



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

ASUINKERROSTALON ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Aki Arvo

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-Talotekniikka

ARVO AKI:

Asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantaminen

Opinnäytetyö 72 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Huhtikuu 2018

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on tällä vuosikymmenellä ollut yksi suurimmista rakennusalaan muuttavista tekijöistä. Tämän taustalla on Euroopan Unionin tavoite vähentää rakennusten energiankulutusta ja lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Tavoitteilla pyritään hillitsemään ilmastonmuutosta ja vähentämään energiariippuvuutta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on koota yhteen uudistunut energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö ja tärkeimmät energiatehokkuuden parantamiseen vaikuttavat tekijät. Opinnäytetyön tutkimusosiossa selvitettiin aurinkopaneelien hyödyntämismahdollisuutta kahdella eri lämmitys-/jäähdytysjärjestelmällä ja näiden tapausten vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen. Tutkimus toteutettiin EQUA Simulation AB:n IDA Indoor Climate and Energy –simulointiohjelmalla. Opinnäytetyön teettäjänä toimi Insinööritoimisto Erkki Leskinen Oy.

Opinnäytetyön tuloksena havaittiin, että aurinkoenergian hyödyntäminen on tehokkaampaa järjestelmällä, jossa lämmitys toteutettiin kaukolämmöllä ja jäähdytys erillisellä jäähdytyskoneella kuin hybridilämmitys-/jäähdytysjärjestelmällä. Uusiutuvan energian hyödyntäminen on kuitenkin tehokkaampaa hybridijärjestelmällä kuin tavanomaisella lämmitysjärjestelmällä. Energiatehokkuuden vertailuluvun perusteella hybridijärjestelmä osoittautui niin ikään paremmaksi vaihtoehdoksi.

Hybridijärjestelmät sisältävät paljon potentiaalia uusiutuvan energian hyödyntämisen näkökulmasta. Hybridijärjestelmällä voidaan aurinkoenergian lisäksi hyödyntää maaperästä saatavaa energiaa. Hybridijärjestelmän toimintaa tulisi tutkia tarkemmin ja varmistaa sen oikeanlainen mallinnus simulointiohjelmaan sen jälkeen, kun nykyisistä kohteista saadaan pitkäaikaista mittausdataa. Järjestelmien taloudellista kannattavuutta tulisi myös tarkastella.

Asiasanat: energiatehokkuus, hybridijärjestelmä, aurinkoenergia

ABSTRACT

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

ARVO, AKI:

Improving the Energy Efficiency of a Newly Built Block of Flats

Bachelor's thesis 72 pages, appendices 10 pages
April 2018

Improving the energy efficiency of buildings has been one of the biggest changes in the building industry during the previous decade. The driving force behind it is the European Union's goal to reduce the energy consumption of buildings and increase the use of renewable energy. The purpose of these acts is to curb the global warming and reduce energy dependency.

The purpose of this thesis was to put together the renewed energy efficiency legislation and the key tools of improving energy efficiency. The empirical part examined the impact of the cooperation of solar panels and different energy systems on a building's energy efficiency. The survey was carried out with the IDA-Indoor Climate and Energy simulation software produced by EQUA Simulation AB. The thesis was commissioned by Insinööritoimisto Erkki Leskinen Oy.

The result of the comparison revealed that utilizing solar energy is more efficient in the case of district heating-refrigeration system than in a hybrid heating and cooling system. The exploitable solar panel surface area was smaller in the hybrid system than it was in the district heating-refrigeration system.

There is a lot of exploitable potential in the hybrid systems when it comes to renewable energy. The hybrid system should be studied further because it is such a broad subject. The financial profitability of the systems should also be considered.

Key words: energy efficiency, hybrid system, solar energy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄHES NOLLAENERGIARAKENTAMINEN.....	7
2.1	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU	7
2.2	Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017	8
2.3	Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017	9
3	ENERGIASELVITYS.....	11
3.1	Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)	11
3.2	Energiamuotojen kertoimet.....	14
4	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN KEINOJA.....	16
4.1	Arkkitehtuuriset ja rakenteelliset keinot	18
4.1.1	Ikkunat.....	18
4.1.2	Aurinkosuojaus	20
4.1.3	Puskurivyöhyke.....	21
4.1.4	Ulkovaippa	21
4.2	Talotekniset keinot.....	22
4.2.1	Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen.....	23
4.2.2	Lämmitys	27
4.2.3	Jäähdytys	29
4.2.4	Ilmanvaihto	30
4.2.5	Käyttövesi	31
4.2.6	Rakennusautomaatio	32
5	DYNAAMINEN SIMULOINTI	33
6	KOHTEEN JA TAVOTTEIDEN ESITTELY	34
6.1	Simuloitava kohde	34
6.2	Simuloinnin tavoitteet.....	34
7	ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEIDEN SIMULOINTI	37
7.1	Perusversio.....	37
7.2	Tilanne 1, hybridijärjestelmän simulointimalli.....	42
7.3	Tilanne 2, tavanomaisen järjestelmän simulointimalli	44
7.4	Simulointi.....	45
7.5	Aurinkopaneelien mitoitus.....	47
8	SIMULOINTIEN TULOKSET.....	53
9	POHDINTA.....	56
	LÄHTEET.....	59

LIITTEET	63
Liite 1. Aurinkopaneelipinta-alan mitoituskuviot	63
Liite 2. Simulointien vertailuraportti	64
Liite 3. Yhteenveto rakennuksen energiatehokkuudesta hybridijärjestelmällä	71
Liite 4. Yhteenveto rakennuksen energiatehokkuudesta tavanomaisella järjestelmällä	72

1 JOHDANTO

Suomessa vuoden 2018 alussa voimaan tullut uusi rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö kiristää rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia. Tämän työn tarkoituksena on esitellä lainsäädännön vaikutuksia uusille asuinkerrostaloille ja esittää kaksi erilaista vaihtoehtoa uusien vaatimusten täyttämiseksi.

Työn tavoitteena on luoda simulointimallit hybridilämmitykselle, joka sisältää maalämmön, maajäähdytyksen, aurinkopaneelit ja kaukolämmön sekä tavanomaiselle ratkaisulle, joka sisältää kaukolämmön, jäähdytyskoneikon ja aurinkopaneelit. Simulointituloksien perusteella pyritään selvittämään uusiutuvan omavaraisenergian hyödyntämismahdollisuuksia eri tilanteissa. Tässä työssä ei otettu kantaa ratkaisujen taloudelliseen kannattavuuteen.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa esitellään uuden energiatehokkuuslainsäädännön taustoja ja muuttuneita kohtia sekä energiaselvitykseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi työssä esitellään rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä arkkitehtuurisesta ja taloteknisestä näkökulmasta.

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia toimenpiteitä on tutkittu EQUA simulaation AB:n IDA- Indoor Climate and Energy simulointiohjelmalla. IDA ICE on moniöhykemallinnukseen tarkoitettu simulointiohjelma, jolla voidaan dynaamisen simuloinnin avulla tutkia rakennuksen lämpötasetta, olosuhteita ja energian käyttöä.

2 LÄHES NOLLAENERGIARAKENTAMINEN

Lähes nollaenergiarakentamisen tarkoituksena on täyttää Euroopan Unionin antaman energiatehokkuutta koskevan direktiivin tavoitteita. EU:n tavoitteena on, että vuoden 2018 jälkeen kaikki viranomaisten käytössä ja omistuksessa olevat rakennukset ovat nollaenergiarakennuksia ja vuoden 2020 jälkeen kaikkien uusien rakennettavien rakennuksien tulisi olla nollaenergiarakennuksia. Tärkeimpiä syitä rakennusten energiatehokkuuden kehittämiseksi ovat ilmastonmuutoksen hillitseminen, energiariippuvuuden vähentäminen, energian kysynnän hallitseminen ja toimitusvarmuuden lisääminen, teknologian kehityksen ja innovoinnin edistäminen sekä työllisyyden ja aluekehityksen tukeminen. (Ympäristöministeriö 2017.)

Suomessa uudet asetukset astuivat voimaan 1.1.2018. Tämän jälkeen kaikki rakennuslupaa hakevat rakennukset ja laajennukset, lukuun ottamatta asetuksessa esitetyjä poikkeuksia, tulevat olemaan lähes nollaenergiarakennuksia. Lähes nollaenergiarakennuksen määritelmä on, että sen energiatehokkuus on erittäin korkea, ja jonka tarvitsema energia katettaisiin suurimmilta osin uusiutuvalla energialla. (Ympäristöministeriö 2017.)

2.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU on Euroopan parlamentin ja neuvoston uudelleen laadittu direktiivi vanhasta 2002/91/EY direktiivistä. Uuden direktiivin tarkoituksena on vähentää hiilidioksidipäästöjä parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Rakennusten osuus energiankulutuksesta on Euroopan unionissa noin 40 prosenttia ja kasvihuonepäästöistä 35 prosenttia. Eniten energiaa kuluttavia järjestelmiä rakennuksissa ovat lämmitys, lämmin käyttövesi, jäähdytys ja valaistus. (HE 86/2017.)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivissä esitetään vähimmäisvaatimukset rakennusten energiatodistusmenettelylle ja se velvoittaa ottamaan käyttöön energiatehokkuustodistukset. Direktiivi määrittää energiatodistusten laatimis- ja antamisvelvollisuudesta, sisällöstä sekä vaatimusten ulkopuolelle jäävistä poikkeuksista. (HE 86/2017.)

Hallituksen esityksellä HE 86/2017 ehdotettiin uudistettavaksi rakennusten energiatodistuksesta annettua lakia. Esityksen taustalla on Suomen hallituksen huhtikuussa 2016 Euroopan komissiolta vastaanottama virallinen huomautus, joka koskee edellä mainitun EU-direktiivin toimeenpanoa. Komission mukaan energiatodistuslain soveltamisalan ulkopuolella on enemmän rakennuksia kuin direktiivissä esitetty luettelo sallisi. (HE 86/2017.)

2.2 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017

Ympäristöministeriön asetuksella 1010/2017 päivitetään rakennuksen energiatehokkuutta koskevat vaatimukset sellaiseksi, kuin ne on maankäyttö- ja rakennuslain muutoksessa (1151/2016) nollaenergiarakentamiselle määritetty. Asetus astui voimaan 1.1.2018 ja sitä sovelletaan rakennushankkeisiin, joihin rakennuslupaa haetaan kyseisenä päivänä tai sen jälkeen. (Ympäristöministeriön perustelumuistio 2017, 1.)

Energiatehokkuusasetus korvaa aiemmin voimassa olleen rakentamismääräyskokoelman osan D3. Asetus sisältää vaatimukset uusien rakennuksien, rakennusten laajennuksien ja kerrosalaksi laskettavan tilan lisäämisen suunnittelusta ja rakentamisesta. Asetus ei koske rakennuksia, joita käytetään vähemmän kuin neljä kuukautta vuodessa, toisin sanoen kesämökkejä. Uudistuksella tavoitellaan rakentamista koskevan sääntelyn selkeyttämistä ja keventämistä. (Heikkonen 2017.)

Uusi asetus on sisällöltään pitkälti samankaltainen, kuin aiemmin voimassa ollut määräyskokoelman osa D3. Alla on lueteltu eroavaisuuksia osan D3 ja uuden asetuksen välillä käyttötarkoitukseluokan 2 rakennuksille (asuinkerrostalot). (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017.)

- Energiatohokkuus luvun (E-luku) raja-arvot (taulukko 1)
- Valaistuksen lämpökuorma on pienennetty $11 \text{ W/m}^2 \rightarrow 9 \text{ W/m}^2$
- Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeena voi laskennassa käyttää 15 prosenttia taulukossa mainittuja pienempiä arvoja, jos rakennuksen käyttövesiverkosto varustetaan vakio paineventtiilillä tai muulla vastaavalla painetasoa säätävällä tekniikalla
- Ilma-ilmalämpöpumpun asuinhuoneistoon tuottamaksi lämpöenergiaksi on kasvatettu $1000 \text{ kWh/a} \rightarrow 3000 \text{ kWh/a}$ laitetta kohden
- Mikäli asuinhuoneissa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä ja märkätiloissa sähköinen lattialämmitys, käytettiin vanhassa määräyksessä märkätilojen lämmitystehontarpeen kattamisessa 50 % sähköiselle lattialämmitykselle ja 50 % asuinhuoneiden vesikiertoiselle lämmitysjärjestelmälle. Uudessa asetuksessa käytetään 35 % sähköiselle lattialämmitykselle ja 65 % asuinhuoneiden lämmitysjärjestelmälle
- Koneellisen tulo-poistoilmajärjestelmän ominaissähkötehon yläraja on pienennetty $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \rightarrow 1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähkötehon yläraja on pienennetty $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \rightarrow 0,9 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- Vertailulämpöhäviöitä laskettaessa ilmanvaihdon poistoilman vuosihyötysuhde on kasvatettu $45 \% \rightarrow 55 \%$
- Uudeksi vaihtoehdoksi rakennuksen energiatohokkuuden osoittamiseksi on tullut rakenteellisen energiatohokkuuden vaihtoehto E-luvun laskennan tilalle
- Asuinkerrostalot, jotka ovat enintään kahdessa kerroksessa on siirretty käyttötarkoitukseluokkaan 1

2.3 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatohokkuudesta 1048/2017

Ympäristöministeriön asetuksella 1048/2017 korvataan aiemmin voimassa ollut rakennusten energiatohokkuudesta annettu asetus (176/2013). Asetus tehdään hallituksen esityksen (HE 86/2017) pohjalta. Uuteen energiatohokkuusasetukseen tehdään muutoksia energiatohokkuuden terminologiaan, laskentasaäntöihin ja rakennusten ryhmittelyyn energiatohokkuusluokituksissa. Myös energiatohokkuuslomaketta ja sen täyttöohjeita on päivitetty ja selkeytetty. Asetus astui voimaan 1.1.2018. (Ympäristöministeriön muistio 2017.) Asetuksen tarkoituksena on muodostaa yhdenmukainen kokonaisuus energiatohokkuutta koskevan

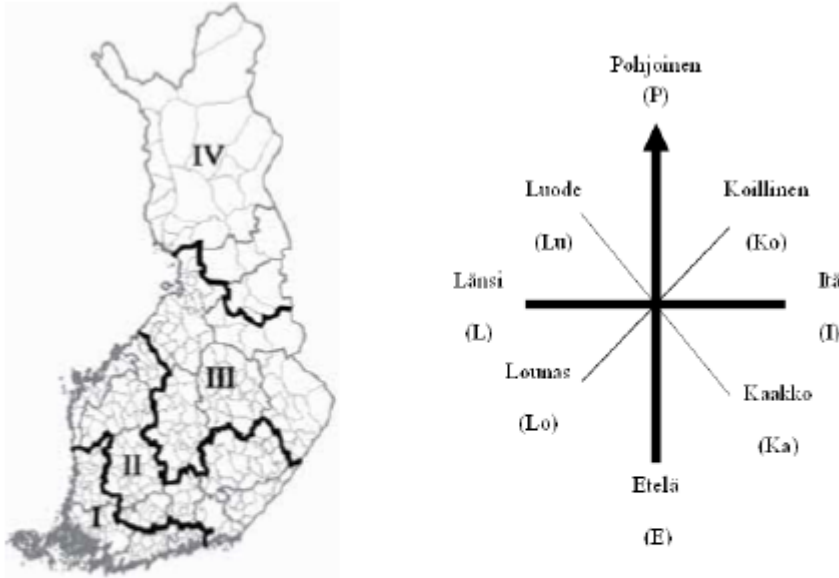
lainsäädännön kanssa. Sen on myös tarkoitus kannustaa määräystasoa energiatehokkaampaan rakentamiseen. (ProAgria keskusten liitto 2017.)

3 ENERGIASELVITYS

Rakennuslupaa haettaessa tulee liitteenä olla energiaselvitys. Se sisältää yleensä selvityksen rakennuksen lämpöhäviöiden määräysten mukaisuudesta, ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskennan, arvion rakennuksen lämmitystehontarpeesta, arvion kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja energiatodistuksen. (Energiatehokas koti 2016, Energiaselvitys.)

3.1 Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku on rakennuksen vakioidulle käytölle laskettu ostoenergiankulutus, joka on painotettu energiamuotojen kertoimilla. E-luvun yksikkö $\text{kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$ kertoo energiamuodoilla painotetun ostoenergiankulutuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. E-luku ei kuvaa rakennuksen todellista energiankulutusta, vaan sitä käytetään helpottamaan rakennusten energiankäytön vertailua. Vertailun mahdollistamiseksi E-luvun laskennassa käytetään aina säävyöhykettä I (kuva 1) riippumatta rakennuspaikasta. Mikäli rakennuksella on useampia käyttötarkoituksia voi sillä olla myös useampia E-lukuja. Tämä tulee kyseeseen silloin, kun eri käyttötarkoitusten pinta-alat ovat yli 10 prosenttia lämmitetystä nettoalasta. (Green building council Finland.)



Kuva L1.1. Säävyöhykkeet ja ilmansuuntien lyhenteet.

<i>Taulukko L1.1.</i>		<i>Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.</i>
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	
I	-26	
II	-29	
III	-32	
IV	-38	

KUVA 1. Säävyöhykkeet (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017, 17; liite 1)

Rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus koostuu vakioidulla käytöllä laskettavien lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä järjestelmien apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiamuodoittain eritellystä energiankulutuksesta. Tästä energiankulutuksesta voidaan vähentää rakennukseen kuuluvalla laitteistolla rakennuksen käyttöön ympäristöstä otettu energia. Ympäristöstä otettu energia on laskettava kuukausittain tai sitä lyhyemmissä ajanjaksoissa. (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017, 4.)

Rakennuksen E-luvulle on määritetty enimmäisraja-arvot käyttötarkoitukseluokittain. Nämä enimmäisraja-arvot on esitetty taulukossa 1. Rakennuksille on myös määritetty energiatehokkuusluokka, joka kertoo kirjaimella rakennuksen energiatehokkuudesta. Tietyille välille osuvaa E-lukua vastaa aina tietty kirjain (A-G). Taulukossa 2 on esitetty asuinkerrostalojen energiatehokkuuden luokitteluasteikot. (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017, 3.)

TAULUKKO 1. E-luvun vaatimustasot käyttötarkoituksittain (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017, 3)

Käyttötarkoitukseluokka	E-luvun raja-arvo kWh _E /(m ² a)
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset	
a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on 50-150 m ²	200-0,6 A _{netto}
b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on enemmän kuin 150 m ² kuitenkin enintään 600 m ²	116-0,04 A _{netto}
c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on enemmän kuin 600 m ²	92
d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa	105
Luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varistorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000 m ² yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	Ei raja-arvoa

TAULUKKO 2. Käyttötarkoitukseluokan 2 energiatehokkuuden luokitteluasteikot (Ympäristöministeriön asetus 1048/2017, 23)

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh _E /(m ² vuosi))
A	E-luku ≤ 75
B	76 ≤ E-luku ≤ 100
C	101 ≤ E-luku ≤ 130
D	131 ≤ E-luku ≤ 160
E	161 ≤ E-luku ≤ 190
F	191 ≤ E-luku ≤ 240
G	241 ≤ E-luku

Energiatehokkuusluokat ja niiden raja-arvot säilyvät ennallaan uudessa asetuksessa. E-luvun enimmäisraja-arvo kuitenkin pienenee. Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 oli käyttötarkoitukseluokan 2 rakennukselle määritetty E-luvun enimmäisraja-arvoksi 130 kWh/m²a, kun taas uudessa asetuksessa käyttötarkoitukseluokan 2 E-luvun enimmäisraja-arvoksi on määritetty 90 kWh_E/m²a. Tämä tarkoittaa sitä, että ennen vaatimuksen täyttävä rakennus olisi ollut energiatehokkuusluokaltaan C ja uuden asetuksen voimaan astumisen jälkeen se on B. Uudessa asetuksessa E-luvun raja-arvo on noin 30 prosenttia pienempi, kuin osassa D3 esitetty. Käytännössä vaikutus todelliseen ostoenergiankulutukseen ei ole näin suuri, koska energiamuodon kertoimien pienentyminen vaikuttaa myös E-luvun pienentymiseen (Tekniikka & talous 2016).

3.2 Energiamuotojen kertoimet

Energiamuotojen kertoimet ovat eri energiamuodoille määritettyjä lukuaroja. Nämä luku-arvot ovat kansallisesti säädettävissä, mutta vaatimus numeroarvoisen primäärienergiakäytön indikaattorista on alun perin annettu rakennusten energiatehokkuusdirektiivissä (2010/31/EU). Energiamuotojen kertoimilla pyritään poliittisesti vaikuttamaan rakennusten kasvihuonepäästöjen vähentämiseen ja siirtymiseen uusiutuvan energian käyttöön. (Valtioneuvoston muistio 2017, 1.)

Eri energialähteille määritetyt energiamuodon kertoimet kuvastavat luonnonvarojen käyttöä. Energiamuodon kertoimella otetaan huomioon rakennuksen elinkaaren aikaisen energiankulutuksen vaikutus luonnonvarojen käyttöön. Kertoimilla ohjataan kohti energiatehokasta rakentamista ja kestävää luonnonvarojen käyttöä. Mitä suurempi energialähteen kerroin on, sitä vähemmän energiaa kuluttavaksi talo on rakennettava. (Valtioneuvoston muistio 2017, 3.)

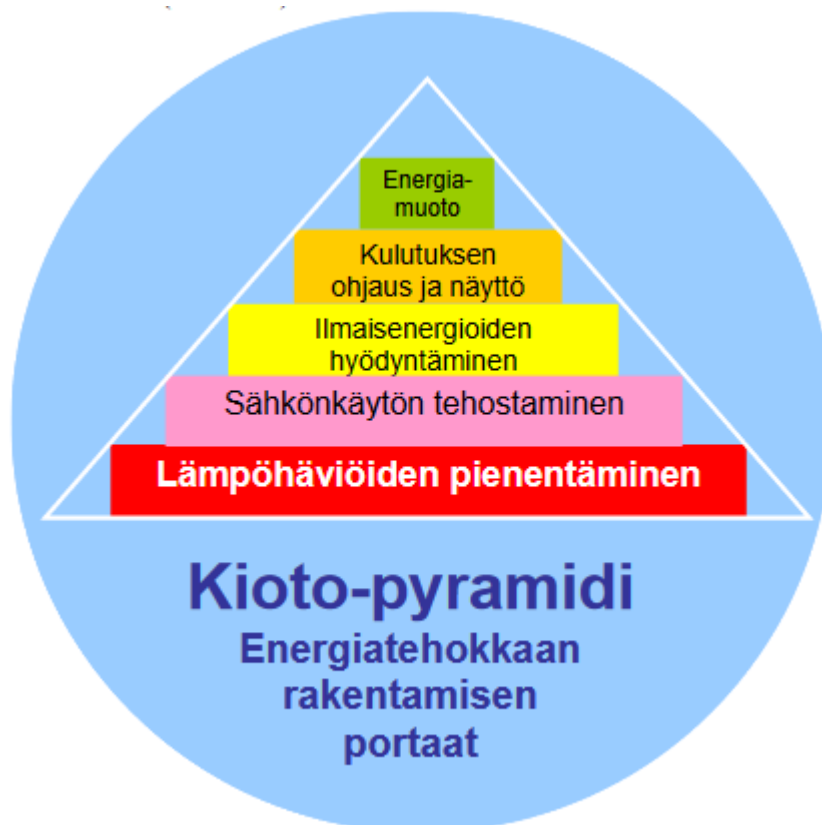
Valtioneuvoston asetuksessa 788/2017 annetut uudet energiamuodon kertoimien luku-arvot kumoavat vanhat asetuksessa 9/2013 annetut luku-arvot. Taulukossa 2 on esitetty energiamuotojen kumotut ja uudet kertoimet.

