja menetelmiä, jotka arvioivat ympäristövaikutuksia. Käytössä olevia mittareita on lukuisia ja niiden antamat tulokset sisältävät paljon epävarmuustekijöitä, sillä toisinaan osa laskuissa käytetyistä arvoista perustuu olettamuksiin tai likiarvoihin. Eri mittareiden antamat tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia, joten vertailuja tehtäessä täytyy olla hyvin perehtynyt kyseessä olevan arvioinnin perusteisiin. Käytettävissä olevia työkaluja voidaan ryhmitellä tarkastelunäkökulman mukaan. Kokonaisekotehokkuuden arviointiin soveltuvat esim. Ecobalance ja Metka. Mikäli halutaan tarkastella asiaa laajemmin kestäväen kehityksen näkökulmasta, voidaan käyttää esimerkiksi ECOREG- tai Seutukeke-ohjelmia. Energia- ja materiaalivirtojen laskentamallit tai päästöjen ja ympäristövaikutusten laskentamallit voidaan toteuttaa ENVIMAT-, FRES- tai LIPASTO-ohjelmilla (Lahti ym. 2012). Rakennuksen, tuotteen tai toiminnon mahdolliset ympäristövaikutukset elinkaaren ajalta voidaan selvittää tekemällä elinkaariarvio (LCA), joka on ympäristöjärjestelmien rakentamisessa sekä tuotekehityksessä tarpeellinen apuväline (Lappalainen 2010). Elinkaariarviossa tarkastellaan sekä energiankulutusta, että päästöjä rakentamis-, käyttö ja purkuvaiheissa. Huomioon otetaan myös materiaalien ja raaka-aineiden aiheuttama kuormitus (Bruce ym. 2013). Elinkaariarvioiden lisäksi rakennus- ja kiinteistöalalla käytettäviä menetelmiä elinkaaren aikaisten vaikutusten ennakointiin ja hallintaan ovat rakennusten ympäristökuorma- ja käyttöikäsuunnittelu sekä energialaskelmat (Lappalainen 2010).

2.2.3 Ekologinen ja kulttuurihistoriallinen yhdyskunta

Yhdyskunnan ekologinen kestävyys paranee, kun uusiutumattoman energian ja luonnonvarojen kulutus laskee. Ihmisille ja luonnolle haitallisten päästöjen väheneminen

tukee kestävä kehityksen mukaista yhteiskuntaa, jossa ihmisille turvataan hyvinvoinnin jatkuvuus ympäristöä vaarantamatta. Ekologisesti kestävä kehitys ei toteudu ilman luonnon monimuotoisuuden säilyttämistä, joten ihmisten toiminta on sopeutettava luonnon resursseihin ja sietokykyyn. Eliölajien häviäminen on pahin uhka luonnon moninaisuudelle. Kun energian ja raaka-aineiden kulutus sekä päästöt ja jätteet ovat mahdollisimman pienet, voidaan rakentamista sanoa ekologisesti kestäväksi. Luonnon moninaisuutta eli biodiversiteettiä tukee rakennetun alueen suppeus ja eliölajeista huolehtiminen myös taajama-alueita ympäröivässä luonnossa. Myöskin suppealle alueelle rakennettaessa tulee huolehtia, ettei rakentamisen kohteena oleva alue sisällä uhanalaisia tai muuten arvokkaita luontoarvoja (Lappalainen 2010).

Kestävä kehitys sisältää ekologisen näkökulman lisäksi myös yhteiskunnallisen ja kulttuurisen ulottuvuuden. Tämän vuoksi vanhan rakennuskannan kulttuurihistoriallisia arvoja täytyy suojella, vaikka se riitelisikin energiataloudellisten tavoitteiden kanssa. Uutta tekniikkaa joudutaan silti ottamaan käyttöön vanhojen rakennusten peruserustuksissa. Ekotehokkuus on tehokasta ja ympäristöä säästävää tuotantoa, jolloin raaka-aineiden ja energian käyttö ovat mahdollisimman vähäistä, kuten myös haitalliset elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Näihin vaatimuksiin tulisi pyrkiä rakentamisessa, rakennusten ylläpidossa sekä myös energiahuollon toteutuksessa (Lappalainen 2010).

2.3 Energiajärjestelmät yhdyskunnissa

2.3.1 Energiantuotanto Suomessa

Suomen energiajärjestelmät ovat teknisesti edistyneitä. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon osuus on melko korkea, sillä energiapolitiikka suosii vastapainevoimaa, johon luetaan kaukolämmön lisäksi myös teollisuuden prosessivoima. Lämpövoimalan prosessi on edullinen energiantuotannon hyötysuhteen kannalta ja kotimaisten polttoaineiden, kuten turpeen, metsähakkeen ja biopolttoaineen, käyttömahdollisuuksien vuoksi se on myös kansantaloudellisesti merkittävä. Energia-ala kehittyy ja muuttuu hitaasti, sillä olemassa oleviin järjestelmiin sijoitetut rahasummat ovat olleet suuria ja uuden energiateknologian luotettavuuden sekä kilpailukyvyn saavuttaminen ei onnistu hetkessä (Lappalainen 2010, Karhunen ym. 2012) Vuonna 2003 EU hyväksyi direktiivin 2003/87/EC, joka tähtää päästökaupankäynnin avulla CO₂-päästöjen alentamiseen. Päästökaupankäynnillä on ollut merkittäviä myönteisiä vaikutuksia energia-alalla tehtäviin investointeihin, mutta epä tietoisuus päästövähennysten avustuksista on vaikuttanut fossiilista polttoainetta

polttoaineenaan käyttävien voimalaitosten investointien vähäiseen määrään (Laurikka & Koljonen 2006).

Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa on fossiilisia polttoaineita ryhdytty korvaamaan biopolttoaineilla, mikä on tärkeää CO₂-päästöjen vähentämisen kannalta. Puupohjaisen biopolttoaineen laajamittaisella hyödyntämisellä on myös pienentävä vaikutus fossiilisten polttoaineiden tuonnin riippuvuuteen (Natarajan ym. 2012, Karhunen ym. 2012). Tuontien energian vähentäminen eli energian omavaraisuusasteen kasvattaminen on yksi energia- ja ilmastopoliittikan tavoitteista energiatehokkuuden parantamisen ja päästövähennysten lisäksi (Häyhä ym. 2011). CO₂-päästöihin perustuva energiavero ja myös teknologinen kehitys ovat parantaneet puupohjaisten biopolttoaineiden kilpailukykyä. Lisäksi bioenergiaa tukevilla energiapoliittisilla päätöksillä on kotimaan työllisyyttä tukevia vaikutuksia. Bioenergian saama poliittinen tuki onkin ollut tasaisessa kasvussa jo vuosia päättäjien vaihdoksista huolimatta (Hakkila 2006, Ericsson ym. 2003). Fossiilisten polttoaineiden hinnannousu on myös hyvin tärkeä tuulienergian kasvua ja kilpailukykyä parantava tekijä (Varho & Tapio 2005). Tärkeää Suomen energiapolitiikassa olisi pitää järjestelmä monimuotoisena ja kestäväenä hyödyntäen kaikkia saatavilla olevia uusiutuvia ja ympäristöystävällisiä energiamuotoja (Häyhä ym. 2011). Energiantuotantomuotojen ja polttoaineiden mukaan määräytyvät CO₂-ominaispäästöt on otettava huomioon energiantuotannosta aiheutuvien päästöjen laskennassa (taulukko 4) (Hippinen & Suomi 2012).

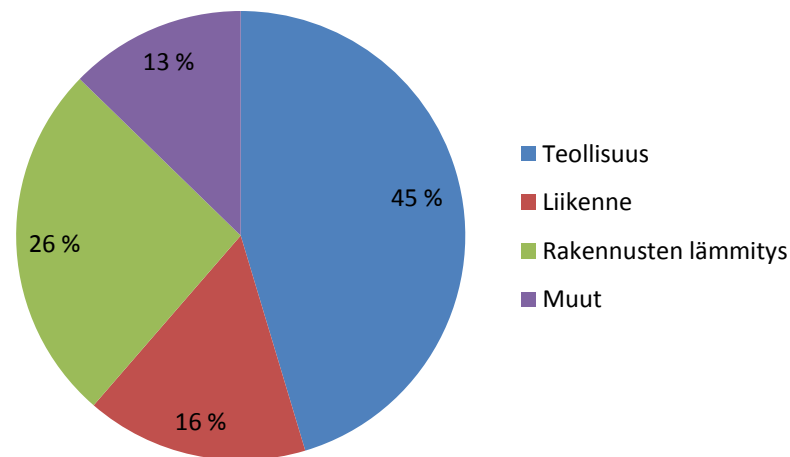
Taulukko 4. Energiantuotantomuotojen CO₂-ominaispäästökertoimet (Kuopion Energia 2011, 2012a, 2012b, Hippinen & Suomi 2012).

Lämmitysmuoto	Ominaispäästöt ϵ (g CO ₂ /kWh)
Kaukolämpö	387 ^a , 217 ^b
Sähkö	372 ^c , 210 ^b
Kevyt polttoöljy	261 ^b
Maalämpö, SPF ^d = 3	124 ^c

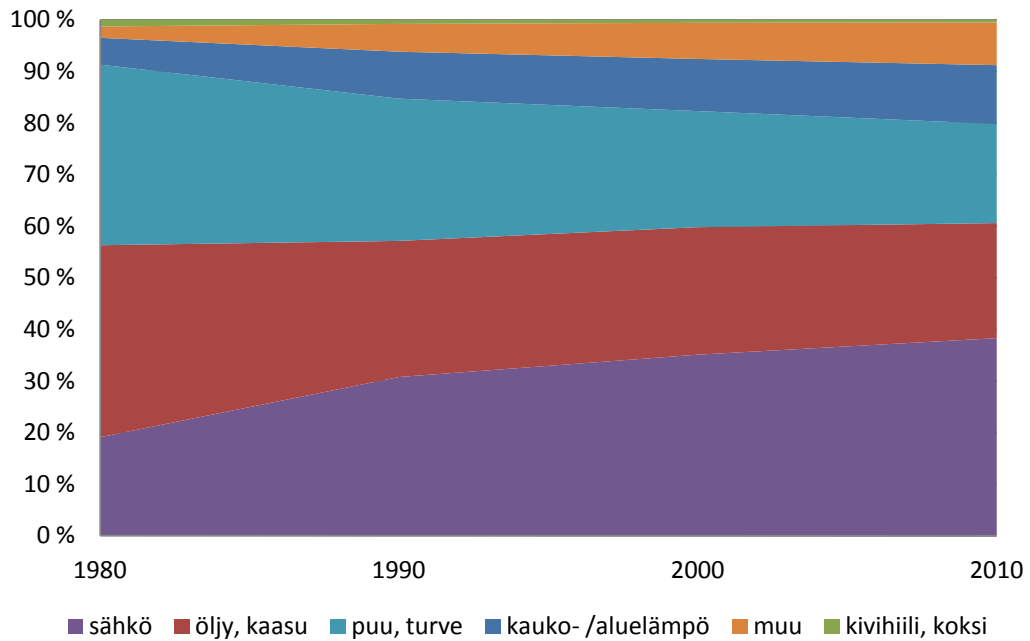
a) Kuopion Energia (2012a), b) Hippinen & Suomi (2012), c) Kuopion Energia (2012b), d) SPF = lämpöpumpun vuosilämpökerroin (Eskola ym. 2011)

Energiaa on tuotettava sähkönä, lämpönä tai polttoaineen muodossa energian loppukäytön verran. Yhdessä polttoaineet ja energiantuotannon energialähteet muodostavat primäärienergiankulutuksen. Rakennusten lämmitys vei vuonna 2011 neljäsosan energian

loppukäytöstä, joka oli yhteensä noin 320 TWh, ja vain teollisuus kulutti enemmän energiaa (kuva 7). Rakennusten lämmityksen lisäksi myös teollisuuden prosessit kuluttavat lämpöenergiaa. Lämmitystarpeen mukaan vaihteleva lämmitysenergian loppukäyttö on 2000-luvulla vaihdellut välillä 200 – 220 TWh vuodessa (Martinkauppi 2010). Rakennusten lisääntynyt sähkön tarve on ollut seurausta 0,5 – 1 % vuosittaisesta rakennuskannan kasvusta, sähkölaitteiden määrän lisääntymisestä, sekä koneellisen jäähdytyksen, ilmanvaihdon ja huoneistokohtaisten saunojen yleistymisestä. Tulevaisuudessa sähkön käytön on arvioitu lisääntyvän 25 TWh vuoteen 2015 mennessä. Suomen lisääntyvälle ja muutenkin suurelle energiankulutukselle ongelmallista on alhainen energiaomavaraisuus (Lappalainen 2010). Useimmat Suomen rakennuksista lämmitetään sähkön avulla ja sen käyttäjien osuus on kasvanut edelleen viime vuosien aikana. Sähkölämmitys kattaa nykyisin yli 38 % kaikista rakennuksista, kun kaukolämmön piiriin kuuluu rakennuksista alle 12 % (kuva 8).



Kuva 7. Energian loppukäytön jakauma Suomessa vuonna 2011 (Tilastokeskus 2012).



Kuva 8. Rakennusten osuudet Suomessa lämmitystapojen mukaan (Tilastokeskus 2011c).

2.3.2 Hajautettu energiantuotanto

Hajautetussa energiajärjestelmässä esimerkiksi aluelämpölaitokset, maalämpöverkostot, paikalliset tuulivoimalat ja aurinkoenergiajärjestelmät palvelevat pienen alueen tai taloryhmän käyttäjäkuntaa (Lappalainen 2010). Lisäämällä rakennuksiin uusiutuviin energialähteisiin perustuvia paikallisen energiantuotannon ratkaisuja voidaan nopeuttaa energiantuotannosta aiheutuvien päästöjen vähentämistä. Hajautetuissa energiajärjestelmissä on yleensä kyse uudesta teknologiasta, joten niiden yleistymisen ja kilpailukykyyn tavoittaminen edellyttävät tukea tai kannustimia (Martinkauppi 2010). Hajautetuksi energiantuotannoksi voidaan katsoa uusiutuvaa energiaa hyödyntävä energiantuotanto, jonka nimellisteho on alle 10 MW. Tuulivoimaloissa teho voi olla isompikin, kun on kyseessä useita tuulivoimaloita sisältävä tuulivoimapuisto. Hajautetulla energiantuotannolla voidaan CO₂-päästöjä vähentää merkittävästi, riippuen korvattavan energiantuotannon päästöistä, mikä edesauttaa 1990-luvun päästötason saavuttamista. Biopolttoainetta käyttävä pienimuotoinen yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (CHP) on yksi erittäin potentiaalinen hajautetun energiantuotannon vaihtoehto tulevaisuudessa. Tuotanto voidaan lukea hajautetuksi, kun sähkön osuus on alle 10 MW. Biomassalla tuotettu lämpö on tällä hetkellä kilpailukykyisempi kuin aurinkoenergia ja lämpöpumput, mutta niidenkin osuus tulee varmasti kasvamaan ja kilpailukyky paranemaan pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna (Vartiainen ym. 2002).

2.3.3 Kaukolämmitys

Kaukolämpöverkostossa kuuman veden avulla siirrettävä lämpö tuotetaan erillisissä lämpökeskuksissa tai yhteistuotantolaitoksissa. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa tuotetaan lämmön lisäksi myös sähköä, mikä on huomattavasti energiatehokkaampi vaihtoehto erillistuotantoon verrattuna, koska tällöin polttoainekuluissa voidaan säästää noin 35 %. Verkoston rakentaminen on kallista, joten se on kannattavaa vain, mikäli kohdealueella on riittävän suuri lämmönkulutus. Kaukolämpöputkiston rakentamisen kustannukset ovat 100 – 300 €/m eli kilometrin matka maksaa noin 100 000 – 300 000 €. Tämän vuoksi on tärkeää ottaa jo kaavoitusvaiheessa huomioon olemassa olevan kaukolämpöverkoston sijainti ja saatavuus, jotta uuden putkiston rakentamisen tarve voidaan minimoida (Rajala ym. 2010). Jakeluputkiston suuret rakennuskustannukset johtuvat pääosin järjestelmään kohdistuvista suurista lämpötilavaihteluista sekä kaukolämmön tuloveden korkeasta lämpötilasta, jonka vuoksi putkistot on eristettävä hyvin (Lappalainen 2010).

Lähes kaikissa Suomen taajamissa ja kaupungeissa käytetään kaukolämpöä rakennusten lämmitykseen ja se kattaa puolet maamme lämmitysmarkkinoista tuoden lämpöä noin 2,5 miljoonalle ihmiselle. Tämä yleisin lämmitysmuoto Suomessa kattaa asuinkerrostaloista yli 90 % ja noin puolet rivitaloista. Myös julkiset rakennukset sekä liikerakennukset ovat pääasiassa kaukolämmön piirissä. Toimistorakennukset ovat myös suuren jäädytystarpeen kattamiseen sopivan kaukojäähdytyksen suurin kohderyhmä. Kaukolämmityksen yksi suurimmista eduista on se, että yhdessä kohteessa saadaan tuotettua koko kaupunginosan lämmöntarve, mutta tällöin kaukolämpöverkoston kuuluvien rakennusten on syytä olla lähellä toisiaan. Tämä on tärkeä peruste kaupunkimaiselle tiiviille rakentamiselle liikennenäkökohtien lisäksi. Koska kaukolämmön kannattavuus kasvaa energiankulutuksen myötä, on sen edullisin käyttökohde suhteellisesti vähemmän energiatehokkaat kaupunkien ja taajamien rakennukset, mikä tukee vanhan rakennuskannan pitämistä kaukolämmön piirissä. Monet pientaloalueet eivät täytä kaukolämmitysjärjestelmän rakentamisen liiketaloudellisia ehtoja esimerkiksi epäedullisen kaavoituksen vuoksi, mutta tilanne voi olla toinen, jos alueen suunnittelussa on otettu huomioon mahdollisuus kaukolämmön käyttöönotolle. Rakennuksen lämmitystavan valinta voi pientaloalueilla olla riippuvainen tehdyistä kaavaratkaisuista (Lappalainen 2010). Kaukolämmön kustannuksiin ja kannattavuuteen vaikuttaa lisäksi energiantuotannossa käytettävä polttoaine.

Kaukolämmöllä on ollut vahva asema uusien asuinalueiden lämmitysratkaisuja suunniteltaessa, mutta viime vuosina se on saanut kilpailijoikseen uusia kilpailukykyisiä

vaihtoehtoja kuten maalämpöjärjestelmät ja lämmön talteenottojärjestelmällä tehostetut sähkölämmitysjärjestelmät, joiden kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi rakennusten energiatehokkuus, sähkön ja kaukolämmön hintataso sekä paikalliset olosuhteet ja muut investoinnit. Energiatehokkuuden kehittyminen, jolloin lämpöenergiaa tarvitaan vähemmän pinta-alaa kohti, parantaa yleensä etenkin vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen mahdollisuuksia (Vanhanen ym. 2011). Kaukolämpö on perustunut pääasiassa fossiilisten polttoaineiden käyttöön, mutta viime vuosina puuperäisten polttoaineiden kasvanut suosio on lisännyt bioenergian osuutta kaukolämmön tuotannossa (Vuorinen 2009).

2.4 Uusiutuva energia yhdyskuntarakenteessa

2.4.1 Uusiutuvalla energialla kohti päästötavoitteita

Useilla EU-mailla on tavoitteena siirtyä kohti nollaenergiarakentamista. Tavoite koskee uusia julkisia rakennuksia 1.1.2019 alkaen ja muita uusia rakennuksia 1.1.2021 alkaen rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti. Niinpä rakennusten energiankulutusta on vähennettävä sekä uusilla teknisillä ratkaisuilla että uusiutuviin energianlähteisiin perustuvalla paikallisella sähkön- ja lämmöntuotannolla. Ympäristöministeriö on vastuussa rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanosta Suomessa, mutta käytännössä tässä asiassa tarvitaan ministeriöiden välistä yhteistyötä, sillä esimerkiksi aurinkosähköön liittyvät toimenpiteet tehdään työ- ja elinkeinoministeriön alaisuudessa (Martinkauppi 2010). Uusiutuvan energian edistäminen parantaa mahdollisuuksia hiilidioksidipäästöjen vähennystavoitteisiin pääsemiseksi sekä pienentää vähennystavoitteiden aiheuttamia kustannuksia. EU-maiden sähkö- ja lämmityssektoreilla on paljon edullisesti hyödynnettävissä olevia uusiutuvan energian mahdollisuuksia (Möst & Fichtner 2010). Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskukselta (ARA) on mahdollista hakea avustusta pääasiallisesti uusiutuvaa energiaa hyödyntävän lämmitysjärjestelmän käyttöönotossa enintään 20 % (vuonna 2012) hyväksyttävistä kustannuksista, kun järjestelmällä korvataan sähkö- tai öljylämmitystä. Tuettavia kohteita ovat yksityiset pientalot sekä myös saneerauskohteena olevat yhteisöjen omistamat kerros- ja rivitalot. Lisäksi pientalojen omistajat voivat hakea tarveharkintaista energia-avustusta laiteinvestointeihin sekä kotitalousvähennystä työkustannuksista uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottoa varten (ARA 2013).

2.4.2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on ollut viime vuosina nopeasti kehittyvä energiateknologian ala (Martinkauppi 2010). Auringosta saatavalla energialla voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä tarpeen mukaan. Auringon säteilyn muuttaminen sähköksi onnistuu puolijohde-materiaalista valmistettujen aurinkopaneelien avulla. Aurinkopaneelien hyötysuhde vaihtelee 10 ja 15 %:n välillä. Maailmanlaajuinen aurinkoenergian käytön kasvu vuosien 2005 ja 2010 välisenä aikana oli aurinkopaneeleilla tuotetun energian osalta 49 %. Keskitetyn aurinkoenergian tuotanto kasvoi 25 % ja aurinkolämpökeräimien tuotto lisääntyi 16 % (REN21 2011). Sähkön tuottaminen voidaan toteuttaa myös höyryturbiinin ja sähkögeneraattorin avulla, jolloin auringonsäteiden keskittäminen peilien avulla kuumentaa höyrystettävän nesteen. Turbiiniin johdettu höyry pyörittää sitä ja sähkögeneraattorin avulla liike-energia muutetaan sähköenergiaksi (Lappalainen 2010). Aurinkosähkön tuotannon kasvun hidasteena on joitakin teknisiä ja lainsäädännöllisiä seikkoja joten energiaverotusta koskevan lainsäädännön muuttamista ja uusia kannattavuutta lisääviä tukiratkaisuja tarvitaan (Martinkauppi 2010).

Auringon lämpö voidaan ottaa talteen lämpökerääjillä, joihin lämpö absorboituu. Keräimenä käytetään yleensä nestekiertoista (vesi-glykoliseos) tasokeräintä tai tyhjöputkikeräintä. Tyhjöputkitekniikka hyödyntää paremmin auringon hajasäteilyä, joten sen energiantuotto voi olla noin 30 % parempi (Pesola ym. 2010). Lämpösäteilyn keskittämiseksi voidaan käyttää apuna peilejä. Kerääjien varaamaa lämpöenergiaa voidaan liikuttaa lämmönsiirtimien ja lämpöpumppujen avulla käyttökohteiden ja suurien varastosäiliöiden välillä (Lappalainen 2010). Aurinkolämpökeräimiä käytetään pääasiassa käyttöveden lämmittämiseen, mutta ne sopivat hyvin myös huoneilman lämmittämiseen vesikiertoisen päälämmitysjärjestelmän tukena (Pesola ym. 2010). Aurinkoenergian epätasainen saanti eri vuorokauden- ja vuodenaikoina sekä sähkön varastoinnin hankaluus hidastaa tai jopa estää aurinkoenergiajärjestelmien laajamittaisen käytön voimistumista (Lappalainen 2010). Aurinkopaneeleissa käytettävän piimateriaalin kallis hinta nostaa aurinkosähköjärjestelmän kiinteitä kustannuksia, mikä heikentää aurinkoenergian kilpailukykyä. Niinpä ainakin vielä toistaiseksi verkosta ostettu perinteisin menetelmin tuotettu sähkö on edullisempaa. Aurinkosähkön tuotanto on kuitenkin hyvin ympäristöystävällistä ja aurinkopaneelien hinnat ovat viime vuosina laskeneet huomattavasti. Polttoainetta ei tarvita ja hiilidioksidipäästöjä ei aiheudu käytön aikana. Täysin päästötöntä ei ole aurinkoenergiakaan, sillä aurinkokeräimien tuotanto kuluttaa

energiaa ja etenkin aurinkosähkökennojen tarvitsemien materiaalien valmistamisesta aiheutuvat päästöt tulisi ottaa huomioon ympäristön kokonaiskuormitusta arvioitaessa. Auringon valoa keskittävät ratkaisut vähentävät piin määrän tarvetta jopa tuhannesosaan, mutta niiden kustannukset ovat ainakin toistaiseksi vielä suuremmat kuin perinteisten aurinkopaneelien. Aurinkosähköjärjestelmien käyttö- ja huoltokustannukset ovat pienet ja asentaminen on yksinkertaista ja nopeaa (Pesola ym. 2010, Lappalainen 2010).