TAULUKKO 2. Energiamuotojen kertoimet

	15.1.2013-31.12.2017	1.1.2018 →
Sähkö	1,7	1,2
Kaukolämpö	0,7	0,5
Kaukojäähdytys	0,4	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1	1
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5	0,5

4 ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMISEN KEINOJA

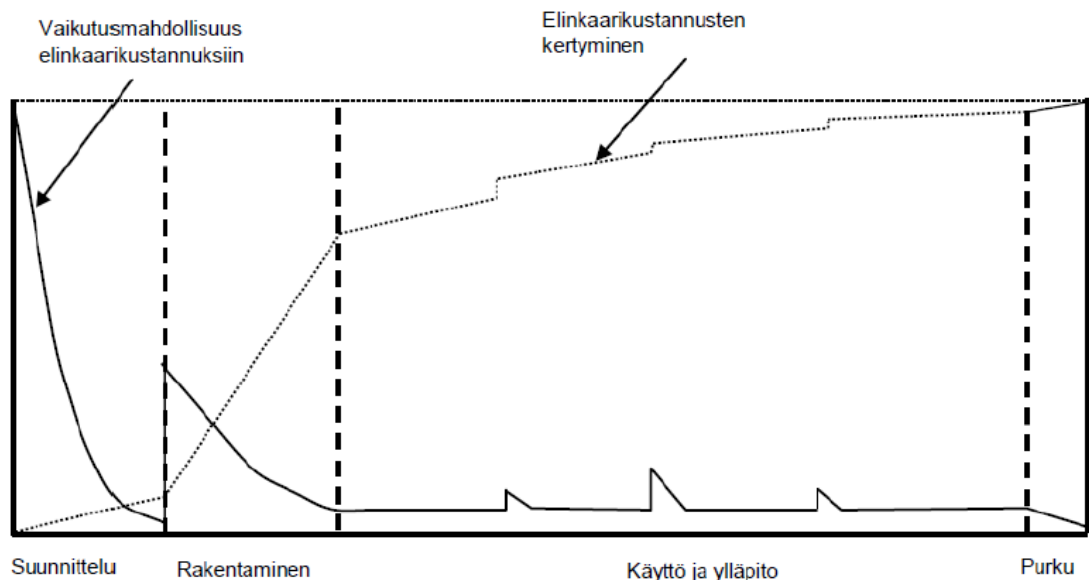
Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa monin eri keinoin. Se ei kuitenkaan muodostu ainoastaan yksittäisistä ratkaisuista vaan toimivasta kokonaisuudesta. Energiatehokasta rakentamista voidaan kuvata ns. Kioton pyramidilla (kuvio 1). Siinä energiatehokkuuden parantamisen perustana on rakennuksen ja sen järjestelmien lämpöhäviöiden pienentäminen. Tämä tarkoittaa käytännössä ulkovaipan hyvää lämmöneristystä, pientä vuotoilmavirtaa, ikkunoiden aurinkosuojausta ja ilmanvaihtokoneen tehokasta lämmöntalteenottoa. Tämän jälkeen tarkastelun kohteena ovat järjestelmien energiankäytön tehostaminen, ilmaisenergioiden hyödyntäminen, laitteiden tarpeenmukaisen käytön ja kulutuksen varmistaminen. Viimeisenä valitaan alemmilla tasoilla alennetun energiankulutuksen perusteella tarvittava energiantuotantomuoto. (Ympäristöministeriö 2012, 6.)



KUVIO 1. Energiatehokkaan rakentamisen portaat (Ympäristöministeriö 2012, 6)

Energiatehokasta rakennusta toteutettaessa korostuu eri osapuolien yhteistyö. Erityisesti onnistuneeseen lopputulokseen vaikuttaa suunnittelijoiden pätevyys ja toiminta tiiviissä yhteistyössä. Rakennukselle tulisi asettaa selkeä energiatehokkuustavoite, johon pyritään. Tämä auttaa ohjaamaan ja varmistamaan eri suunnittelualojen toiminnan samaa päämäärää kohti. (Lylykangas ym. 2015, 15.)

Suunnittelun lähtökohtana tulisi käyttää rakennukselle tehtyä energialaskentaa. Energialaskenta tulisi toteuttaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelua. Alkuvaiheessa tehtyä energialaskentaa voidaan hyödyntää suunnittelun edetessä ja siihen voidaan eri suunnittelualojen toimesta ehdottaa parantavia muutoksia. Energialaskijan tehtävänä onkin arvioida ehdotettujen muutosten vaikutusta energiatehokkuuteen ja kustannuksiin. Vaikuttaminen rakennuksen energiatehokkuuteen ja elinkaarikustannuksiin tapahtuu pääosin suunnitteluvaiheessa, mikä edelleen kasvattaa huolellisen valmistelun merkitystä. (Lylykangas ym. 2015, 15; Juvela 2017.) Kuviossa 2 on esitetty elinkaarikustannusten muodostumista rakennushankkeen eri vaiheissa. Kuvio 2 tukee myös vahvasti edellä mainittua panostusta suunnitteluun, jonka kustannukset ovat suhteessa erittäin pienet kyseisen vaiheen vaikutusmahdollisuuksiin ja kokonaiskustannuksiin nähden.



KUVIO 2. Mahdollisuudet vaikuttaa elinkaarikustannuksiin rakennushankkeen eri vaiheissa (Juvela 2017, 9, alkuperäinen Kosonen 1999, 11.)

4.1 Arkkitehtuuriset ja rakenteelliset keinot

Lähes nollaenergiarakennuksen arkkitehtisuunnittelun hyvänä lähtökohtana on välttää monimuotoista rakennusta ja poikkeuksellisen suuria ikkunapinta-aloja. Nämä vaihtoehdot ovat myös mahdollisia, mutta niitä käytettäessä on osoitettava tekniset ratkaisut, joilla korvataan epäedullisen muodon ja suurten ikkunapinta-alojen haitta energiankulutukselle. (Sepponen ym. 2013, 16; Lylykangas ym. 2015, 29.) Rakennuksen muodon yksinkertaistamisella saavutetaan yleensä myös investointi- ja ylläpitokustannusten pienentymistä. Rakennuksen muotoa ei tulisi kuitenkaan suunnitella pelkästään energiatehokkuuden kannalta vaan tulisi myös huomioida laadulliset ei-mitattavat ominaisuudet, jotka määrittelevät monella tapaa rakennuksen arvoa. (Lylykangas ym. 2015, 29.)

Lisäksi suunnittelussa tulisi alusta asti huomioida aktiivisen aurinkoenergian tuotantoon tarvittavien paneelien ja keräimien tilavaraukset, suuntaus sekä sijoittelu. Aktiivisella aurinkoenergian tuotannolla tavoitellaan mahdollisimman hyvää tuotantopotentiaalia. Nämä seikat saavutetaan julkisivun suuntauksella etelään ja mahdollisuudella asentaa katolle tulevat paneelit tai keräimet sijainnin kannalta optimaaliseen kulmaan. (Sepponen ym. 2013, 16.) Aurinkoenergian hyödyntämistä on tarkasteltu tarkemmin luvussa 4.2.1.

Myös tilojen sijoittelulla on merkitystä rakennuksen energiatehokkuuden kannalta. Tehottomalla pohjaratkaisulla voidaan aiheuttaa rakennukseen ylimääräistä lämmitettävää tilavuutta, joka taas heikentää muilla suunnitteluratkaisuilla saavutettuja energiansäästöjä. Osa rakennuksen lämmitystehontarpeesta katetaan sisäisten kuormien avulla kuten laitekuormilla. Lämmityksen kannalta onkin järkevää sijoittaa tilat, joissa on enemmän laitekuormaa, rakennuksen keskiosiin. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi keittiö ja sauna. (Sepponen ym. 2013,18.)

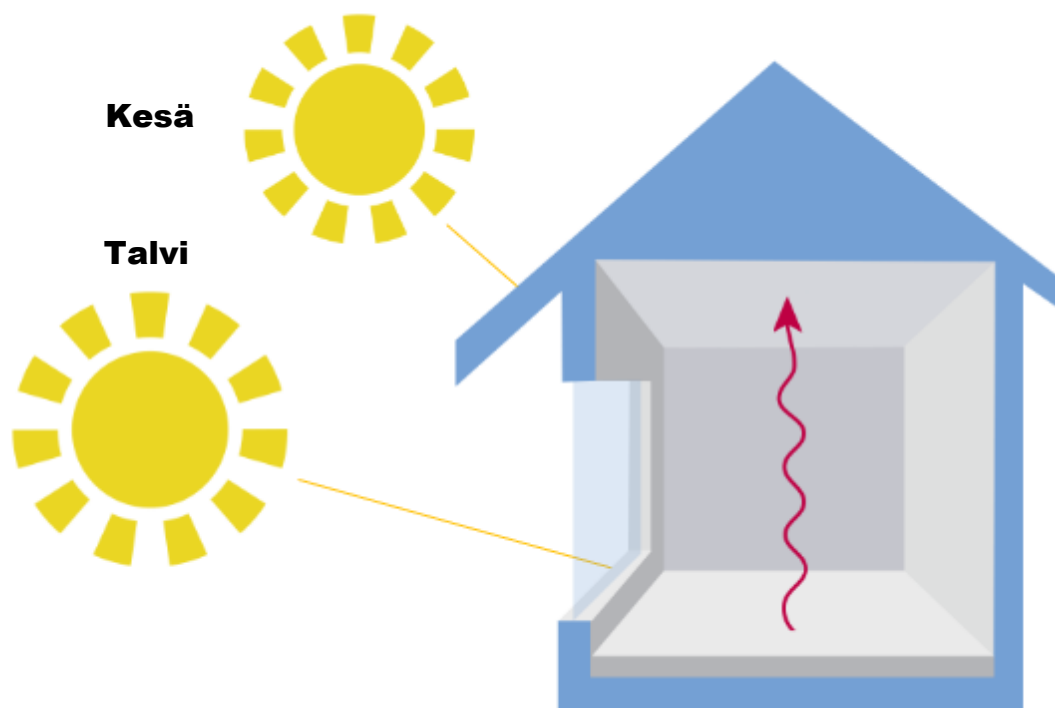
4.1.1 Ikkunat

Ikkunoiden tarkastelu energiatehokkuuden kannalta sisältää yleensä niiden vaikutuksen lämmitys- tai jäädytystarpeeseen. Ikkunoita suunniteltaessa on myös tärkeää tarkastella sisätilojen luonnonvalo-olosuhteita, jotka vaikuttavat merkittävästi asumisviihtyvyyteen

(Lylykangas ym. 2015, 33). Sisätilojen visuaaliseen viihtyvyyteen vaikuttaa luonnonvalon lisäksi näköyhteys ulkomaailmaan. Tämä tulisi ottaa huomioon myös aurinkosuojuuksia suunniteltaessa. (Beck ym. 2011, 10.)

Suuret ikkunapinta-alat lisäävät lämpöhäviöitä, koska kaikkein lämmöneristävimmätkin ikkunat ovat olennaisesti huonommin lämmöneristäviä, kuin ulkoseinä (Lylykangas ym. 2015, 32). Ikkunoilla voidaan kuitenkin vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen hyödyntämällä passiivista aurinkoenergiaa. Tällä tavoin voidaan pienentää rakennuksen lämmitysenergian ja sähkövalaistuksen tarvetta. (Kukka 2016, 9-10.)

Passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiseksi lämmitystehon tarpeen pienentämisessä tulisi suurimmat ikkuna pinta-alat olla suunnattuna etelän suuntaan. Tämä perustuu auringon säteiden tulokulmaan ikkunasta sisään. Talvella, kun auringon säteet tulevat etelän suunnasta matalammalta, pääsevät ne sisään rakennukseen (kuva 2). Kesällä taas, kun auringon säteet tulevat korkeammalta, voidaan niiden pääsy ikkunoista sisään estää esimerkiksi kaihtimilla, aurinkosuojalaseilla tai kiinteällä aurinkosuojuuksella. Kesäaikainen auringonsäteily aiheuttaa tiloissa ylikuumenemistä ja näin ollen lisää jäähdytystarvetta, joka taas lisää energiankulutusta. (Kukka 2016, 10; Sepponen ym. 2013,18-19.) Hyödynnettäessä passiivisesti aurinkoenergiaa ikkunoiden tulisi olla hyvin lämmöneristäviä, eli omata pieni U-arvo ja niiden tulisi läpäistä runsaasti auringonsäteilyä eli niillä tulisi olla suuri g-arvo (Kukka 2016, 10).



KUVA 2. Auringon tulokulmat kesällä ja talvella (Kukka 2016, 10)

VTT:n SunZEB-hankkeessa on simuloitu ikkunoiden suurentamisen vaikutusta tilojen lämmitystarpeeseen. Hankkeen raportissa todetaan, että pientaloissa on mahdollista ikkunakokoa kasvattamalla saavuttaa tilanne, jossa lämmitysenergiatarve pienenee eli ikkunoista aiheutuu vähemmän lämpöhäviöitä kuin niistä saadaan auringon lämpöenergiaa. Hankkeessa suoritetuissa simulaatioissa ei havaittu samanlaista vaikutusta asuinkerrostoille, vaan lämpöhäviöt kasvoivat ikkunoiden kokoa kasvatettaessa. Raportissa kuitenkin todetaan ikkunoiden kasvattamisen vaikuttavan asumisviihtyvyyteen ja energiansäästöön valaistuksen sähkönkulutuksessa. (Shemeikka ym. 2015, 10-11.)

4.1.2 Aurinkosuojaus

Aurinkosuojauksella pyritään vaikuttamaan rakennuksen energiatehokkuuteen ja sisätilojen viihtyvyyteen. Energiatehokkuuden kannalta aurinkosuojauksen merkitys korostuu kesäaikana, jolloin pyritään estämään auringonsäteiden haitallinen lämmittävä vaikutus sisätiloissa. Talviaikana aurinkosuojauksen taas tulisi päästää auringonsäteet sisään rakennukseen, jolloin saadaan hyödynnettyä sen lämmittävä vaikutus. (Kukka 2016, Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen, 15; Lylykangas ym. 2015, 37.)

Aurinkosuojaajat voivat olla kiinteitä varjostavia rakenteita, manuaalisesti ohjattavia tai automaattisesti säätyviä kaihtimia ja julkisivurakenteita. Auringon säteilyltä voidaan myös suojaautua lasin ominaisuuksiin vaikuttamalla, mutta se ei ole yleensä järkevää, koska se vähentää auringon lämmittävää vaikutusta myös lämmityskaudella. Aurinkosuojauksen tehokkuuteen vaikuttaa sen sijainti ikkunan syvyys suunnassa. Aurinkosuojaus toimii sitä paremmin, mitä ulompana esimerkiksi kaihdin ikkunassa sijaitsee. (Lylykangas ym. 2015, 37.)

Aurinkosuojauksen valinta ei ole yksiselitteistä ja siihen vaikuttaakin monet erilaiset tekijät. Valintaa tehdessä tulisi ottaa huomioon ainakin seuraavia seikkoja: ilmasto, rakennuksen suunta, vallitsevat tuuliolot, rakennuksen korkeus, rakennuksen ominaisuudet, rakenteen yksityiskohdat sekä käyttäjän odotukset ja käyttötottumukset. Nämä seikat pätevät varsinkin rakennuksen ulkopuolelle asennettaviin aurinkosuojaajiin. (Beck ym. 2011, 43.)

4.1.3 Puskurivyöhyke

Auringosta saatavaa passiivista energiaa voidaan hyödyntää puskurivyöhykkeen avulla. Puskurivyöhykkeellä tarkoitetaan etelän suuntaan sijoitettavaa lasitettua tilaa. Lasitettu tila voi olla esimerkiksi viherhuone, kuisti tai lasitettu parveke. Puskurivyöhykkeen perusajatus on, että tilan lämpötila nousee auringonsäteilyn vaikutuksesta ulkolämpötilaa korkeammaksi ja näin ollen saadaan pienennettyä lämpötilaeroa rakennuksen sisä- ja ulko-osien välillä. Puskurivyöhykettä suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava myös sen kestäväikäinen lämpötilanhallinta. (Kukka 2016, Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen, 12; Lylykangas ym. 2015, 42.)

4.1.4 Ulkovaippa

Energiatehokkaassa rakennuksessa hyvä lämmöneristys on keskeinen tekijä. Hyvin eristetty ja ilmatiivis ulkovaippa tekee rakennuksesta vedottoman ja asumisviihtyvyydeltään hyvän. (Energiatehokaskoti 2016, Lämmöneristys.) Energiatehokkaiden rakennusten rakenneratkaisut ovat usein tavanomaisia, mutta niissä huomioidaan myös rakennuskokonaisisuuden energiatehokkuus (Sepponen ym. 2013, 21).

Lämmöneristävyys tulee määritellä hankekohtaisesti, toisin sanoen tarvitaanko määräystasoa parempaa lämmöneristävyyttä kompensoimaan muita tehtyjä ratkaisuja. Lämmöneristävyyttä parantaessa tulee kuitenkin huomata, että lämmöneristävyys ei suurilla eristepaksuuksilla kasva enää lineaarisesti eristepaksuuden kasvaessa. (Sepponen ym. 2013,21.) Esimerkiksi Petteri Elonen mainitsee Talotekniikka-lehden artikkelissa, että kerrostaloissa ulkoseinän U-arvon parantamisella ei käytännössä saavuteta suurta hyötyä, koska ulkoseinä on pääosin parveketta tai lasia (Kärkkäinen 2017, 18).

Energiatehokkaassa rakennuksessa ulkovaipan ilmanpitävyydellä on suuri vaikutus energiatehokkuuteen. Hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi tärkeässä osassa ovat yksinkertaiset ja hyvin suunnitellut rakenteet ja rakenteeseen liittyvät yksityiskohdat. (Sepponen ym. 2013,22.) Ulkovaipan ilmanpitävyydellä myös varmistetaan ilmanvaihdon oikeanlainen toiminta. Tiivis ulkovaippa edellyttää koneellisen ilmanvaihdon tarkkaa säätöä, mutta pienet vuotoilmavirrat myös helpottavat oikeiden säätöjen aikaansaamisessa. Tiiviin ulkovaipan toteuttaminen on mahdollista aivan tavallisessakin rakentamisessa, toteutukseen vaaditaan ainoastaan laatutietoista rakentamista. (Lylykangas ym. 2015, 73, 75.)

Asumisen rahoitus ja kehittämiskeskuksen lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeessa ulkovaipan ilmanvuotoluvuksi n_{50} esitetään korkeintaan $0,4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$. Rakenteellisen energiatehokkuuden oppaassa taas rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden ja sisätilojen vedottomuuden varmistamiseksi ilmanvuotoluvun n_{50} tavoitearvoksi esitetään $1,0 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$. (Sepponen ym. 2013, 22; Lylykangas ym. 2015, 73.)

4.2 Talotekniset keinot

Talotekniikalla tarkoitetaan kiinteistön ja sen tilojen teknisten järjestelmien ja laitteiden kokonaisuutta. Talotekniikalla tuotetaan rakennukselle vaaditut asumisolosuhteet hallitusti. Keskeisin osa talotekniikkaa ovat LVI- ja sähkötekniikka. Talotekniikkaan kuuluvat myös jäähdytys-, kulunvalvonta-, tele- ja data- sekä palontorjuntajärjestelmät. Näiden järjestelmien ohjaukseen käytetään rakennusautomaatiojärjestelmää. (Talotekniikkateollisuus ry n.d, 4.)

Taloteknisillä keinoilla voidaan usein vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen kustannustehokkaimmin (LVI-Tekniset Urakoitsijat. n.d). Talotekniikan avulla voidaan räätälöidä erilaisia ratkaisuja tukemaan energiatehokasta rakennusta. Energiaa voidaan säästää järkevillä laitevalinnoilla ja tarpeenmukaisten vaatimusten asettamisella järjestelmille. Taloteknisillä järjestelmillä voidaan tehokkaasti hyödyntää uusiutuvia energiamuotoja. Yleisimmin asuinrakennukset hyödyntävät uusiutuvaa energiaa maalämmön ja aurinkoenergian muodossa.

4.2.1 Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen

Aurinkoenergian hyödyntäminen Suomessa on pohjoisesta sijainnista huolimatta järkevää. Hyödyntämismahdollisuudet perustuvat paneelien ja keräimien kallistamiseen etelää kohti. Näin saadaan optimoitua auringosta saatava säteilymäärä. Aurinkoenergiaa voidaan tuottaa esimerkiksi Lappeenrannassa yhtä paljon kuin Frankfurtissa. Aurinkoenergia ei Suomessa yksin ole riittävä energian tuotantomuoto, mutta se toimii hyvin esimerkiksi sähköä, lämpöä tai jäähdytystä täydentävänä energian lähteenä. (Auvinen ym. 2016, 17-18.)