Suomessa aurinkoenergiaa on usein järkevintä hyödyntää jonkin muun sähkö- tai lämmitysjärjestelmän rinnalla, mikäli sähköä tarvitaan ympäri vuoden, sillä aurinkosähköpaneelin tuotto talvikaudella on melko vähäistä marras- ja helmikuun välisenä aikana. Muina kuukausina tuotto vaihtelee Helsingissä keskimäärin 8 – 15 kWh/m² välillä (Rajala ym. 2010, Hippinen & Suomi 2012). Aurinkopaneelit voidaan asentaa rakennusten pintaan, seinään tai katolle. Vaadittava pinta-ala noin 5000 kWh tuottamiseksi on teoreettisesti noin 24 – 30 m², mutta käytännössä pinta-alan tarve saattaa olla jopa kaksinkertainen. Aurinkolämpökeräimien tuotto on marraskuusta maaliskuuhun asti hyvin vähäistä, mutta maaliskuu- ja syyskuun välisenä aikana kuukausituotto vaihtelee Helsingissä noin 40 – 80 kWh/m² välillä (Rajala 2010, Hippinen & Suomi 2012). Aurinkoenergian tuotantoon liittyviä kustannuksia on esitelty luvussa 3.5.2.

2.4.3 Tuulienergia

Uusiutuvaa ja saasteetonta energiaa sähkön muodossa on mahdollista tuottaa tuulen liike-energiasta, jolloin on kyse tuulivoimasta. Tuulivoiman sähköntuotannolla voidaan täydentää valtakunnan sähköverkkoa, kun taas muulla tavalla tuotettu sähkö tasaa tuulivoiman tuotannon epätasaisuuden (REN21 2011). Suomessa tehtyihin useisiin tuulimittauksiin perustuvan tutkimuksen perusteella tuulivoiman lisääminen toisi vaihtelevuutta energiajärjestelmään. Energiantuotannossa mahdollisesti lisääntyvät muutokset voivat olla ongelmallisia ja säätomarkkinoiden hinnat nousevat, mikäli säätoivoiman kapasiteettia ei ole riittävästi käytössä. Suurimmat tuulivoiman vaihtelut, joita esiintyy harvoin, ovat verrattavissa sähköverkon häiriöihin (Holmgren ym. 2009). Tuulienergian määrä kasvoi maailmassa 27 % vuosina 2005 – 2010, joten se on hyvin nopeasti kasvava sähköntuotantoala (REN21 2011). Suomessa kasvua on hidastanut tuulivoiman huono kannattavuus, joka johtuu maamme suhteellisen heikoista tuuliolosuhteista sekä ostosähkön edullisuudesta. Tuulivoiman osuus Suomen sähkönkulutuksesta oli vuonna 2012 noin 0,6 %. Hallituksen ilmasto- ja energiastrategian

tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä lisätä tuulivoiman määrää nykyisestä alle 0,5 TWh:sta (vuonna 2012) 6 TWh:iin. Tällöin tuulivoimakapasiteetin maksimitehon tulisi kasvaa 288 MW:sta (vuonna 2012) 2000 MW:iin (Valtioneuvoston selonteko 2008, VTT 2012). Käytännössä tuulivoiman rakentaminen on kannattavinta meren läheisyydessä sekä sisämaassa tunturien ja vaarojen huipulla, joissa tuulen keskinopeus on yli tuulivoimalan käynnistymisen edellyttämän 5 m/s. Tuulen nopeuden kasvaessa tehontuotto kasvaa voimakkaasti kunnes tehoa rajoitetaan tuulen nopeuden ollessa 15 – 25 m/s. Tuulivoiman hintakilpailukykyä pyritään parantamaan valtion tukiratkaisuilla. Tukea myönnetään tuulivoiman investointikustannuksista 30 % sekä tuottamisesta veronpalautuksena 0,7 snt/kWh. Tuulivoimaloiden rakentaminen saa osakseen myös paljon vastustusta maisemallisten vaikutusten vuoksi. Korkeat tuulivoimalat isojen, pyörivien siipien kanssa näkyvät kauas maisemakuvassa, mikä on monien mielestä liian suuri hinta ympäristöystävällisestä sähköntuotannosta (Lappalainen 2010). Tuulivoimaloilla voi olla myös haitallinen vaikutus lintujen populaatioon, mikäli lintujen muuttoreitit kulkevat useiden tuulivoimapuistojen läpi (Masden ym. 2009). 1 MW:n tuulivoimalan, jonka huipunkäyttöaika on 2500 tuntia ja käyttöikä 20 vuotta, investointikulut ovat noin 900 – 1100 €/kW_p ja tuotannosta aiheutuvat kustannukset ovat 4 – 5 snt/kWh. Käyttö- ja kunnossapidon osuus kustannuksista on 0,8 – 1,2 snt/kWh (Vartiainen ym. 2002).

2.4.4 Maalämpö

Maaperään sitoutunutta auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää rakennusten lämmitykseen maalämpöpumppujärjestelmän avulla. Maahan sijoitettavassa putkistossa kiertää liuos, joka siirtää lämpöpumppuun maan sisään varastoitunutta lämpöä, joka pysyy ympäri vuoden melko tasaisena. Lämpöpumpun höyrystin hyödyntää maan lämpöä höyrystämään järjestelmässä käytettävän kylmäaineen ja syntynyt höyry lämpiää edelleen, kun sen painetta nostetaan kompressorin avulla. Paineistetun höyryn lämpö saadaan vapautettua jäädyttämällä se lauhduttimessa, josta läpi virtaava vesi tai ilma siirtää lämmön huoneisiin tai muihin käyttökohteisiin. Lauhduttimesta muodostunut neste saadaan takaisin höyrystimeen paineen pudottamisella paisuntaventtiilissä (Lappalainen 2010). Maalämpöjärjestelmän toiminta vastaa perinteistä vesikiertoista patterilämmitystä, jonka öljykattilan paikalla toimii maalämpöpumppu (Vuorinen 2009). Maalämpöjärjestelmän pumput, kompressori ja säätölaitteet vaativat toimiakseen sähköä, mutta energiankulutus on vain noin 1/3 verrattuna sähkö- tai öljylämmitykseen. Lisäksi järjestelmää voidaan käyttää myös sisätilojen jäädytykseen. Tällöin maasta saatava viileä

ilma ohjataan tuloilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteriin (Lappalainen 2010, Vuorinen 2009). Tampereella sijaitsevan Koukkurannan asemakaava-alueen lämpöenergiaratkaisujen vertailussa selvitettiin kaukolämmön ja vaihtoehtoisten lämmitysjärjestelmien taloudellisuutta sekä hiilijalanjälkeä. Maalämmön todettiin olevan kyseisen alueen rakennusten lämmitykseen selkeästi pienimmän hiilijalanjäljen aiheuttava ratkaisu, mikä osoittaa maalämmöllä olevan tietyissä olosuhteissa ympäristön kannalta edullisia vaikutuksia (Vanhanen ym. 2011). Maalämmön lisäksi lämpöpumppuja käytetään samalla periaatteella myös vesistöistä, ulkoilmasta ja asuntojen poistoilmasta saatavan lämpöenergian hyödyntämiseen (Motiva 2011b).

2.5 Kaavoituksen vaikutusmekanismit energiatehokkuuteen

2.5.1 Maakunta-, yleis- ja asemakaava

Maakuntakaavat ja kuntatason yleis- sekä asemakaavat muodostavat alueiden käytön suunnittelujärjestelmän perustuen maankäyttö- ja rakennuslain 4 §:ään. Tämän lisäksi alueiden käytölle ja aluerakenteelle on kohdistettu valtakunnallisia valtioneuvoston hyväksymiä tavoitteita. Maakuntakaavan laadinnan yhteydessä on nämä valtakunnalliset tavoitteet otettava huomioon ja kaavan tulee noudattaa luonnonsuojelulaissa määriteltyjä luonnonsuojeluohjelmia ja -päätöksiä sekä maisema-alueisiin liittyviä perustamispäätöksiä. Edellisiin liittyen kaavan tulee ottaa huomioon muun muassa alueiden käytön ekologinen kestävyys, vesi- ja maa-ainesvarojen kestävä käyttö sekä maiseman, luonnonarvojen ja kulttuuriperinnön vaaliminen. Suunnittelujärjestelmällä on oleellinen merkitys maakunnan kehityksen edistämässä sekä valtakunnallisten tavoitteiden saavuttamisessa osallistumis- ja vuorovaikutusmenettelyjen avulla (Jääskeläinen & Syrjänen 2010).

Kuntatason yleiskaava on yleispiirteinen suunnitelma, joka sovittaa yhteen kunnan yhdyskuntarakenteen ja erilaiset maankäyttötarpeet. Yleiskaava laaditaan ja suunnitellaan maakuntakaavan ohjeistamana. Kaavahierarkia toteutuu siis tarkentuvan suunnittelun periaatteella. Mikäli yleiskaava ohjaa suoraan rakentamista, se voi olla suhteellisen tarkka. Asemakaavan edellä yleiskaavalla on lähinnä ohjaava vaikutus. Joka tapauksessa yleiskaavan on tarkoitus toimia keskeisenä kunnan alueiden käytön suunnittelun välineenä. Yleiskaavan sisältövaatimuksia ovat muun muassa yhdyskuntarakenteen toimivuus, taloudellisuus ja ekologinen kestävyys, olemassa olevan yhdyskuntarakenteen hyväksikäyttö, ympäristöhaittojen vähentäminen sekä rakennetun ympäristön, maiseman ja luonnonarvojen vaaliminen. Sisältövaatimuksien lisäksi yleiskaavaa laadittaessa on otettava

huomioon valtakunnalliset alueiden käyttötavoitteet ja maakuntakaavan ohjausvaikutus. Koko kuntaa koskevassa yleiskaavassa täytyy kaikki sisältövaatimukset ottaa huomioon tarkemmin, mutta vaiheittain laadittavassa yleiskaavassa tai tiettyä kunnan aluetta koskevassa osayleiskaavassa sisältövaatimusten vaikutukset päätöksiin voivat olla rajoitetumpia. Yleiskaavan sisältöä voivat olla myös suojelumääräykset, sekä rakentamis- ja toimenpiderajoitukset. Tärkein tehtävä yleiskaavalla on ohjata kunnan asemakaavoitusta ja yleiskaavan sisällön tarkkuus riippuu siitä, minkälaisiin oikeusvaikutuksiin kulloinkin tähdätään (Jääskeläinen & Syrjänen 2010).

Maankäytön suunnitteluratkaisujen avulla luodaan ja muokataan yhdyskuntarakennetta. Kuntatasolla rakenteelliset muutokset tulee ratkaista yleiskaavalla. Ongelmallinen yhdyskuntarakenteen hajoaminen on estettävissä kokonaisvaltaisemmalla kaavoituksen suunnittelulla ja hyödyntämällä paremmin jo olemassa oleva infrastuktuuri täydennysrakentamisella sekä poissulkemalla yhdyskuntarakenteen ulkopuolisten alueiden rakentaminen. Myöskin alueiden käyttöä koskevia toimenpiteitä suunnittelevien viranomaisten on luonnollisesti toimittava yleiskaavan toteutumisen edistämiseksi. Tiiviimmän yhdyskunnan avulla saadaan liikenteen päästöjä pienennettyä sekä energiatehokkuutta parannettua, ja tämän kautta ilmastonmuutoksen etenemistä voidaan rajoittaa (Jääskeläinen & Syrjänen 2010).

Kunnan alueiden yksityiskohtainen rakentaminen, kehittäminen ja maankäyttö laaditaan asemakaavan avulla. Asemakaavan avulla kunta on veloitettu rajoittamaan ja ohjaamaan rakentamista silloin, kun kunnan maankäytön ohjaustarve sitä edellyttää. Kaavan tarkkuus riippuu ohjaustarpeesta ja siitä, käytetäänkö hankkeen ohjaamiseen myös muita ohjauskeinoja kuten rakennustapaohjeita tai tontinluovutusehtoja, mutta pääasiassa asemakaavan tehtävänä on ratkaista rakennuspaikan sopivuus. Itse rakentamiselle on omat vaatimuksensa, jotka käsitellään rakennusluvassa. Siispä liiallista tarkkuutta tulisi välttää, jotta rakennussuunnitelmien tekijöille jää tarpeeksi mahdollisuuksia suunnitelman kehittämiseksi ja viimeistelylle. Asemakaavan tulee silti edistää ja tukea hyvää rakennustapaa kaavamääräyksillä ja -ratkaisuilla. Koska tarkemmat yksityiskohdat käsitellään rakennuslupamenettelyssä, olisi tärkeää, että kunnan kaavoittajien ja rakennuslupaviranomaisten välillä vallitsisi riittävän hyvä yhteistyö sekä heillä tulisi olla yhteinen tavoite energiatehokkuuden edistämiseksi (Jääskeläinen & Syrjänen 2010). Suunnittelun ja esisuunnittelun laatu on ensisijaisen tärkeää alusta asti, jolloin

suunnittelulla on tehokkain vaikutusmahdollisuus energiatalouteen (Lappalainen 2010). Suunnitteluvaiheessa on hyvä kuulla rakennusten loppukäyttäjiä ja huomioida heidän näkökulmansa. Näin voidaan mahdollisesti vaikuttaa investointikulujen lisäksi koko rakennuksen elinkaarikustannuksiin (Martinkauppi 2010). Samalla on tärkeää ottaa huomioon myös kaikkien sidosryhmien yhteistyömahdollisuudet, jotta saadaan luotua mahdollisimman onnistuneita asuinalueita monesta näkökulmasta tarkasteltuna (Pesola ym. 2010).

Uudisrakennus on voitu velvoittaa asemakaavassa 1.1.2009 lähtien liittymään kaukolämpöjärjestelmään tietyin edellytyksin. Tällöin pyritään edistämään valtakunnallisia alueidenkäyttötavoitteita sekä parantamaan energiatehokkuutta hyödyntämällä jo olemassa olevia järjestelmiä. Edellytyksenä on myöskin se, että kaukolämpöverkoston on oltava saatavilla jo rakennuslupaa haettaessa rakennusalueen läheisyydessä, joka käytännössä tarkoittaa tontin rajasta noin 20 metrin etäisyyttä. Kaukolämpöä voidaan yleisesti pitää erittäin ympäristöystävällisenä ratkaisuna silloin, kun energia tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa ja lisäksi kun uusiutuvan energian osuus polttoaineesta on mahdollisimman suuri. Uusien ympäristöystävällisten lämmitysmuotojen ja energiatehokkaampien ratkaisujen myötä kaukolämpö ei aina ole tehokkain vaihtoehto, joten liittymisvelvollisuus kaukolämpöön ei koske rakennuksia, joiden lämmitystapa on tehokkaampi ja päästöttömämpi kuin tarjolla oleva paikkakunnan kaukolämpö. Tällaisia poikkeuksia ovat esimerkiksi matalaenergiatalot sekä rakennukset, joiden lämmitys perustuu uusiutuvaan energiaan kuten aurinkoenergiajärjestelmään, maalämpöpumppuun tai biopolttoaineisiin (Jääskeläinen & Syrjänen 2010). Kaavoitettaessa asuinalueita on syytä tehdä päästötarkastelua ja pyrkiä rajoittamaan yhteiskuntarakenteen hajautumista. Energiatehokkuuden pohjalta tehdyillä kaavaratkaisuilla voi olla ratkaiseva merkitys alueellisen sähkön- ja lämmöntuotannon edellytyksille. Tämä edistäisi siirtymistä kohti nollaenergiarakentamista ja uusiutuvaan energiaan pohjautuvien lämmitysmuotojen käyttöönottoa (Martinkauppi 2010).

2.5.2 Tontin luovutusehdot ja rakennusvalvonta

Ennen kuin rakennuttajalle myönnetään rakennuslupaa, suunnitellun rakennuksen energiantehokkuus sekä sen todennäköinen energiankulutus elinkaaren aikaisine kasvihuonekaasupäästöineen pitäisi olla selvitettyinä. Myös uusiutuvan energian lisäämisen mahdollisuus olisi hyvä ottaa huomioon. Energiatehokkuuden tuominen myös käytäntöön

kiinteistö- ja rakennusalalla onnistuu huomattavasti helpommin, mikäli säädösohjauksen kehityksen suunta tuodaan riittävän hyvin esille. Laadunohjaus- ja neuvontatehtävässä kuntien rakennusvalvojien tulisi toimia huolellisesti uudis- ja korjausrakentajia aktiivisesti valistaen, jolloin rakennusten energiatehokkuuteen voidaan tehokkaasti vaikuttaa (Martinkauppi 2010, Pesola ym. 2010). Ennakoivassa laadunohjauksessa tulee kannustaa energiatehokkuutta edistäviin rakennusteknisiin ratkaisuihin (Lappalainen 2010).

Rakentamisen ohjauksessa rakennusvalvonnan merkitys korostuu myös rakentamisessa tarvittavan vaatimustason asettamisen ja sen seurannan muodossa. Rakennuttajan tulisi ottaa vain riittävän pätevyysluokituksen omaavia palveluntuottajia rakennusten alihankkijoiksi, sillä rakennuksen toteuttaminen suunnitelmien mukaan on edellytyksenä tavoitellun energiatalouden saavuttamiseen (Lappalainen 2010). Rakennuksen huono sisäilma tai ennakoitua suuremmat energia- ja käyttökustannukset voivat olla seurausta rakentamisen aikana tehdyistä virheistä. Näiden virheiden havaitseminen ja poistaminen vielä rakennusvaiheessa on mahdollista, mikäli valvonta on kattavaa loppuun asti. Tässä korostuu myös rakennuttajan velvollisuus ohjeistaa työmaavalvojaansa, jolla tulisi olla tarpeeksi yksityiskohtaiset energiatalouteen liittyvät tiedot. Ilman riittävän kattavaa asiantuntemusta työmaavalvoja ei voi varmistaa ja aktiivisella yhteistyöllä edistää, että urakoitsija tekee rakennuskokonaisuudesta täysin suunnitteluasiakirjojen mukaisen. Monimutkaisia taloteknisiä laitteistoja sisältävä rakennus vaatii usein erillisen valvojan, joka varmistaa kaikkien laitteiden yhteistoiminnan, sillä pääurakoitsijan ja työmaavalvojan huomio keskittyy enemmän rakennusteknisiin asioihin. Rakennussektorilla toimivien eri osapuolten käytännön yhteistyö on tärkeää uusien ratkaisujen kehittämisen kannalta. Uusien järjestelmämuutosten vaikutuksia rakennuksiin on katsottava energiataloudellisesti kokonaisuuden kannalta, sillä muuten tavoitellut säästöt voivat jäädä olemattomaksi. Näin ollen huolellisella suunnittelulla on erittäin tärkeä rooli järkevässä rakentamisessa ja energiatehokkuuden parantamisessa (Lappalainen 2010).

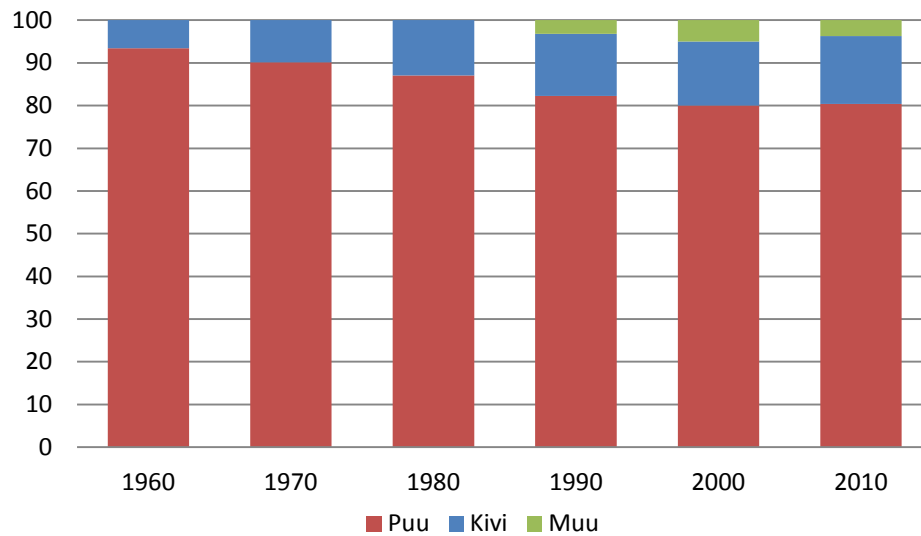
2.6 Rakennustyyppien ja -materiaalien vaikutus energiatehokkuuteen

2.6.1 Rakennusmateriaalit

Rakennusmateriaalit ja rakennusosien koostumukset voivat vaihdella paljon eri rakennustyyppien välillä. Käytettäviä raaka-aineita on monenlaisia ja niillä on merkittävä vaikutus rakentamisesta ja erityisesti materiaalien tuotannosta aiheutuvaan energiankulutukseen. Toimistorakennuksen, joka sisältää paljon lasia, terästä, muovia ja alumiinia,

rakentaminen voi vaatia jopa kolme kertaa enemmän energiaa neliötä kohti verrattuna puisen pientalon rakentamiseen. Rakennusmateriaalien vuoksi puusta rakennettujen pientalojen asuinalue voi aiheuttaa selvästi vähemmän rakentamisen aikaisia päästöjä kuin kerrostaloalueet kaupunkien keskustoissa, jotka taas voivat olla vähäpäästöisempiä kuin tiilirakenteiset pientaloalueet (Lappalainen 2010). Rakennusten käytönaikaisen energiantarpeen lisäksi suunnitteluvaiheen materiaalivalinnoilla voi olla merkittävä vaikutus rakennusten kokonaisenergiankulutukseen. Rakennusmateriaalien tulee olla helposti kierrätettäviä, ja materiaalien elinkaarien ja huoltovälien pituuteen tulee kiinnittää huomiota. Lisäksi rakenteiden suunnitteluvaiheessa tulisi varmistaa myös purkuvaiheen helppous (Thomark 2006).

Suomen rakennuksista valtaosa, noin 80 %, oli vuonna 2010 edelleen puurakenteisia, mutta niiden lukumäärä on laskenut tasaisesti 1960-luvulta lähtien kivirakennusten suosion kasvaessa. Lisäksi viime vuosikymmeninä on alalle tullut uusia materiaaleja (kuva 9). Puusta rakennettuja asuinkerrostaloja oli elokuussa vuonna 2012 vielä toistaiseksi hyvin vähän, vain 37 kpl, joissa oli 644 asuntoa. Uusia rakennusprojekteja oli silloin kuitenkin jatkuvasti käynnissä, lukumäärältään noin 6000 asuntoa, joten puukerrostalojen määrä tulee kasvamaan huomattavasti lähivuosina (TEM 2012). Rakennusalalla toimivien henkilöiden täytyy opiskella pätevyyden ylläpitämiseksi uusien rakennusmateriaalien käyttöä, rakennusfysiikkaa ja riskienhallintaa siirryttäessä matala- ja nollaenergiarakentamiseen (Martinkauppi 2010). Puulla on rakennusmateriaaleista erittäin hyvät ominaisuudet, kun tavoitellaan kestävästä yhteiskunnasta edistämistä, sillä se on uusiutuva luonnonvara. Puurakenteet ovat pitkäikäisiä, niiden valmistaminen aiheuttaa vain vähän päästöjä ja energiankulutus on suhteellisen pieni. Lisäksi puun etuna on kierrättämisen vaivattomuus, joka parantaa sen kilpailukykyä verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin (Lappalainen 2010).



Kuva 9. Suomen rakennukset rakennusaineen mukaan (Tilastokeskus 2011d).

2.6.2 Rakennusten elinkaaren aikaiset päästöt

Rakennusten laskennallisiin elinkaaren aikaisiin päästöihin vaikuttaa merkittävästi oletetun elinkaaren pituus eli miten kestäväksi rakennus on suunniteltu. Rakentamisen ja rakennusmateriaalien päästöt korostuvat, kun valitaan lyhyt 30 vuoden tarkastelujakso. Pitkässä 100 vuoden tarkastelujaksossa on rakennuksen energiatehokkuudella ja lämmitysratkaisulla suurempi merkitys. Lopputulokseen vaikuttaa myös se, miten energian päästöjen oletettu kehitys otetaan huomioon. Kun energiantuotannon päästöjen oletetaan laskevan tulevaisuudessa, voi energiatehokkuusluokkien väliset päästöerot 100 vuodessa olla asuinkerrostalossa noin 16 – 18 %. Lähes nollaenergiatalo voi olla jopa 39 % pienempi päästöiltään kuin rakennusmääräysten mukainen tavallinen talo. Tällöin energiankäytön osuus CO₂-päästöistä on noin 1/4 koko elinkaaren aikana muodostuvista päästöistä (Pasanen ym. 2011). Gustavssonin ym. (2006) tutkimustulosten perusteella puurakenteisen talon materiaalien valmistus kuluttaa vähemmän energiaa ja on vähäpäästöisempää kuin betonirakenteisen talon valmistus. Puurakentamisen etu on parhaimmillaan silloin, kun jäännösmateriaaleilla korvataan fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa (Gustavsson ym. 2006). 100 vuoden tarkastelujaksolla puu- ja betonirakenteisen kerrostalon välinen ero on noin 5 – 7 % puurakenteisen ollessa vähäpäästöisempi. Rakennuksen lämmitystapa voi vaikuttaa päästöihin jopa enemmän kuin energiatehokkuus, sillä elinkaaren aikaiset päästöt voivat olla noin 45 % pienemmät passiivitasoiseksi rakennetussa kerrostalossa, joka lämmitetään päästöttömästi uusiutuvalla energialla. Rakennusvaiheessa syntyvät päästöt

ovat puurakenteella noin $190 \text{ kg CO}_2 / \text{n-m}^2$, mikä on 30 % pienempi kuin betonirakenteisella talolla, jonka vastaava päästöarvo on noin $270 \text{ kg CO}_2 / \text{n-m}^2$. Ero johtuu pääasiassa betonirungon suuremmasta massasta eli rakennusmateriaalin suuremmasta käyttötarpeesta, ja lisäksi muista rakennuksessa tarvittavista materiaaleista. Rakennusvaiheen lisäksi materiaalivalinnoilla on mahdollista pienentää rakennusten huollon, purkamisen ja lopulta materiaalien kierrättämisen sekä loppuhyödyntämisen aiheuttamia päästöjä. Purkuvaiheesta vapautuvaa puumateriaalia voidaan hyödyntää polttoaineena, kun taas betonirakenteet voidaan purkamisen jälkeen ohjata hyötykäyttöön tai murskata, jolloin CO_2 -päästöt vähenevät karbonatisoituvan betonin avulla (Pasanen ym. 2011). Eri lämmitystapojen aiheuttama laskennallinen hiilijalanjälki perustuu päästökertoimiin, joiden selkeä määrittäminen on hieman ongelmallista ja lisäksi ei voida varmuudella tietää kertoimien tulevaisuuden kehityksestä (Vanhanen ym. 2011).