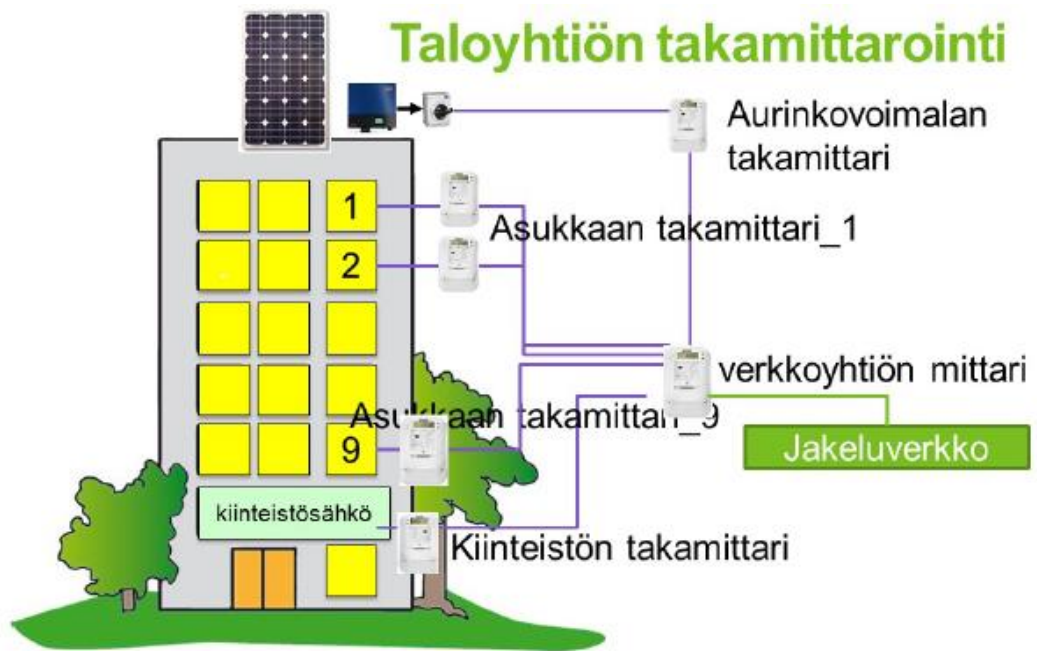
Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen voidaan jakaa tuotantotyyppin perusteella kahteen eri osaan. Aurinkosähköä voidaan tehdä paneeleilla, joista yleisesti käytetään nimitystä PV- paneeli (Photovoltaic). Aurinkolämpöä taas voidaan tehdä aurinkokeräimillä, joista taas käytetään lyhennystä ST (Solar thermal). Aurinkosähköjärjestelmät voidaan edelleen jakaa kahteen tyyppiin. Ensimmäinen vaihtoehto on On Grid -järjestelmä, joka on kytkettynä sähköverkkoon. Tällöin kiinteistössä käyttämättä jäänyt auringosta saatu sähköenergia syötetään sähköverkkoon. Toinen vaihtoehto on Off Grid -järjestelmä, joka on niin sanottu mökkijärjestelmä. Off Grid -järjestelmässä tuotettu sähköenergia varastoidaan akustoon ja käytetään suoraan tuotantokohteessa. Aurinkolämpöjärjestelmät voidaan jakaa nestekiertoisiin- ja ilmakiertoisiin aurinkokeräimiin. (Kukka 2016, Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen.)

Tuottamalla aurinkosähköä voidaan vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Tuotettu sähköenergia vähentää suoraan ostetun sähköenergian määrää. Samassa kiinteistössä tuotettu sähköenergia voidaan suoraan vähentää E-lukuun vaikuttavasta sähkön kulutuksesta. Sähkön energiamuodon kertoimen ollessa 1,2 vaikuttaa se E-lukuun merkittävästi.

Tuottamalla aurinkolämpöä voidaan se myös vähentää ostettavan lämmitysenergian määrästä. Tällä ei kuitenkaan esimerkiksi kaukolämmöllä lämmitetyissä rakennuksissa ole E-lukuun yhtä suurta vaikutusta kuin tuotetulla sähköllä, koska kaukolämmön energiamuodon kerroin on ainoastaan 0,5.

Oleellista aurinkosähkön tuottamisessa on, että sähkö hyödynnetään suurimmaksi osin itse. Tämä perustuu siihen, että myytävästä sähköstä saatu korvaus ei ole kovinkaan suuri verrattuna ostettuun sähköön. Rakennuksella hyödynnetystä aurinkosähköstä saaduksi hyödyksi voidaan ajatella verkkoyhtiöltä ostetun sähkön hinta, joka on noin 13 senttiä kilowattitunnilta sisältäen sähkön siirron ja veron. Sähköä myytäessä siitä saatava korvaus on vain noin 2-6 senttiä kilowattitunnilta. (Käpylehto 2016, 93, 129-130.)

Aurinkosähköä voidaan asuinkerrostaloissa hyödyntää kolmella eri tavalla: liitettynä suoraan yksittäisen huoneiston kulutukseen, kiinteistösähköön tai takamittarointiin. Yksittäiselle huoneistolle liitetty järjestelmä on harvoin kannattava. Kiinteistösähköön liitetty järjestelmä on yleisimmin käytössä oleva tapa, tällöin järjestelmän koko mitoitetaan kiinteistön teknisten järjestelmien ja yhteistilojen valaistuksen sähkönkulutuksen perusteella. Mikäli halutaan kasvattaa aurinkosähköjärjestelmän kokoa, on vaihtoehtona takamittarointi (kuva 3). Tällä menetelmällä tuotetaan sähköä kiinteistösähkön lisäksi myös asuntojen käyttöön, mikä lisää sähkönkulutuksen pohjakuormaa. Suurella asuntojen määrällä ja ihmisten erilaisilla päivärytmeillä on vaihteleva kulutus, minkä avulla saadaan tasattua vuorokauden eri aikojen sähköntarvetta ja näin minimoitua verkkoon syötetyn ja ostosähkön määrää. Takamittaroinnin ongelmana on, että kaikkien taloyhtiön osakkaiden tulisi sitoutua ostamaan sähkö taloyhtiöltä, joka toimii tässä tilanteessa verkkoyhtiönä. (Auvinen ym. 2016, 90-91; Käpylehto 2016, 112-113, 133-134.)



KUVA 3. Taloyhtiön takamittaroinnin periaatekuva (Auvinen ym. 2016, 91)

Yleisimmin käytössä olevat aurinkopaneelit ovat yksikide- ja monikidepaneeleita. Yksikidepaneeleiden hyötysuhde on hieman korkeampi kuin monikidepaneeleilla. Toisaalta monikidepaneeli hyödyntää tehokkaammin auringon hajasäteilyä ja näin ollen se ei ole yhtä herkkä varjostuksille kuin yksikidepaneeli. Hinnaltaan monikidepaneeleit ovat halvempia kuin yksikidepaneeleit, tämä selittyy yksikidepaneeleiden monimutkaisemmalla valmistusmenetelmällä. Aurinkopaneelien hyötysuhteella kuvataan sitä, kuinka suuren osan auringon säteilyintensiteetistä paneeli pystyy muuttamaan sähköenergiaksi. (Käpylehto 2016, 57-58; Kukka 2016, Kennoteknologiat.) Taulukossa 3 on esitetty yhden kilowatin nimellistehoisen aurinkosähköjärjestelmän vuosituotantoja eri puolilla Suomea. Taulukossa 4 on esitetty muutamia aurinkopaneelien kennotyyppejä hyötysuhteineen.

TAULUKKO 3. Yhden kilowatin nimellistehoisen aurinkosähköjärjestelmän vuosituotanto eri puolilla Suomea eri kallistuskulmilla. Paneelit suunnattu kohti etelää. (alkup. Käpylehto 2016, 121)

	15 astetta	35 astetta	60 astetta	Optimi kulma	Tuotanto optimi-kulmassa
Helsinki	811 kWh	869 kWh	837 kWh	40 astetta	872 kWh
Jyväskylä	754 kWh	816 kWh	793 kWh	42 astetta	821 kWh
Rovaniemi	709 kWh	790 kWh	790 kWh	47 astetta	802 kWh

TAULUKKO 4. Kaupallisessa käytössä olevia kennotyyppejä hyötysuhteineen (alkup. Kukka 2016, kennoteknologiat)

Kennotyyppi	Hyötysuhde
Yksikidekennot	16-25 %
Monikidekennot	< 20 %
Ohutkalvokennot	6-13 %

Aurinkopaneeleita on mahdollista asentaa rakennukseen perinteisen katto- tai maa-asennuksen lisäksi kiinteästi osaksi rakennusta, mitä kutsutaan rakenneintegroinniksi. Tällöin rakennuksessa on aurinkosähköjärjestelmä, joka toimii rakennuksen katteena, julkisivuna, ikkunana tai koriste-elementtinä. Rakenneintegrointi tarjoaa mahdollisuuden suurempaan paneelipinta-alaan ja sillä voidaan luoda arkkitehtuurisesti erilaisia visuaalisia ratkaisuja. (Kukka 2016, PV rakenneintegrointi.) Kuvissa 4 ja 5 on esitetty rakennuksen passiivisen aurinkosuojauksen yhteyteen asennetut aurinkopaneelit sekä lukkosaumapel-tikattoon liimatut ohutkalvopaneelit.



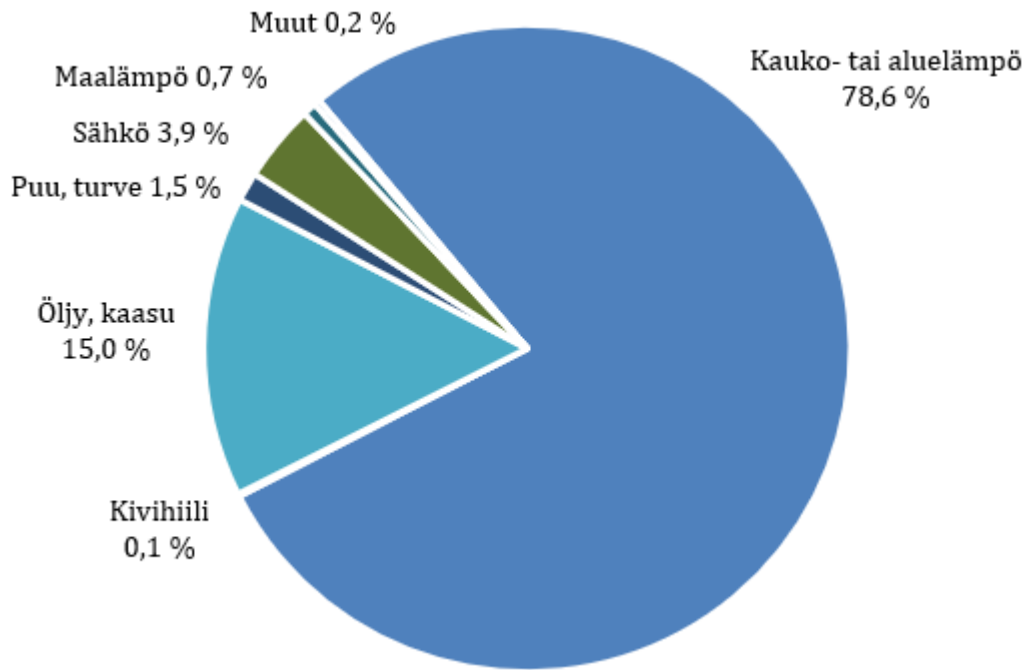
KUVA 4. Ikkunoiden yläpuoliseen aurinkosuojaukseen integroidut aurinkopaneelit Järvenpään nollaenergiatalossa (Kuva: Kivioja 2017)



KUVA 5. Lukkosaumapelteihin asennetut CIGS-ohutkalvopaneelit (Virte Solar Oy)

4.2.2 Lämmitys

Asuinrakennuksissa yleisimmät käytössä olevat lämmöntuotantotavat ovat kaukolämmitys, öljylämmitys, sähkölämmitys ja kiinteän polttoaineen kuten puun käyttö (Seppänen 2001, 1). Kaukolämpö on asuinkerrostaloissa käytetyin lämmöntuotantotapa (kuvio 3). Maalämmön osuus asuinkerrostalojen lämmöntuotannosta on toistaiseksi vielä erittäin pieni. Yle uutisten artikkelissa kuitenkin todetaan, että vaikka maalämmön valinneiden asuinkerrostalojen määrä on vielä pieni, niin kiinnostus kyseistä lämmitysmuotoa kohtaan on koko ajan lisääntynyt (Tuhkanen 2017).



KUVIO 3. Asuinkerrostalot Suomessa pääasiallisesti käytetyn lämmitysaineen mukaan vuonna 2016, %-osuus rakennusten määrästä (Pönniö 2017, alkuperä: tilastokeskus)

Lämmönjakelu rakennuksiin toteutetaan tavallisimmin vesikiertoisella, ilmalämmitteisellä tai sähkölämmitteisellä järjestelmällä (Seppänen 2001, 1). Asuinkerrostaloissa yleisimmin käytössä on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, mikä käytännössä tarkoittaa patterilämmitysverkostoa tai lattialämmitysverkostoa.

Uudet lähes nollaenergiarakennukset ovat kuitenkin hyvin lämmöneristettyjä ja ilmanpitäviä. Tästä johtuen rakennuksen lämpöhäviöt ovat pieniä, eikä tavallisesti käytettyjä lämmönjakojärjestelmiä, kuten radiaattoreita tai lattialämmitystä välttämättä tarvita. Lämmönjako voidaan nollaenergiarakennuksissa hoitaa ilmanvaihtolämmityksen avulla. (Sepponen ym. 2013, 24.)

Pienen lämpöhäviön omaavassa rakennuksessa perinteiset radiaattorit ovatkin suurimman osan vuodesta kylminä, eikä niillä näin ollen voida vaikuttaa tilojen lämpötilaan kuin kaikkein kylmimmillä ulkolämpötiloilla. Ilmanvaihtolämmityksellä toteutettuna saavutetaan lämpötilan säätöön nopea reagoitokyky ja tarpeenmukaisuus. (Tampereen Tilakeskus liikelaitos 2017, 10.) Esimerkiksi Rakennusliike Reponen Oy:n Mera -konsepti hyödyntää kerrostaloissa ilmanvaihtolämmitystä (Rakennusliike Reponen Oy n.d.). Vaikka

rakennuksessa on ilmanvaihtolämmitys edellyttää se kuitenkin märkätilojen lattialämmitystä.

Lämmitysjärjestelmillä voidaan vaikuttaa asuinrakennuksen energiatehokkuuteen pääasiassa lämmöntuotantomuodon valinnalla. Käytännössä valinta kohdistuu uusissa asuinkerrostaloissa kaukolämmön ja maalämmön välille. Myös suoran sähkölämmityksen vaihtoehto on olemassa sähkön energiamuodon kertoimen laskettua. Tämä vaihtoehto kuitenkin vaatisi tarkempaa tarkastelua.

Maalämmön avulla voidaan käyttää hyödyksi tontin maaperästä saatavaa ilmaisenergiaa. Myös sähkön energiamuodon kertoimen pienentyminen parantaa maalämmön kannattavuutta. Maalämmölle pitää hakea erikseen lupa, jotta tontille saadaan porata lämpökaivot. Asemakaavassa on myös voitu määrittää liittymisvelvollisuus kaukolämpöön, mikä voi olla este tälle vaihtoehdolle. Maalämpö tarjoaa paremmat mahdollisuudet hyödyntää aurinkoenergiaa. Esimerkiksi lämmityskauden ulkopuolella ylimääräistä lämpöenergiaa voidaan varastoida maahan, josta sitä saadaan lämmityskaudella hyödynnettyä.

Tavallisesti käytössä oleva yhden lämmitysjärjestelmän käytäntö ei kuitenkaan ole ainoa vaihtoehto. Lämmitysjärjestelmiä voidaan myös yhdistellä toimimaan vuorotellen tai saman aikaisesti, tällöin kyseessä on hybridilämmitys. Hybridilämmityksellä voidaan hyödyntää kunkin lämmitysmuodon parhaat puolet ja olosuhteet. Lämmitysjärjestelminä voidaan käyttää esimerkiksi kesäaikana aurinkolämpöä ja ilma-vesilämpöpumppua ja lisäksi talviaikana puulämmitystä. (Energiatehokas koti 2017.)

4.2.3 Jäähdytys

Rakennuksen talvella lämpimänä pitävät energiatehokkaat ominaisuudet toimivat vastavasti kesäaikana pitäen rakennuksen viileänä. Jäähdytystarvetta voi kuitenkin esiintyä, mikäli aurinkokuorma lämmittää haitallisesti sisätiloja. Energiatehokkaissa rakennuksissa jäähdytys pyritään toteuttamaan passiivisin keinoin. (Sepponen ym. 2013, 26.)

Jäähdytyksen passiivisia keinoja ovat ikkunoiden varjostaminen aurinkosuojauksella, ilmanvaihdolla toteutettava yöjäähdytys ja ilmanvaihdon tehostaminen päiväaikaan. Lisäksi keinoja ovat korvausilman ottaminen rakennuksen pohjoispuolelta ja esiviilentävän

maaliuospiirin hyödyntäminen ilmanvaihtokoneella. (Sepponen ym. 2013,18; Lylykangas ym. 2015, 39.)

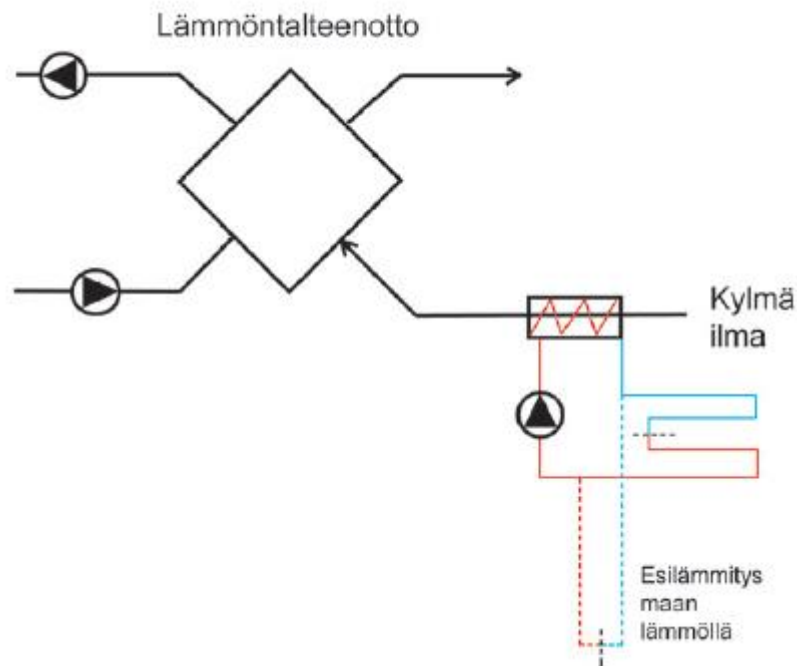
4.2.4 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla pyritään luomaan rakennuksen tiloihin terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto (Motiva Oy 2012, 5). Uudet energiatehokkaat rakennukset ovat ilmatiiviitä ja ne tarvitsevat toimivan ja oikein mitoitettun ilmanvaihtojärjestelmän. Ilmanvaihtojärjestelmässä tulisi myös olla tehokas lämmöntalteenotto, jonka vuosihyötysuhde on vähintään 70 %. Ilmanvaihdon oikealla mitoituksella voidaan välttää liian suuret ja tarpeettomat ilmamäärät. Ilmanvaihtoa ei kuitenkaan tule suunnitella pelkästään energiatehokkuuden perusteella vaan tärkeimpänä asiana on tiloihin tavoiteltavat olosuhteet. (Sepponen ym. 2013, 24-25.) Oikein mitoitettu ilmanvaihtojärjestelmä ja kanavat vähentävät tarvittavaa ilmamäärää ja kanaviston painehäviötä, näillä tekijöillä taas voidaan ilmanvaihtokoneelle määrittää vähemmän sähköä kuluttavat puhaltimet.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan saavuttaa säästöjä kiinteistön lämmityskustannuksissa ja ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkönkulutuksessa. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tarkoitus on vaihtaa tilojen ilmaa olosuhteiden vaatimalla tavalla. Ilmaa ohjataan siis tiloihin, joissa milloinkin oleskellaan ja vähennetään tiloista joita ei tietyllä hetkellä käytetä. Tarpeenmukaisuutta tarkastellaan esimerkiksi läsnäolon tai ilman haitallisten pitoisuuksien mukaan. (Oy Swegon Ab n.d.)

Keskitettyllä ilmanvaihdolla toteutetussa järjestelmässä voidaan maaperästä saatavaa lämmitys- ja viilennysenergiaa hyödyntää raitisilmapuolelle asennettavalla patterilla (kuva 6). Uusiutuva energia saadaan hyötykäyttöön pelkästään pumpun aiheuttamalla kustannuksilla. Huomioitavaa on kuitenkin oman piirin vaatima tilantarve hormissa. Huomioitavaa on myös maalämmön luvanvaraisuus esimerkiksi pohjavesialueilla. (Sepponen ym. 2013, 13-14). Ilmanvaihdon raitisilmaa voidaan myös passiivisesti lämmittää sijoittamalla raitisilmanotto rakennuksen eteläpuolelle, jolloin suora auringonsäteily esilämmittelee lämmityskaudella ilmanvaihtokoneelle tulevaa ilmaa. Vastaavasti pohjoispuolelle sijoitettu raitisilmanotto kesäkaudella varmistaa eteläpuolta viileämmän ilmanoton ilmanvaihtokoneelle. Järkevää olisikin tehdä ilmanvaihtokoneelle raitisilmanotto, jota ohjataan

säätöpeltien avulla ottamaan ilmaa eri puolilta rakennusta eri vuodenaikoina. (Kukka 2016, 5.)



KUVA 6. Maasta saatavaa lämpöä ja viileyttä voidaan hyödyntää ilmavaihdon esilämmitykseen tai viilennykseen (Sepponen ym. 2013, 14)

4.2.5 Käyttövesi

Käyttövettä käytetään kerrostaloyhtiöissä keskimäärin 155 litraa henkilöä kohden. Tästä kulutuksesta noin 40 prosenttia on lämpimän käyttöveden osuus. (Motiva Oy 2017, vedenkulutus taloyhtiössä.) Veden kulutukseen vaikuttaa eniten asukkaiden vedenkäyttötottumukset. Vedenkulutuksen pienentäminen tapahtuukin yksinkertaisimmillaan käyttäjien opastamisella järkevään veden käyttöön ja oikein säädetyllä käyttövesijärjestelmällä. (Motiva Oy 2017, vedenkulutus.) Veden kulutuksella ei E-luvun kannalta ole merkitystä, koska se on määritetty vakioiduksi käytöksi. Kokonaisuuden kannalta veden kulutus sisältää kuitenkin säästöpotentiaalia lämmitysenergiankulutuksen, vesimaksun ja jätevesimaksun suhteen (Motiva Oy 2017, vedenkulutus taloyhtiössä).

Käyttötottumusten lisäksi vedenkulutukseen voidaan vaikuttaa rakennuksen toteutusvaiheessa tehtävillä ratkaisuilla. Mikäli kiinteistölle tulevan veden paine on korkea, tulisi

painetasoa pienentää kiinteistö- tai asuntokohtaisesti vakiopaineventtiilillä. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, ettei vesikalusteiden virtaama ole liian suuri, jolloin säästetään vettä ja lämmitysenergiaa. Vesikalusteita valittaessa kannattaa suosia vettä säästäviä hanoja. Myös wc-istuimissa tulisi olla kaksitoiminen huuhtelu, jolla varmistetaan eri tilanteisiin sopiva huuhtelumäärä. (Energiatehokas koti 2018.)

Käyttövesijärjestelmässä lämpöhäviöitä syntyy lämpimän käyttöveden kiertojohdossa ja lämminvesivaraajassa. Lisäksi lämpöä poistuu rakennuksesta jäteveden mukana. Jäteveden lämmöntalteenotto on mahdollista toteuttaa, mutta siihen liittyy toistaiseksi vielä teknisiä ongelmia. Jäteveden lämpötila ei ole riittävän korkea, että siitä saataisiin suuria määriä energiaa siirretyksi talteen perinteisellä lämmönsiirrintekniikalla. (Digma 2016.)

4.2.6 Rakennusautomaatio

Automaatiojärjestelmällä tavoitellaan rakennuksen eri teknisten järjestelmien yhteistoimintaa mahdollisimman kustannustehokkaasti. Yhteistoiminnan lisäksi tärkeä osa automaatiojärjestelmän toimintaa on sen tarpeenmukaisuus. Tarpeenmukaisuudella varmistetaan esimerkiksi, ettei valaistus ole turhaan päällä eikä lämmitysjärjestelmä lämmitä tiloja samanaikaisesti, kun jäähdytysjärjestelmä jäähdyttää niitä. (Ympäristöministeriö 2012, 6.)

Energiatehokkuuden kannalta automaation merkitys on erityisen suuri. Oikein toimivalla automaatiojärjestelmällä voidaan ottaa kokonaan saavutettavissa oleva hyöty irti muihin järjestelmiin suunnitelluista ratkaisuista. Automaatiojärjestelmän avulla eri järjestelmien ohjauksen lisäksi tarkkaillaan sen toimintaa. Näin saadaan selville, toimiiko rakennus niin kuin on suunniteltu ja voidaan puuttua esiintyviin ongelmiin. Vastaavasti huonosti toimiva automaatiojärjestelmä voi jopa huonontaa järjestelmän energiatehokkuutta.

5 DYNAAMINEN SIMULOINTI

Dynaamisella simuloinnilla tarkoitetaan rakennuksen lämpödynaamisen käyttäytymisen tarkastelua. Se ottaa huomioon muun muassa rakenteisiin varastoituvan lämpöenergian ja muuttuvan lämmönjohtumisen rakenteissa. (Seppänen 2001, 105.)

Tässä työssä rakennuksen rakenteellisten ja teknisten ominaisuuksien vaikutuksia energiatehokkuuteen tutkitaan IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmalla. Kyseinen ohjelma tunnetaan yleisesti nimellä IDA ICE ja se on Ruotsalaisen EQUA Simulation AB:n kehittämä ja ylläpitämä. Ohjelmalla voidaan tutkia rakennuksen lämpöasetta sekä koko rakennuksen energiankulutusta järjestelmäkohtaisesti. (EQUA simulation AB.)

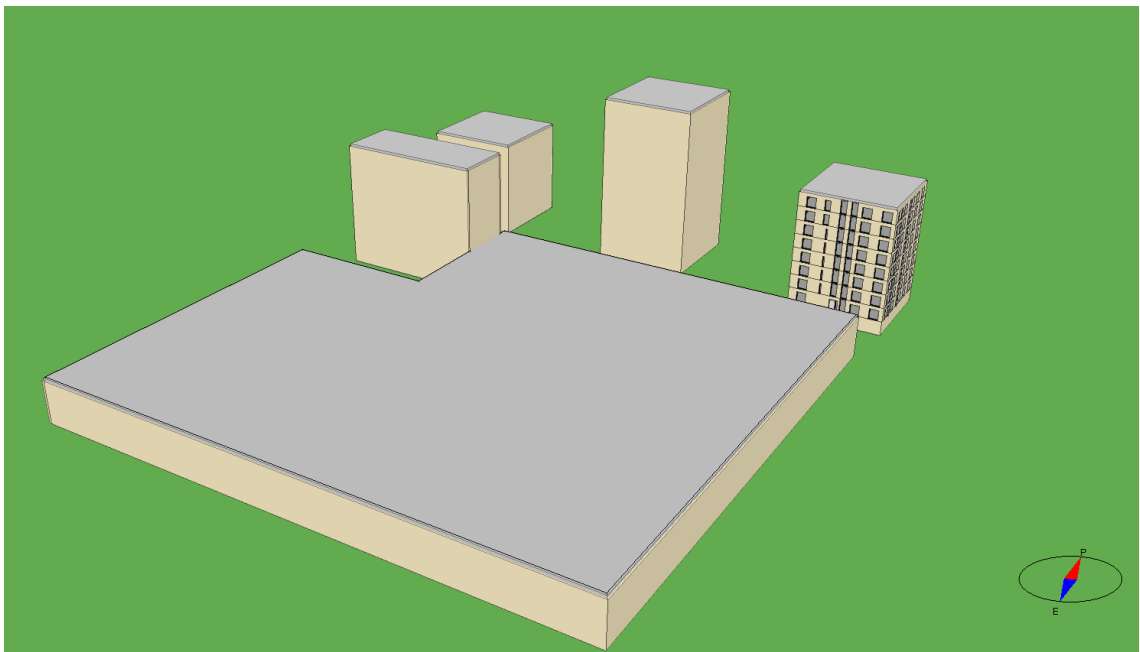
IDA ICE -simulointiohjelmalla rakennusta voidaan tarkastella vyöhykkeittäin mikä tarkoittaa käytännössä rakennuksen jaottelua esimerkiksi huoneittain, asunnoittain tai yksinkertaisimmillaan tarkastellaan koko rakennusta yhtenä vyöhykkeenä. Ohjelmalla voidaan erikseen määrittää käytettävät järjestelmät, joita voidaan muokata tavoiteltujen rakennuksessa käytettävien arvojen mukaisiksi. Rakennuksen IFC-malli on mahdollista tuoda useista käytetyistä suunnitteluohjelmista mm. arkkitehtien käyttämästä ArchiCAD ja LVI-suunnittelijoiden käyttämästä MagiCAD ohjelmistosta. (EQUA simulation AB.)

Dynaaminen simulointimalli kannattaa pitää mahdollisimman yksinkertaisena, koska mitä monimutkaisempi rakennuksen dynaaminen malli on, sitä pidempään ohjelma haluttua simulointia suorittaa. Optimaalista ratkaisua etsiessä simulointeja joudutaan tekemään useita ja näin ollen simuloinnin pitkittyminen vaikuttaa työn tuottavuuteen. IDA ICE asettaa rakennuksen tietomallille tarkat kriteerit mikä johtaa usein siihen, että pelkällä arkkitehtimallilla ei saada suoritettua haluttua simulointia. Tästä johtuen energialaskentaa tehdessä joudutaan usein tekemään uusi yksinkertaisempi malli esimerkiksi MagiCAD Room -sovelluksella. (Larsson 2017.)

6 KOHTEEN JA TAVOTTEIDEN ESITTELY

6.1 Simuloitava kohde

Simuloitava kohde on Tampereelle rakennettava kahdeksan kerroksinen uusi asuinkerrostalo. Kohteessa on 45 huoneistoa. Kohteen kokonaiskerrosala on 3284 m², josta huoneistoalan osuus on 2774 m². Huoneistojen ilmanvaihto toteutetaan huoneistokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla. Uuden korttelin on tarkoitus edustaa uutta ajattelua rakentamisessa ja näin ollen kohteeseen ideoidaan ratkaisuja, joita ei tavanomaisessa rakentamisessa vielä juurikaan käytetä. Kuvassa 7 on esitetty MagiCAD Room -sovelluksella tehty IFC-malli korttelista. Kortteliin kuuluu neljä asuinkerrostaloa, liikekeskus ja parkkihalli. Simulointien kohteena oleva rakennus sijaitsee kuvassa yläoikealla.



KUVA 7. Luonnossuunnitelmien perusteella tehty IFC-malli kohteesta

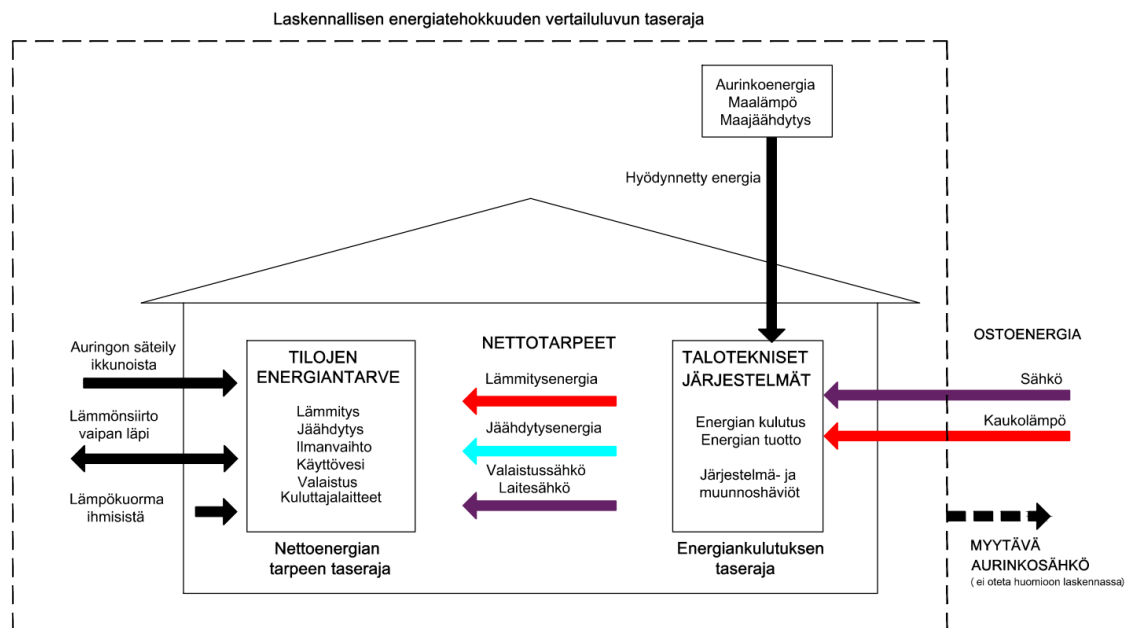
6.2 Simuloinnin tavoitteet

Simuloinnin tavoitteena on luoda todenmukaiset aurinkoenergiaa hyödyntävät simulointimallit hybridilämmitys/jäähdytys -järjestelmälle ja ns. tavanomaiselle lämmitys/jäähdytys -järjestelmälle. Tilanteen 1 hybridijärjestelmässä lämmön ja jäähdytyksen tuotanto on

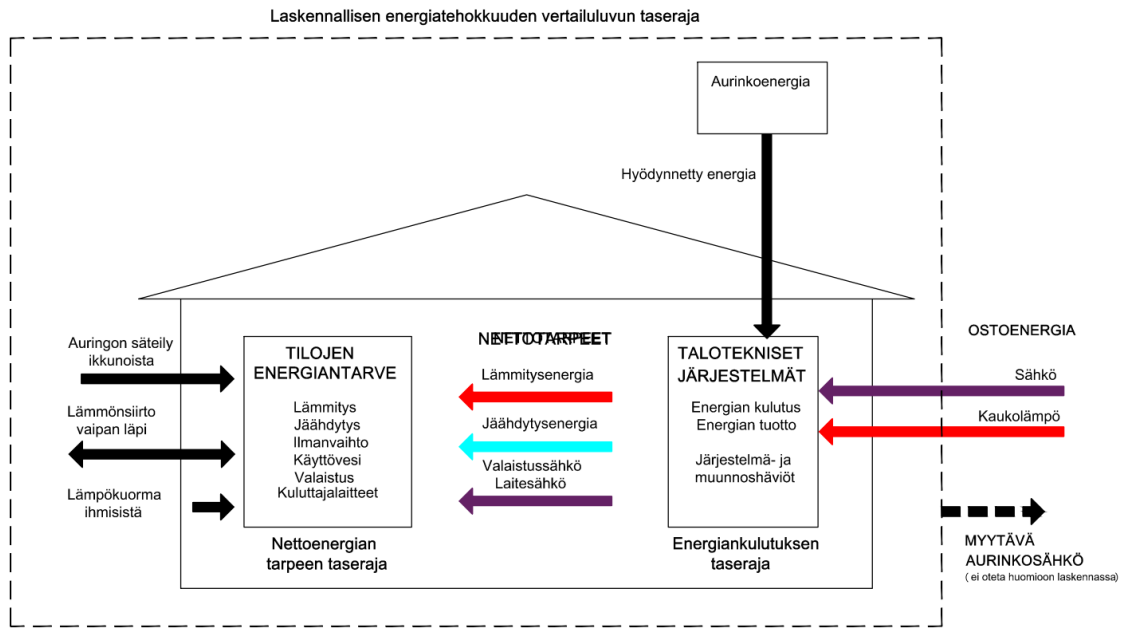
toteutettu maalämpöpumpulla, lisäksi käytetään kaukolämpöä varmistamaan riittävä lämmitysteho. Tilanteen 2 tavanomaisen järjestelmän lämmöntuotanto on toteutettu kaukolämmöllä ja jäädytyksen tuotanto kompressoritoimisella vedenjäähdytyskoneella.

Simulointien avulla pyritään optimoimaan molemmille simulointitilanteille tarpeenmukainen aurinkosähköjärjestelmä. Tarpeenmukainen järjestelmä pyrkii kattamaan ison osan kesäaikana kiinteistöllä kulutetusta sähköenergiasta lukuun ottamatta asukkaiden sähkömittareiden takana olevaa kulutusta. Tuotannon optimointi on oleellista, koska myytävää sähköenergiaa ei voida vähentää E-luvun laskennassa ja sen vaikutus takaisinmaksuaikaan on kiinteistöllä käytettyä sähköenergiaa heikompi.

Simulointien perusteella pyritään vertailemaan yllä esitettyjen tilanteiden vaikutusta laskennallisen energiatehokkuuden vertailulukuun. Olennaista vertailussa on laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun taserajan sisäpuolelle jäävien omavaraisenergioiden vaikutus E-lukuun. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty kummankin tilanteen energiatasepiirroksat.



KUVA 8. Energiatase hybridijärjestelmälle (tilanne 1)



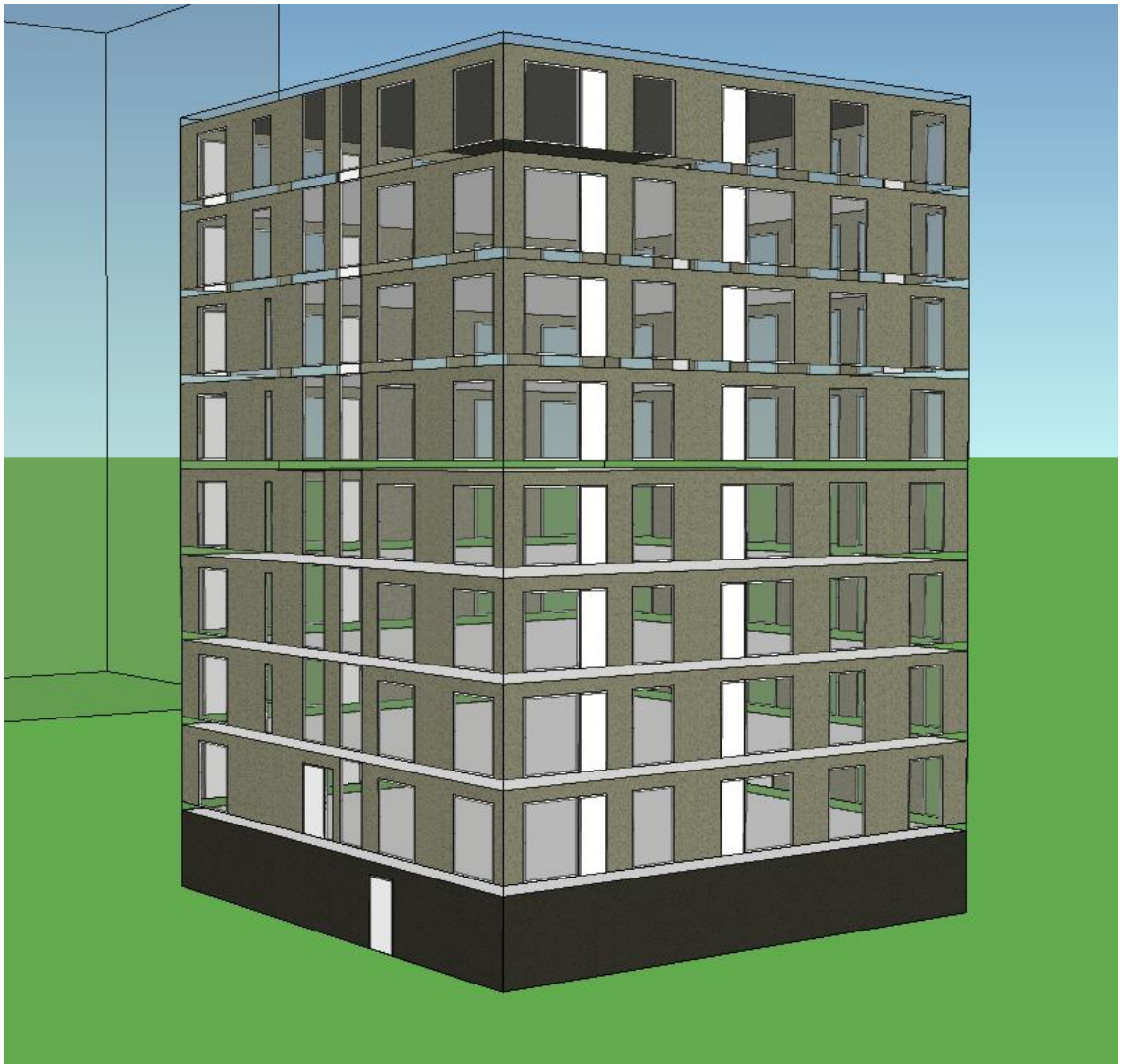
KUVA 9. Energiatase tavanomaiselle järjestelmälle (tilanne 2)

7 ENERGIA TEHOKKUUSTOIMENPITEIDEN SIMULOINTI

Tässä luvussa esitetään simulointien suorittamisen vaiheita. Tarkasteltavia simulointeja ovat edellisessä luvussa esitetty tilanne 1 hybridijärjestelmälle ja tilanne 2 tavanomaiselle järjestelmälle. Simulointeja suoritettaessa keskityttiin rakennuksen energiankulutukseen ja siihen, miten uusiutuvan energian hyödyntäminen vaikuttaa E-lukuun. Vaikka varsinainen sisäilmasto-olosuhteiden tarkastelu rajattiin tutkimusten ulkopuolelle, pidettiin kuitenkin teoriaosuudessa esitettyjen ratkaisujen vaikutus olosuhteisiin mielessä.

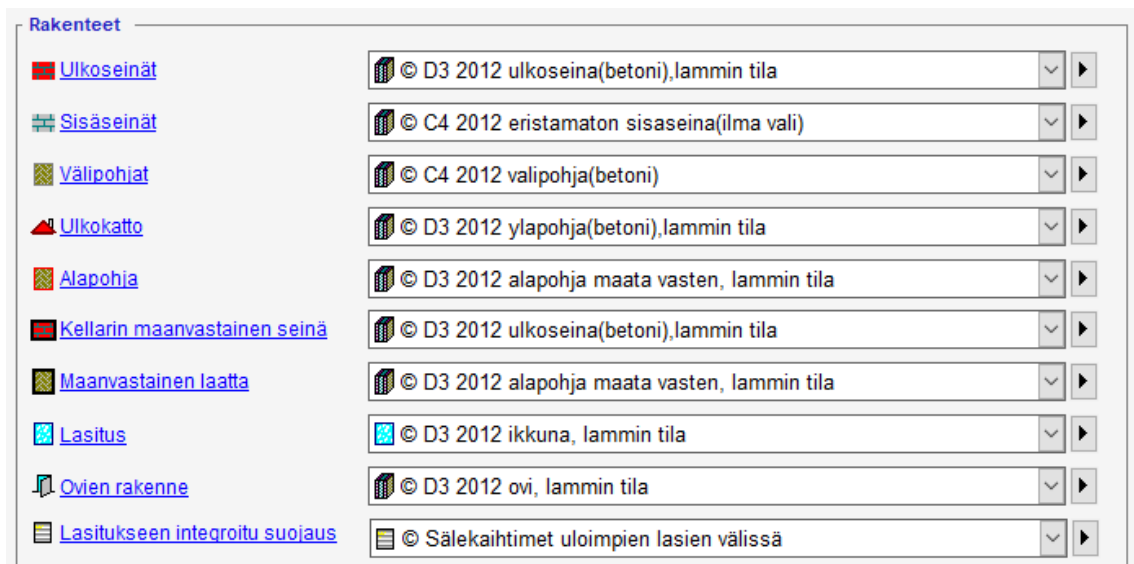
7.1 Perusversio

Perusversion tarkoitus on sisältää ne lähtötiedot, jotka ovat molemmissa simulointi tilanteissa samat. Tilanteiden 1 ja 2 simulointien rakentaminen aloitetaan tämän version pohjalta. Simulointiprojektin luominen aloitettiin Suomi –lokalisaatioreferenssin pohjalta. Lokalisaatioreferenssi tuo projektiin valmiiksi paikallisen sijainti- ja säädatan sekä uusissa asetuksissa esitetyt energialaskennan lähtöarvot. Tämän jälkeen tuotiin ohjelmaan luonnossuunnitelmien perusteella tehty IFC-malli (kuva 7). Rakennuksen määrittäminen IDA ICE -ohjelmalla simuloitavaan muotoon tapahtuu luomalla vyöhykkeet, mikä tässä tapauksessa tehtiin kerroksittain eli väliseiniä ei mallinnettu (kuva 10).

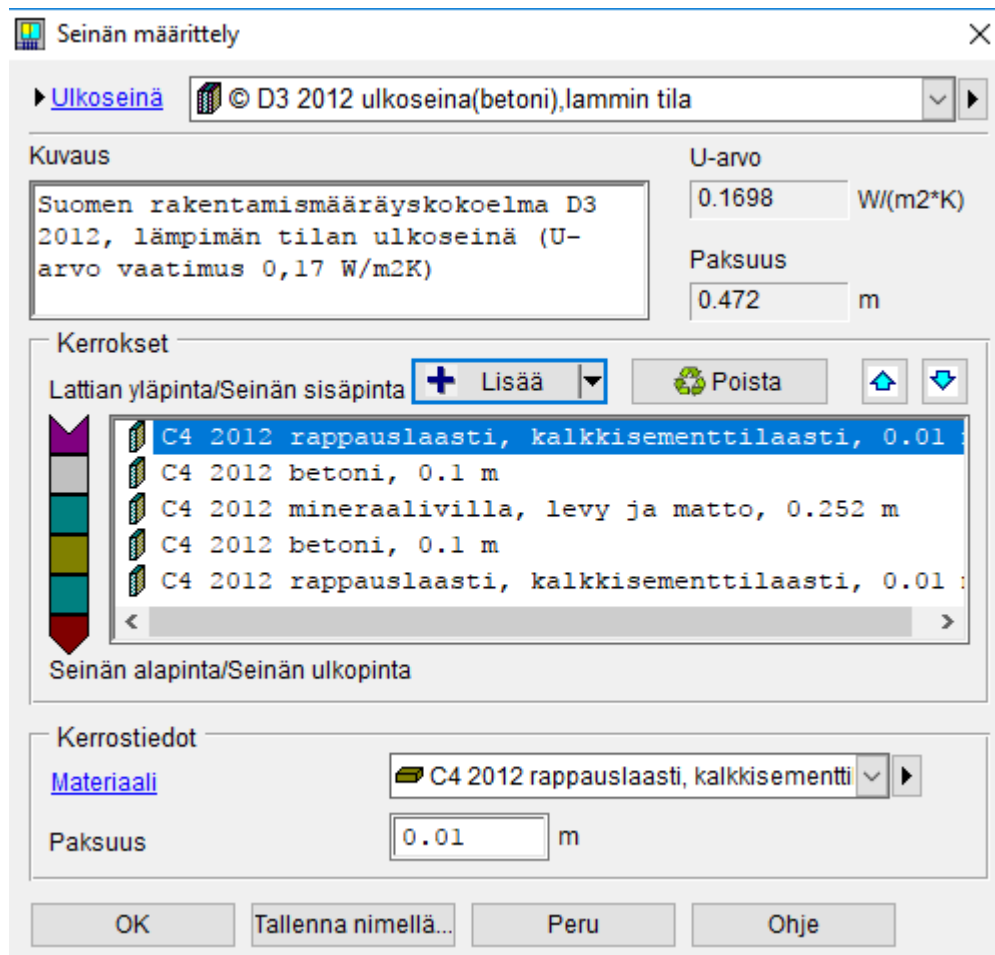


KUVA 10. Kerroskohtaiset vyöhykkeet simuloitavassa rakennuksessa

Rakenteina käytettiin vertailulämpöhäviöitä tarkasteltaessa käytettäviä vanhassa rakennusmääräyskokoelman osassa D3 esitettyjä arvoja (kuvat 11 ja 12). Vuotoilmavirraksi valittiin teoriaosuudessa esitetty energiatehokkaalle rakennukselle suositeltu $1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ (kuva 13). Vuotoilmavirran määrittämiseksi ohjelmalle on myös määritettävä painekerroimet, jotka tässä tapauksessa valittiin valmiista vaihtoehdoista osittain suojaamattomalle rakennukselle.