2.6.3 Rakennusten energiatehokkuus

Rakennuksissa käytettävien laitteiden ja rakenteiden valinta tulisi tehdä sekä investointi-että vuosittaisten käyttökustannuksien perusteella. Pääoma- ja käyttökustannukset muodostavat kokonaisvuosikustannukset. Energiatehokkaat ratkaisut laskevat käyttökustannuksia, johon sisältyvät myös ylläpitokustannukset. Rakennusten käyttökulut ovat kasvamassa energian hinnannousun myötä, mikä korostaa energiataloudellisten suunnitelmien tärkeyttä. Päästöjen ja energiataloudellisten seikkojen lisäksi lämmitysjärjestelmän valinnassa on järkevää ottaa huomioon myös järjestelmän muuntautumiskyky vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttämistä varten, mikä voi olla tulevaisuudessa tarpeellista ja rakennuksen arvon kannalta hyödyllistä. Rakennuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös rakennuksen jäähdytyksen tarve ja pyrkiä minimoimaan se estämällä ulkoa tuleva lämpö silloin, kun sitä ei tarvita. Tällöin rakennuksen sijoittelu, lasipintojen koko ja sijainti sekä varjostavat lipat ja verhot voivat tuoda huomattavan energiansäästön (Lappalainen 2010). Käytönaikainen energiankulutus on merkittävin tekijä rakennusten hiilijalanjäljessä, jonka pienentämiseksi varmin keino on panostaa rakennusten energiatehokkuuteen (Vanhanen ym. 2011). Useiden tutkimusten mukaan ensisijainen huomio rakennusten elinkaaren aikaisen energiankulutuksen vähentämisessä tulisi kohdentaa sekä uusien että vanhojen rakennusten primäärienergiankulutukseen, jossa on eniten parannettavaa. Mikäli rakennuksesta halutaan suunnitella mahdollisimman energiatehokas koko sen elinkaarensa ajan, on tärkeintä minimoida rakennuksen käytönaikainen energiantarve. Ainostaan todella vähän

kuluttavissa matalaenergiataloissa rakenteisiin sidoksissa olevan energian osuus voi olla suurempi kuin rakennuksen energiankulutus (Verbeeck & Hens 2010, Sartori & Hestnes 2007).

Matalaenergiatalojen yleistymisen myötä osaaminen ja asiantuntemus ovat kehittyneet, joten energiatehokkaiden rakennusten toteuttaminen on nykyisin helpompaa. Myös matalaenergiataloja energiatehokkaammat passiivitalot, joiden normaalivuoden laskennallinen lämmitysenergiantarve on vielä matalampi, kasvattavat suosiotaan. Kun rakennuksen yhteydessä tuotetaan uusiutuvaa energiaa saman verran kuin uusiutumaton energiaa käytetään, on kyseessä nollaenergiatalo. Lisäksi teknisesti on mahdollista toteuttaa rakennuksia, jotka tuottavat enemmän energiaa kuin kuluttavat. Tällöin käytetään nimitystä plusenergiatalo. Uudet rakennukset ohjataan energiatehokkaampaan suuntaan määräämällä ylärajat niiden kuluttamalle lämpöenergialle, mutta matalaenergiatalojen kulutuksen on oltava näitä määräyksiä pienempi. Vuonna 2010 voimaan tulleiden rakentamismääräysten mukaan matalaenergiatalojen lämpöhäviöt saivat olla enintään 85 % vertailulämpöhäviöistä. Näin ollen matalaenergiatalot kuluttaisivat vuodessa lämmitysenergiaa alle 90 kWh/br-m² Pohjois-Suomessa ja alle 60 kWh/br-m² Etelä-Suomessa. Yleinen määritelmä passiivitalosta kuvailee sen rakennukseksi, joka ei tarvitse lainkaan lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. Teknologian tutkimuskeskus VTT määrittelee Pohjois-Suomessa olevan passiivitalon vuosittaiseksi lämpöenergiantarpeeksi 30 kWh/br-m² vuodessa ja Etelä-Suomen vastaava lukema on 20 kWh/br-m², sillä Suomen sääolosuhteet eivät mahdollista yleisen passiivitalon määritelmän toteuttamista käytännössä kustannustehokkaasti (Motiva 2011a). Matalaenergiatalon rakentamisen lisäkustannus on noin 2–5 % talon hankintahinnasta. Passiivitalon rakentamiskustannukset voivat olla noin 75 €/m² korkeammat. Yleensä noin 5–7 % (Rajala ym. 2010, VTT 2011).

2.6.4 Lämmön talteenotto

Rakennuksesta ulos menevää lämmintä poistoilmaa voidaan hyödyntää ohjaamalla se lämmittämään tuloilmaa ja tällöin on kyse ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta. Poistuvasta ilmasta siirretään lämpöenergiaa poistoilmalämpöpumpun avulla ja lämpö hyödynnetään tuloilman tai käyttöveden lämmittämisessä. Poistoilmalämpöpumpun avulla voidaan säästää ostoenergiaa noin 40 % suoraan sähkölämmitykseen verrattuna ja myös sisäilman viilennys on mahdollista (Lappalainen 2010, Motiva 2012c). Järjestelmän avulla voidaan siis pienentää rakennuksen lämmöntarvetta ja sen myötä myös elinkaaren aikaisia

energiakustannuksia (Lappalainen 2010). Veden kulutus asukasta kohti on kotitalouksissa keskimäärin noin 150 litraa vuorokaudessa. Astian- ja pyykinpesukoneen lisäksi vettä kuluu ruoanlaittoon, peseytymiseen ja wc:n huuhteluun, josta 40 % on lämmintä vettä. (Lappalainen 2010). Energiaa kuluu hukkaan, kun kodinkoneiden lämmittämä käyttövesi johdetaan suoraan osaksi muuta jätevettä, vaikka jäteveden lämpöenergiaa pystyttäisiin hyödyntämään ottamalla poistuvan käyttöveden lämpö talteen. Jäteveden lämmön talteenottojärjestelmien asentamisella voisi olla suuri merkitys hukkaenergian vähentämisessä, sillä melkein puolet jätevedestä on lämmintä (Rajala ym. 2010). Tällä hetkellä jäteveden lämpöä hyödynnetään pääasiassa jäteveden käsittelylaitoksessa ja on todennäköisempää, että lämmön talteenottoa jätevedestä tehdään tulevaisuudessa keskitetysti käsittelylaitosten läheisyydessä. Syynä edellä mainittuun voi olla kustannustekijät ja se, että nykyistä kylmempi paluuvesi voisi aiheuttaa putkien jäätymistä talvella (Kuopion Vesi 2012).

2.6.5 Jäähdytys

Jäähdytystarvetta lisääviä tekijöitä on ulkoisia ja sisäisiä. Ulkoa tulevaa lämpökuormaa aiheuttaa auringon lämpösäteily, joka pääsee rakennukseen ikkunoiden kautta, ja lämmön johtuminen lämmenteestä ulkoseinärakenteesta. Sisäinen lämpökuorma voi olla esimerkiksi ihmisten tuottamaa ja valaistuksesta säteilevää lämpöä sekä tietotekniikkalaitteista vapautuvaa lämpöä etenkin toimistorakennuksissa. Optimaalinen huonelämpötila on noin $+22 - +24$ °C. Tuloilmalla toteutetussa jäähdytyksessä tuloilma menee ensin käsiteltäväksi ilmastointikoneeseen, josta jäähdytetty ilma tarvittaessa johdetaan haluttuun rakennuksen osaan poistamaan yلیلämpöä. Kyseinen järjestelmä käyttää suuria ilmavirtoja ja lämpöeristettyjä kanavia, joten se on myös tilaa vievä ratkaisu (Lappalainen 2010).

Huonekohtaisessa jäähdytysjärjestelmässä tarvitaan ilmanvaihtoputkiston lisäksi jäähdytysputkisto, josta huonekohtaiset jäähdytysyksiköt saavat tehonsa. Tällöin ilmanvaihdon tilantarve saadaan minimoitua ja jäähdytysyksiköt korvaavat kylminä vuodenaikoina lämmityspatterit. Jäähdytystarpeen kohdistuessa johonkin erityisvaatimuksia sisältävään tilaan, tai jos muualla rakennuksessa ei ole tarvetta jäähdytykselle, voidaan toteuttaa yksilöllinen tilakohtainen jäähdytysjärjestelmä. Kyseessä voisi olla esimerkiksi ATK-tilat, jolloin lämpökuorma kohdistuu tiettyyn talon osaan, eikä tällöin ole etenkin talvella järkevää käyttää koko talon kattavaa järjestelmää. Tässä tapauksessa

kylmäaineputkistot johdetaan ulkona sijaitsevalle lauhduttimelle. Talvella jäähdytykseen voidaan käyttää ulkoilmaa ja kesällä kylmä tuotetaan kompressorilla. Mikäli päivänäkaisia lämpökuormia halutaan estää tehokkaammin pääsemästä rakennukseen, voidaan käyttää yöjäähdytystä, jolloin rakenteissa olevan lämmön määrää vähennetään yön aikana ilmanvaihdon avulla. Sisälämpötilat eivät pääse nousemaan päivällä niin paljon, kun rakenteiden lämpökuormien absorbointikyky on parempi. Suunnittelulla voidaan ulkoa sisälle tuleva lämpö ja siitä aiheutuva jäähdytystarve minimoida. Rakennuksen sijoittaminen niin, että isoja auringolle alttiita lasipintoja ei suunnata etelään ja myös erilaiset suojaukset, kuten lipat, säleverhot, markiisit ja heijastavat lasipinnat vähentävät rakennukseen kohdistuvia lämpökuormia (Lappalainen 2010, Vanhanen ym. 2011).

Tulevaisuudessa saattaa tiiviisti rakennetuille alueille tulla kaukojäähdytyksestä suuremmissa mittakaavassa ekotehokkaampi vaihtoehto kiinteistökohtaisille jäähdytysjärjestelmille. Kesällä kaukojäähdytykseen hyödynnetään lämpöä, jota saadaan sähköntuotannosta. Tämä lämpöenergia menisi muuten hyödyntämättä vesistöön lauhdelämpönä. Talvella vesistöjen kylmää vettä voidaan käyttää kaukojäähdytyksen apuna (Lappalainen 2010). Kaukojäähdytyksen käyttämästä energiasta 80 % menisi hukkaan ilman kaukojäähdytysverkostoa. Helsingissä kaukojäähdytys kattaa koko kantakaupungin ja verkosto laajenee edelleen voimakkaasti (Helsingin Energia 2013).

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Asemakaavan kohdealue: Julkula

Kuopion kaupunki suunnittelee täydennysrakentamista monissa eri kaupunginosissa. Yksi asemakaavan muutosehdotus kohdistuu Julkulan kaupunginosaan (kuva 10), missä suunnittelualue sijaitsee Kallaveden rannalla Julkulanniemen läheisyydessä noin 5 kilometrin päässä keskustasta erillispientalojen sekä erillisten ja kytkettyjen asuinpienalojen korttelialueen läheisyydessä. Alueen yhdyskuntarakennetta pyritään eheyttämään ympäristöön sopivin keinoin mahdollisuuksien mukaan ekologisella ja uudentyypillisellä puutalorakentamisella. Alueen täydennysrakentaminen suunnitellaan turvaten ympäristö-, virkistys-, luonto- ja kulttuuriarvot (Kuopion kaupunki 2011). Asemakaavan muutos on valmisteluvaiheessa ja kaavaehdotukselle on tavoitteena saada kaupunginvaltuuston hyväksyntä.



Kuva 10. Ilmaviistokuva idästä päin asemakaavan muutosalueen nykytilasta Kuopion Julkulassa (Kuopion kaupunki 2012).

3.2 Alueen ominaispiirteitä ja mahdollisia taloratkaisuja

Suunnittelualueella on luonnonvaraisena säilynyttä aluetta sekä kulttuurihistoriallisesti arvokkaita suojelukohteita, jotka on otettu huomioon suunnitteluvaiheessa kaava-merkinnöillä. Alueella on muun muassa 1800-luvulla rakennettu pappila, joka toimii

nykyään nuorisotalona. Lisäksi alueeseen kuuluvalla niemellä sijaitsee 1600-luvulta säilynyt historiallisesti arvokas pihapiiri. Osayleiskaava vuodelta 2002 osoittaa alueen suojelukohteiden lisäksi julkisten palvelujen ja hallinnon alueeksi, pientalovaltaiseksi asuinalueeksi, ryhmäpuutarha-alueeksi sekä lähivirkistysalueeksi. Alueelle ei ole toteutunut vuoden 1976 asemakaavaan osoitettu urheilu- ja virkistyspalveluiden alue. Suurin osa alueen asuinrakennuksista on 1970 – 1990 -luvuilla rakennettuja (Kuopion kaupunki 2011).

Alueelle on suunniteltu uusia puurakenteisia kerros- ja rivitaloja sekä mahdollisesti myös pientaloja/omakotitaloja yhteensä noin 170 asunnon verran (kuva 11). Suunnitelman mukaan kerrostaloalueita on kaksi. Pohjoisen puoleiselle alueelle on tavoitteena rakentaa 2 – 3 puukerrostaloa (noin 80 asuntoa) ja eteläisempi kerrostaloalue käsittäisi kolme mahdollisesti kuvan 12 mukaista puukerrostaloa (84 asuntoa). Molemmille kerrostaloalueille on myönnetty rakennuspinta-alaa 5000 k-m² (taulukko 5) ja kaikki kerrostalot on tarkoitus rakentaa 4 – 5 -kerroksisiksi. Tämän työn tarkastelun kohteena lämmitysjärjestelmien vertailun osalta oli asemakaava-alueen pohjoisosaan suunnitellun kerrostaloalueen yksi kerrostalorakennus. Lisäksi näkyvyystarkastelussa tutkittiin molempien kerrostaloalueiden rakennusten näkyvyyttä lähiympäristöön.



Kuva 11. Havainnekuvaan rajattu mahdolliset täydennysrakentamisesta aiheutuvat muutokset Kuopion Julkulassa (Kuopion kaupunki 2013).



Kuva 12. Alustava luonnos asemakaavan muutosalueelle suunnitellusta puukerrostalosta (Kuopion kaupunki 2013).

Taulukko 5. Julkulaan suunniteltujen kerrostalorakennusten pinta-alat.

Rakennustyyppi	Kerrosalat (k-m ²)	Lämmitetty nettoala (m ²)
Asuinkerrostalot, alue 1	5000	4167
Asuinkerrostalot, alue 2	5000	4167
Erillispientalot	400	333
Yhteensä	10400	8667

3.3 Paikkatietotarkastelun menetelmät ja aineistot

Alueesta tehtyä laserkeilausaineistoa hyödynnettiin näkyvyystarkastelussa sekä auringon säteilyn intensiteetin selvittämisessä. Näkyvyystarkastelussa (Maloy & Dean 2001)

tutkitaan tietyn kohteen näkyvyyttä ympäristöönsä huomioiden maaston muodot, rakennukset ja kasvillisuus, jotka voivat toimia esteinä. Auringon säteilytarkastelussa (Rich ym. 1994, Fu & Rich 2000, 2002) huomioidaan samaan tapaan maaston ja muiden kohteiden tuottamat esteet sekä säteilyn tulokulma tarkasteltavalle pinnalle laskettaessa säteilyn kokonaismäärää neliometriä kohden. Säteilyintensiteetin laskennassa huomioidaan lisäksi ajankohdan vaikutus auringonsäteilyn päivittäiseen keston ja säteilyn tulokulmaan päivän sisällä sekä pilvisyyden ja ilmakehän sumeuden vaikutus säteilyn intensiteettiin.

Laserkeilausaineistoa esikäsiteltiin LAStools-ohjelmiston avulla. Näkyvyys- ja säteilymittaustarkastelut tehtiin ArcGIS 10.1 -ohjelman (Environmental Systems Research Institute Inc, USA) sekä sen lisäpakettien avulla. Näkyvyystarkastelua varten kolmiulotteisista maa-, kasvillisuus- ja muihin heijastuksiin luokitelluista laserkeilauspisteistä muodostuva aineisto konvertoitiin rasterimuotoiseksi $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ resoluution Digital Terrain Model (DTM) -korkeusaineistoksi, jota käytettiin maanpinnan, rakennusten ja kasvillisuuden korkeus- ja kaltevuustarkasteluissa. Lisäksi esikäsitelyssä tehtiin toinen Digital Elevation Model (DEM) -tyyppinen korkeusaineisto, josta jätettiin kasvillisuudesta ja rakennuksista heijastuneet havainnot pois. DEM-korkeusaineisto kuvaa siis vain maanpinnan muotoja, ja sen avulla voitiin tutkia talojen rakentamispaikan maanpinnan korkeus ja muodostaa sellainen DTM-korkeusaineisto, joka kuvasi alueen topografiaa uusien kerrostalojen rakentamisen jälkeen. Tämä näkyvyys- ja auringon säteilytarkasteluissa käytetty DTM muodostettiin siis yhdistämällä alkuperäiseen DTM-korkeusmalliin ilman kasvillisuutta muodostetun korkeusmallin arvoja rajatuille rakennusalueille. Rakennukset lisättiin merkitsemällä nurkkien sijainnit kartalle pisteillä, ja määrittelemällä pisteille korkeusarvot suhteessa maanpintaan talojen ennakoitujen korkeuksien perusteella sekä täyttämällä rakennusten sisältämä alue lasketulla korkeusarvolla.

Rakennuksen katolle saatavan auringonsäteilyn määrää (arvio vuodelle 2014) tutkittiin ArcGIS-ohjelman Solar Radiation -työkalulla. Laskentaohjelmassa laskennan parametreina käytettiin pääosin oletusarvoja. Laskennassa käytetyt arvot on esitetty taulukossa 6. Säteilytarkasteluja tehtiin kaksi erilaista laskentaa: runsaspilvinen (laskenta 1) ja erittäin aurinkoinen (laskenta 2). Säteilyn määrää tutkittiin sekä vaakasuorassa olevalle tasolle että etelään suunnatulle 45° kulmassa olevalle tasolle.

Taulukko 6. Auringon säteily määrän laskennassa käytetyt parametriarvot

Parametri	Laskenta 1	Laskenta 2
Latitude	62,9	62,9
Skysize / Resolution	200	200
Whole year with monthly interval	2014	2014
Hour interval	0,5	0,5
Zenith divisions	16	16
Azimuth divisions	32	32
Diffuse model	Standard overcast	
Diffuse proportion	0,6	0,2
Transmittivity	0,3	0,7

3.4 Lämmitysjärjestelmien vertailu

3.4.1 CO₂-päästöt ja kustannukset

Laskelmissa selvitettiin yhden alueelle mahdollisesti rakennettavan kerrostalon (kerrospinta-alaksi valittu 1667 m²) lämmityksestä aiheutuvat elinkaaren aikaiset CO₂-päästöt sekä kustannukset eri lämmitysjärjestelmiä ja niiden yhdistelmiä vertailemalla sekä puu- että betonitaloratkaisuissa. Rakennusten energiatehokkuusluokituksen suhteen tehtiin vertailua määräysten mukaisten normitalojen, sekä energiatehokkaampien matalaenergia- ja passiivienergiatalojen välillä. Lisäksi laskettiin matala- ja passiivienergiatalojen rakennuskustannusten takaisinmaksuajat. Vertailun kohteeksi tarkasteluun valittiin seuraavat lämmitysjärjestelmät sekä niiden yhdistelmät: kaukolämmitys, kaukolämmön ja aurinkolämpökerääjien yhdistelmä, sekä sähkölämmityksellä tuettu maalämpöjärjestelmä (taulukko 7). Vertailuun valittiin Julkulan kaupunginosaan rakennettavien asuinkerrostalojen lämmitysenergian tuottamiseen todennäköisimmät lämmitysmuodot.

Taulukko 7. Tutkimuksessa vertailut Julkulaan suunniteltavien kerrostalojen lämmitysmuodot sekä niiden osuudet energiantuotannosta.

	Lämmitysmuoto 1	Osuus	Lämmitysmuoto 2	Osuus
Lämmitysjärjestelmä 1	Kaukolämpö	100 %	-	
Lämmitysjärjestelmä 2	Kaukolämpö	75 %	Aurinkolämpökerääjät	25 %
Lämmitysjärjestelmä 3	Maalämpö	85 %	Sähkövastus	15 %

3.4.2 Kaukolämpö

Kuopion Energian kaukolämpöverkosto ulottuu Julkulaan suunnitellulle asuinalueelle. Kuopion kaukolämpö tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannolla, joten se on tehokas ja taloudellinen vaihtoehto. Motivan laskentaohjeistuksen (Hippinen & Suomi 2012) mukaan Suomen kaukolämmön keskimääräinen CO₂-ominaispäästökerroin yhteistuotannossa tuotetulle kaukolämmölle on 217 kg CO₂/MWh, mutta tarkempaa lukemaa tulisi käyttää mikäli paikallisen lämmöntuottajan ilmoittama CO₂-päästökerroin on käytettävissä. Kuopion Energian julkaisema kaukolämmön vuoden 2011 ominaispäästökerroin on 387 kg CO₂/MWh (taulukko 4) (Kuopion Energia 2012a), joka on huomattavasti keskimääräistä päästökerrointa suurempi. Syy keskimääräistä suuremmalle kertoimelle on runsas turpeen käyttö.

Vuoden 2012 alussa käyttöön otettu biopolttoainetta hyödyntävä voimala mahdollisesti vähentää paikallisen lämmöntuotannon päästöjä lähitulevaisuudessa. Uudessa voimalassa voidaan vähentää puun avulla turpeen käytön tarvetta jopa 70 %. Voimalassa on mahdollista käyttää polttoaineena myös kivihiiltä turpeen ja puun lisäksi. Kuopion Energia Oy uusii vuonna 2013 Haapaniemi 2 -voimalaitoksen polttoprosessin leijukerrostekniikkaan päästöjen vähentämiseksi. Tämän uudistuksen myötä raskaan polttoöljyn käyttö laitoksella tulee poistumaan käytännössä kokonaan (Savon Sanomat 2013). Vuoden 2012 päästökerroin on jo selvästi laskenut edellisvuodesta, ja arvio vuoden 2014 päästökertoimesta Kuopion Energian tuottaman kaukolämmön osalta on noin 200 – 250 kg CO₂/MWh (Kuopion Energia 2013f), joka vastaisi tämän hetken Suomen keskimääräistä CO₂-ominaispäästökerrointa yhteistuotannossa tuotetulle kaukolämmölle.

3.4.3 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmällä voidaan tuottaa lämpöä yhdelle tai useammalle kerrostalolle. Maalämpöpumppu kuluttaa sähköenergiaa, joten sen CO₂-päästöt energiayksikköä kohti ovat samat kuin esim. suoran sähkölämmityksen piirissä olevissa taloissa, mutta maalämpöjärjestelmän tehokas lämmöntuotto ja maaperään sitoutuneen lämmön hyödyntäminen tekee siitä vähäpäästöisen ja kilpailukykyisen vaihtoehdon. Keskimääräiset ominaispäästöt Suomen sähkönhankinnalle ovat 210 kg CO₂/MWh (Hippinen & Suomi 2012). Kuopion Energia käytti polttoaineena sähkön tuotannossa vuonna 2011 turvetta ja fossiilisia energialähteitä 59 %, uusiutuvien energialähteiden osuus oli 24 % ja ydinvoiman 17 %. Vuonna 2011 sähkönmyynnistä aiheutuneet CO₂-ominaispäästöt olivat

372 g/kWh (Kuopion Energia 2012b). Vuoden 2012 aikaiset päästöt ovat vähentyneet lisääntyneen puuperäisten polttoaineiden käytön myötä. Arvio vuoden 2014 sähkön ominaispäästöille on noin 200 – 250 kg CO₂/MWh (Kuopion Energia 2013f), mikä on hyvin lähellä tämänhetkistä Suomen keskiarvoa 210 kg CO₂/MWh.