KUVA 11. Simuloinnissa käytettävät rakenteet



KUVA 12. Ulkoseinän U-arvo ja rakenteet

Vuotoilma: objekti Perusversio:ssa

Vuotoilma

Menetelmä

Vuotoilmayksiköt

Tuulesta johtuva ilmavirta

Ilmatiiivys m3/(h.m2 ulkovaippa)

paine-erolla Pa

[Painekertoimet](#)

Vakio vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta m3/(h.m2 ulkovaippa)

Jakautuminen vyöhykkeissä

Jaa suhteessa

Tuulesta johtuva ilma

Ilmanpitävyys (vyöhykkeessä) L/(s.m2 ulkovaippa)

paine-erolla Pa

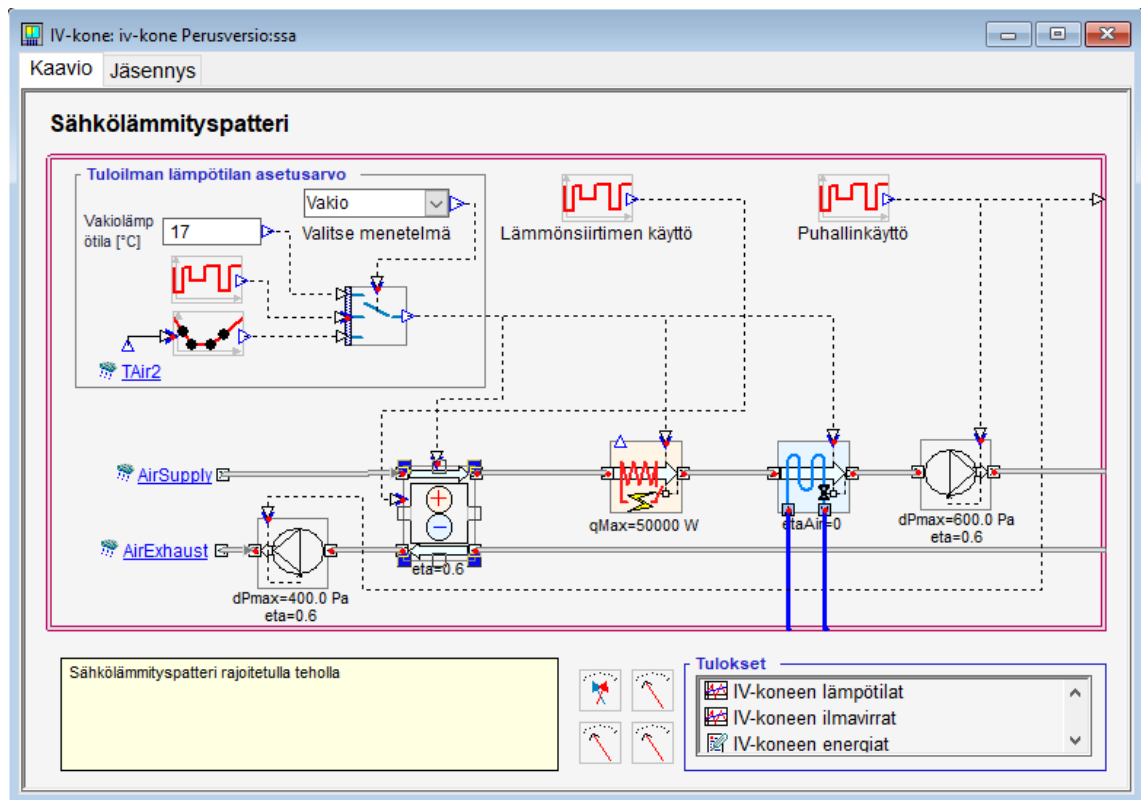
Vakio vuotoilmavirta

Vakiovuotoilmavirta vyöhykkeissä L/(s.m2 ulkovaippa)

Rakennuksen vuotoilma voidaan mallintaa joko todellisen tuulen paineen tai vakiovuotoilmavirran avulla.
 Vakiovuotoilmavirran tapauksessa valitse Vakiovuotoilmavirta ja syötä sille arvo.
 Tuulesta riippuvan vuotoilmavirran tapauksessa valitse Tuulen paineesta riippuva vuotoilmavirta, aseta rakennuksen vaipan ilmatiiivys ja [anna ulkopintojen painekertoimet](#). Sisäiset vuotoilmareitit vyöhykkeiden välillä tulee määrittellä erikseen. Lisää ovet tai sisäseinien vuotoilma-aukot.
 Vuotoilmadata päivittyy automaattisesti vyöhykkeille ja korvaa sen hetkisen vyöhykkeen "Vuoto-alan ...". Kuitenkaan erikseen määritellyjä pintojen vuotoja ei korvata.
 ACH = ilmanvaihtuvuus (huonetilavuus tunnissa)

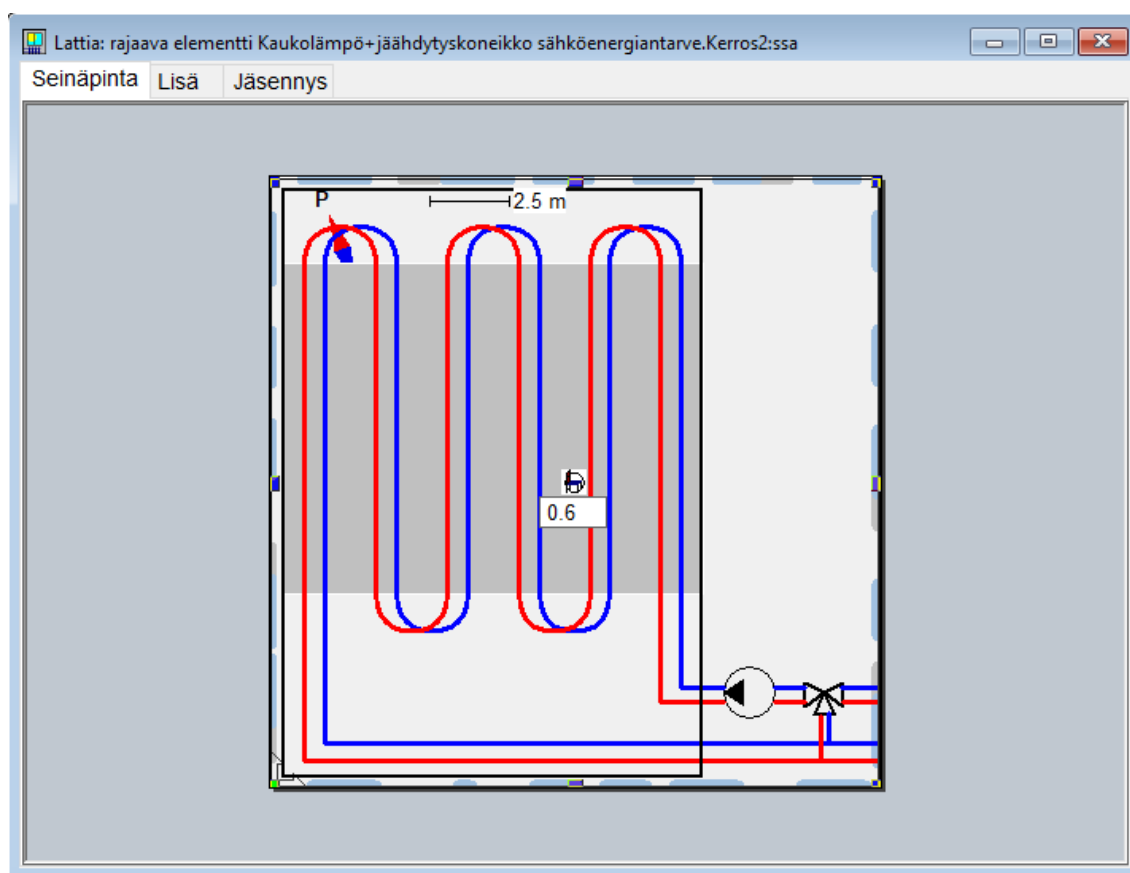
KUVA 13. Vuotoilmavirran määrittäminen

Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu hajautetulla järjestelmällä, toisin sanoen jokaisessa asunnossa on oma ilmanvaihtokone. Tämä mahdollistaa ilmavirtojen asuntokohtaisen ohjauksen. Simulointien kannalta tässä ratkaisussa on huomioitavaa, että asuntokohtaisien ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit toimivat sähköllä (kuva 14). Energiamittaria muuttamalla voidaan lämmityspatterin sähkönkulutus ohjata asukassähkön alle, jolloin se ei vääristä aurinkopaneelien mitoitusta. Huomioitavaa on myös, että asuntokohtaisissa ilmanvaihtokoneissa ei yleisesti käytetä jäähdytystä, joten se on poistettu käytöstä määrittämällä jäähdytyspatterin hyötysuhteeksi 0.



KUVA 14. Sähköpatterilla varustettu ilmanvaihtokone

Lämmönjako tiloihin toteutetaan lattialämmityksellä, samalla lattiassa kiertävällä putkistolla on myös tarkoitus toteuttaa tilojen jäädytys. IDA ICE sisältää valmiin objektin lattialämmitys/-jäädytys laitteelle. Objekti tulee lisätä suoraan kunkin vyöhykkeen lattiaelementtiin ja venyttää koko vyöhykkeen alueelle (kuva 15).

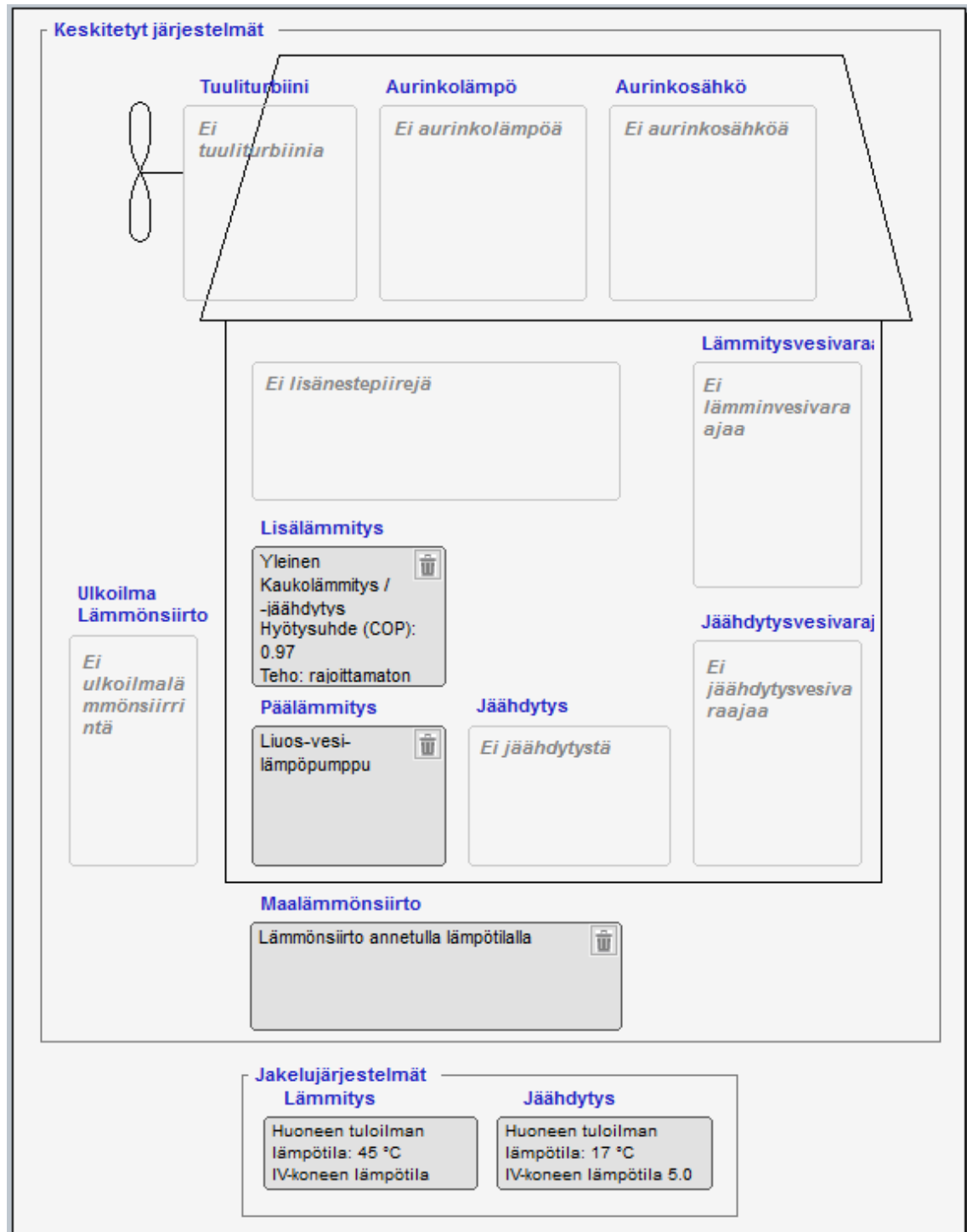


KUVA 15. Vyöhykkeen lattiaelementtiin lisätty lattialämmitys/-jäähdytys

E-luvun laskennassa on energialaskijan itse määriteltävissä, millaista aurinkosuojausta rakennuksessa käytetään. Usein valitaan edullisin vaihtoehto, joka tarjoaa parhaan tuloksen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kun rakennuksessa on ainoastaan lämmitys, simuloinnit suoritetaan ikkunasuojaukset aina ylhäällä. Mikäli rakennuksessa on myös jäähdytys, simuloinnit suoritetaan ikkunasuojaukset alhaalla. Näin saadaan hyödynnettyä tai estettyä auringon lämmittävä vaikutus. Tässä simuloinnissa haluttiin kuitenkin tutkia tilannetta, joka tuottaa mahdollisimman suuren jäähdytystehon. Näin ollen integroitu suojaus poistettiin kokonaan käytöstä.

7.2 Tilanne 1, hybridijärjestelmän simulointimalli

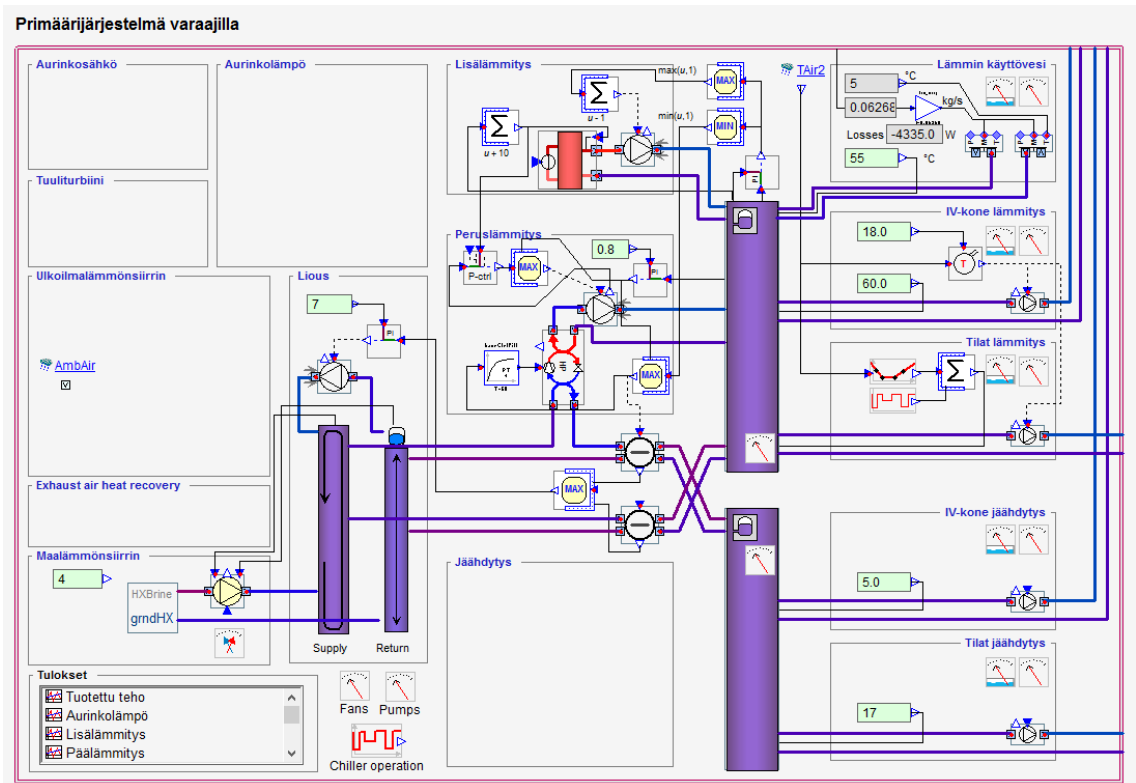
Hybridijärjestelmän simuloimiseksi muutettiin referenssin vakioasetuksena oleva kaukolämmön lämmityslaitte ESBO –plant vaihtoehtoon (kuva 16). ESBO –plant tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden muokata ja lisätä rakennukselle energiaa tuottavia järjestelmiä. Malliin lisättiin liuos-vesilämpöpumppu ja porareikä putkistoa kuvaava maalämmönsiirto-objekti.



KUVA 16. ESBO –plant perusnäky

ESBO –plant perusnäky lisäksi järjestelmää on mahdollista muokata haluamukseen yksityiskohtaisessa näkymässä, jossa on esitetty järjestelmien kytkennät ja ohjaukset (kuva 17). Tässä tutkimuksessa järjestelmän yksityiskohtaiselle muuttamiselle ei ollut

tarvetta. Ainoastaan lämpöpumpun energiamittariksi määritettiin LVI sähkö -mittarin tilalle erikseen määritetty lämpöpumppuenergia –mittari. Näin ollen tuloksista voidaan eritellä maalämpöpumpun kuluttama sähköenergia.



KUVA 17. ESBO –plant yksityiskohtainen malli

7.3 Tilanne 2, tavanomaisen järjestelmän simulointimalli

Tavanomaisen järjestelmän simuloimiseksi perusversion simulointimalliin määritettiin lämmöntuoton asetusarvot kaukolämmölle sopivaksi (kuva 18) ja jäähdytyskoneen asetukset vastaamaan vedenjäähdytyskonetta (kuva 19). Asetusarvot määritettiin Ympäristöministeriön Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta –ohjeen mukaan.

Lämmöntuotto

Tilojen lämmitys

Toiminta <Vakio>

Hyötysuhde (mitattu energiana suhde veteen) 0.97 - (Käytetään vain, kun Tehokkuudeksi on asetettu 'vakio'. Yhdistetty [Oletusarvot](#) lomakkeesta)

Maksimi lämmitysteho 99999.0 kW (poislukien käyttöveden lämmitysteho)

Energiamuoto [Oletus] Kaukolämmitys / -jäähdytys

Energiamittari [Oletus] Lämmitys, kaukolämpö

Lämmin käyttövesi

Hyötysuhde (mitattu energian suhde veteen) 0.97 - (Yhdistetty lomakkeesta [Oletusarvot](#))

LKV lämpötila 55.0 °C (tulevan veden lämpötila oletusarvoisesti 5 °C)

LKV virtaama 0.06268 l/s (Yhdistetty [Lisäenergia ja häviöt](#))

Energiamuoto [Oletus] Kaukolämmitys / -jäähdytys

Energiamittari [Oletus] LKV, kaukolämpö

KUVA 18. Lämmöntuoton asetusarvot

Jäähdytyskone

Tilajäähdytys

Toiminta <Vakio>

COP-arvo (mitattu energiana suhde veteen) 3 - (tehokerrointa käytetään vain, kun hyötysuhteeksi on asetettu 'vakio'. Yhdistetty [Oletusarvot](#) lomakkeesta)

Maks. jäähdytysteho 99999.0 kW (Käytetään vain, kun hyötysuhteeksi on asetettu 'vakio')

Vyöhykkeen menoveden lämpötilan asetusarvo 17 °C (Yhdistetty lomakkeesta [Oletusarvot](#))

IV-koneen menoveden lämpötilan asetusarvo 5.0 °C

Energiamuoto [Oletus] Sähkö

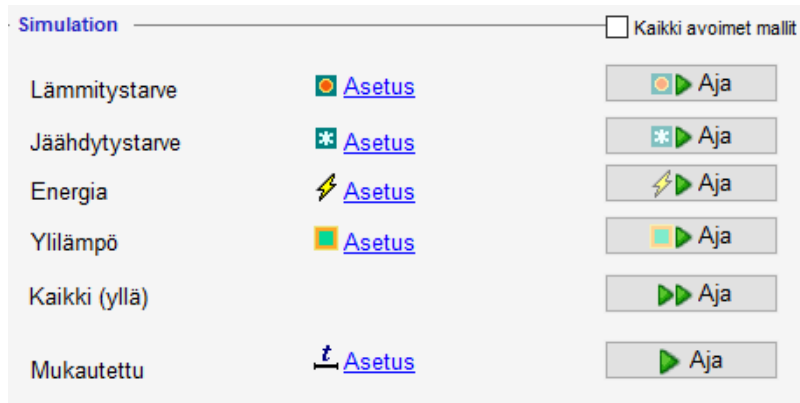
Energiamittari [Oletus] Jäähdytys

KUVA 19. Jäähdytyskoneen asetusarvot

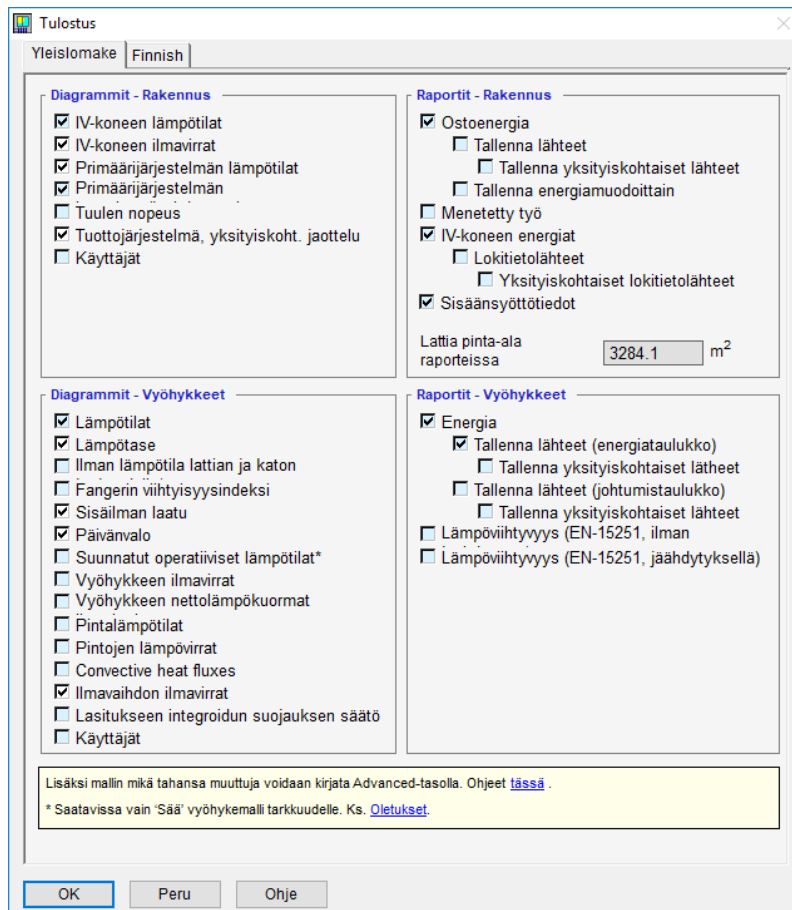
7.4 Simulointi

IDA ICE tarjoaa erilaisia simulointivaihtoehtoja, tässä työssä simuloinnit suoritettiin käyttämällä energiasimulointia (kuva 20). Energiasimuloinnista saadaan työssä tarvittavat tiedot rakennuksen ja sen järjestelmien käyttämästä energiasta. Simuloinnista saatavat

tiedot voidaan määrittää kohdasta pyydetty tuloste. Simulointiin valitut tulosteet on esitetty kuvassa 21.



KUVA 20. Simulointivaihtoehdot



KUVA 21 Simuloinnin tulosteet

7.5 Aurinkopaneelien mitoitus

Aurinkosähkön tarpeen selvittämiseksi suoritettiin energiasimulointi. Simuloinnin tuloksista saadaan selville kiinteistön osuus sähköenergian kulutuksesta. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty kummankin tilanteen ostoenergiatulosteesta löytyvät kiinteistösähkön kulutukset kuukausittain. Valaistuksen osalta simulointimallin vyöhykkeiden tulisi olla asuntokohtaisesti, jotta saataisiin eriteltyä asukkaiden valaistusenergian kulutus kiinteistön valaistusenergian kulutuksesta. Suurempi määrä vyöhykkeitä aiheuttaisi tarpeetonta hitautta simulointien suorittamiseen, näin ollen päädyttiin arvioimaan kiinteistön kuluttamaksi valaistusenergiaksi 20 % valaistuksen kokonaiskulutuksesta. Taulukoissa esitettyjä kokonaisvalaistuksen kulutuksia ei siis ole huomioitu yhteenlaskussa.

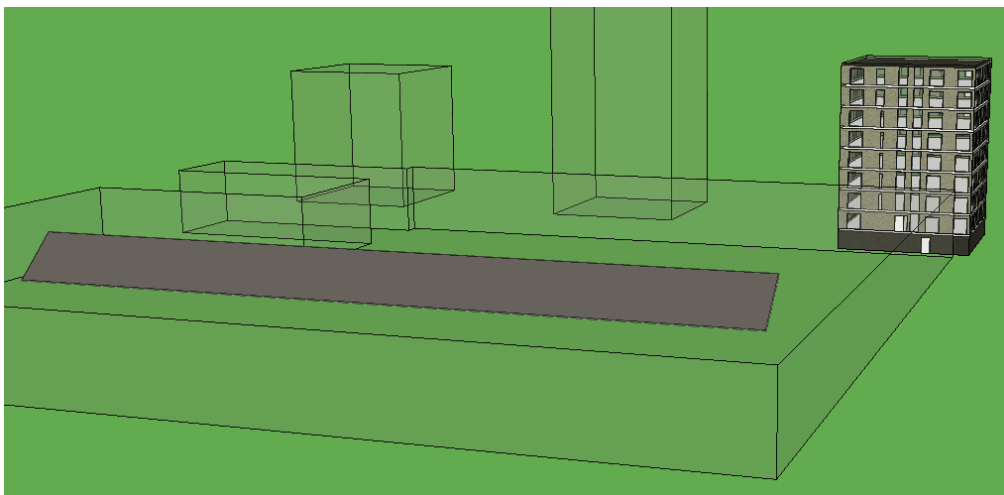
TAULUKKO 5. Kiinteistösähkön kulutus tilanteessa 1

Kiinteistösähkö kWh					
Kuukausi	Kokonaisvalaistus	Kiinteistön osuus valaistuksesta	LVI sähkö	Lämpöpumppuenergia	Yhteensä
1	2176	435	641	7298	8374
2	1902	380	555	5491	6426
3	1971	394	565	4444	5403
4	1661	332	477	3076	3886
5	1594	319	468	2948	3734
6	1560	312	464	2886	3662
7	1560	312	474	2877	3663
8	1714	343	509	3166	4018
9	1716	343	494	3178	4016
10	2071	414	592	4345	5351
11	2094	419	608	5987	7014
12	2176	435	638	7212	8285
Yhteensä	22195	4439	6484	52908	63831

TAULUKKO 6. Kiinteistösähkön kulutus tilanteessa 2

Kiinteistösähkö kWh					
Kuukausi	Kokonaisvalaistus	Kiinteistön osuus valaistuksesta	Jäähdytys	LVI sähkö	Yhteensä
1	2171	434	1,8	671	1107
2	1883	377	1,7	571	950
3	1921	384	1,8	563	949
4	1693	339	1186	524	2049
5	1762	352	3178	616	4146
6	1731	346	3859	633	4838
7	1819	364	5660	739	6763
8	1857	371	3757	682	4810
9	1759	352	1424	549	2325
10	2036	407	65,6	593	1066
11	2086	417	2,3	627	1046
12	2171	434	2,2	664	1101
Yhteensä	22889	4578	19139	7431	31148

Aurinkosähköjärjestelmällä tavoiteltava tuotanto nähdään taulukoiden 5 ja 6 oikealla olevasta sarakkeesta. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus aloitettiin määrittämällä aurinkopaneelien sijainti simuloitavan rakennuksen vieressä sijaitsevan kiinteistön katolle (kuva 22). Tämän jälkeen optimoitiin aurinkopaneelien kallistuskulma PVGIS –mitoitustyökälulla (kuva 23), kallistuskulman optimointi perustuu sijaintitietoon. Optimaaliseksi kallistuskulmaksi saatiin mitoituksen perusteella 42°.



Kuva 22. Aurinkopaneelien sijoituspaikka

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: [\[What is this?\]](#)

PV technology:

Installed peak PV power kWp

Estimated system losses [0;100] %

Fixed mounting options:

Mounting position:

Slope [0;90] ° Optimize slope

Azimuth [- 180;180] ° Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180, East=-90, South=0)

Tracking options:

Vertical axis Slope [0;90] ° Optimize

Inclined axis Slope [0;90] ° Optimize

2-axis tracking

Horizon file Ei valittua tiedostoa.

Output options

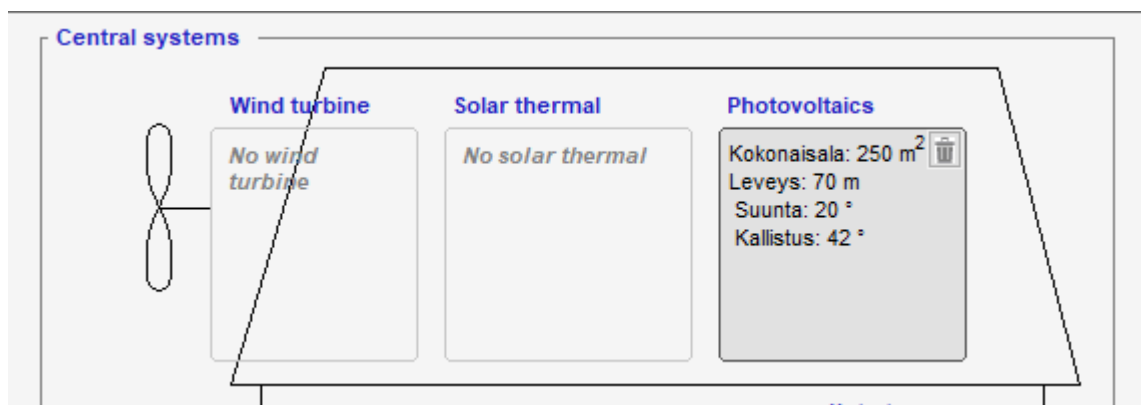
Show graphs Show horizon

Web page Text file PDF

[\[help\]](#)

KUVA 23. PVGIS aurinkosähköjärjestelmän mitoitusyökalu

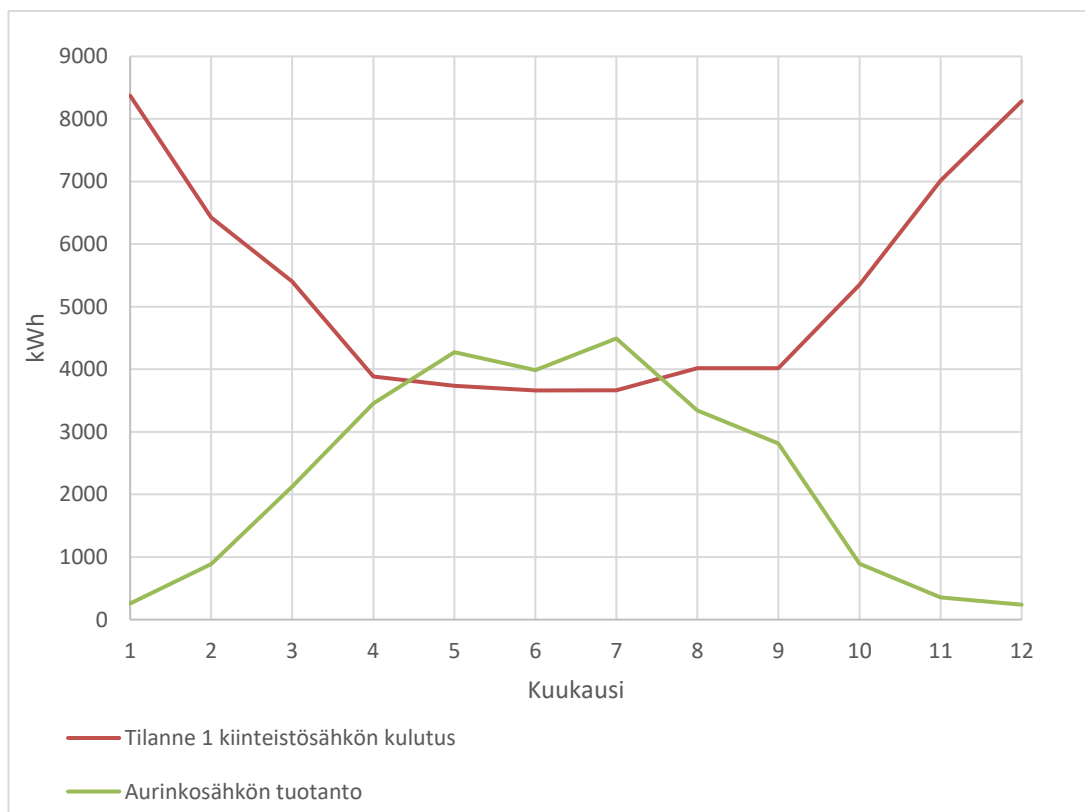
Aurinkopaneelien lisääminen simulointimalliin tapahtuu niin ikään ESBO –plant välilehdellä. Objektina käytetään ohjelmaan valmiiksi määritettyä järjestelmää. Simuloinneissa aurinkopaneelilla käytettäväksi hyötysuhteeksi valittiin 10 %. Muut tarvittavat lähtötiedot esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. Hybridijärjestelmälle lisätty aurinkopaneeli –objekti ja lähtötiedot

Oikean kokoinen aurinkosähköjärjestelmä kattaa mahdollisimman suuren osan kiinteistösähkön kulutuksesta siten, että kulutuksen ylittävä myyntiin menevä tuotanto ei kuitenkaan kasva liian suureksi. Oikean kokoisin aurinkosähköjärjestelmän koko määritetään simulointimalliin paneelipinta-alaa muuttamalla. Oikean paneelipinta-alan löytämiseksi, joudutaan se etsimään manuaalisesti kokeilemalla eri pinta-aloja simulointiin. Tässä tutkimuksessa simulointeja tehtiin paneelipinta-alojen 200 m² ja 400 m² välillä. Kokeiltujen paneelipinta-alojen mitoituskuviot on esitetty liitteessä 1.

Hybridijärjestelmälle sopivaksi paneelipinta-alaksi valittiin kokeilujen perusteella 250 m². Kuviosta 4 nähdään aurinkosähkön tuotannon vastaavan kesäaikaista kiinteistösähkönkulutusta. Aurinkosähkön tuotanto ja tuotannon myytävä osuus on eritelty kuukausittain taulukossa 7. Liitteessä 1 olevasta hybridijärjestelmän mitoituskuviosta nähdään, että paneelipinta-alan kasvattaminen kasvattaa pääasiassa myytävän sähköenergian määrää.

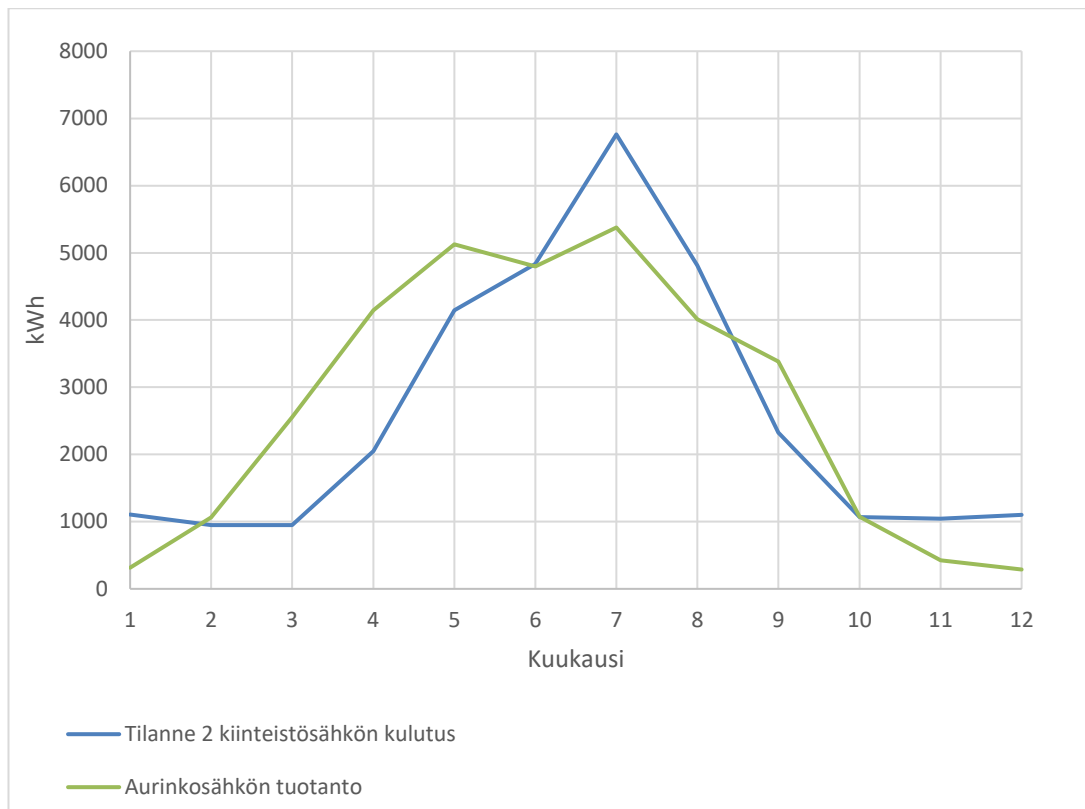


KUVIO 4. Aurinkosähkön tuotanto 250 m² paneelipinta-alalla hybridijärjestelmälle

TAULUKKO 7. Aurinkosähkön tuotanto ja myytävä sähköenergia tilanteessa 1

Kuukausi	Tuotettu aurinkosähkö kWh	Myytävä sähköenergia kWh
1	257	0
2	886	0
3	2123	0
4	3456	0
5	4275	541
6	3985	323
7	4492	829
8	3344	0
9	2815	0
10	894	0
11	353	0
12	238	0
Yhteensä	27118	1693

Tavanomaiselle järjestelmälle sopivaksi paneelipinta-alaksi valittiin kokeilujen perusteella 300 m². Kuviosta 5 nähdään aurinkosähkön tuotannon vastaavan kiinteistösähkön kulutusta lukuun ottamatta heinäkuussa jäädytyksen aiheuttamaa kulutuspiikkiä. Sähkönkulutus on tavanomaisella järjestelmällä talviaikana pienempää kuin hybridijärjestelmällä, koska lämpö tuotetaan pelkästään kaukolämmöllä, joten siihen ei kulu sähköä. Aurinkosähkön tuotanto ja tuotannon myytävä osuus on eritelty kuukausittain taulukossa 8. Sähkön myytävän osuuden jakautuminen vaihtelevasti vuoden eri kuukausille selittyy auringon säteiden tulokulmilla, jotka aiheuttavat jäädytystarpeen ja aurinkosähkön tuotannon vaihtelua eri vuodenaikoina



KUVIO 5 Aurinkosähkön tuotanto 300 m² paneelipinta-alalla tavanomaiselle järjestelmälle

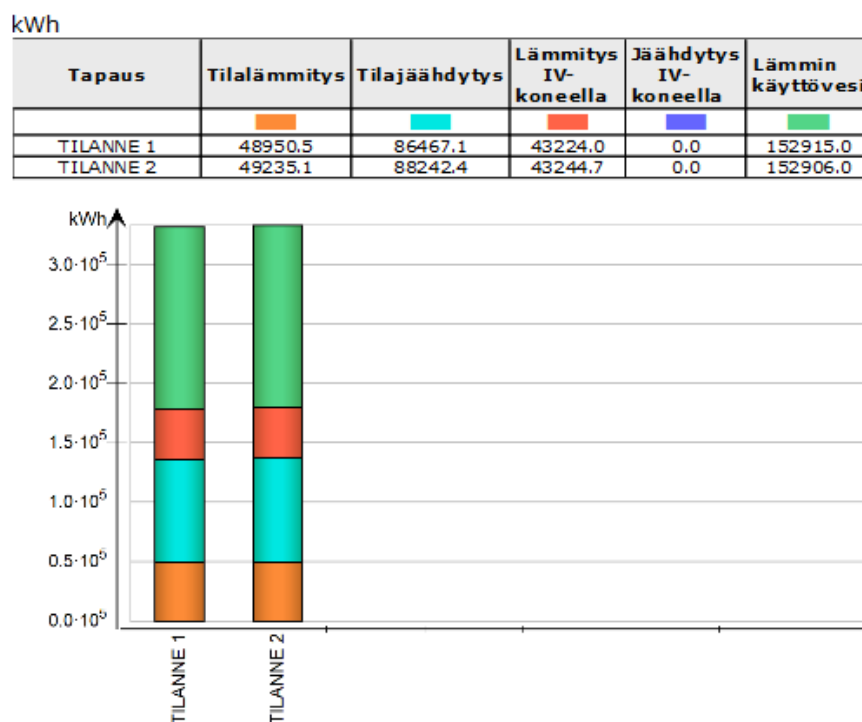
TAULUKKO 8. Aurinkosähkön tuotanto ja myytävä sähköenergia tilanteessa 2

Kuukausi	Tuotettu aurinkosähkö kWh	Myytävä sähköenergia kWh
1	314	0
2	1064	115
3	2552	1603
4	4147	2098
5	5128	982
6	4800	0
7	5377	0
8	4014	0
9	3382	1057
10	1071	5
11	426	0
12	288	0
Yhteensä	32563	5861

8 SIMULOINTIEN TULOKSET

Tässä luvussa esitellään simuloinneista saatavia tuloksia ja avataan niiden merkitystä työn kannalta. Simulointien tuloksia tarkastellaan simulointiohjelmasta saatavan vertailuraportin avulla. Vertailuraportista nähdään mm. ostoenergiankulutus, kokonaisenergiankulutus ja järjestelmien energiankulutus. Vertailuraportti on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 2.

Kuviossa 6 on esitetty rakennuksen energiankulutus ja sen jakautuminen eri käyttökoh-teisiin. Kuvioista nähdään, että simulointimallien energiankulutukset vastaavat toisiaan riittävällä tarkkuudella. Tämä tieto on oleellista simulointimallien luotettavuuden arvi-oinnissa. Mikäli rakennuksen energiankulutukset eroaisivat, kertoisi se lähtöarvojen tai tilojen eroavaisuudesta.



KUVIO 6. Rakennuksen energiankulutus

Ostoenergian vertailutaulukosta (taulukko 9) nähdään ohjelman simuloima ns. todellinen rakennuksen ulkopuolelta ostettava ja myytävä energia. Taulukosta nähdään, että hybridijärjestelmällä kaukolämmön ostoenergia on kymmenesosa tavanomaisen järjestelmän

ostoenergiasta. Hybridijärjestelmässä lämpöpumpun ostoenergia vastaa sekä jäädytyksestä, että lämmityksestä. Näin ollen sen sähköenergiankulutus vastaa tavanomaisen tilanteen jäädytyksen ja kaukolämmön erotuksen ostoenergiankulutusta. Lämpöpumppuenergian pienempään tarpeeseen vaikuttaa maasta saatava ilmaisenergia ja lämpöpumpun hyötysuhde (COP).