Laskenta suoritetaan ensisijaisesti käyttämällä tarkasteltavan kulutuskohteen sähkönmyyjän ilmoittamaa myydyin sähkön CO₂-päästökerrointa. Näin lasketun ostosähkön CO₂-päästöjen rinnalla suositellaan esitettäväksi samalla myös ostosähkön CO₂-päästöt laskettuna Suomen keskimääräistä sähkönhankintaa kuvaavalla CO₂-päästökertoimella. Näin saadaan havainnollistettua, mitä suuruusluokkaa päästöt ovat, jos sähkö hankitaan tulevaisuudessa esim. tällä hetkellä käytössä olevan ”vähäpäästöisen” sähkön sijaan ”keskimääräisenä markkinasähköinä” (Hippinen & Suomi 2012).

Lämpöpumppujen optimaalinen tehokerroin (COP) kuvaa laitteen tuottamaa lämpötehoa suhteessa käytetyn sähkön määrään. Lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhdetta vuotuiseseen sähkönkulutukseen kuvataan vuotuisella lämpökertoimella (SPF), ja tämä luku vaihtelee maalämpöpumpuilla 2,3:n ja 3,5:n välillä. Lämpökertoimen suuruus riippuu siitä, lämmitetäänkö sisätiloja vai käyttövetä, sekä lämmitettävän tilan tavoitelämpötilasta (Eskola ym. 2011). Erinomaisesta tehokkuudesta johtuen maalämpöpumpun todelliset CO₂-päästöt voivat olla käytännössä vain noin 1/3 verrattuna saman lämpöenergiamäärän tuottamiseen sähköllä (taulukko 4). Maalämmön etuna verrattuna tuuli- ja aurinkoenergiajärjestelmiin kylmässä pohjoismaisessa ilmastossa on suhteellisen tasainen energiantuotto ympäri vuoden. Järjestelmä vaatii maahan asennettavan vaakaputkiston noin 1 – 1,5 metrin syvyyteen, kallioon porattavan noin 60 – 150 metrin syvyisen pystyputkituksen tai porakaivoputkituksen. Myös vesistöön asennettava putkisto on rinnastettavissa maalämpöön. Maalämpöjärjestelmän pystyputkiston asennuskustannukset ovat hieman suuremmat verrattuna vaakaputkiston kustannuksiin, mutta sen energiantuottoakin on parempi putkimetriä kohti (Motiva 2011b). Maalämpöpumpun kannattavuus yleensä paranee lämmitysenergian tarpeen myötä, koska kustannukset energiayksikköä kohti kasvavat lämpöpumpun tehon pienentyessä. Järjestelmän tehoa ei kuitenkaan aina kannata mitoittaa kattamaan koko talon lämmitystarvetta (täystehomitoitus), koska tällöin käyttöaste jää pienemmäksi ja kannattavuus heikkenee. Tavallinen mitoitus lämpöpumpun tehoksi on noin 40 – 60 % rakennuksen mitoitustehosta (osatehomitoitus). Järjestelmä pystyisi tuottamaan tällöin noin 80 – 90 % rakennuksen lämmitystarpeesta. Yleensä osatehomitoitetun maalämpöjärjestelmän lisälämmönlähteenä

kylmimpinä vuodenaikoina käytetään sähkövastusta, öljylämmitystä tai tulisijaa (Vartiainen ym. 2002). E-luvun laskennassa energiakerroin on 1,7 maalämpöjärjestelmän sähkötoimisen lämpöpumpun vuoksi (Srmk D3 2/11).

3.4.4 Aurinkolämpökeräimet ja kaukolämpö

Yhdistelmäratkaisuihin aurinkoenergian käyttö toisena järjestelmän osana toisi rakennukselle omavaraisenergiaa ja vähentäisi CO₂-päästöjä. Etelä-Suomessa auringonsäteilyä kohdistuu vaakatasossa olevalle alueelle vuodessa keskimäärin noin 1000 kWh/m² (Motiva 2012). Vastaava energiansaanto Jyväskylän tasolla eli säävyöhyke III:lla (kuva 2), johon myös Kuopio kuuluu, on 890 kWh/m² (Srmk D3 2/11). Aurinkoenergian omavaraisella tuotolla saadaan E-lukua pienemmäksi. Aurinkokeräimien huipunkäyttöaika on yleensä noin 1000 tuntia (Vartiainen ym. 2002). Kooltaan yleensä noin 1 – 2 m² olevat keräimet tuottavat vuodessa keskimäärin 250 – 400 kWh. Aurinkolämpökeräimien hyötysuhteet ovat aurinkosähköpaneelisiin verrattuna korkeammat, noin 30 – 40 %, ja niihin täytyy vaihtaa lämmönsiirtoneste noin 3 – 7 vuoden välein eli huoltotarve on melko vähäinen (Pesola 2010, Vartiainen 2001). Lämmitysjärjestelmään kytketyillä aurinkokeräijillä voidaan tuottaa noin 25 – 35 % lämmitysenergiatarpeesta. Matala- ja passiivienergiatalojen pienemmästä lämmitysenergiatarpeesta johtuen aurinkokeräijien tuottaman lämmön osuus voi olla myös edellä mainittua suurempi (Motiva 2012b).

3.5 Laskelmissa käytetyt yhtälöt ja taustatiedot

Tässä luvussa esitettyjen yhtälöiden laskutoimitukset ja laskuissa käytetyt arvot on esitetty liitteissä 1, 2 ja 3.

3.5.1 CO₂-Päästöt

Kuopion maantieteellisen sijainnin perusteella lämmitysenergiatarpeeksi määritettiin luvussa 2.6.3 mainittujen matala- ja passiivienergiatalojen energiankulutusten (Motiva 2011a) keskiarvot: 75 kWh/br-m² matalaenergiatalolle ja 25 kWh/br-m² passiivienergiatalolle. Koska rakentamismääräysten mukaan matalaenergiatalojen lämpöhäviöt saivat olla enintään 85 % vertailulämpöhäviöistä, normienergiatalon lämmitysenergiatarpeeksi määritettiin 90 kWh/br-m², josta matalaenergiatalolle käytetty arvo on noin 85 %. Rakennuksen tarvitsema vuotuinen lämpöenergia E_a (kWh/a) laskettiin energiatehokkuusluokituksen mukaisen vuotuisen tehontarpeen E (kWh/m²a) ja kerrospinta-alan A_{br} (m²) tulona (yhtälö 1).

$$E_a = A_{br} \times E \quad (1)$$

Rakentamisen aikaiset CO₂-päästöt $m(CO_2)$ arvioitiin rakennuksen huoneistopinta-alan A_n (n-m²) ja päästökertoimen b (kg CO₂ / n-m²) tulolla (yhtälö 2). Päästökertoimen yksikössä n-m² tarkoittaa netto- eli huoneistopinta-alaa. Puurakenteisen talon päästökertoimena käytettiin 191 kg CO₂ / n-m² ja betonirakenteisen talon päästökertoimena käytettiin 268 kg CO₂ / n-m² (Pasanen 2011).

$$m(CO_2) = A_n \times b \quad (2)$$

Vertailussa olleiden lämmitysjärjestelmien CO₂-päästöt $m(CO_2)$ laskettiin edellä lasketun (yhtälö 1) rakennuksen tarvitseman vuotuisen lämpöenergian E_a (kWh/a) ja ominaispäästökertoimen ε (g CO₂/kWh) (katso taulukko 4) tulona (yhtälö 3). Laskuissa käytettiin sekä Kuopion energian vuoden 2011 kaukolämmön päästökerrointa (Kuopion Energia 2012a) että Suomen keskimääräisen yhteistuotannossa tuotetun kaukolämmön keskiarvoa (Hippinen & Suomi 2012).

$$m(CO_2) = \varepsilon \times E_a \quad (3)$$

Maalämpöjärjestelmän tuotoksi oletettiin 85 % lämpöenergian tarpeesta ja loput 15 % lämpöenergiasta tuottaa sähkötoiminen lisävastus. Maalämpöjärjestelmän vuosittaiseksi lämpökertoimeksi valittiin SPF = 3, joten laskuissa maalämmön päästökerroin on 1/3 sähkön päästökertoimesta (Eskola ym. 2011). Laskuissa käytettiin sekä Kuopion energian vuoden 2011 sähkön päästökerrointa (Kuopion Energia 2012b) että Suomen keskimääräistä sähkön keskiarvoa (Hippinen & Suomi 2012).

3.5.2 Kustannukset

Kustannuslaskelmissa kaikkien vertailtavien lämmitysjärjestelmien investointikulun vuosikoroksi valittiin 5 % ja maksuajaksi 25 vuotta. Vuosittaiset kokonaiskustannukset K (€) selvitettiin annuiteettimenetelmällä alla olevan kaavan mukaisesti (yhtälö 4) (Ojala 1976).

$$K = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times H + q, \quad (4)$$

missä i on laskentakorkokanta, n on investoinnin laskenta-aika, H on hankintakustannukset. Hankintakustannuksia ovat esimerkiksi liittymismaksu ja järjestelmäinvestoinnit. Kaavassa q vastaa muita vuosittaisia kustannuksia esimerkiksi perusmaksuja sekä energiaveroja ja -kustannuksia.

3.5.2.1 Kaukolämmön kustannukset

Kaukolämmön perus- ja liittymismaksut määräytyvät tilausvesivirran V (m^3/h) mukaan. Tilausvesivirtojen arviot eri energiatehokkuusluokille määritettiin Tampereen Sähkölaitos Oy:n laskurilla, jonka tulokset perustuvat tyyppikäyttäjien tietoihin. Tilausvesivirrat kaukolämmölle ovat: normitalo $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$, matalaenergiatalo $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, passiivenergiatalo $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Kaukolämmön ollessa aurinkojärjestelmän osana ja kaukolämmön tuoton ollessa 75 % lämpöenergiatarpeesta, saatiin tilausvesivirtojen arvioista seuraavanlaiset: normitalo $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$, matalaenergiatalo $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$, passiivenergiatalo $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (Tampereen Sähkölaitos 2013). Liittymismaksut on laskettu yhtälöllä 5 ja perusmaksut yhtälöillä 6a ja 6b (Kuopion Energia 2013). Kaukolämpöverkon rakennustarve on noin 200 metriä, joten verkon rakentamisesta aiheutuvat kulut ovat keskimäärin $200 \text{ m} \times 200 \text{ €/m} = 40\,000 \text{ €}$ (Rajala ym. 2010). Verkon rakentamisesta aiheutuvat kiinteät kustannukset sisältyvät liittymismaksuun ja perusmaksuun (Kuopion Energia 2013a, 2013b), joten verkon rakennuskuluja ei huomioida tämän työn laskelmissa.

$$\text{Liittymismaksu} = K \times (1380 + 6800 \times V + 80 \times L), \text{ kun } V \text{ on } 0,3 - 2,0, \quad (5)$$

missä L on liittymisjohdon 15 metriä ylittävä osuus eli $200 \text{ m} - 15 \text{ m} = 185 \text{ m}$, K on tasokerroin, joka on uudisrakennusalueilla 1,1 ja määräytyy muilla alueilla tapauskohtaisesti.

$$\text{Perusmaksu} = K (40 + 990 \times V), \text{ kun } V \text{ on alle } 0,8 \quad (6a)$$

$$\text{Perusmaksu} = K (70 + 960 \times V), \text{ kun } V \text{ on } 0,8 - 1,8, \quad (6b)$$

missä kerroin K on 1,8 (Kuopion Energia 2013a).

Kaukolämmön energiakustannukset laskettiin kertomalla yleislämmön yksikköhinta $56,74 \text{ €/MWh}$ vuosittaisella energiankulutuksella E_a (Kuopion Energia 2013b).

3.5.2.2 Maalämpöjärjestelmän kustannukset

Maalämpöpumppujen huipun käyttöaika on parhaimmillaan noin 3000 tuntia ja käyttöikä 20 vuotta. Tällöin käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat 0,2 – 0,6 snt/kWh ja tuotantokustannukset saatua nettoenergiaa kohti 4 – 8 snt/kWh. Järjestelmän investointiin on varattava noin 1800 €/kW_p (Vartiainen 2001, Lämpö Ykkönen 2013). Laskuissa on oletettu, että 85 % energiantarpeesta tuotetaan maalämmön avulla ja loput 15 % tuotetaan sähköllä. Laskuissa käytettiin edellä mainittuja kustannuksia siten, että käyttö- ja kunnossapitokustannuksiksi oletettiin 0,4 snt/kWh ja hankintakustannukseksi 1800 €/kW_p. Halutun tehonpeittoasteen saavuttamiseksi maalämpöpumpun teho P arvioitiin maalämpöpumpun tuottaman vuosittaisen energian ja huipunkäyttöajan (3000 h) osamäärällä (taulukko 8). Edellä mainittujen tehomitoitusten perusteella laskettiin hankintakustannus tehon P ja kustannustiedon 1800 €/kW_p tulona. Kun järjestelmän käyttämäksi jännitteeksi oletettiin 0,4 kV, sähköliittymästä tarvittava maksimi virta I laskettiin tehon P ja jännitteen U osamäärällä.

Yleissähkö soveltuu kerrostaloasuntoihin, joissa päälämmitys on toteutettu muulla kuin sähköllä. Tuotteella on yksi perusmaksu ja energiamaksu (Kuopion Energia 2013c). Maalämpöjärjestelmän kustannuksissa sähkön perusmaksua ei oteta huomioon, koska jokaisessa rakennuksessa on sähkö käytössä lämmitysjärjestelmästä riippumatta ja näin ollen sähkön perusmaksut täytyy maksaa joka tapauksessa. Mahdollinen lämmitysjärjestelmästä aiheutuva korotus sähköverkon liittymismaksuun on syytä ottaa huomioon kustannusvertailussa. Maalämpöjärjestelmän vuoksi lisääntynyt sähkön tarve aiheuttaa sähköverkon liittymismaksuun korotusta alla olevan taulukon 8 mukaisesti. Liittymismaksuun tuleva lisä on arvioitu Kuopion Energia Oy:n sähköverkon liittymismaksuhinnaston perusteella käyttäen arvoa 35 €/A (Kuopion energia 2013).

Taulukko 8. Maalämpöjärjestelmän aiheuttama lisäkustannus sähköliittymän liittymismaksuun.

Rakennustyyppi	Maalämpöpumpun teho	Sulakekoko	Liittymismaksu
Normienergiatalo	42,5 kW _p	106 A	3710 €
Matalaenergiatalo	35,4 kW _p	89 A	3115 €
Passiivienergiatalo	11,9 kW _p	30 A	1050 €

Maalämpöpumpun toiminnan edellyttämän sähkön $Kust_{mlp}$ (€/a) ja sähkövastuksella tuotettavan huippukuorman $Kust_{sv}$ (€/a) vuosittaiset energiakustannukset koostuvat sähköenergian ja sähkönsiirron energiamaksuista yleissähkön hinnaston mukaisesti (taulukko 9). Rakennuksen vuotuinen energiantarve E_a vaikuttaa energiakustannuksiin yhtälöiden 7 ja 8 mukaisesti. Lisäksi sähkön siirron energiavero $Kust_{ev}$ lisätään edellä mainittuihin kustannuksiin (yhtälö 9), jolloin saadaan maalämpöjärjestelmän vuosittaiset tuotantokustannukset.

$$Kust_{mlp} = \frac{1}{3} \times 0,8 \times E_a \times (\text{sähköenergia} + \text{sähkön siirto})_{\text{energiamaksut}} \quad (7)$$

$$Kust_{sv} = 0,2 \times E_a \times (\text{sähköenergia} + \text{sähkön siirto})_{\text{energiamaksut}} \quad (8)$$

$$Kust_{ev} = ((\frac{1}{3} \times 0,8 \times E_a) + (0,2 \times E_a)) \times \text{energiavero} \quad (9)$$

Taulukko 9. Yleissähkön hinnat 1.1.2013 alkaen (Kuopion Energia 2013c, 2013d, 2013e):

Kustannusmuoto	Perusmaksu (€/kk)	Energiamaksu (snt/kWh)
Sähköenergia	2,22	7,36
Sähkön siirto	4,23	3,08
Energiavero (sähkön siirto)	-	2,1117 (veroluokka I)

3.5.2.3 Aurinkolämpökeräimillä tuetun kaukolämmön kustannukset

Kuopion Julkulaan suunnitellun asuinkerrostalon yhden kerroksen pinta-ala on $1667 \text{ m}^2 / 5 \approx 333 \text{ m}^2$, joka olisi teoriassa aurinkopaneelien suurin mahdollinen asennuspinta-ala katolle, jos katto on rakennuksen pohjapinta-alan kokoinen. Tällöin aurinkoenergian vuosituotto voisi olla käytännössä noin $300 \text{ m}^2 \times 500 \text{ kWh/m}^2 = 150\,000 \text{ kWh}$. Järjestelmä tuottaisi kesäisin lämpöenergiaa yli käyttötarpeen ja keskitalvella, kun järjestelmän tehontuotto on minimissään, suurempi määrä kapasiteettia olisi pois käytöstä. Järjestelmä ei olisi kustannustehokkuudeltaan paras mahdollinen, koska investointiin kuluisi enemmän rahaa suhteessa saatuun hyötyyn nähden. Tässä työssä tutkimuksen kohteena olleessa rakennuksessa tarvittava aurinkokeräimien pinta-ala oli energiatehokkuusluokasta riippuen noin $20 - 75 \text{ m}^2$, jotta tuotoksi saatiin 25 % lämmitysenergian kokonaistarpeesta.

Parhaimmissa tyhjöputkikeräimissä hyötysuhde voi olla jopa jopa 60 %, jolloin tuotto on noin 400 – 500 kWh ja kustannukset noin 700 – 1000 € (Oilon 2013). Järjestelmän hankinta-kustannukset ovat noin 800 – 1600 €/kW_p tai 300 – 600 €/m² (hinta-arvio vuodelle 2010 on 400 – 800 €/kW_p), ja käyttö- ja kunnossapitokustannukset 0,3 – 1,0 snt/kWh, kun huipunkäyttöaika on 1000 tuntia ja käyttöikä 20 vuotta (Solpros 2001). Huipunkäyttöaika h voidaan laskea jakamalla vuoden aikana tuotettu energia Wh järjestelmän nimellisteholla W (Ojala 1976). Huipunkäyttöajan noustessa järjestelmän käyttöaste siis kasvaa joko käyttöajan pidentymisen tai keskimääräisen tehontuoton kasvun myötä. Laskuissa hyödynnettiin edellä mainittuja pohjatietoja siten, että käyttö- ja kunnossapitokustannuksiksi oletettiin 0,65 snt/kWh, hyötysuhteeksi 60 % ja hankinta-kustannuksiksi 850 €/m² (Oilon 2013).

Aurinkolämpökeräimien tukemassa kaukolämpöjärjestelmässä aurinkokeräimien mitoituksella tähdättiin 25 % tuottoon vuosittaisesta lämpöenergiantarpeesta E_a laskemalla keräimien vuosittaiseksi energiantuotoksi (W_k) 522 kWh/m². W_k laskettiin hyötysuhteen ja keskimääräisen aurinkointensiteetin, joka on Suomessa noin 850 – 1000 kWh/m² (JRC 2012), tulona. Keräimien tarvittava pinta-ala laskettiin yhtälöllä 10.

$$\frac{0,25 \times E_a}{W_k} \quad (10)$$

Kaukolämmön osuuden kustannusten perus- ja liittymismaksut sekä energiakustannukset laskettiin kuten luvussa 3.5.2.1 (yhtälöt 5, 6a, 6b). Tässä tapauksessa kaukolämmön osuuden ollessa 75 % lämpöenergiantarpeesta tilausvesivirrat arvioitiin eri energiatehokkuusluokille seuraavasti: normienergiatalo 0,8 m³/h, matalaenergiatalo 0,7 m³/h ja passiivenergiatalo 0,3 m³/h.

3.5.2.4 Matala- ja passiivenergiatalojen takaisinmaksuajat

Energiatehokkaamman rakentamisen takaisinmaksuaikojen arvioinnissa oletettiin energiatehokkaampien talojen rakentamisen aiheuttamien lisäkustannusten olevan matalaenergiarakennuksissa noin 2 – 5 % ja passiivenergiarakennuksissa noin 5 – 7 % korkeammat, luvun 2.6.3 mukaisesti, verrattuna normienergiakerrostalon rakennuskustannuksiin. Energiatehokkuuden toteuttamistavoilla ja rakentamisen

kustannustehokkuudella voidaan vaikuttaa lisäkustannuksiin. Rakentamiskustannuksina käytettiin 1500 €/m^2 (Rajala ym. 2010, VTT 2011). Energiatohokkuuden parantamisesta aiheutuvien kustannusten takaisinmaksuaika laskettiin hankintakustannuksen ja vuotuisen nettotuoton, joka tässä tapauksessa oli säästö energiakuluissa, osamääränä (yhtälö 11).

$$\textit{Takaisinmaksuaika} = \frac{\textit{Hankintahinta}}{\textit{Vuotuinen nettotuotto}} \quad (11)$$

4 TULOKSET

4.1 Kerrostalorakennuksen lämmitysenergian kulutus

Lämmitysjärjestelmien vertailua varten laskettiin rakennuspinta-alaltaan 1667 br-m² olevan kerrostalorakennuksen lämmitykseen tarvittava vuotuinen energiamäärä eri energiatehokkuusluokissa (taulukko 10, yhtälö 1). Passiivienergiatalon lämmitysenergian tarve oli huomattavasti vähäisempi kuin normi- ja matalaenergiataloissa.

Taulukko 10. Tutkimuksessa tarkasteltujen kerrostalojen vuotuinen energiantarve eri energiatehokkuusluokkien mukaan laskettuna (liite 1).

Energialuokka	Lämmitysenergiantarve/a
Normienergiatalo	150 000 kWh
Matalaenergiatalo	125 000 kWh
Passiivienergiatalo	42 000 kWh

4.2 CO₂-Päästöt

Taulukossa 11 on esitetty puu- ja betonirakenteisten kerrostalojen rakentamisen aikaiset CO₂-päästöt (yhtälö 2), joiden perusteella betonitalon rakentaminen aiheuttaa enemmän päästöjä kuin puutalon rakentaminen. Taulukkoon 12 on koottu lämmitysjärjestelmien käytön aiheuttamat vuotuiset CO₂-päästöt eri energiatehokkuusluokissa (yhtälö 3). Tulosten perusteella maalämpöjärjestelmän vuotuiset CO₂-päästöt olivat pienimmät kaikissa energiatehokkuusluokissa, kun taas kaukolämmitysjärjestelmän käytön aiheuttamat vuotuiset päästöt olivat suurimmat.

Taulukko 11. Kerrostalon (huoneistopinta-ala 1389 n-m²) rakentamisesta aiheutuvat CO₂-päästöt (liite 1).

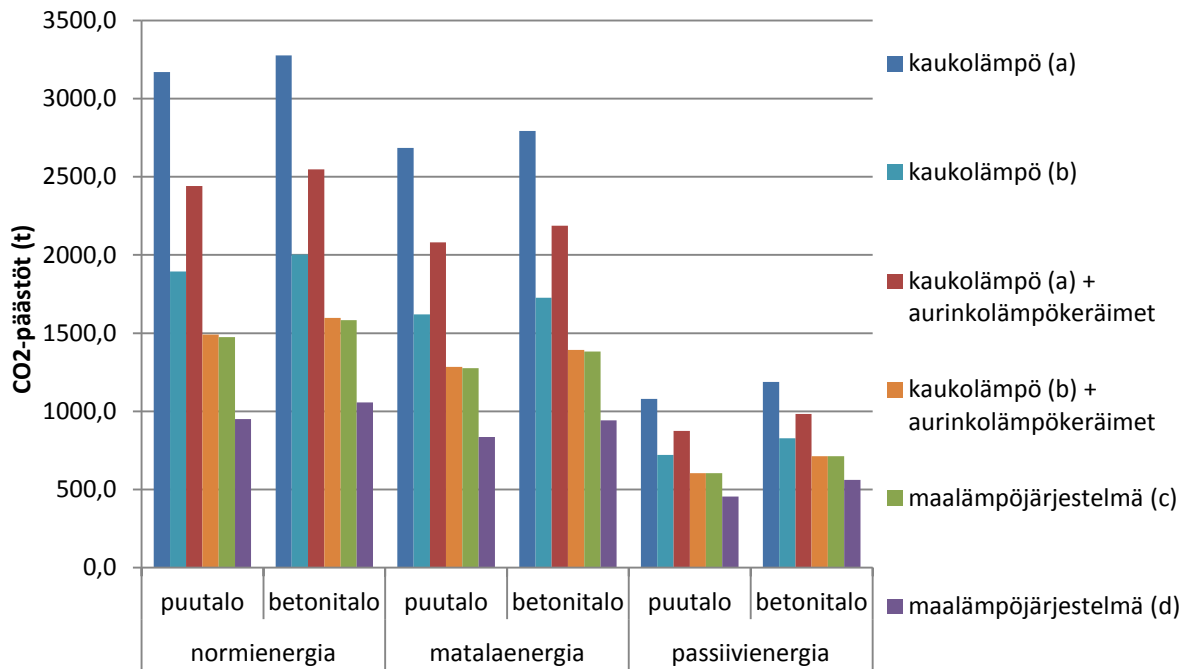
Kerrostalon rakennusmateriaali	CO ₂ -päästöt
Puu	265,3 t
Betoni	372,3 t

Taulukko 12. Vertailtujen lämmitysjärjestelmien käytön vuotuiset CO₂-päästöt (liite 1).