TAULUKKO 9. Ostoenergian vertailutaulukko

		TILANNE 1		TILANNE 2	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
■	Valaistus, kiinteistö	22195	6.8	22346	6.8
■	LVI sähkö	6484	2.0	7236	2.2
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	0	0.0		
■	Lämpöpumppuenergia	52908	16.1		
■	Jäädytys			17075	5.2
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	81587	24.8	46657	14.2
■	Lämmitys, kaukolämpö	20174	6.1	208495	63.5
	Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	20174	6.1	208495	63.5
	Yhteensä	101761	31.0	255152	77.7
□	Laitteet, asukas	59205	18.0	59607	18.2
□	IV-käyttäjäsähkö	19963	6.1	20112	6.1
□	IV-sähkölämmitys, asukas	41847	12.7	41283	12.6
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	121015	36.9	121002	36.8
□	Aurinkosähkön tuotanto	-986	-0.3	-758	-0.2
□	CHP tuotto	0	0.0	0	0.0
	Yhteensä, Tuotettu sähkö	-986	-0.3	-758	-0.2
	Yhteensä	221790	67.5	375396	114.3

Taulukossa 10 on esitetty energiamuodon kertoimilla painotetut ostoenergiankulutukset. Yhteenlaskettuna nämä kulutukset tuottavat rakennuksen E-luvun. Energiamuodon kertoimilla painotettuna energiankulutusten ero pienenee tilanteiden välillä verrattuna taulukossa 9 esitettyihin ostoenergioihin. Liitteessä 3 ja 4 on esitetty molempien tilanteiden energiatodistuksesta saatu yhteenveto rakennuksen energiatehokkuudesta.

TAULUKKO 10. Energiamuodon kertoimilla painotettu ostoenergia

	TILANNE 1		TILANNE 2	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	31069	9.5	31069	9.5
LVI sähkö	9242	2.8	10185	3.1
Sähkölämmitys, kiinteistö	0	0.0		
Lämpöpumppuenergia	71438	21.8		
Jäähdytys			35333	10.8
Yhteensä, Kiinteistösähkö	111749	34.0	76587	23.3
Lämmitys, kaukolämpö	10087	3.1	104248	31.7
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	10087	3.1	104248	31.7
Yhteensä	121836	37.1	180835	55.1
Laitteet, asukas	82877	25.2	82877	25.2
IV-käyttäjäsähkö	27998	8.5	27998	8.5
IV-sähkölämmitys, asukas	51869	15.8	51894	15.8
Yhteensä, Asukkaan sähkö	162744	49.6	162769	49.6
Aurinkosähkön tuotanto	-32559	-9.9	-39072	-11.9
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	-32559	-9.9	-39072	-11.9
Yhteensä	252021	76.7	304532	92.7

E-luku voidaan katsoa taulukon 10 alimmalta riviltä. Hybridijärjestelmän E-luku on 76,7 kWh_E/m²a. Tämä tarkoittaa energiatehokkuusluokkaa B, luokan A ylärajan ollessa 75 kWh_E/m²a. Tavanomaisen järjestelmän E-luku on 92,7 kWh_E/m²a. E-luvun raja-arvo on asuinkerrostaloille 90 kWh_E/m²a, mikä tarkoittaa sitä, ettei rakennus näillä simuloinnin lähtöarvoilla täytä vaatimuksia. Simuloitavan rakennuksen ominaisuuksia parantamalla voitaisiin E-lukua pienentää niin, että hybridijärjestelmällä saavutettaisiin luokka A ja tavanomainen järjestelmä täyttäisi vaaditun raja-arvon. Ominaisuuksia voidaan parantaa esimerkiksi lisäämällä parvekkeet ja integroidut suojaukset simulointimalliin

9 POHDINTA

Uuden asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantamista tutkittiin uusiutuvan omavaraisenergian hyödyntämisen näkökulmasta. Tutkimustilanteiksi määritettiin hybridijärjestelmä ja tavanomainen järjestelmä. Hybridijärjestelmällä tarkoitettiin järjestelmää, joka sisältää maalämpö/-jäähdytyspumpun, kaukolämmön ja aurinkopaneelit. Tavanomaisella järjestelmällä tarkoitettiin järjestelmää, jossa on kaukolämpö, jäähdytyskone ja aurinkopaneelit. Tavoitteena oli rakentaa luotettavat simulointimallit tutkimuksen suorittamiseksi. Simulointimallien rakentamisessa on käytetty useita oletuksia ja tuloksia tulee pitää suuntaa-antavina.

Tutkittavien järjestelmien ostoenergiankulutukset eroavat merkittävästi toisistaan. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat lämpöä ja jäähdytystä tuottavien järjestelmien hyötysuhde sekä lämpöpumpulla maaperästä saatavan ilmaisenergian hyödyntäminen. Vaikka ostoenergiankulutukset eroavat merkittävästi toisistaan tilanteiden välillä, pienentää E-luvun laskennassa huomioitavat energiamuodon kertoimet kokonaisenergian kohdalla eroa huomattavasti pienemmäksi. Taulukossa 11 on esitetty yhteenveto E-luvun laskentaan vaikuttavista energiankulutuksista työssä käsitellyille tilanteille.

TAULUKKO 11. E-luvun laskentaan vaikuttavat ostoenergian kulutukset

	Ostoenergia	Kokonaisenergia	E-luku
Tilanne 1	221 790 kWh	252 021 kWh	76,7 kWh _E /m ² a
Tilanne 2	375 396 kWh	304 532 kWh	92,7 kWh _E /m ² a

Energiatehokkuuden vertailuluvun raja-arvo on asuinkerrostaloille 90 kWh_E/m²a. Tämän tutkimuksen simulointien perusteella hybridijärjestelmällä toteutettu rakennus täyttäisi tämän vaatimuksen toisin kuin tavanomaisella järjestelmällä toteutettu vaihtoehto. Tavanomaisella järjestelmällä toteutettu rakennus olisi mahdollista saada täyttämään vaadittu raja-arvo kasvattamalla aurinkopaneelipinta-alaa. Tämä ei kuitenkaan olisi kustannustehokas ratkaisu, koska sähkön myytävä osa kasvaisi enemmän suhteessa hyödynnettävään osaan. E-lukuun vaikuttaa myös simuloitavan rakennuksen ominaisuudet. Tässä simuloinnissa integroitua suojausta ei käytetty, eikä esimerkiksi parvekkeita mallinnettu. Lisäämällä parvekkeet ja integroituja suojauksia voitaisiin auringon lämmittävää vaiku-

tusta hyödyntää ja ehkäistä tarpeen mukaisesti. Näillä toimenpiteillä tilanteen 1 energia-tehokkuusluokka oletettavasti nousisi parhaaseen A -luokkaan ja tilanne 2 täyttäisi vaatimukset.

Uusiutuvan omavaraisenergian hyödyntämisen kannalta hybridijärjestelmä tarjoaa paremmat mahdollisuudet. Hybridijärjestelmällä voidaan aurinkoenergian lisäksi hyödyntää maasta saatavaa lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. Opinnäytetyössä saatujen havaintojen perusteella tavanomaisella järjestelmällä aurinkoenergian hyödyntäminen on tehokkaampaa kuin hybridijärjestelmällä. Tämä johtuu siitä, että tavanomaisella järjestelmällä sähköenergiankulutus ajoittuu pääosin kesäaikaan, jolloin myös aurinkosähkön tuotanto on suurimmillaan.

Tässä tutkimuksessa aurinkopaneelit simuloitiin osaksi viereisen kiinteistön katolle tulevaa aurinkovoimalaa. Simuloinnilla pyrittiin selvittämään simuloitavan rakennuksen tarvitsemaa paneelipinta-alaa molemmissa tilanteissa. Aiemmin on ollut epäselvää voiko tontin ulkopuolella olevaa uusiutuvan energiantuotantoa hyödyntää E-luvun laskennassa taserajan sisäpuolella olevaksi. Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta todetaan, että E-luvun laskennassa voidaan rakennukseen kuuluvalla laitteistolla hyödyntää ympäristöstä otettua energiaa siltä osin, kuin se käytetään rakennukselle määritetyllä vakioidulla käytöllä. Kyseinen pykälä ei itsessään anna vastausta sille, onko viereisen kiinteistön katolla tuotettu energia hyödynnettävissä E-luvun laskennassa. Edellä mainittuun asetukseen viittaavassa perustelumuistiossa kyseistä kohtaa on tarkennettu seuraavasti:

Määritelmän mukaan laitteiston pitää kuulua rakennukseen, mutta laitteiston ei tarvitse olla kiinni rakennuksessa tai olla kiinteistöllä. Pykälä mahdollistaisi ja olisi avoin erilaisten uusiutuvan energian tuotantojärjestelyjen kehittymiselle. Tavoitteena on, että uusiutuvan energian laitteistojen hyödyntäminen voitaisiin tehdä mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkiksi aurinkopaneelin ei tarvitsisi olla rakennuksen omalla katolla epäedulliseen suuntaan, vaan se voitaisiin sijoittaa muualle aurinkoenergian kannalta optimaaliseen suuntaan ja saada siitä täysi hyöty. Tämä mahdollistaisi myös kaupungin keskustaan rakennettaville rakennuksille mahdollisuuden hyödyntää aurinkopaneeleita tehokkaasti. (Ympäristöministeriön perustelumuistio 2017, 11.)

Tämä perustelumuistion tarkennus teoriassa mahdollistaa kyseisen järjestelyn. Tässä tapauksessa tulee kuitenkin huomioida, että pitääkö asunto-osakeyhtiön olla esimerkiksi

osaomistajana aurinkovoimalassa voidakseen hyödyntää tuotettua energiaa E-luvun laskennassa.

Yhteenvedona voidaankin todeta molempien vaihtoehtojen soveltuvan aurinkoenergian hyödyntämiseen. Huolimatta siitä, että tavanomainen järjestelmä ei tutkimuksen simuloinneissa täyttänyt E-luvun raja-arvoa, voidaan olettaa, että simulointeihin tehtävillä tarkennuksilla molemmat vaihtoehdot täyttävät E-luvulle asetetut vaatimukset.

Energiatehokkuuden parantaminen aihealueena tarjoaa lähes rajattomasti erilaisia näkökulmia tutkimuksille. Erityisesti hybridijärjestelmän toimintaa tulisi tutkia tarkemmin. Tärkeää olisi myös tutkia simulointimalliin tehtävän hybridijärjestelmän määrittämistä IDA ICE -simulointiohjelmaan ja sen todenmukaisuutta verrattuna todelliseen tilanteeseen. Mielenkiintoista olisi myös selvittää järjestelmien takaisinmaksuajat ja näin ollen niiden kannattavuutta voitaisiin tutkia myös taloudellisesta näkökulmasta.

Haasteita opinnäytetyöhön aiheutti erityisesti käsiteltävän aihealueen laajuus. Opinnäytetyön tutkimusosion aihe onkin muuttunut ja kehittynyt opinnäytetyön edetessä lukuisia kertoja. Lisäksi haasteita aiheutti tekijän vähäinen kokemus IDA ICE -simulointiohjelman käytöstä ennen opinnäytetyön aloittamista. Simulointitulosten arviointi oikeiksi osoittautui myös haasteelliseksi vähäisen ohjelman käytön vuoksi. Lisäksi arviointia vaikeutti saatavilla olevan mittaus- ja vertailutiedon puute, koska kyse oli uudiskohteesta. Hybridijärjestelmät ovat myös suhteellisen uusi ilmiö rakennusalalla, joten pitkän aikavälin mittaustietoa ei ole saatavilla.

Aiheena uuden asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantaminen on uudistetun energiatehokkuuslainsäädännön vuoksi ajankohtainen. Opinnäytetyön tekeminen on tarjonnut LVI-suunnittelijan työn kannalta arvokasta tietoa ja osaamista IDA ICE -simulointiohjelman käytöstä ja toiminnasta sekä aurinkoenergiajärjestelmän mitoittamisesta.

LÄHTEET

Auvinen, K., Lovio, R., Jalas, M., Juntunen, J., Liuksiala, L., Nissilä, H. & Müller, J. 2016. FinSolar: Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. Helsinki: Unigrafia Oy.

Beck, W., Dolmans, D., Dutoo, G., Hall, A. & Seppänen, O. 2011. Aurinkosuojaus. Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin rakennuksiin. Forssa: Forssa print.

Digma. 2016. Energiankulutus ja energian hankinta rakennuksissa. [Youtube]. Julkaistu 1.6.2016. Katsottu 18.2.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=dMMq03A2Pv4>

Energiatehokas koti. 2016. Energiaselvitys. [verkkajulkaisu]. Päivitetty 15.01.2016. Luettu 04.01.2018. <http://www.energiatehokaskoti.fi/perustieto/maaraykset/energiaselvitys>

Energiatehokas koti 2016. Lämmöneristys. [verkkajulkaisu]. Päivitetty 5.2.2016. Luettu 13.2.2018. http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/lammoneristys

Energiatehokas koti 2017. Hybridilämmitys. [verkkajulkaisu]. Päivitetty 3.5.2017. Luettu 21.3.2018. http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys

Energiatehokas koti 2018. Käyttövesi. [verkkolähde]. Päivitetty 9.1.2018. Luettu 14.2.2018. http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/kayttovesi

EQUA Simulation Ab. IDA Indoor Climate and Energy. Luettu 22.1.2018. <https://www.equa.se/fi/ida-ice>

Green building council Finland. E-luku – rakennuksen ominaisuuksista johdettu laskennallinen kulutus. [verkkajulkaisu]. Luettu 6.1.2018. <http://figbc.fi/elinkaarimittarit/e-luku-rakennuksen-ominaisuuksista-johdettu-laskennallinen-kulutus/>

Hallituksen esitys 28.6.2017/86

Heikkonen, H. 2017. Uudet asetukset astuvat voimaan vuodenvaihteessa. Talotekniikka 07/2017, 38-39.

Juvela, J. 2017. Talotekniikan elinkaaritalous. Luentomateriaali. Rakennetun ympäristö energiankäyttö ja elinkaaritalous kurssi syksy 2017. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Kivioja, J. 2017. Paksuista seinistäkö sisäilmaongelmia? Ei välttämättä. Artikkelin valokuva. [verkkajulkaisu]. Julkaistu 14.9.2017. Viitattu 18.2.2018. <https://yle.fi/uutiset/3-9830922>

Kukka, M. 2016. Aurinkoenergia aktiivinen hyödyntäminen. Verkkoluento. Kestävät energiaratkaisut. Aurinkoenergia verkkokurssi 2018. Digma virtuaaliAMK.

- Kukka, M. 2016. Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen. Luentomateriaali. Kestävät energiaratkaisut. Aurinkoenergia verkkokurssi 2018. Digma virtuaaliAMK.
- Kukka, M. 2016. Kennoteknologiat. Verkkoluento. Kestävät energiaratkaisut. Aurinkoenergia verkkokurssi 2018. Digma virtuaaliAMK.
- Kukka, M. 2016. PV rakenneintegrointi. Verkkoluento. Kestävät energiaratkaisut. Aurinkoenergia verkkokurssi 2018. Digma virtuaaliAMK.
- Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- Kärkkäinen, M. 2017. Pikkaista parempi vuokratalo. Talotekniikka 04/2017, 18.
- Larsson, E. 2017. LEED ja BREEAM laskenta. Luento. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja elinkaaritalous kurssi 15.11.2017. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.
- LVI-Tekniset Urakoitsijat. n.d. Rakennusten energiatehokkuus. [verkkojulkaisu]. Luettu 17.2.2018. <https://www.lvi-tu.fi/toimiala/lvi-asennus/energiatehokkuus/>
- Lylykangas, K., Andersson, A., Kiuru, J., Nieminen, J. & Päätaalo, J. 2015. Rakenteellinen energiatehokkuus opas. [verkkojulkaisu]. Päivitetty 17.9.2015. Luettu 29.1.2018. http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/opaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf
- Motiva Oy. 2012. Energiatehokas ilmanvaihto. [verkkojulkaisu]. Julkaistu 07/2012. Luettu 17.2.2018. https://www.motiva.fi/files/6147/Energiatehokas_ilmanvaihto2012.pdf
- Motiva Oy. 2017. Vedenkulutus. [verkkojulkaisu]. Päivitetty 9.10.2017. Luettu 14.2.2018. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus
- Motiva Oy. 2017. Vedenkulutus taloyhtiössä. [verkkojulkaisu]. Päivitetty 22.3.2017. Luettu 14.2.2018. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaekspertti-toiminta/tietoa_energian_ja_vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiossa
- Oy Swegon Ab. n.d. Seuraavan sukupolven järjestelmä tarpeen mukaiseen ilmanvaihtoon. [verkkojulkaisu]. Luettu 17.2.2018. <https://www.swegon.com/fi/Tuotteet/Ilmavirran-saato/Tarpeenmukainen-ilmanvaihto-WISE/>
- ProAgria keskusten liitto. 2017. Uusi asetus rakennusten energiatodistuksesta voimaan 2018. [verkkojulkaisu]. Julkaistu 21.12.2017. Luettu 9.1.2018. <http://energiatehokkaasti.fi/content/uusi-asetus-rakennusten-energiatodistuksesta-voimaan-2018>
- Pönniö, M. 2017. Katsaus – Lämpöpumput haastavat kaukolämpöä ja sähkölämmitystä. [verkkojulkaisu]. Julkaistu 7.11.2017. Luettu 31.1.2018. <http://www.comset.fi/fi/katsaus-lampopumput-haastavat-kaukolampon-ja-sahkolammitusta/>
- Rakennusliike Reponen Oy. n.d. Matala energia rakentaminen. Luettu 18.2.2018. <https://www.rklreponen.com/mera>

Sepponen, M., Nieminen, J., Tuominen, P., Kouhia, I., Shemeikka, J., Viikari, M., Hemmilä, K. & Nykänen, V. 2013. Lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeet. Asumisen rahoittamis- ja kehittämiskeskus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2.painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Shemeikka, J., Lylykangas, K., Ketomäki, J., Heimonen, I., Pulakka, S. & Pylsy, P. 2015. SunZEB – Plusenergiaa kaupungissa. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Talotekniikkateollisuus ry. n.d. Talotekniikkaopas. [verkkójulkaisu]. Luettu 17.2.2018. http://talotekniikka.teknologiateollisuus.fi/sites/lvi-talotekniikka/files/file_attachments/Talotekniikkaopas%202015_p%C3%A4ivitetty.pdf

Tampereen Tilakeskus liikelaitos. 2017. Lähes nollaenergiarakentamiseen valmistautuminen. Toimenpide-esitys. Julkaistu 21.1.2017. Luettu 18.2.2018. http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/bgyLpgMZL/Lahes_0-energiarakentaminen.pdf

Tekniikka & talous. 2016. Rakennusten energiavaatimukset kiristyvät. [verkkójulkaisu]. Julkaistu 18.3.2016. Luettu 9.1.2018. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/rakennusten-energiavaatimukset-kiristyvat-6533160>

Tuhkanen, A. 2017. Maalämpö yleistyy kerrostaloissa hitaasti, vaikka kiinnostusta on paljon. [verkkójulkaisu]. Julkaistu 4.4.2017. Luettu 31.1.2018. <https://yle.fi/uutiset/3-9539443>

Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 30.11.2017/788.

Valtioneuvoston muistio asetukselle rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 30.11.2017.

Virte Solar Oy. n.d. Case Kuormakatu, Turku. [Verkkójulkaisu]. Viitattu 26.2.2018. <http://www.virtesolar.fi/referenssit/teollisuuskohteet/case-kuormakatu-turku>

Ympäristöministeriö. 2012. Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen. [verkkójulkaisu]. Julkaistu 2.3.2012. Luettu 17.2.2018. http://www.avoinautomaatio.fi/doc/standardi_sfs-en_15232/Rakennusten-automaation-vaikutus-energiatehokkuuteen.pdf

Ympäristöministeriö. 2017. Lähes nollaenergiarakentamisen lainsäädännön valmistelu. [verkkójulkaisu]. Julkaistu 23.03.2015. Päivitetty 19.05.2017. Luettu 05.01.2018. <http://www.ym.fi/lahesnollaenergiarakentaminen>

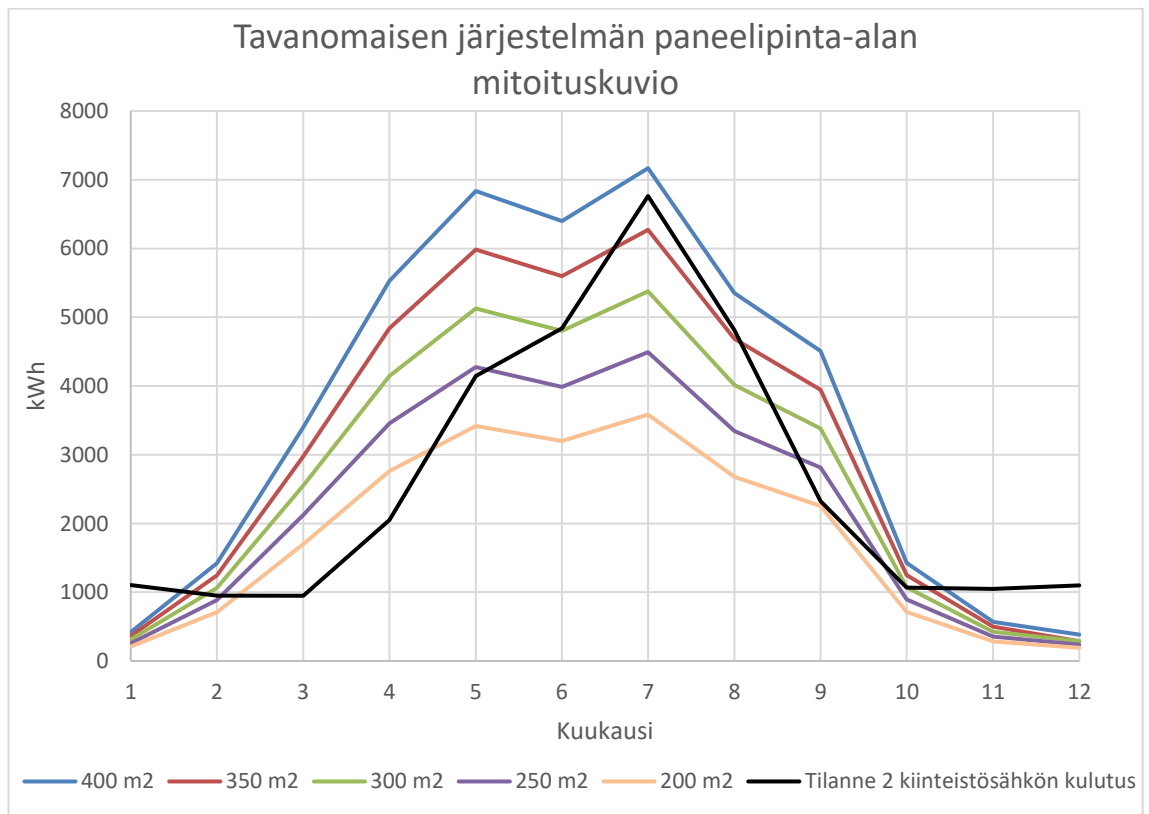
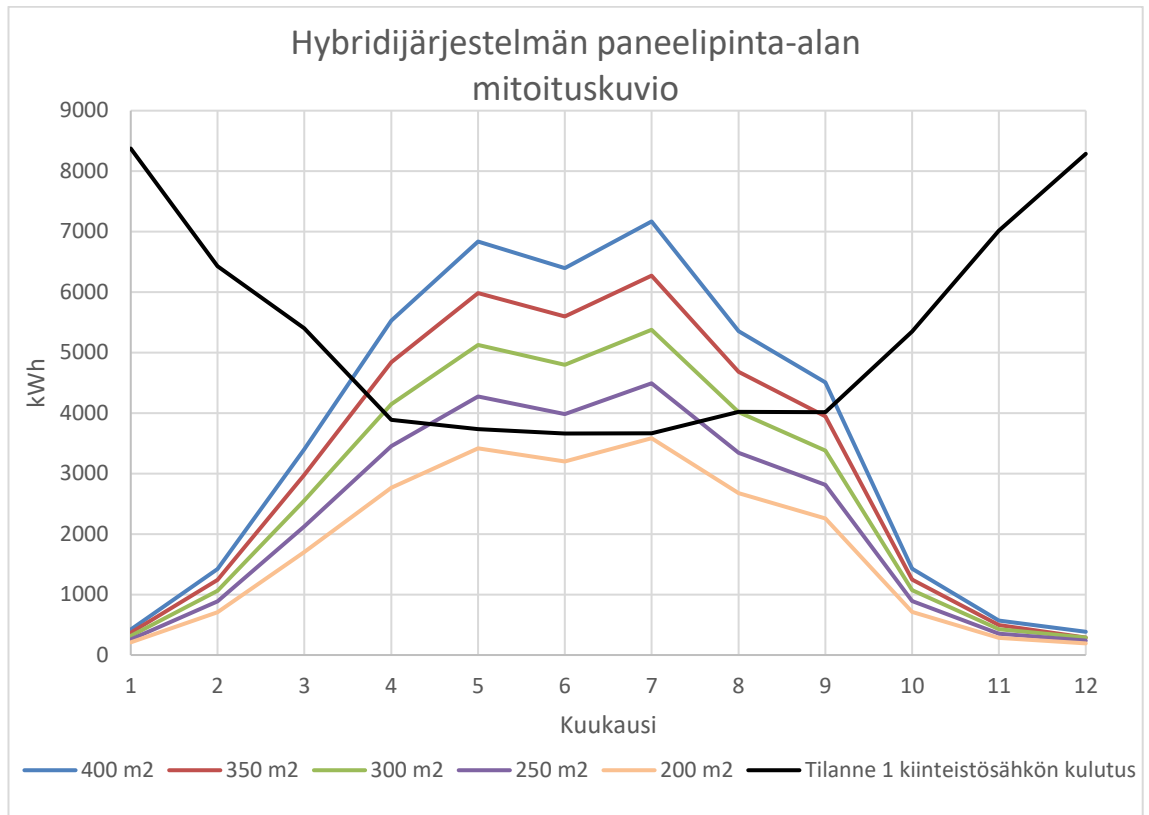
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 27.12.2017/1010


Ympäristöministeriön muistio asetukselle rakennuksen energiatodistuksesta. 20.12.2017.

Ympäristöministeriön perustelumuistio asetukselle uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 19.12.2017

LIITTEET

Liite 1. Aurinkopaneelipinta-alan mitoituskuviot



		<h2 style="margin: 0;">Vertailuraportti</h2>	
Projekti			
Asiakas		Simuloitu	20.4.2018 12.59.18

Simuloidut tapaukset

TILANNE 1	<p>FIN YMa1010/2017Asuinkerrostalo Mallinnus perustuu Lattialämmitysjärjestelmään 35/30 lämpötiloilla, joka liitetty kaukolämmön alakeskukseen. Mallinnus YMa1010/2017 mukainen.</p> <p>-Vuotoilma YMa1010/2017 kohta 4.3.3 ja 2.3.2(tasauslaskennan mukainen vuoto, 5-kerroksinen rakennus)</p> <p>Mallinnusta täydennetty "YMohje ("D5") 2018" arvoilla seuraavasti:</p> <p>- "YMohje ("D5") 2018" taulukko 3.1-3.3, rakenteiden väliset kylmäsiilat (betoniset rakenteet)</p> <p>-KL-alakeskuksen vuosihyötysuhde ja sähkönkäyttö, "YMohje ("D5") 2018" taulukko 7.1 (ja 7.2)</p> <p>-Lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhde, "YMa ("D5") 2018" taulukko 6.1</p> <p>-Lämmitysjärjestelmän apulaiteiden sähkönkulutus, "YMohje ("D5") 2018" taulukko 6.1</p> <p>-Lämpimän käyttöveden häviöt "YMohje ("D5") 2018" kohta 6.3 (ei varaajaa). Kiertojohdon ominaispituus 0,20 m/m². Kierron ja varastoinnin häviöistä 50 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä. LKV kokonaishäviöistä 45 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä. (Jakojohdon häviöistä ei lämpöä hyödyksi)</p> <p>-Lämpimän käyttöveden pumpun sähkönkulutus "YMohje ("D5") 2018" kohdan 6.3.4 mukaisesti (kiertojohdon eristystaso 1,5*D)</p> <p>-Tasauslaskimeen(IDA-tuloste) kaikki lähtötiedot syötetään lämpimien tilojen mukaisilla arvoilla. Käyttäjän tulee itse täydentää ja tarvittaessa myös muuttaa tietoja tasauslaskentatulostukseen.</p> <p>-Halutessaan energiatodistustulosteen(IDA-tuloste) luokan 9 rakennukseen käyttäjä voi valita rakennuksen mallipohjaksi jonkun luokan 1-8 rakennuksista ja muuttaa sitä suunnittelutapausta vastaavaksi. Simuloinnin jälkeen käyttäjä voi sitten muuttaa rakennuksen käyttötarkoituksiluokan IDA-energiatodistustulosteen sivulle 1.</p>
TILANNE 2	<p>FIN YMa1010/2017Asuinkerrostalo Mallinnus perustuu Lattialämmitysjärjestelmään 35/30 lämpötiloilla, joka liitetty kaukolämmön alakeskukseen. Mallinnus YMa1010/2017 mukainen.</p> <p>-Vuotoilma YMa1010/2017 kohta 4.3.3 ja 2.3.2(tasauslaskennan mukainen vuoto, 5-kerroksinen rakennus)</p> <p>Mallinnusta täydennetty "YMohje ("D5") 2018" arvoilla seuraavasti:</p> <p>- "YMohje ("D5") 2018" taulukko 3.1-3.3, rakenteiden väliset kylmäsiilat (betoniset rakenteet)</p> <p>-KL-alakeskuksen vuosihyötysuhde ja sähkönkäyttö, "YMohje ("D5") 2018" taulukko 7.1 (ja 7.2)</p> <p>-Lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhde, "YMa ("D5") 2018" taulukko 6.1</p> <p>-Lämmitysjärjestelmän apulaiteiden sähkönkulutus, "YMohje ("D5") 2018" taulukko 6.1</p> <p>-Lämpimän käyttöveden häviöt "YMohje ("D5") 2018" kohta 6.3 (ei varaajaa). Kiertojohdon ominaispituus 0,20 m/m². Kierron ja varastoinnin häviöistä 50 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä. LKV kokonaishäviöistä 45 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä. (Jakojohdon häviöistä ei lämpöä hyödyksi)</p> <p>-Lämpimän käyttöveden pumpun sähkönkulutus "YMohje ("D5") 2018" kohdan 6.3.4 mukaisesti (kiertojohdon eristystaso 1,5*D)</p> <p>-Tasauslaskimeen(IDA-tuloste) kaikki lähtötiedot syötetään lämpimien tilojen mukaisilla arvoilla. Käyttäjän tulee itse täydentää ja tarvittaessa myös muuttaa tietoja tasauslaskentatulostukseen.</p> <p>-Halutessaan energiatodistustulosteen(IDA-tuloste) luokan 9 rakennukseen käyttäjä voi valita rakennuksen mallipohjaksi jonkun luokan 1-8 rakennuksista ja muuttaa sitä suunnittelutapausta vastaavaksi. Simuloinnin jälkeen käyttäjä voi sitten muuttaa rakennuksen käyttötarkoituksiluokan IDA-energiatodistustulosteen sivulle 1.</p>

Viihtyisyysindeksi

	TILANNE 1	TILANNE 2
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	20	17
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	12	10
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	10	9

Nettoenergia

Ostoenergia

	TILANNE 1		TILANNE 2	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	22195	6.8	22346	6.8
LVI sähkö	6484	2.0	7236	2.2
Sähkölämmitys, kiinteistö	0	0.0		
Lämpöpumppuenergia	52908	16.1		
Jäähdytys			17075	5.2
Yhteensä, Kiinteistösähkö	81587	24.8	46657	14.2
Lämmitys, kaukolämpö	20174	6.1	208495	63.5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	20174	6.1	208495	63.5
Yhteensä	101761	31.0	255152	77.7
Laitteet, asukas	59205	18.0	59607	18.2
IV-käyttäjäsähkö	19963	6.1	20112	6.1
IV-sähkölämmitys, asukas	41847	12.7	41283	12.6
Yhteensä, Asukkaan sähkö	121015	36.9	121002	36.8
Aurinkosähkön tuotanto	-986	-0.3	-758	-0.2
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	-986	-0.3	-758	-0.2
Yhteensä	221790	67.5	375396	114.3

3(7)



Kokonaisenergia

	TILANNE 1		TILANNE 2	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	31069	9.5	31069	9.5
LVI sähkö	9242	2.8	10185	3.1
Sähkölämmitys, kiinteistö	0	0.0		
Lämpöpumppuenergia	71438	21.8		
Jäähdytys			35333	10.8
Yhteensä, Kiinteistösähkö	111749	34.0	76587	23.3
Lämmitys, kaukolämpö	10087	3.1	104248	31.7
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	10087	3.1	104248	31.7
Yhteensä	121836	37.1	180835	55.1
Laitteet, asukas	82877	25.2	82877	25.2
IV-käyttäjäsähkö	27998	8.5	27998	8.5
IV-sähkölämmitys, asukas	51869	15.8	51894	15.8
Yhteensä, Aukkaan sähkö	162744	49.6	162769	49.6
Aurinkosähkön tuotanto	-32559	-9.9	-39072	-11.9
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	-32559	-9.9	-39072	-11.9
Yhteensä	252021	76.7	304532	92.7

4(7)

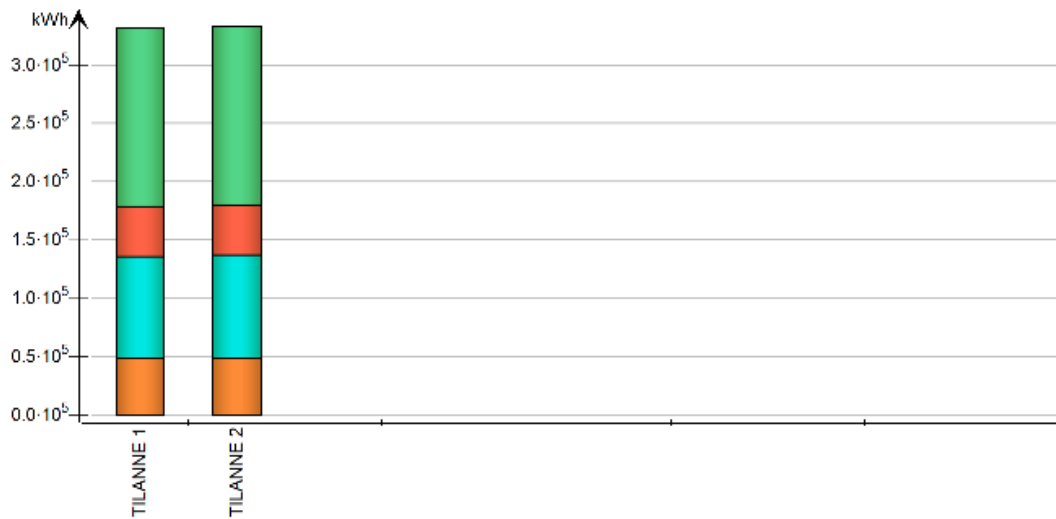


Järjestelmien energia

Energiankulutus

kWh

Tapaus	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
TILANNE 1	48950.5	86467.1	43224.0	0.0	152915.0
TILANNE 2	49235.1	88242.4	43244.7	0.0	152906.0

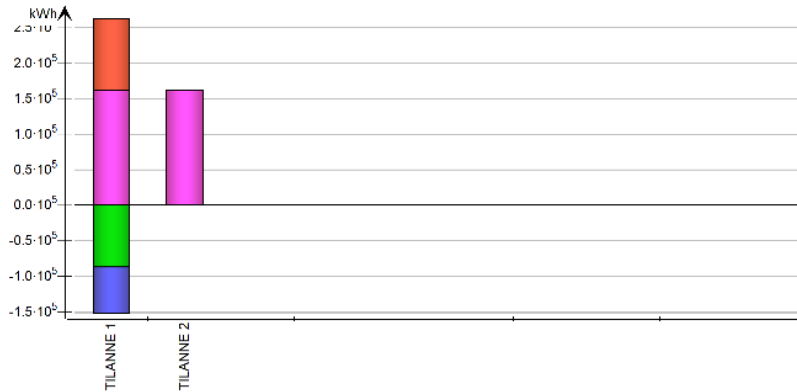


5(7)

Talteenotettu ja omavaraisenergia

kWh

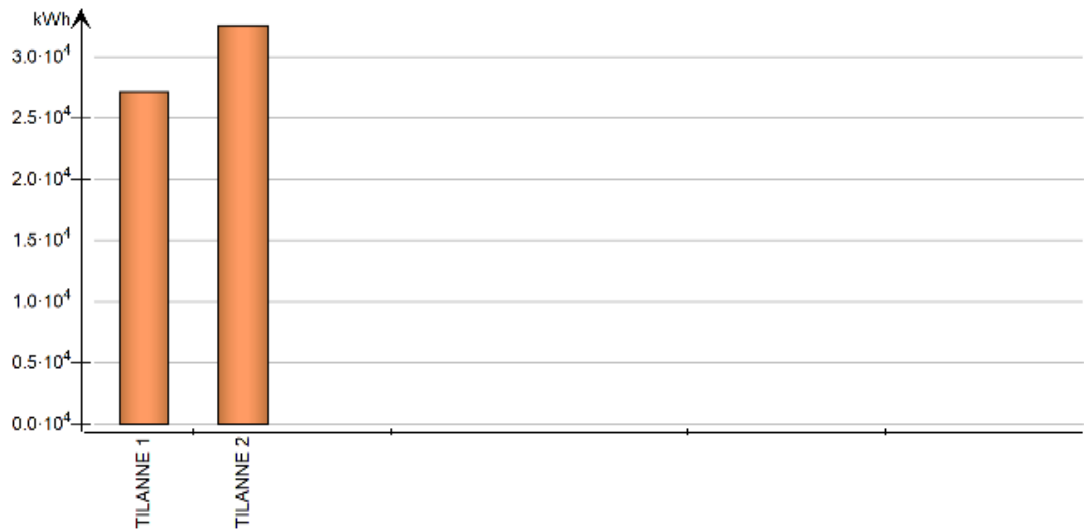
Tapaus	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Lämmöntalteenotto, primäärijärjestelmä	Jäähdytyksen talteenotto, primäärijärjestelmä	Aurinkolämpö	Maalämpö	Maajäähdytys	Ulkoilma lämpö	Ulkoilma jäähdytys
TILANNE 1	161936,0	-0,0	-0,0	-86645,6		101306,0	-65371,1		
TILANNE 2	161892,0	-1,5	0,0	0,0					



Tuotettu sähköenergia

kWh

Tapaus	Aurinkosähkö (PV)	Tuuliturbiini	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)
TILANNE 1	27132,4		
TILANNE 2	32559,8		

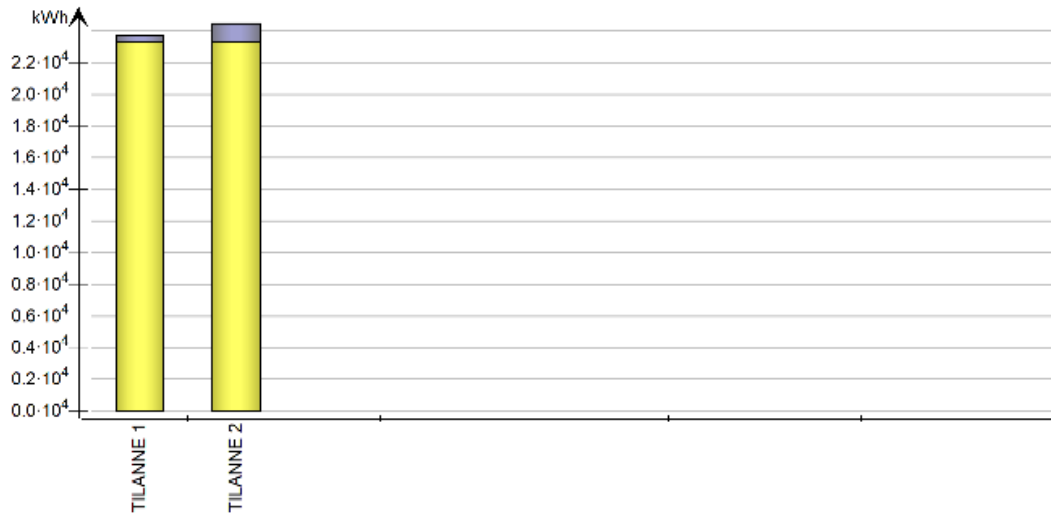


6(7)

Apulaitteiden energia

kWh

Tapaus	Kostutus	Puhaltimet	Pumput
TILANNE 1		23332.0	363.0
TILANNE 2		23332.0	1148.3

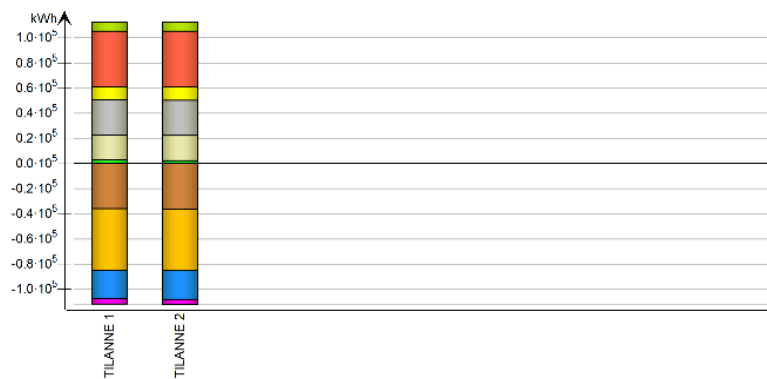


Energia kaikille vyöhykkeille (vain tuntuva)

Lämmityksen aikana

kWh

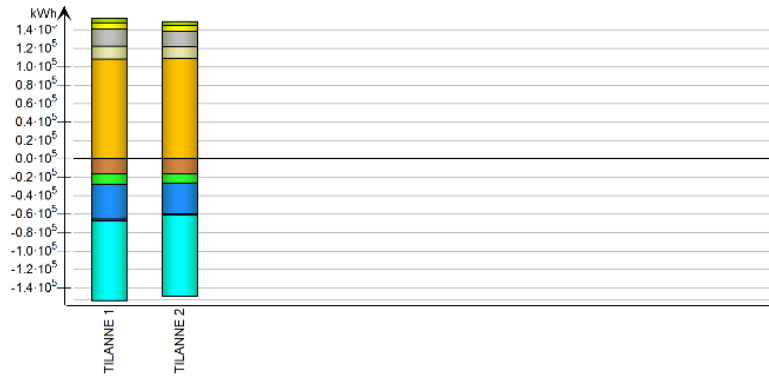
Tapaus	Vaippa ja kylmäsiilat	Sisäseinät ja massat	Ikkunat & auringonsäteily	Kon. tuloilma	Vuotoilma & aukot	Ihmiset	Laitteet	Valaistus	Paikalliset lämmityslaitteet	Paikalliset jäähdytyslaitteet	Jakeluhäviöt
TILANNE 1	-35947.2	2695.9	-49236.1	-22735.9	-4103.7	19905.1	27853.3	10441.4	44053.9	0.0	6891.7
TILANNE 2	-36044.2	2487.1	-49200.1	-22760.2	-4106.1	19925.2	27880.6	10451.3	44307.8	0.0	6898.6



Jäähdytyksen aikana

kWh

Tapaus	Vaippa ja kylmäsiilat	Sisäseinät ja massat	Ikkunat & auringonsäteily	Kon. tuloilma	Vuotoilma & aukot	Thmiset	Laitteet	Valaistus	Paikalliset lämmityslaitteet	Paikalliset jäähdytyslaitteet	Jakeluhäviöt
TILANNE 1	-15943.2	-11380.2	108350.0	-37552.7	-1481.6	14170.5	18756.4	7032.3	0.0	-86469.4	4641.4
TILANNE 2	-16023.0	-9996.2	108666.6	-33128.6	-1359.9	12779.1	16907.6	6338.7	0.0	-88241.7	4183.5



Liite 3. Yhteenvedo rakennuksen energiatehokkuudesta hybridijärjestelmällä

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIA TEHOKKUUDESTA													
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)													
Lämmitetty nettoala	3284,1 m ²												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus													
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus													
	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia									
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	-	kWh _E /(m ² vuosi)									
kaukolämpö	20 174	7	0,5	3,1									
sähkö	202 603	62	1,2	74,0									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	94 947	29											
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				78									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokittelusteikko	Asuinkerrostalot												
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A: ... 75</td> <td>B: 76 ... 100</td> <td>C: 101 ... 130</td> </tr> <tr> <td>D: 131 ... 160</td> <td>E: 161 ... 190</td> <td>F: 191 ... 240</td> </tr> <tr> <td>G: 241 ...</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130	D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240	G: 241 ...		
A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130											
D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240											
G: 241 ...													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	B												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jotta eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E- lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityslaitteet, sulanpoistolämmitykset ja ulkovalet eivät sisälly E-lukuun.</p>													

Liite 4. Yhteenvedo rakennuksen energiatehokkuudesta tavanomaisella järjestelmällä

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIA TEHOKKUUDESTA													
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)													
Lämmitetty nettoala	3284,1 m ²												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus													
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus													
	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia									
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	-	kWh _E /(m ² vuosi)									
kaukolämpö	208 495	64	0,5	31,7									
sähkö	167 660	52	1,2	61,3									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	94 947	29											
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				94									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokitteluasteikko	Asuinkerrostalot												
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A: ... 75</td> <td>B: 76 ... 100</td> <td>C: 101 ... 130</td> </tr> <tr> <td>D: 131 ... 160</td> <td>E: 161 ... 190</td> <td>F: 191 ... 240</td> </tr> <tr> <td>G: 241 ...</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130	D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240	G: 241 ...		
A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130											
D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240											
G: 241 ...													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	B												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jotta eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autotallin lämmitys, sulanpoistolämmitys ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													