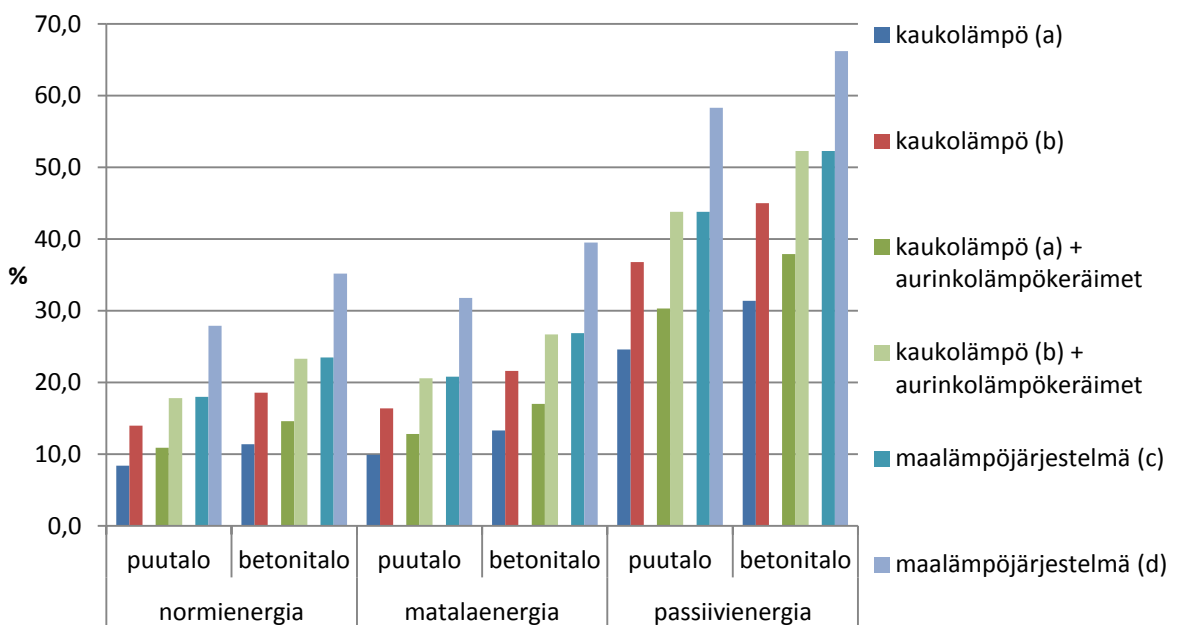
Lämmitysjärjestelmä	CO ₂ -päästöt t CO ₂ /a		
	Normienergia	Matalaenergia	Passiivienergia
Kaukolämmitys ^a	58,1	48,4	16,3
Kaukolämmitys ^b	32,6	27,1	9,1
Kaukolämmitys ^a + aurinkolämpökeräimet	43,6	36,3	12,2
Kaukolämmitys ^b + aurinkolämpökeräimet	24,5	20,4	6,8
Maalämpöjärjestelmä ^c	24,2	20,2	6,8
Maalämpöjärjestelmä ^d	13,7	11,4	3,8

a) Laskettu vuoden 2011 kaukolämmön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a),
b) Laskettu Suomen kaukolämmön keskimääräisellä päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012),
c) Laskettu vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012b),
d) Laskettu Suomen keskimääräisellä sähkön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Kuvassa 13 on esitetty taulukoiden 11 ja 12 arvojen perusteella rakentamisesta ja lämmitysenergiankulutuksesta aiheutuvat elinkaaren aikaiset päästöt 50 vuoden aikana. Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus elinkaaren aikaisista kokonaispäästöistä kasvoi, kun rakennuksen energiatehokkuus parani kuvan 14 mukaisesti. Kaukolämmityksellä varustetun rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä lämmitysjärjestelmän osuus oli prosentuaalisesti suurin.



Kuva 13. Rakennuksen elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt lämmitysjärjestelmästä ja talotyypistä riippuen (liite 1). a) Laskettu vuoden 2011 kaukolämmön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a), b) Laskettu Suomen kaukolämmön keskimääräisellä päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012), c) Laskettu vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012b), d) Laskettu Suomen keskimääräisellä sähkön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)



Kuva 14. Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus prosentteina elinkaaren kokonaispäästöistä (liite 1). a) Laskettu vuoden 2011 kaukolämmön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a), b) Laskettu Suomen kaukolämmön keskimääräisellä päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012), c) Laskettu vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012b), d) Laskettu Suomen keskimääräisellä sähkön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

4.3 Kustannukset

4.3.1 Kaukolämmitys

Kaukolämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset muodostuvat liittymismaksusta, perusmaksusta sekä energian kulutuksesta aiheutuvasta energiakustannuksesta (taulukko 13). Kaukolämmön kertaluonteinen liittymismaksu on suuruusluokaltaan samaa tasoa kaikissa energiatehokkuusluokissa. Energiakustannusten ero eri energiatehokkuusluokissa oli merkittävin tekijä; normi- ja passiivenergiatalon välinen ero oli noin 67 %.

Taulukko 13. Asuinkerrostalolle (1667 br-m²) lasketut kaukolämmitysjärjestelmän kustannukset (liite 2).

Kustannuslaji	Normienergiatalo	Matalaenergiatalo	Passiivenergiatalo
Liittymismaksu	26774 €	25278 €	22286 €
Perusmaksu/a	2200 €	1854 €	1141 €
Energiakustannukset/a	10711 €	8947 €	3524 €
Kokonaiskustannukset/a	12611 €	10740 €	5105 €

4.3.2 Maalämpöjärjestelmä

Maalämpöjärjestelmän kustannukset eri energiatehokkuusluokissa muodostuvat taulukon 14 mukaisesti. Järjestelmän hankinta eli investointikustannukset aiheuttivat merkittävän osan kokonaiskustannuksista, mutta suurin vuosittainen menoerä muodostui järjestelmän kuluttaman sähkön energiakustannuksista. Käyttö- ja kunnossapitokulujen osuus kokonaisuudesta oli pienin.

Taulukko 14. Asuinkerrostalolle (1667 br-m²) lasketut maalämpöjärjestelmän kustannukset (liite 2).

	Normienergiatalo	Matalaenergiatalo	Passiivenergiatalo
Investointikustannus	76 500 €	63 720 €	21 420 €
Korotus sähköverkon liittymismaksuun	3710 €	3115 €	1050 €
Maalämpöpumpun energiakustannukset/a	4437 €	3698 €	1242 €
Sähkövastuksen energiakustannukset/a	2349 €	1958 €	658 €
Energiavero/a	1373 €	1144 €	384 €
Käyttö- ja kunnossapito/a	921 €	768 €	256 €
Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset/a	14 360 €	11 967 €	4021 €

4.3.3 Aurinkolämpökeräimet ja kaukolämpö

Taulukossa 15 on esitetty kaukolämmön ja aurinkolämpökeräimien muodostaman lämmitysjärjestelmän kustannusten jakautuminen eri energiatehokkuusluokissa. Normi- ja matalaenergiataloissa aurinkolämpökeräimien vuosittaiset kokonaiskustannukset olivat pääomakustannusten vuoksi yli 30 % lämmitysjärjestelmän kokonaiskuluista, vaikka aurinkoenergian osuus energiantuotannosta oli vain 25 %. Passiivenergiatalossa aurinkolämpökeräimien kustannukset olivat vain noin 23 % vuosittaisista kokonaiskustannuksista.

Taulukko 15. Asuinkerrostalolle (1667 br-m²) lasketut aurinkolämpökeräimillä tuetun kaukolämpöjärjestelmän kustannukset (liite 2).

	Normienergiatalo	Matalaenergiatalo	Passiivenergiatalo
Aurinkolämpökeräimet			
Hankintakustannukset	62 900 €	51 850 €	17 850 €
Käyttö- ja kunnossapito/a	244 €	203 €	68 €
Kokonaiskustannukset/a	4708 €	3881 €	1334 €
Kaukolämpö			
Liittymismaksu	24 530 €	23 782 €	22 286 €
Perusmaksu/a	1681 €	1508 €	1141 €
Energiakustannukset/a	8064 €	6827 €	2928 €
Kokonaiskustannukset/a	9804 €	8514 €	4509 €
Aurinko- ja kaukolämpö yhteensä			
Kokonaiskustannukset/a	14 511 €	12 396 €	5844 €

4.4 Matala- ja passiivenergiarakennusten takaisinmaksuajat

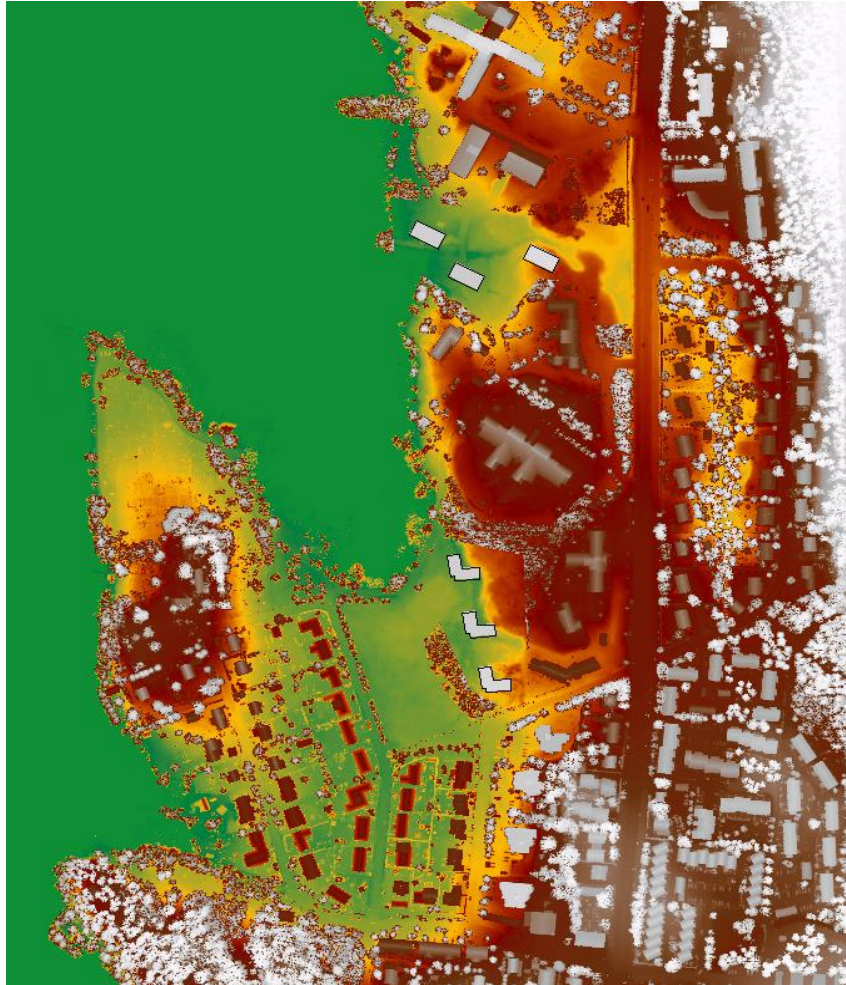
Taulukkoon 16 on koottu tulokset energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvien rakennuskustannusten takaisinmaksuajoista. Matalaenergiatalon takaisinmaksuajat olivat pidemmät verrattuna passiivenergiataloon. Takaisinmaksuajat olivat lyhimmät, kun rakennuksen lämmitysjärjestelmänä oli maalämmitys ja pisimmät takaisinmaksuajat tulivat rakennukselle, jossa oli kaukolämmitys.

Taulukko 16. Matala- ja passiivenergiarakennusten takaisinmaksuajat vuosina (liite 3).

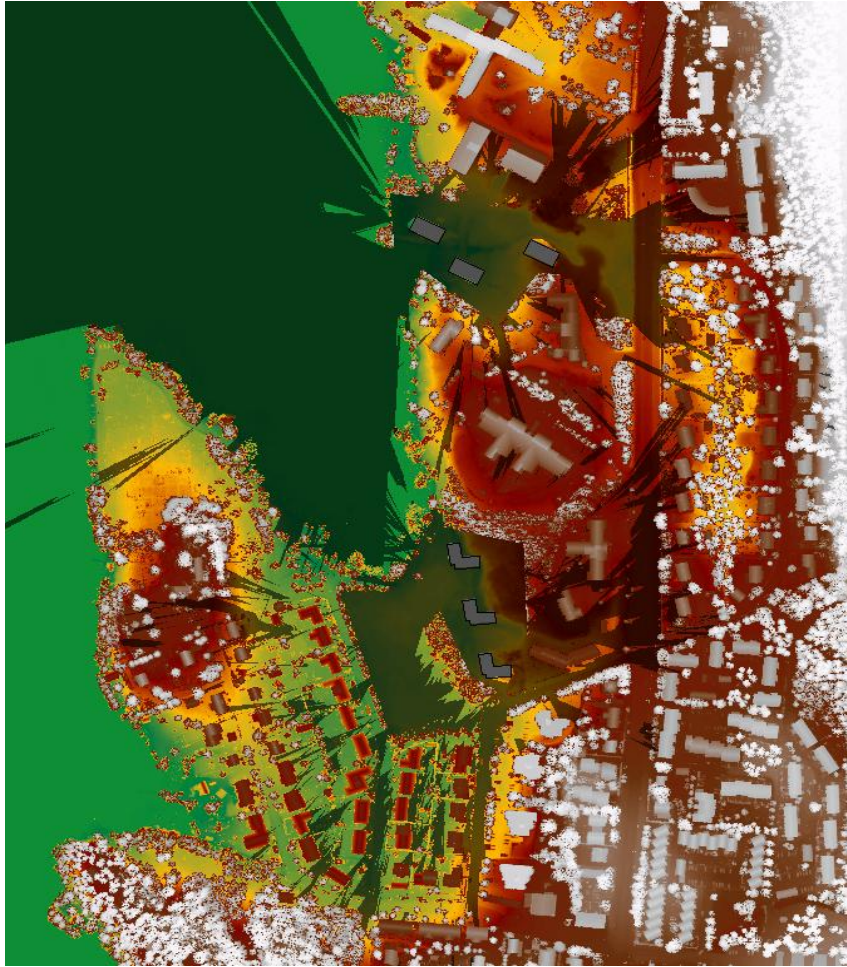
Lämmitysjärjestelmä	matalaenergia		passiivenergia	
	min	max	min	max
Kaukolämmitys	22	55	13	19
Kaukolämmitys + aurinkolämpökeräimet	20	49	12	17
Maalämmitysjärjestelmä	17	44	10	14

4.5 Näkyvyystarkastelu ja auringonsäteilyn määrä

Kuva 15 on korkeustietoaineiston perusteella muodostettu kartta Kuopion Julkulan asuinalueesta, josta on suunniteltujen kerrostalotonttien alueelta poistettu puut, ja johon on lisätty alueelle suunnitellut 6 asuinkerrostalorakennusta. Kuva 16 esittää tuloksen alueelle tehdystä näkyvyystarkastelusta. Uudet rakennukset näkyvät esimerkiksi alueen länsipuolella olevan vesistön suuntaan.

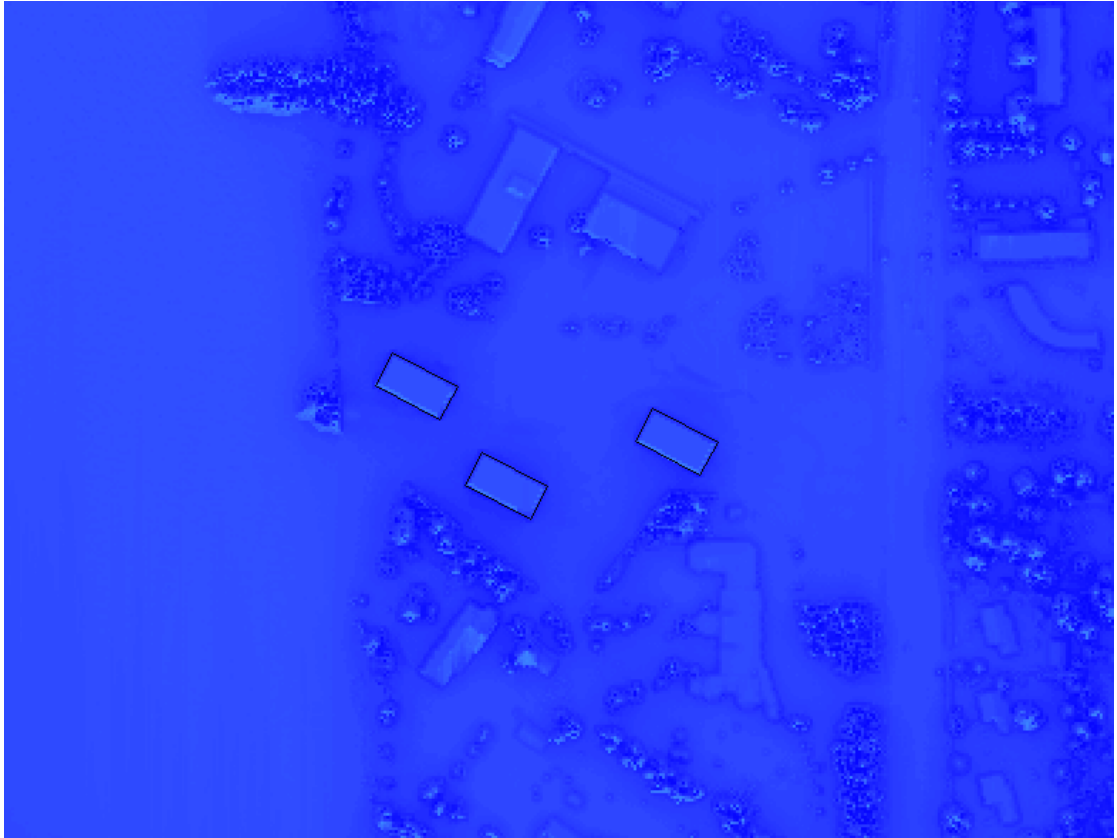


Kuva 15. Kaavoitusalueen korkeustietoaineistosta muodostettu kuva, johon lisätty alueelle suunnitellut asuinkerrostalot.

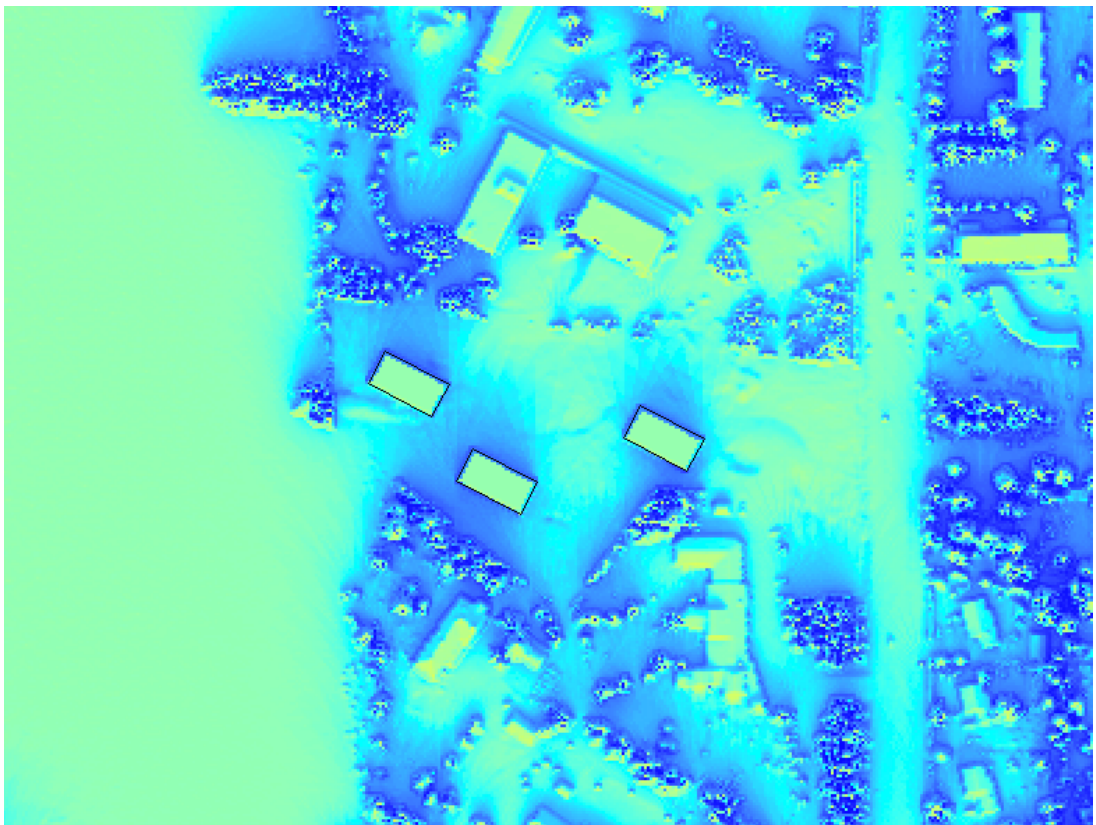


Kuva 16. Näkyvyytarkastelu julkulaan suunniteltujen asuinkerrostalojen näkyvyydestä lähiympäristöön. Kartassa tummenetuille alueille kohdistuu rakennusten visuaalinen havaittavuus.

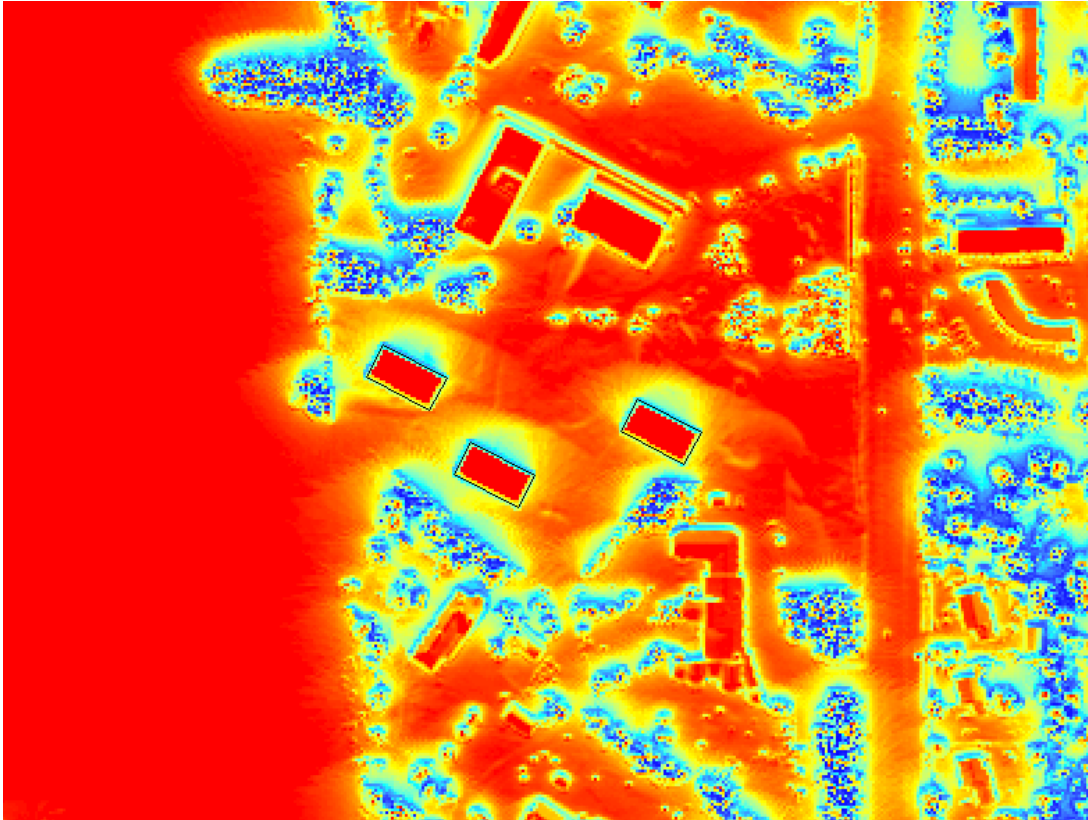
Kuva 17 havainnollistaa, että auringon säteilyä saadaan alueelle keskitalvella, etenkin joulukuussa hyvin vähän. Maaliskuussa tilanne on selvästi parempi (kuva 18). Kesäkuussa, kun auringon säteilyä saadaan eniten, alueen varjossa olevat kohdat saavat selvästi vähemmän säteilyä kuin esimerkiksi rakennusten katot (kuva 19). Kuvien 17 – 19 väriskaalat eivät ole identtisiä, koska tulosten vaihteluvälit ovat niin erilaisia. Väriskaalat on pyritty valitsemaan siten, että alueen sisäinen vaihtelu olisi nähtävissä, mutta samalla eri kuukausien väliset erot tulisivat esille. Väriskaalassa sininen tarkoittaa pieniä arvoja ja punainen suuria. Näiden välissä ovat turkoosi, keltainen ja oranssi kasvavassa järjestyksessä lueteltuna. Kuvissa rakennusten katoille saatava auringonsäteily on laskettu vaakatasolle pinnalle ja oletuksena vuotuinen pilvisuus on runsasta.



Kuva 17. Auringon säteilyn määrä ja hajonta joulukuussa. Asteikko 0 – 0,2 Wh/m².

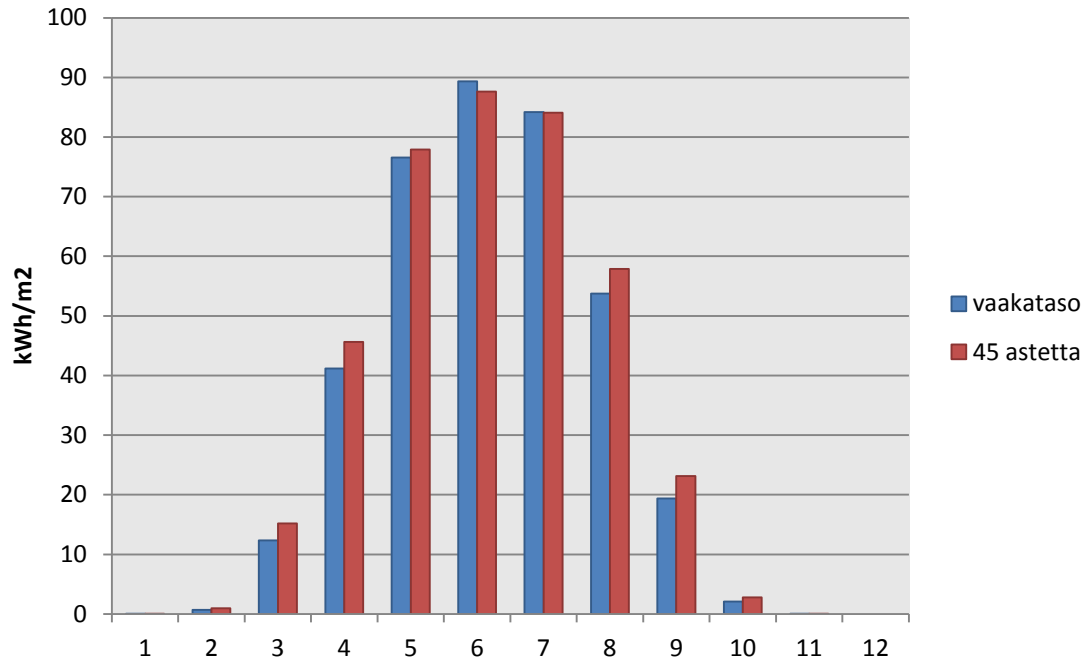


Kuva 18. Auringon säteilyn määrä ja hajonta maaliskuussa. Asteikko 30 – 30 000 Wh/m².

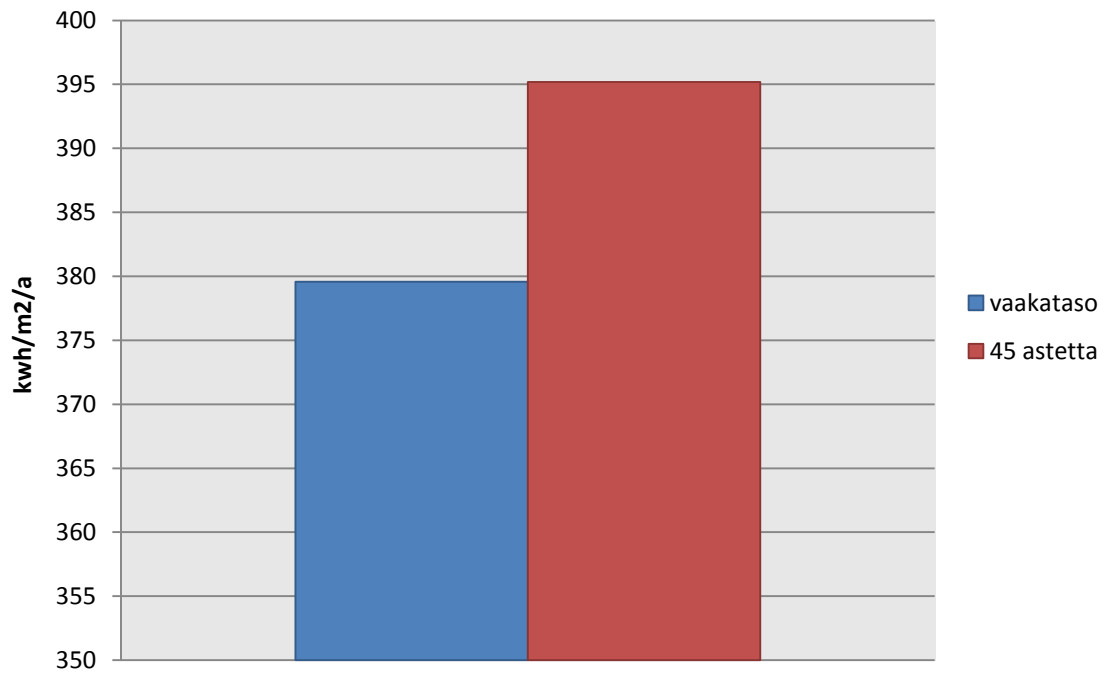


Kuva 19. Auringon säteilyn määrä ja hajonta kesäkuussa. Asteikko 30 – 100 000 Wh/m².

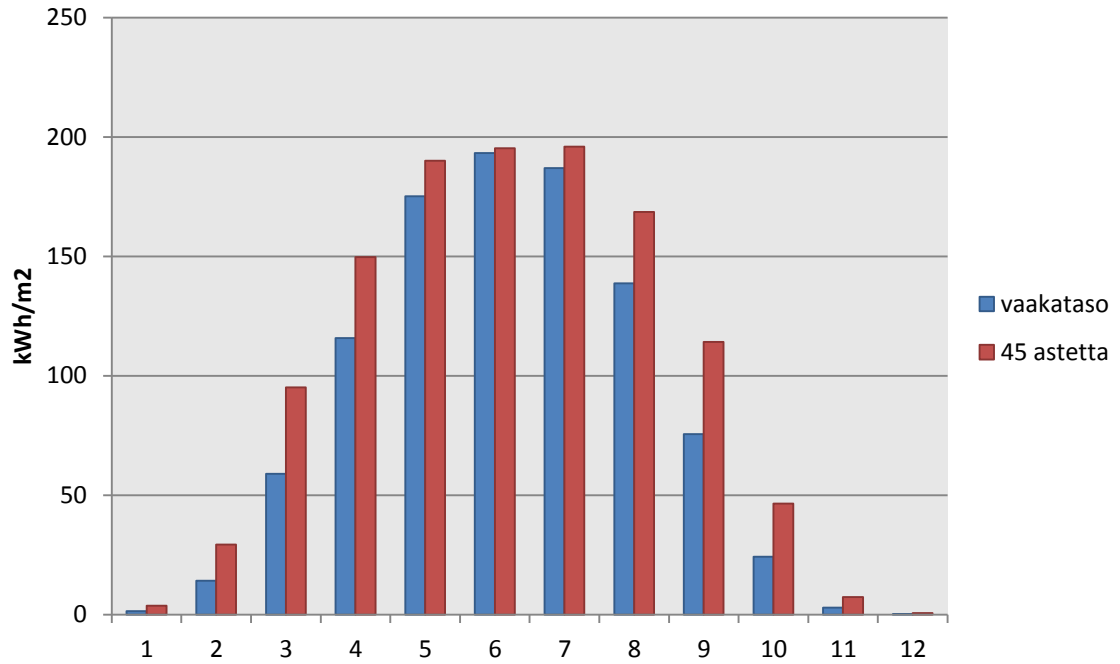
Joulukuun auringon säteily määrä on käytännössä olematon, talon katolla vaakatasossa olevalle alueelle vain noin 0,0089 Wh/m² ja 45° asteen kulmassa olevalle tasolle noin 0,0138 Wh/m². Kesäkuussa vastaavat arvot ovat vaakatasolle 89,3 kWh/m² ja 45° asteen kulmassa olevalle tasolle noin 87,6 kWh/m² (kuva 20). Vaakatasossa olevalle alueelle saatava säteily on vähäisempi talvikuukausina, mutta keskikesällä, kun auringonsäteiden tulokulma on keskellä päivää yli 45 astetta, vaakatasossa olevan pinnan saanto on hieman parempi. Tulokseen voi vaikuttaa osittain myös hajasäteilyn suuri osuus skenaariossa 1. Kuva 21 esittää keskiarvon rakennusten katolle, neliömetrin kokoiselle alueelle, tulevan aurinkoenergian kertymän vuoden aikana sekä eron vaakatasossa olevan ja etelään suunnatun 45° kulmassa olevan tason välillä. Kuvien 20 ja 21 tulokset esittävät aurinkosäteilyn määrää, kun taivas on useimmiten pilvinen. Kuvat 22 ja 23 esittävät edellä mainituille tuloksille vertailuarvot, kun taivas on kirkas miltei jatkuvasti ja pilvisuus on erittäin vähäistä. Tällöin auringonsäteily talon katolla vaakatasossa olevalle pinnalle on joulukuussa noin 0,2 kWh/m² ja kesäkuussa noin 193 kWh/m². Vastaavasti 45° asteen kulmassa olevalle tasolle saatava säteily on joulukuussa noin 0,6 kWh/m² ja kesäkuussa noin 195 kWh/m².



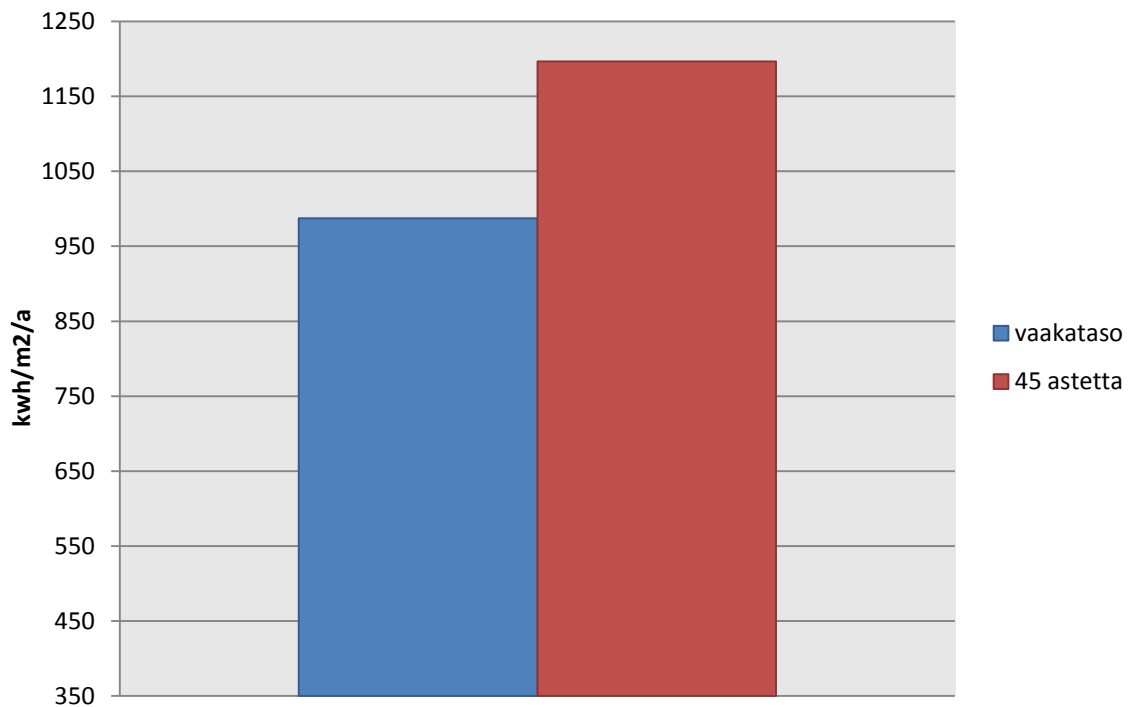
Kuva 20. Auringonsäteilyn kuukausittainen vaihtelu vuoden aikana, kun pilvisuus on runsasta.



Kuva 21. Auringonsäteilyn vuotuinen määrä riippuen tarkasteltavan tason asennosta, kun pilvisuus on runsasta.



Kuva 22. Auringonsäteilyn kuukausittainen vaihtelu vuoden aikana, kun taivas on kirkas ja pilvisyyden määrä erittäin vähäinen.



Kuva 23. Auringonsäteilyn vuotuinen määrä riippuen tarkasteltavan tason asennosta, kun taivas on kirkas ja pilvisyyden määrä erittäin vähäinen.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Elinkaaren aikaiset CO₂-päästöt

Päästövertailun tulosten arvioinnissa käytettiin Suomen keskimääräisiä yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön ja sähkönhankinnan päästökertoimia (Hippinen & Suomi 2012), koska Kuopion Energian CO₂-päästöt ovat jo laskeneet vuodesta 2011. Lisäksi päästöarvio vuodelle 2014, joka on lähempänä tutkimuksen kohteena olleen asuinalueen toteutusta, on verrattavissa Suomen tämänhetkiseen päästökeskisarvoon. Kun CO₂-päästöt laskettiin käyttämällä keskimääräisiä päästökertoimia, elinkaaren aikaisten päästöjen määrä oli kaikissa lämmitysjärjestelmissä noin 60 – 80 % verrattuna Kuopion Energian vuoden 2011 päästökertoimilla laskettuihin päästöihin.

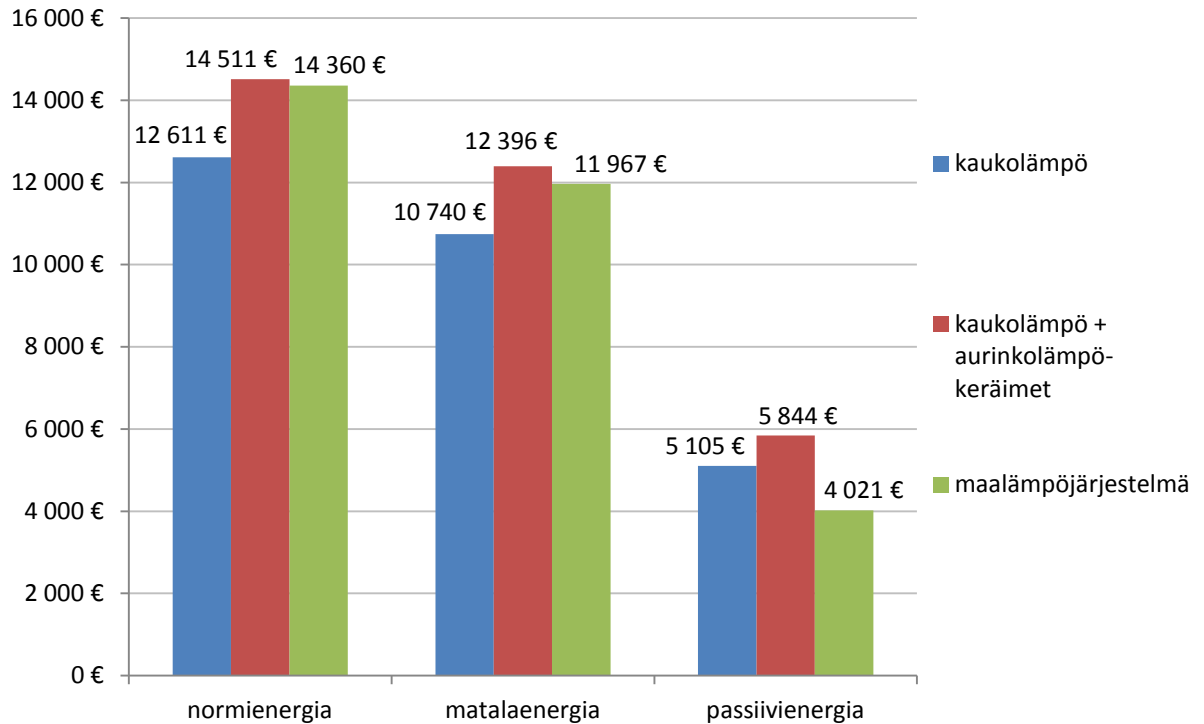
Päästöjen osalta kannattavimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui järjestelmä, joka tuottaisi lämpöenergian maalämmön ja sähkön avulla (katso kuva 13). Myös Tampereen Koukkurannan lämpöenergiaratkaisujen vertailussa maalämmön todettiin aiheuttavan pienimmän hiilijalanjäljen (Vanhanen ym. 2011). Kaukolämmön elinkaaren aikaiset päästöt olivat suurimmat kaikissa energiatehokkuusluokissa. Kun rakennuksen elinkaaren pituudeksi oletettiin 50 vuotta, olivat vähäpäästöisimmän maalämpöjärjestelmän aiheuttamat päästöt vain noin 50 – 70 % kaukolämmön päästöistä riippuen rakennusmateriaalista ja energiatehokkuusluokituksesta. Myös kaukolämmön ja aurinkolämpöenergian yhdistäminen kevensi päästöjä hieman kaukolämpöön verrattuna. Tällöin päästöt olivat noin 80 – 85 % kaukolämmöllä tuotetun energian päästöistä. Betonirakennuksessa päästöjen ero eri lämmitysjärjestelmien välillä oli hieman pienempi kuin puurakennuksessa johtuen betonirakennusten suuremmista rakentamisen aikaisista päästöistä. Päästöjen ero kaventui myös energiatehokkuuden parantuessa, koska tällöin rakentamisen aikaisten päästöjen osuus kasvoi suhteessa lämmitysjärjestelmän aiheuttamiin päästöihin (katso kuva 14).

Puurakennuksen elinkaaren aikaiset päästöt olivat passiivienergiatalossa noin 6 – 8 % pienemmät verrattuna betonirakenteiseen rakennukseen. Vastaava päästöero kerrostalon ilmastovaikutuksia tutkivassa tapaustutkimuksessa, jossa tutkittiin passiivitason asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeä, oli 7 – 10 % (Pasanen ym. 2011). Kyseisessä tapaustutkimuksessa todettiin myös lämmitysratkaisun valinnalla olevan jopa suurempi merkitys elinkaaren päästöihin kuin energiatehokkuudella. Laskelmissa käytetty elinkaaren

pituus oli 100 vuotta ja laskelmissa oli oletettu energian päästöjen kehitys laskevaksi. Myös tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella normienergia- ja matalaenergiatalon väliset päästöerot olivat pienemmät kuin lämmitysjärjestelmän valinnalla saatava päästövähennys. Kuitenkin rakennuksen energiatehokkuudella oli hieman suurempi vaikutus päästöihin normienergia- tai matalaenergiatalon ja passiivenergiatalon välillä. Ainoastaan käytettäessä maalämpöjärjestelmän laskentaohjeen mukaista päästökerrointa, joka on Kuopion Energian päästökerrointa selkeästi pienempi, päästiin lämmitysjärjestelmän valinnalla vähäisempiin päästöihin.

5.2 Kustannukset

Kustannusten osalta järjestelmien investointikustannusten korkona käytettiin 5 %:ia ja järjestelmän tekniseksi käyttöiäksi oletettiin 25 vuotta. Lämmitysjärjestelmien investointi- ja energiantuotanto- sekä kunnossapitokustannuksille laskettiin vuosikustannus annuiteettimenetelmällä. Tuloksissa kaukolämmön todettiin olevan kustannustehokkain vaihtoehto normi- ja matalaenergiataloissa (kuva 24). Myös Tampereen Koukkurannan lämpöenergiaratkaisujen vertailun mukaan kaukolämpö oli edullisin ratkaisu kaikissa energiatehokkuusluokissa ja tutkimuksessa todettiin, että maalämmön kilpailukykyä voitaisiin parantaa osatehomitoituksella, jolloin huipputeho tuotetaan esimerkiksi sähköllä (Vanhanen ym. 2011). Tässä tutkimuksessa passiivenergiatalossa vuosikustannuksiltaan edullisin lämmitysjärjestelmä oli osatehomitoitettu maalämpöjärjestelmä, jonka kustannukset olivat alle 80 % toiseksi edullisimman vaihtoehdon eli kaukolämmön kustannuksista. Heikoimmassa energiatehokkuusluokituksessa maalämpöjärjestelmän ja aurinkokeräimillä tuetun kaukolämmityksen kustannukset olivat suuruusluokaltaan lähes samat. Molempien kustannukset olivat noin 15 % suuremmat edullisimpaan kaukolämpöön nähden. Aurinkolämpökeräimien hankintakustannusten suuruus vaikutti oleellisesti järjestelmän kannattavuuteen ja kilpailukykyyn lämmitysenergiamarkkinoilla.



Kuva 24. Vertailtujen lämmitysjärjestelmien vuosikustannukset eri energiatehokkuusluokissa.

Porvoon Skaftkärriin suunnitellun kaupunginosan kaavarunkovaiheen loppuraportissa, Energiatallus kaavoituksessa (Rajala ym. 2010), kaukolämpöä käyttävän passiivenergiatalon takaisinmaksuaika oli yli 30 vuotta. Vastaavasti tässä työssä lasketun kaukolämpöä käyttävän matalaenergiatalon takaisinmaksuaika oli keskimäärin yli 30 vuotta, mutta passiivenergiatalon takaisinmaksuaika oli 16 vuotta. Tulosten perusteella kannattavinta olisi tehdä rakennuksesta passiivenergiatalo maalämmitysjärjestelmällä varustettuna, koska tällöin investoinnin takaisinmaksuaika olisi mahdollisimman lyhyt.

5.3 Näkyvyystarkastelu

Paikkatietoaineiston perusteella tehdyn näkyvyystarkastelun perusteella todettiin, että Kuopion Julkulaan suunnitellut asuinkerrostalot eivät aiheuttaneet merkittävää maisemallista muutosta alueen kokonaiskuvaan, sillä alueella oli ennestään korkeita taloja ja rakennusten näkyvyys oli tarkastelun tulokuvan perusteella melko vähäistä lukuun ottamatta vesistöä, josta rakennukset olivat selkeimmin havaittavissa. Näkyvyystarkastelussa on kuitenkin sellainen puute, että se ei pysty kunnolla huomioimaan metsän tai muiden kohteiden läpinäkyvyyttä. Metsä ei ole täydellinen näköeste varsinkaan talvella ja kesälläkin esimerkiksi mäntyvoittoisen metsän läpi talot voivat näkyä paljon

laajemmalle alueelle kuin näkyvyystarkastelu antaisi olettaa. Lisäksi tässä näkyvyystarkastelussa ei ole otettu ollenkaan huomioon sitä, että talot ovat nähtävissä useista kerrostalojen ikkunoista. Tällaiset maanpintaa korkeammalla olevat tarkastelu-paikat rajattiin tuloksesta pois, jotta esim. puiden latvat eivät tulisi tulokseen mukaan. Tulokuvassa näkyy siis vain ne maa- ja vesialueet, joiden tasossa seisova tarkastelija näkee uudet rakennettavaksi suunnitellut talot. Talojen rakentamisella voi olla vaikutusta alueen kulttuuri- ja virkistysarvoihin, mutta niiden tarkastelu oli rajattu tästä tutkimuksesta pois. Myöskään vaikutuksia luontoarvoihin ei voitu selvittää näin pienen kohdealueen osalta yksinomaan kaukokartoitusaineistojen perusteella. Siksi tämäkin tarkastelu jouduttiin jättämään työn ulkopuolelle.

5.4 Auringonsäteily

Auringonsäteilyn vuotuinen kertymä Kuopion Julkulassa sijaitsevan kerrostalon katolle vaakatasoon asennetulle tasolle oli ArcGis-ohjelman Solar Radiation -työkalulla saatujen tulosten mukaan noin 380 kWh/m^2 , kun pilvisuusaste oletettiin runsaaksi (diffuse proportion 0,6). Syy tähän melko vähäiseen säteilymäärään oli todennäköisesti se, että alueelle kohdistui runsaan pilvisyyden vuoksi enemmän hajasäteilyä, joka ei ole niin tehokasta, suoran auringonsäteilyn sijaan. Kun tarkastelu tehtiin pienimmällä mahdollisella pilvisuusasteen asetuksella (diffuse proportion 0,2) saatiin auringonsäteilyn vuotuiseksi määräksi noin 1000 kWh/m^2 . Tämän työn laskelmissa käytettiin auringon vuosittaista säteilypotentiaalia 850 kWh/m^2 , joka on Euroopan komission määrittämä säteilypotentiaali alueelle, jossa Kuopio sijaitsee (JRC2012). Kyseinen alue on melko laaja Suomen mittakaavassa ja säteilypotentiaali on vuosien 1998 – 2011 keskiarvo auringonsäteilyn toteutumasta, kun taas ArcGis-ohjelmalla (Solar Radiation) tehdyssä laskennassa käytetty paikkatieto kohteesta oli melko tarkka, ja auringonsäteilymäärän arvio tehtiin vuodelle 2014.

5.5 Tuloksissa huomioitavia asioita

Tämän tutkielman lämmitysjärjestelmien vertailussa ei ole käytetty valmista laskentamallia tai -ohjelmaa, vaan yhtälöt on johdettu päättelemällä. Laskelmissa on pyritty ottamaan huomioon kaikki oleellimmat tuloksiin vaikuttavat tekijät ja tulosten esitytavoissa on hyödynnetty aikaisempia tutkimuksia. Tulokset ovat suuntaa antavia, koska rakennusten

lähtötietoja valittaessa on tehty oletuksia. Tarkkojen tietojen puuttuminen on hyvin yleistä kustannusarvioita tehtäessä, jolloin joudutaan käyttämään keskiarvoja ja oletuksia. Rakennusten lämmitysjärjestelmien kustannukset ja kulloinkin sopivimman järjestelmän valinta ovat tapauskohtaisia, joten tuloksia ei voi suoraan yleistää. Kokonaisuus muodostuu monesta tekijästä, kuten rakennuksen energiatehokkuudesta, pinta-alasta, asukasmäärästä, energiankulutuksesta, ja energian kulutustottumuksista, jotka vaikuttavat lämpöenergian tarpeeseen. Osin sähkökäyttöiset laitteet tuottavat lämpöä huoneilmaan ja vastaavasti tuulettamalla voi hukata suuren määrän lämpöä talvella. Laskelmissa ei ole otettu huomioon sähkön tai yleisesti ottaen energian vuosittaista hinnannousua, joka on vallalla oleva trendi. Kustannuksiin ei ole huomioitu mahdollisia kotitalousvähennyksiä tai investointitukia, jotka voivat parantaa aurinko- ja maalämmön kilpailukykyä kaukolämpöön verrattuna. On myös muistettava, että vaikka laskelmissa on laskettu aurinkoenergian tuotoksi 25 %, voidaan tuotto mitoittaa tarvittaessa suuremmaksi, etenkin matalaenergia- ja passiivienergiataloissa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkielmassa selvitettiin maankäytön suunnittelun vaikutusta ja rakennusten lämmitysjärjestelmien merkitystä etenkin uudisrakennusten energiatehokkuuden parantamisessa sekä päästöjen vähentämisessä. Työssä verrattiin eri lämmitysjärjestelmien elinkaaren aikaisia CO₂-päästöjä sekä kustannuksia, joiden perusteella arvioitiin paras ratkaisu asemakaavan muutosalueelle suunniteltujen kerrostalojen lämmitysjärjestelmäksi. Tutkimustulosten valossa voidaan todeta, että rakennusten ostoenergiantarvetta ja kokonaisenergiankulutusta on mahdollista vähentää huomattavasti uusiutuvan energian avulla. Myös energiankäytön aiheuttamat päästöt pienenevät oikeilla lämmitys-ratkaisuvalinnoilla. Maankäytön suunnittelulla ja kaavoitusratkaisuilla voidaan edistää vähäpäästöisten järjestelmien käyttöönottoa järjestämällä olosuhteet uusiutuvan energian, kuten aurinkoenergian ja maalämmön, käytölle suosiollisiksi. Tulosten mukaan päästöjen vähentäminen aiheuttaa yleensä investointikustannusten kasvua, päästöjen vähennystavasta riippuen. Aurinkoenergialla saadut päästövähennykset aiheuttavat enemmän kustannuksia verrattuna maalämpöön, joka tietyissä olosuhteissa voi olla sekä edullisin että vähäpäästöisin ratkaisu. Lisäksi aurinkoenergian käyttöä ja mitoitusta hankaloittaa säteilyn suuri vuosittainen ja vuoden sisäinen vaihtelevuus. Kokonaissäteilyn määrä voi olla merkittävästi pienempi runsaspilvisenä aikana, jolloin auringon paistetunnit jäävät vähäisemmiksi. Puun käyttö rakennusmateriaalina vähentää oleellisesti rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä, mikä korostuu lisättäessä rakennusten energiatehokkuutta. Rakennuksen arvo kasvaa, kun energiatehokkuutta parannetaan, joten tarkkaan laskelmoitu investointi energiatehokkuuteen on yleensä perusteltavissa sekä ympäristön kannalta että taloudellisesti.

Tutkimuksessa tarkasteltujen aiheiden lisäksi erityisesti liikenteellä, jota tässä työssä ei käsitelty, on merkittävä rooli sekä päästöjen aiheuttajana että kaavoitusvaiheen tarkastelukohteena. Myös rakentamisen määrän vaikutus liikenteeseen tulisi huomioida ja se, että rakennettaessa etäälle muusta infrastruktuurista tiivis ja runsas rakentaminen ei välttämättä ole aina paras vaihtoehto kokonaisuuden kannalta. Yhdyskuntarakenteen tiivistäminen on ymmärrettävää energiatehokkuuden parantamisen näkökulmasta, mutta liiallinen asuinrakennusten ja palvelujen keskittäminen voi heikentää asumisviihtyvyyttä sekä toisaalta vähentää haja-asutusalueiden palveluntarjontaa. Uusia alueita kaavoitettaessa

tulisi ottaa huomioon entistä paremmin ympäristöarvojen merkitys sekä luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen. Olemassa olevia yhdyskuntarakenteita tulisi hyödyntää täydennysrakentamisessa ja käyttämällä valmiina saatavilla olevia alueelle jo rakennettuja ratkaisuja, esimerkiksi kaukolämpöverkkoja. Hajautettuja ja paikallisia energiaratkaisuja tulisi suosia alueilla, joihin ne parhaiten soveltuvat sekä sijaintinsa että rakenteensa puolesta. Lisäksi uusiutuvaa energiaa tulisi hyödyntää lämmitysjärjestelmissä ensisijaisesti aina, kun sen käyttö on järkevää kokonaisuuden ja ympäristön kannalta, ja silloin, kun olosuhteet huomioon ottaen järjestelmä on mahdollista toteuttaa energiatehokkaasti. Uusiutuvan energian kasvulla saadaan positiivisten ympäristövaikutusten lisäksi parannettua energian omavaraisuusastetta, jolloin riippuvuus fossiilisista tuontipolttoaineista vähenee.

Ympäristöystävällisemmistä energiateknologioista saadaan taloudellisesti kannattavia vasta nykyistä paremmilla energiatukijärjestelmillä sekä voimakkaammilla energia-poliittisilla ratkaisuilla. Energiatukien myöntäminen ei todennäköisesti ole kestävä ratkaisu, mutta tukien avulla toistaiseksi heikommassa asemassa olevien teknologioiden käyttöönottoa saadaan lisättyä. Mahdollisesti uusiutuvien energiamuotojen laajamittainen käyttöönotto ja teknologisen kehityksen tuomat parannukset auttavat tulevaisuudessa kilpailutilanteen tasoittumista fossiilisten polttoaineiden kirstyvän verotuksen ja hinnan nousun ohella. Energiatehokkuuden parantuessa kaukolämmön kilpailukyvyyn ylläpitäminen vaatii entistä tiiviimpää rakentamista ja lyhyempiä putkistoja. Kilpailun lisääntyessä on mahdollista ylläpitää kaukolämmön kilpailukykyä myös kaukolämpöpalvelujen monipuolisemman tarjonnan ja hinnoittelun sekä muuntautumiskyvyn avulla. Lisäksi uusiutuvan energian lisääminen kaukolämmön tuotannossa ja hajautetun tuotannon optimaaliset yhdistelmäratkaisut voivat tukea kaukolämmön kannattavuutta esimerkiksi haja-asutusalueilla.

Uusiutuvan energian voimakkaan ylösajon ja kasvattamisen edellyttämää tarpeeksi voimakasta poliittista tahtoa, tai ainakaan mitään merkittäviä toimenpiteitä sen edistämiseksi, ei vielä toistaiseksi ole ollut havaittavissa. Yksi merkittävimmistä syistä tähän voi olla nykyiseen vallalla olevaan, pääasiassa fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaan, energiajärjestelmään sidotut valtavat pääomat, jotka ovat sidoksissa vielä vuosikymmeniä nykyisiin toimiviin energiantuotantomenetelmiin. Myös fossiilisia polttoaineita tuottavien suuryritysten poliittinen valta voi vaikuttaa merkittävästi

saastuttavien järjestelmien säilymiseen pitkälle tulevaisuuteen. Hidasteena tuuli- ja aurinkoenergian paremmalle kehitykselle ovat myös Suomen epäedulliset sääolosuhteet. Suomessa uusiutuvan energian positiivinen kehitys perustuukin pääasiassa biopolttoaineiden osuuden kasvuun energiantuotannon polttoprosesseissa. Lisäksi elinkaariajattelun puuttuminen sekä osapuolten toisistaan poikeavat asenteet, tavoitteet ja suunnitelmien aikavälit voivat vaikeuttaa päätöksentekoa yhteisen päämäärän hyväksi. Ympäristöä vähemmän kuormittavan puun käyttö rakennusmateriaalina myös kerrostaloissa on viime vuosina lisääntynyt melko voimakkaasti, mikä on positiivista sekä rakentamisen aiheuttamien päästöjen että energiatehokkuuden kannalta.

Tässä tutkielmassa tarkastellun asuinalueen olemassa oleva energiainfrastruktuuri huomioon ottaen voidaan todeta kaukolämmön hyödyntämisen rakennusten lämmityslähteenä olevan perusteltua, jos lyhyehkön elinkaaren aikaisia kustannuksia pidetään tärkeimpänä kriteerinä, koska Julkulan alueella on jo valmiina kaukolämpöverkosto. Mahdollisesti kaukolämmön ja aurinkoenergian yhdistelmäratkaisu olisi järkevä kompromissi kustannusten ja CO₂-päästöjen osalta. Passiivienergiatalon rakentaminen voisi päästöjen vähentämiseksi olla kannattavaa, sillä investointi energiatehokkuuteen olisi maksettu kaikissa lämmitysjärjestelmissä keskimäärin 14 vuodessa. Puun käyttäminen rakennusmateriaalina on myös perusteltavissa elinkaaren aikaisten CO₂-päästöjen pienentämisellä. Lämmitysjärjestelmän valinnassa ja uusiutuvaan energiaan investoitaessa, erityisesti korjausrakentamisessa, on olennaista kokonaisuuden kannalta myös se, mitä energiantuotantomuotoa on tarkoitus korvata. On eri asia korvata aurinkoenergialla tai maalämmöllä öljylämmitystä kuin yhteistuotantolaitoksessa biopolttoaineella tuotettua kaukolämpöä. Koska kaikkea energiantarvetta ei voida, ainakaan toistaiseksi, tuottaa uusiutuvalla energialla, niin on järkevintä korvata ensimmäisenä pahimmat päästöjen aiheuttajat.

KIITOKSET

Haluan kiittää ohjaajiani yliopistonlehtori, FT Anssi Lensua Jyväskylän yliopistosta neuvoista, korjauksista ja avustuksesta paikkatietoaineistojen käsittelyssä, sekä Kuopion kaupungin energiatehokkuushankkeen projektipäällikkö Tapio Kettusta työn aiheen määrittelystä sekä korjauksista ja parannusehdotuksista. Kiitokset myös Kuopion kaupungille työn toimeksiannosta sekä kaavoitusarkkitehti Pauli Sonnille työn sisältöön liittyvistä ideoista sekä työhön käytettyjen materiaalien ja lähtötietojen toimittamisesta. Lisäksi haluan kiittää Aino-vaimoani avusta työn viimeistelyssä ja ulkoasun muokkaamisessa.

KIRJALLISUUS

Annunziata, E., Rizzi, F. & Frey, M. 2012: European legal status of the improvement of energy efficiency in buildings. –Teoksessa: 9th International Conference on the European Energy Market (EEM), Florence.

ARA 2013: Kuntien myöntämät korjaus- ja energia-avustukset. –Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.ara.fi/fi-FI/Rahoitus/Avustukset/Kuntien_myontamat_korjaus_ja_energiaavustukset](http://www.sta.osoiteesta). 16.3.2013

D3 Srmk 2011: Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf](http://www.sta.osoiteesta) (11.3.2013)

Bruce, T., Jaarto, P., Kosonen, R., Lippo, A., Pasanen, P. & Virta, M. 2013: Rakennusten elinkaarimittarit. –Green Building Council Finland.

Dodoo, A., Gustavsson, L. & Sathre, R. 2011: Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective. –Energy and Buildings 43: 1589 – 1597.

Euroopan parlamentti ja neuvosto 2009a: direktiivin 2003/87/EY muuttamisesta kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kauppaa koskevan yhteisön järjestelmän parantamiseksi ja laajentamiseksi annettu direktiivi 2009/29/EY. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:fi:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:fi:PDF) (9.4.2013)

Euroopan parlamentti ja neuvosto 2009b: päätös N:o 406/2009/EY jäsenvaltioiden pyrkimyksistä vähentää kasvihuonekaasupäästöjään yhteisön kasvihuonekaasupäästöjen vähentämissitoumusten täyttämiseksi vuoteen 2020 mennessä. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:FI:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:FI:PDF) (9.4.2013)

Euroopan parlamentti ja neuvosto 2009c: direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fi:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fi:PDF) (9.4.2013)

Euroopan parlamentti ja neuvosto 2010: Rakennusten energiatehokkuudesta annettu direktiivi (2010/31/EU). Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF) (11.3.2013)

Ericsson, K., Huttunen, S., Nilsson, L.J. & Svenningsson, P. 2003: Bioenergy policy and market development in Finland and Sweden. –Energy Policy 32 (2004) 1707–1721.

- Eskola, L., Jokisalo, J. & Sirén, K. 2011: Lämpöpumppujen energialaskentaopas. –Ympäristöministeriö. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.sta.osoitteesta.fi) <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135655&lan=fi> (4.4.2013)
- Fu, P., Rich, P.M. 2000: The Solar Analyst 1.0 User Manual. –Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA.
- Fu, P., Rich, P.M. 2002: A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. –Computers and Electronics in Agriculture 37: 25-35.
- Gustavsson, L., Pingoud, K. & Sathre, R. 2006: Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. –Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11: 667 – 691.
- Hakkila, P. 2006: Factors driving the development of forest energy in Finland. –Biomass and Bioenergy 30: 281– 288.
- Helsingin Energia 2013: Kaukojäähdytys, kaukojäähdytysratkaisut. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.sta.osoitteesta.fi) http://www.helen.fi/kaukojaahdytys/kj_asiakkaat.html (17.5.2013)
- Hippinen, I. & Suomi, U. 2012: Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. –Motiva Oy. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.sta.osoitteesta.fi) http://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf (4.4.2013)
- Holmgren, M., Haarla, L., Matilainen, J. & Holttinen, H. 2009: Power regulation resources required by wind power in Finland and regulation characteristics of power plants. –International council on large electric systems (cigré), Calgary.
- Häyhä, T., Franzese, P.P. & Ulgiati, S. 2011: Economic and environmental performance of electricity production in Finland: A multicriteria assessment framework. –Ecological Modelling 223: 81– 90.
- JRC 2012: Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport (IET) Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.sta.osoitteesta.fi) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm#FI>
- Jääskeläinen, L. & Syrjänen, O. 2010: Maankäyttö ja rakennuslaki selityksineen. –Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Karhunen, A., Laihanen, M. & Ranta, T. 2012: Supply and Demand of a Forest Biomass in Application to the Region of South-East Finland. –Smart Grid and Renewable Energy 3: 34 – 42.
- Kaupunkiympäristön suunnittelupalvelut 2011: Osallistumis- ja arviointisuunnitelma, Julkulan täydennysrakentaminen, työnumero 319, kunnari n:o 5341 / 2011. –Kuopion kaupunki.
- Khan, A. & Chowdhury, S. 2012: GHG Emission Reduction and Global Warming Adaptation Initiatives by UNFCCC. –2nd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), Dhaka.

Kuopion Energia 2011: Sähkön alkuperä, ominaispäästöt. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkon_alkupera)
http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkon_alkupera (4.4.2013)

Kuopion Energia 2012a: Samuli Räisänen, Kuopion Energia. Puhelinkeskustelu 5.10.2012

Kuopion Energia 2012b: Sähkön alkuperä, Kuopion Energian vuonna 2011 myymän sähkön alkuperä. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkon_alkupera)
http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkon_alkupera

Kuopion Energia 2013a: Kaukolämpöhinnastot, liittymismaksu. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopionenergia.fi/kaukolampo/kaukolampohinnastot/liittymismaksut)
<http://www.kuopionenergia.fi/kaukolampo/kaukolampohinnastot/liittymismaksut> (4.4.2013)

Kuopion Energia 2013b: Kaukolämpöhinnastot, kaukolämpöenergia. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopionenergia.fi/kaukolampo/kaukolampohinnastot/kaukolammon_hinnat)
http://www.kuopionenergia.fi/kaukolampo/kaukolampohinnastot/kaukolammon_hinnat (4.4.2013)

Kuopion Energia 2013c: Sähköverkon liittymismaksut. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/sahkoverkon_liittymismaksut)
http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/sahkoverkon_liittymismaksut (4.4.2013)

Kuopion Energia 2013d: Sähkönmyyntihinnat. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/myynti_1.1.2013)
http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/myynti_1.1.2013 (4.4.2013)

Kuopion Energia 2013e: Sähkönsiirtohinat. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/siirto-1.4.2013)
<http://www.kuopionenergia.fi/sahkokauppa/sahkohinnastot/siirto-1.4.2013> (4.4.2013)

Kuopion Energia 2013f: Samuli Räisänen, Kuopion Energia. Puhelinkeskustelu 16.5.2013

Kuopion kaupunki 2009: Kuopion ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020, Tavoite- ja kehittämissuunnitelmat TA2009:1, ISSN 0785-0352. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.kuopio.fi/c/document_library/get_file?uuid=ab67c50a-9558-423c-951e-fd96cf1aaabf&groupId=12141)
http://www.kuopio.fi/c/document_library/get_file?uuid=ab67c50a-9558-423c-951e-fd96cf1aaabf&groupId=12141 (15.4.2013)

Kuopion kaupunki 2013: Asemakaavan muutoksen selostus, Julkulan täydennysrakentaminen. Kaupunkiympäristön suunnittelupalvelut, asemakaavoitus. 12.3.2013

Kuopion Vesi 2012: Kirjallinen tiedonanto, sähköpostikeskustelu. Petri Juntunen, Kuopion Vesi Oy. 8.10.2012

Lahti, P., Heinonen, J., Nissinen, A., Rehunen, A., Seppälä, J. & Säynäjoki, E. 2012: Kaupunkikehityksen ekotehokkuuslaskurit. KEKO A-projektin loppuraportti. VTT Tutkimusraportti 30.11.2012. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](https://wiki.aalto.fi/download/attachments/72884625/KEKO%20A%20Loppuraportti%2030%2011%202012.pdf?version=1&modificationDate=1354601657000&api=v2)
<https://wiki.aalto.fi/download/attachments/72884625/KEKO%20A%20Loppuraportti%2030%2011%202012.pdf?version=1&modificationDate=1354601657000&api=v2> (29.4.2013)

Lappalainen, M. 2010: Energia- ja ekologia käsikirja. –Rakennustieto Oy.

Laurikka, H. & Koljonen, T. 2006: Emissions trading and investment decisions in the power sector—a case study in Finland. –Energy Policy 34: 1063 – 1074.

Lämpö Ykkönen 2013: kirjallinen tiedonanto, sähköpostikeskustelu. Pasi Rossi, Tekninen myyntipäällikkö, Lämpö Ykkönen Oy. 23.4.2014

Maloy, M.A. & Dean, D.J. 2001: An Accuracy Assessment of Various GIS-Based Viewshed Delineation Techniques. –Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 11: 1293-1298.

Masden, E. A., Haydon, D. T., Fox, A. D., Furness, R. W., Bullman, R., & Desholm, M. 2009: Barriers to movement: impacts of wind farms on migrating birds. –ICES Journal of Marine Science, 66: 746 – 753.

Martinkauppi, K. (toim.) 2010: ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. –Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes, Helsinki.

Motiva 2011a: Matalaenergiatalon määritelmiä. –Motiva Oy. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmiä)
http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmiä (9.4.2013)

Motiva 2011b: Lämpöpumpputeknologiat, maalämpö. –Motiva Oy. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampo)
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampo. Päivitetty 15.5.2011 (20.4.2013)

Motiva 2012a: Uusiutuvan energian käyttö Suomessa. –Motiva Oy. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_kaytto_suomessa)
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_kaytto_suomessa

Motiva 2012b: Tukilämmitysjärjestelmät, aurinkolämmitys. –Motiva Oy. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat)
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat . Päivitetty 4.5.2012 (9.4.2013)

Motiva 2012c: Poistoilmalämpöpumppu. –Motiva Oy. Saatavilla [www:stä osoitteesta:](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu)
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu. Päivitetty 23.4.2013 (29.4.2013)

Möst, D. & Fichtner, W. 2010: Renewable energy sources in European energy supply and interactions with emission trading. –Energy Policy 38: 2898 – 2910.

Natarajan, K., Leduc, S., Pelkonen, P., Tomppo, E. & Dotzauer, E. 2012: Optimal Locations for Methanol and CHP Production in Eastern Finland. –Bioenerg. Res. 5:412 – 423.

Nässén, J. & Holmberg, J. 2005: Energy efficiency—a forgotten goal in the Swedish building sector? –Energy Policy 33, 1037 – 1051.

Oilon 2013: Kirjallinen tiedonanto, sähköpostikeskustelu. Timo Ahvenainen, Sales Manager, Oilon Home Oy. 24.4.2013

Ojala, A. 1976: Energiatalouden ja voimalaitosopin perusteet. –TKY Otapaino.

Palmer, G. 2012: Does Energy Efficiency Reduce Emissions and Peak Demand? A Case Study of 50 Years of Space Heating in Melbourne. –Sustainability 4: 1525 – 1560.

Pasanen, P., Korteniemi, J. & Sipari, A. 2011: Passiivitaso asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki. –Sitra, Helsinki.

Pesola, A., Hoviniemi, H., Vehviläinen, I. & Vanhanen, J. 2010: Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla. –Gaia Consulting Oy, Motiva.

Rajala, P., Hirvonen, H., Perttula, S., Lähde, E., Pulkka, P., Jarmala, L., Laukkanen, J., Patronen, J., Jokinen, M., Rintala, T., Rajakallio, K., & Kauppinen, T. 2010: Energiatohokkuus kaavoituksessa. –Sitra, Helsinki.

REN21 2011: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
Saataavilla [www:stä osoitteesta](http://www.sta-osoitteesta.com): <http://www.map.ren21.net/#fr-FR/search/by-technology/4,16,0,0> (9.4.2013)

Rich, P.M., Hetrick, W.A., Saving, S.C. 1994: Using viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. –ASPRS/ACSM.

Rossi, B., Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012: Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. –Building and Environment 51: 402 – 407.

Sartori, I. & Hestnes, A.G. 2007: Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. –Energy and Buildings 39: 249 – 257.

Savon Sanomat 2013: Kuopion Energia uusii Haapaniemi 2:n kattilan 22 miljoonalla eurolla. Saataavilla [www:stä osoitteesta](http://www.sta-osoitteesta.com):
<http://www.savonsanomat.fi/uutiset/talous/kuopion-energia-uusii-haapaniemi-2n-kattilan-22-miljoonalla-eurolla/1290957>

Solpros Ay 2001: Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastomuutoksen torjunnassa. Saataavilla [www:stä osoitteesta](http://www.sta-osoitteesta.com):
http://www.kolumbus.fi/solpros/re-ports/3rdeport_final.PDF (22.2.2013)

Tampereen Sähkölaitos 2013: Kaukolämpölaskelma. Saataavilla [www:stä osoitteesta](http://www.sta-osoitteesta.com):
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/kaukolampojaahdytysjamaakaasu/kaukolampo/kauko1%C3%A4mp%C3%B6C3%B6n%20liittyminen/kaukolampolaskelma/Sivut/default.aspx#.UV63KIdaeSo> (5.4.2013)

- TEM 2012: Puukerrostalot vastaavat suomalaisten asumisen unelmiin. –Työ- ja elinkeinoministeriön tiedotteita 1.8.2012. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.tem.fi/index.phtml?109336_m=107264&s=5236](http://www.tem.fi/index.phtml?109336_m=107264&s=5236) (9.4.2013)
- Thomark, C. 2006: The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. –Building and Environment 41, 1019–1026.
- Tilastokeskus 2010: Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut. ISSN=1797-6049. Liitetaulukko 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ilman LULUCF-sektoria 1990–2010. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.stat.fi/til/khki/2010/khki_2010_2012-04-26_tau_001_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2010/khki_2010_2012-04-26_tau_001_fi.html) (19.3.2013)
- Tilastokeskus 2011a: Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit. ISSN=1798-677X. Liitetaulukko 2. Rakennukset käyttötarkoituksen mukaan vuosina 1980-2011. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_002_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_002_fi.html) (19.3.2013)
- Tilastokeskus 2011b: Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit. ISSN=1798-677X. Liitetaulukko 1. Rakennukset, asunnot ja henkilöt talotyypin ja kerrosluvun mukaan 31.12.2011. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_001_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_001_fi.html) (19.3.2013)
- Tilastokeskus 2011c: Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit. ISSN=1798-677X. 2011, Liitetaulukko 3. Rakennukset lämmitysaineen mukaan 1970-2011. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_003_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_003_fi.html) (19.3.2013)
- Tilastokeskus 2011d: Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit. ISSN=1798-677X. 2011, Liitetaulukko 4. Rakennukset rakennusaineen mukaan 1960-2011. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_004_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2011/rakke_2011_2012-05-25_tau_004_fi.html) (19.3.2013)
- Tilastokeskus 2012: Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus. Energian loppukäyttö sektoreittain. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://193.166.171.75/database/statfin/ene/ehk/ehk_fi.asp](http://193.166.171.75/database/statfin/ene/ehk/ehk_fi.asp). Päivitetty 22.3.2013. (19.3.2013)
- Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008: Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Saatavilla [www:stä osoitteesta: http://217.71.145.20/TRIPviewer/show.asp?tunniste=VNS+6/2008&base=ermuut&palveli n=www.eduskunta.fi&f=WORD](http://217.71.145.20/TRIPviewer/show.asp?tunniste=VNS+6/2008&base=ermuut&palveli n=www.eduskunta.fi&f=WORD) (2.3.2013)
- Vanhanen, J., Pesola, A. & Vehviläinen, I. 2011: Koukkurannan lämpöenergiaratkaisujen vertailu. –Tampereen kaupunki.
- Varho, V. & Tapio, P. 2005: Wind power in Finland up to the year 2025—‘soft’ scenarios based on expert views. –Energy Policy 33: 1930 – 1947.
- Vartiainen, E., Luoma, P., Hiltunen, J. & Vanhanen, J. 2002: Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. –Gaia Group Oy, Helsinki.

Verbeeck, G. & Hens, H. 2010: Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis. –Building and Environment 45: 964 – 967.

VTT 2011: Energiatohokkuuden parantaminen mullistaa rakentamisen lähivuosina (15.3.2011). Saatavilla www:stä osoitteesta:
http://www.vtt.fi/news/2011/03152011_Energiatohokkuuden_parantaminen_mullistaa_rakentamisen.jsp. 15.3.2013

VTT 2012: Suomen tuulivoimatilastot (päivitetty 28.10.2012). Saatavilla www:stä osoitteesta: <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/?lang=fi>. 2.3.2013

Vuorinen, A. 2009: Energian käyttäjän käsikirja. –Ekoenergo Oy.

LIITTEET

Liite 1. Lämmitysenergian kulutus ja päästöt

Liitteisiin on koottu luvussa 4 esiteltyjen tulosten laskutoimitukset. Tässä liittessä on esitetty asuinkerrostalon lämmitysenergian kulutus eri energiatehokkuusluokissa sekä lämmitysenergiankulutuksesta aiheutuvat päästöt.

Kerrostalarakennuksen lämmitysenergian kulutus

Normienergiatalo

kerrospinta-ala (br m²) × (lämmitys + lämmin käyttövesi)

$$1667 \text{ m}^2 \times 90 \text{ kWh/m}^2 \text{ a} = 288000 \text{ kWh/a} = 150 \text{ MWh/a}$$

Matalaenergiatalo

kerrospinta-ala (br m²) × (lämmitys + lämmin käyttövesi)

$$1667 \text{ m}^2 \times 75 \text{ kWh/m}^2 \text{ a} = 240000 \text{ kWh/a} = 125 \text{ MWh/a}$$

Passiivienergiatalo

kerrospinta-ala (br m²) × (lämmitys + lämmin käyttövesi)

$$1667 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kWh/m}^2 \text{ a} = 80000 \text{ kWh/a} = 42 \text{ MWh/a}$$

Lämmitysjärjestelmien päästöt

Kerrospinta-ala = 1,2 × (huoneistopinta-ala)

$$\Rightarrow \text{huoneistopinta-ala} = 1667 \text{ m}^2 / 1,2 = 1389,166.. \text{ eli noin } 1389 \text{ m}^2$$

Yhden kerrostalon rakentamisesta aiheutuvat CO₂-päästöt

Puurakenteinen kerrostalotalo: $1389 \text{ m}^2 \times 191 \text{ kg CO}_2 / \text{n-m}^2 = 265,3 \text{ t CO}_2$

Betonirakenteinen kerrostalotalo: $1389 \text{ m}^2 \times 268 \text{ kg CO}_2 / \text{n-m}^2 = 372,3 \text{ t CO}_2$

Kaukolämmön päästöt

CO₂-päästöt vuoden 2011 kaukolämmön ominaispäästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $150000 \text{ kWh/a} \times 387 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 58,1 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $125000 \text{ kWh/a} \times 387 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 48,4 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivienergiatalo: $42000 \text{ kWh/a} \times 387 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 16,3 \text{ t CO}_2/\text{a}$

CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $150000 \text{ kWh/a} \times 217 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 32,6 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $125000 \text{ kWh/a} \times 217 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 27,1 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivienergiatalo: $42000 \text{ kWh/a} \times 217 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 9,1 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $50 \times 58,1 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 3170,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 48,4 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 2685,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 16,3 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 1080,3 \text{ t CO}_2$

Puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $50 \times 32,6 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 1895,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 27,1 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 1620,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 9,1 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 720,3 \text{ t CO}_2$

Betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $50 \times 58,1 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 3277,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 48,4 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 2792,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 16,3 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 1187,3 \text{ t CO}_2$

Betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $50 \times 32,6 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 2002,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 27,1 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 1727,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 9,1 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 827,3 \text{ t CO}_2$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 3170,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 8,4 \%$

Matalaenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 2685,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 9,9 \%$

Passiivienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 1080,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 24,6 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 1895,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 14,0 \%$

Matalaenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 1620,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 16,4 \%$

Passiivienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 720,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 36,8 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 3277,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 11,4 \%$

Matalaenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 2792,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 13,3 \%$

Passiivienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 1187,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 31,4 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 2002 \text{ t CO}_2 \times 100 = 18,6 \%$

Matalaenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 1727,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 21,6 \%$

Passiivienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 827,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 45,0 \%$

Aurinkolämpökeräimillä tuetun kaukolämmön päästöt

Aurinkoenergian päästöt

CO₂-päästöt: 0 g CO₂/kWh (Aurinkolämpökeräimien käyttö on käytännössä päästötöntä)

Kaukolämmön CO₂-päästöt aurinkolämpökeräimillä tuetusta lämmitysjärjestelmästä

CO₂-päästöt vuoden 2011 kaukolämmön ominaispäästökertoimella: 387 g CO₂/kWh (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $0,75 \times 150000 \text{ kWh} \times 387 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 43,5 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $0,75 \times 125000 \text{ kWh} \times 387 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 36,3 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivienergiatalo: $0,75 \times 42000 \text{ kWh} \times 387 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 12,2 \text{ t CO}_2/\text{a}$

CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $0,75 \times 150000 \text{ kWh} \times 217 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 24,4 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $0,75 \times 125000 \text{ kWh} \times 217 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 20,3 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivienergiatalo: $0,75 \times 42000 \text{ kWh} \times 217 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 6,8 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $50 \times 43,5 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 2440,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 36,3 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 2080,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 12,2 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 875,3 \text{ t CO}_2$

Puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $50 \times 24,4 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 1485,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 20,3 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 1280,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 6,8 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 605,3 \text{ t CO}_2$

Betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $50 \times 43,5 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 2547,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 36,3 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 2187,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 12,2 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 982,3 \text{ t CO}_2$

Betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $50 \times 24,4 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 1592,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 20,3 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 1387,3 \text{ t CO}_2$

Passiivienergiatalo: $50 \times 6,8 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 712,3 \text{ t CO}_2$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 2440,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 10,9 \%$

Matalaenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 2080,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 12,8 \%$

Passiivienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 875,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 30,3 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 1485,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 17,9 \%$

Matalaenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 1280,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 20,7 \%$

Passiivienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 605,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 43,8 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä vuoden 2011 päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 2547,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 14,6 \%$

Matalaenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 2187,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 17,0 \%$

Passiivienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 982,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 37,9 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä Suomen keskimääräisellä kaukolämmön päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 1592,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 23,4 \%$

Matalaenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 1387,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 26,8 \%$

Passiivienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 712,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 52,3 \%$

Maalämpöjärjestelmän päästöt

CO₂-päästöt (maalämpö) vuoden 2011 sähkön ominaispäästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $0,85 \times 150000 \text{ kWh} / 3 \times 372 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 15,8 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $0,85 \times 125000 \text{ kWh} / 3 \times 372 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 13,2 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivenergiatalo: $0,85 \times 42000 \text{ kWh} / 3 \times 372 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 4,4 \text{ t CO}_2/\text{a}$

CO₂-päästöt (maalämpö) Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $0,85 \times 150000 \text{ kWh} / 3 \times 210 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 8,9 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $0,85 \times 125000 \text{ kWh} / 3 \times 210 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 7,4 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivenergiatalo: $0,85 \times 42000 \text{ kWh} / 3 \times 210 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 2,5 \text{ t CO}_2/\text{a}$

CO₂-päästöt (sähkövastus) vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $0,15 \times 150000 \text{ kWh} \times 372 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 8,4 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $0,15 \times 125000 \text{ kWh} \times 372 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 7,0 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivenergiatalo: $0,15 \times 42000 \text{ kWh} \times 372 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 2,3 \text{ t CO}_2/\text{a}$

CO₂-päästöt (sähkövastus) Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $0,15 \times 150000 \text{ kWh} \times 210 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 4,7 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $0,15 \times 125000 \text{ kWh} \times 210 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 3,9 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivenergiatalo: $0,15 \times 42000 \text{ kWh} \times 210 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 1,3 \text{ t CO}_2/\text{a}$

CO₂-päästöt vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a) yhteensä

Normienergiatalo: $28,6 \text{ t CO}_2/\text{a} + 21,4 \text{ t CO}_2/\text{a} = 24,2 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $23,8 \text{ t CO}_2/\text{a} + 17,9 \text{ t CO}_2/\text{a} = 20,2 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivenergiatalo: $7,9 \text{ t CO}_2/\text{a} + 6 \text{ t CO}_2/\text{a} = 6,8 \text{ t CO}_2/\text{a}$

CO₂-päästöt yhteensä Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $16,1 \text{ t CO}_2/\text{a} + 12,1 \text{ t CO}_2/\text{a} = 13,7 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Matalaenergiatalo: $13,4 \text{ t CO}_2/\text{a} + 10,1 \text{ t CO}_2/\text{a} = 11,4 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Passiivenergiatalo: $4,4 \text{ t CO}_2/\text{a} + 3,4 \text{ t CO}_2/\text{a} = 3,8 \text{ t CO}_2/\text{a}$

Puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $50 \times 24,2 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 1475,3 \text{ t CO}_2$

Passiivenergiatalo: $50 \times 20,2 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 1275,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 6,8 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 605,3 \text{ t CO}_2$

Puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $50 \times 13,7 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 950,3 \text{ t CO}_2$

Passiivenergiatalo: $50 \times 11,4 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 835,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 3,8 \text{ t CO}_2/\text{a} + 265,3 \text{ t CO}_2 = 455,3 \text{ t CO}_2$

Betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $50 \times 50 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 1582,3 \text{ t CO}_2$

Passiivenergiatalo: $50 \times 41,7 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 1382,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 13,9 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 712,3 \text{ t CO}_2$

Betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaiset CO₂-päästöt Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $50 \times 28,2 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 1057,3 \text{ t CO}_2$

Passiivenergiatalo: $50 \times 23,5 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 942,3 \text{ t CO}_2$

Matalaenergiatalo: $50 \times 7,8 \text{ t CO}_2/\text{a} + 372,3 \text{ t CO}_2 = 562,3 \text{ t CO}_2$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 1475,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 18,0 \%$

Matalaenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 1275,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 20,8 \%$

Passiivenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 605,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 43,8 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus puurakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 950,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 27,9 \%$

Matalaenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 835,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 31,8 \%$

Passiivenergiatalo: $265,3 \text{ t CO}_2 / 455,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 58,3 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä vuoden 2011 sähkön päästökertoimella (Kuopion Energia 2012a)

Normienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 1582,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 23,5 \%$

Matalaenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 1382,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 26,9 \%$

Passiivenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 712,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 52,3 \%$

Rakentamisen aikaisten päästöjen osuus betonirakenteisen kerrostalon elinkaaren (50 vuotta) aikaisista CO₂-päästöistä Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan päästökertoimella (Hippinen & Suomi 2012)

Normienergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 1057,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 35,2 \%$

Matalaenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 942,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 39,5 \%$

Passiivenergiatalo: $372,3 \text{ t CO}_2 / 562,3 \text{ t CO}_2 \times 100 = 66,2 \%$

Liite 2. Lämmitysjärjestelmien kustannukset

Liitteessä 2 on laskettu vertailussa olleiden lämmitysjärjestelmien kustannukset.

Kaukolämmön kustannukset

Liittymismaksut/a

$$\text{Normienergiatalo: } 1,1 \times (1380 + 6800 \times 1,2 + 80 \times 185) \text{€} = 26774 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 1,1 \times (1380 + 6800 \times 0,9 + 80 \times 185) \text{€} = 25278 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 1,1 \times (1380 + 6800 \times 0,3 + 80 \times 185) \text{€} = 22286 \text{ €}$$

Perusmaksut/a

$$\text{Normienergiatalo: } 1,8 \times (70 + 960 \times 1,2) \text{€} = 2200 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 1,8 \times (70 + 960 \times 1,0) \text{€} = 1854 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 1,8 \times (40 + 990 \times 0,6) \text{€} = 1141 \text{ €}$$

Energiakustannukset/a

$$\text{Normienergiatalo: } 56,74 \text{ €/MWh} \times 150 \text{ MWh} = 8511 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 56,74 \text{ €/MWh} \times 125 \text{ MWh} = 7093 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 56,74 \text{ €/MWh} \times 42 \text{ MWh} = 2383 \text{ €}$$

Kaukolämmön kokonaisenergiakulut/a

$$\text{Normienergiatalo: } 2200 \text{ €} + 8511 \text{ €} = 10711 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 1854 \text{ €} + 7093 \text{ €} = 8947 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 1141 \text{ €} + 2383 \text{ €} = 3524 \text{ €}$$

Kaukolämmön kokonaiskustannukset/a

$$\text{Normienergiatalo: } K = 0,07095 \times 26774 \text{ €} + 10711 \text{ €} = 12611 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } K = 0,07095 \times 25278 \text{ €} + 8947 \text{ €} = 10740 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } K = 0,07095 \times 22286 \text{ €} + 3524 \text{ €} = 5105 \text{ €}$$

Aurinkolämpökeräimillä tuetun kaukolämmön kustannukset

Aurinkolämpökeräimien tarvittava pinta-ala, kun hyötysuhde on 60 % (aurinkolämmön keskimääräinen tuotto 25 % lämpöenergiatarpeesta)

$$\text{Normienergiatalo: } 0,25 \times 150000 \text{ kWh} / 510 \text{ kWh/m}^2 = 74 \text{ m}^2$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 0,25 \times 125000 \text{ kWh} / 510 \text{ kWh/m}^2 = 61 \text{ m}^2$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 0,25 \times 42000 \text{ kWh} / 510 \text{ kWh/m}^2 = 21 \text{ m}^2$$

Hankintakustannukset

$$\text{Normienergiatalo: } 74 \text{ m}^2 \times 850 \text{ €/m}^2 = 62900 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 61 \text{ m}^2 \times 850 \text{ €/m}^2 = 51850 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 21 \text{ m}^2 \times 850 \text{ €/m}^2 = 17850 \text{ €}$$

Käyttö- ja kunnossapitokustannukset/a

$$\text{Normienergiatalo: } 0,25 \times 150000 \text{ kWh} \times 0,65 \text{ snt/kWh} = 244 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 0,25 \times 125000 \text{ kWh} \times 0,65 \text{ snt/kWh} = 203 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 0,25 \times 42000 \text{ kWh} \times 0,65 \text{ snt/kWh} = 68 \text{ €}$$

Aurinkolämpökeräimien vuosikustannukset

$$\text{Normienergiatalo: } K = 0,07095 \times 62900 \text{ €} + 244 \text{ €} = 4708 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } K = 0,07095 \times 51850 \text{ €} + 203 \text{ €} = 3881 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } K = 0,07095 \times 17850 \text{ €} + 68 \text{ €} = 1334 \text{ €}$$

Kaukolämmön kustannukset aurinkolämmöllä tuetusta lämmitysjärjestelmästä

Liittymismaksu

$$\text{Normienergiatalo: } 1,1 \times (1380 + 6800 \times 0,8 + 80 \times 185) = 24530 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 1,1 \times (1380 + 6800 \times 0,7 + 80 \times 185) = 23782 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 1,1 \times (1380 + 6800 \times 0,3 + 80 \times 185) = 22286 \text{ €}$$

Perusmaksu/a

$$\text{Normienergiatalo: } 1,8 \times (70 + 960 \times 0,9) = 1681 \text{ €}$$

$$\text{Matalaenergiatalo: } 1,8 \times (70 + 960 \times 0,8) = 1508 \text{ €}$$

$$\text{Passiivenergiatalo: } 1,8 \times (40 + 990 \times 0,6) = 1141 \text{ €}$$

Kaukolämmön energiakustannukset/a

Normienergiatalo: $56,74 \text{ €/MWh} \times 0,75 \times 150 \text{ MWh} + 1681 \text{ €} = 8064 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $56,74 \text{ €/MWh} \times 0,75 \times 125 \text{ MWh} + 1508 \text{ €} = 6827 \text{ €}$

Passiivenergiatalo: $56,74 \text{ €/MWh} \times 0,75 \times 42 \text{ MWh} + 1141 \text{ €} = 2928 \text{ €}$

Kaukolämmön kokonaiskustannukset/a

Normienergiatalo: $K = 0,07095 \times 24530 \text{ €} + 8064 \text{ €} = 9804 \text{ €}$

Passiivenergiatalo: $K = 0,07095 \times 23782 \text{ €} + 6827 \text{ €} = 8514 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $K = 0,07095 \times 22286 \text{ €} + 2928 \text{ €} = 4509 \text{ €}$

Kaukolämmön ja aurinkolämpökeräimien kokonaiskustannukset/a

Normienergiatalo: $9804 \text{ €} + 4708 \text{ €} = 14511 \text{ €}$

Passiivenergiatalo: $8514 \text{ €} + 3881 \text{ €} = 12396 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $4509 \text{ €} + 1334 \text{ €} = 5844 \text{ €}$

Maalämpöjärjestelmän kustannukset

Maalämpöpumpulla tuotetun energian osuus 85 % ja sähkövastuksella tuotetun energian osuus 15 % lämmön tuotannosta.

Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset

Normienergiatalo:

Tehontarve: $0,85 \times 150000 \text{ kWh/a} / 3000 \text{ h/a} = 43 \text{ kW}_P$

→ $42,5 \text{ kW}_P \times 1800 \text{ €/kW}_P = 76500 \text{ €}$

Matalaenergiatalo:

Tehontarve: $0,85 \times 125000 \text{ kWh/a} / 3000 \text{ h/a} = 35,4 \text{ kW}_P$

→ $35,4 \text{ kW}_P \times 1800 \text{ €/kW}_P = 63720 \text{ €}$

Passiivenergiatalo:

Tehontarve: $0,85 \times 42000 \text{ kWh/a} / 3000 \text{ h/a} = 21,3 \text{ kW}_P$

→ $11,9 \text{ kW}_P \times 1800 \text{ €/kW}_P = 21420 \text{ €}$

Lämmitysjärjestelmän aiheuttama korotus sähköverkon liittymismaksuun:

Normienergiataso, $42,5 \text{ kVA} / 0,4 \text{ kV} \times 35 \text{ €/A} = 3710 \text{ €}$

Matalaenergiataso, $35,4 \text{ kVA} / 0,4 \text{ kV} \times 35 \text{ €/A} = 3115 \text{ €}$

Passiiviennergiataso, $11,9 \text{ kVA} / 0,4 \text{ kV} \times 35 \text{ €/A} = 1050 \text{ €}$

Maalämpöpumpun energiakustannukset/a (K_{mlp})

Normienergiatalo: $1/3 \times 0,85 \times 150 \text{ MWh} \times 104,4 \text{ €/MWh} = 4437 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $1/3 \times 0,85 \times 125 \text{ MWh} \times 104,4 \text{ €/MWh} = 3698 \text{ €}$

Passiiviennergiatalo: $1/3 \times 0,85 \times 42 \text{ MWh} \times 104,4 \text{ €/MWh} = 1242 \text{ €}$

Sähkövastuksen energiakustannukset/a (K_{sv}) (huippukuorma)

Normienergiatalo: $0,15 \times 150 \text{ MWh} \times 104,4 \text{ €/MWh} = 2349 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $0,15 \times 125 \text{ MWh} \times 104,4 \text{ €/MWh} = 1958 \text{ €}$

Passiiviennergiatalo: $0,15 \times 42 \text{ MWh} \times 104,4 \text{ €/MWh} = 658 \text{ €}$

Energiavero/a (K_{ev})

Normienergiatalo: $((0,85 \times 150000 \text{ kWh} / 3) + (0,15 \times 150000 \text{ kWh})) \times 2,1117 \text{ snt/kWh} = 1373 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $((0,85 \times 125000 \text{ kWh} / 3) + (0,15 \times 125000 \text{ kWh})) \times 2,1117 \text{ snt/kWh} = 1144 \text{ €}$

Passiiviennergiatalo: $((0,85 \times 42000 \text{ kWh} / 3) + (0,15 \times 42000 \text{ kWh})) \times 2,1117 \text{ snt/kWh} = 384 \text{ €}$

Maalämpöjärjestelmän energiakustannukset/a

Normienergiatalo: $4437 \text{ €} + 2349 \text{ €} + 1373 \text{ €} = 8159 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $3698 \text{ €} + 1958 \text{ €} + 1144 \text{ €} = 6800 \text{ €}$

Passiiviennergiatalo: $1242 \text{ €} + 658 \text{ €} + 384 \text{ €} = 2284 \text{ €}$

Maalämpöpumpun käyttö- ja kunnossapitokustannukset/a

Normienergiatalo: $0,85 \times 150000 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ snt/kWh} = 921 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $0,85 \times 125000 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ snt/kWh} = 768 \text{ €}$

Passiiviennergiatalo: $0,85 \times 42000 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ snt/kWh} = 256 \text{ €}$

Maalämpöjärjestelmän kokonaiskustannukset/a

Normienergiatalo: $K = 0,07095 \times (76500 \text{ €} + 3710 \text{ €}) + 8159 \text{ €} + 510 \text{ €} = 14360 \text{ €}$

Matalaenergiatalo: $K = 0,07095 \times (63720 \text{ €} + 3115 \text{ €}) + 6800 \text{ €} + 425 \text{ €} = 11967 \text{ €}$

Passiiviennergiatalo: $K = 0,07095 \times (21420 \text{ €} + 1050 \text{ €}) + 2284 \text{ €} + 143 \text{ €} = 4021 \text{ €}$

Liite 3. Matala- ja passiivenergiarakennusten takaisinmaksuajat

Liitteessä 3 on esitetty energiatehokkaamman rakentamisen aiheuttamien kustannusten takaisinmaksuajat.

Lisäkustannukset €/m²

$$\text{Matalaenergiatalo (min): } 2 \% \times 1500 \text{ €/m}^2 = 30 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Matalaenergiatalo (max): } 5 \% \times 1500 \text{ €/m}^2 = 75 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Passiivenergiatalo (min): } 5 \% \times 1500 \text{ €/m}^2 = 75 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Passiivenergiatalo (max): } 7 \% \times 1500 \text{ €/m}^2 = 105 \text{ €/m}^2$$

Kaukolämpö

$$\text{Matalaenergiatalo (min): } 30 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (12611 \text{ €/v} - 10739 \text{ €/v}) = 22 \text{ v}$$

$$\text{Matalaenergiatalo (max): } 75 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (12611 \text{ €/v} - 17039 \text{ €/v}) = 55 \text{ v}$$

$$\text{Passiivenergiatalo (min): } 75 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (12611 \text{ €/v} - 5105 \text{ €/v}) = 13 \text{ v}$$

$$\text{Passiivenergiatalo (max): } 105 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (12611 \text{ €/v} - 5105 \text{ €/v}) = 19 \text{ v}$$

Aurinkolämpökeräimillä tuettu kaukolämpö

$$\text{Matalaenergiatalo (min): } 30 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14511 \text{ €/v} - 12396 \text{ €/v}) = 20 \text{ v}$$

$$\text{Matalaenergiatalo (max): } 75 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14511 \text{ €/v} - 12396 \text{ €/v}) = 49 \text{ v}$$

$$\text{Passiivenergiatalo (min): } 75 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14511 \text{ €/v} - 5844 \text{ €/v}) = 12 \text{ v}$$

$$\text{Passiivenergiatalo (max): } 105 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14511 \text{ €/v} - 5844 \text{ €/v}) = 17 \text{ v}$$

Maalämpöjärjestelmä

$$\text{Matalaenergiatalo (min): } 30 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14360 \text{ €/v} - 11967 \text{ €/v}) = 17 \text{ v}$$

$$\text{Matalaenergiatalo (max): } 75 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14360 \text{ €/v} - 11967 \text{ €/v}) = 44 \text{ v}$$

$$\text{Passiivenergiatalo (min): } 75 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14360 \text{ €/v} - 4021 \text{ €/v}) = 10 \text{ v}$$

$$\text{Passiivenergiatalo (max): } 105 \text{ €/m}^2 \times 1389 \text{ m}^2 / (14360 \text{ €/v} - 4021 \text{ €/v}) = 14 \text{ v}$$