

Oskari Lepistö

# LÄHES NOLLANENERGIATALON ENERGIASIMULOINTI

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Huhtikuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 23.04.2015				
<b>Tekijä(t)</b> Oskari Lepistö	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikan koulutusohjelma				
<b>Nimeke</b>  Lähes nollaenergiatalon energiasimulointi					
<b>Tiivistelmä</b>  Nykyiset energiamääräykset tulevat muuttumaan tulevaisuudessa, sillä EU:n alueella tavoitellaan lähes nollaenergiarakentamiseen siirtymistä vuoteen 2020 mennessä. Lähes nollaenergiarakennuksen käsitettä määritetään FinZEB-hankkeessa. Hankkeen tavoitteena on luoda pohja kansallisen lähes nollaenergiarakentamisen soveltamista Suomen olosuhteisiin.  Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, millä toimenpiteillä tarkastelun kohteena olevan pientalon E-luku saadaan täyttämään nykyisen energiatehokkuusmääräyksen mukaisen energiatehokkuusluokan A vaatimus $E \leq 79 \text{ kWh/m}^2\text{,a}$ . Tämän lisäksi pientalon on tarkoitus täyttää FinZEB-hankkeen ehdotettu lähes nollaenergiatalon vaatimus E-lukurajan ( $E \leq 127 \text{ kWh/m}^2\text{,a}$ ) osalta. Nykyisten energiatehokkuusmääräysten mukainen energiatehokkuusluokan A E-luku on huomattavasti haastavampi saavuttaa, kuin ehdotettu lähes nollaenergiataso.  Energiasimuloinnin tekemiseen opinnäytetyössä käytettiin IDA ICE -simulointiohjelmaa. Pientalosta tehtiin kolme vaihtoehtoista energiasimulaatiota ja selvitettiin, kuinka paljon omaa energiantuotantoa pientalo vaati, jotta energialuokan A E-lukuraja saatiin täytettyä. Jokaisessa energiasimulaatiossa käytettiin eri lämmitysjärjestelmää, jonka valinta on olennaisessa osassa E-luvun muodostumisessa. Tontilla tapahtuvaksi energiantuottotavaksi valittiin aurinkokeräin- ja aurinkopaneelijärjestelmä. Kolmen energiasimuloinnin E-luvut saatiin tavoiteltuun E-lukurajaan lisäämällä riittävä määrä aurinkopaneelia.  Opinnäytetyön tulosten perusteella maalämpöä tai kaukolämpöä käyttämällä tarvittava aurinkopaneelin määrä pysyy kohtuullisella tasolla. Ilmalämmityksen ja kaukolämmön yhdistelmää käyttäessä tarvittava aurinkopaneelin määrä kasvoi niin suureksi, ettei se suurten hankintakustannusten takia ole varteenotettava ratkaisu.					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Energiatehokkuus, energia, E-luku, lähes nollaenergiarakennus					
<b>Sivumäärä</b> 45	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Johanna Arola ja Mika Kuusela	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Etelä-Kymenlaakson ammattiopisto				

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b> 23.04.2015
<b>Author(s)</b> Oskari Lepistö		<b>Degree programme and option</b> Building services engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Energy simulation of the nearly zero-energy house		
<b>Abstract</b>  Current energy regulations will change in the future, as the EU's objective in the region is to transit to nearly zero-energy construction by end of 2020. Nearly zero-energy building concept is defined in the FinZEB project. The aim of the project is to create a base for the national application of nearly zero-energy construction in the Finnish circumstances.  Aim of the thesis was to examine which measures subject of the small house E-factor can be obtained to meet the current energy efficiency in accordance with the provision of the energy efficiency class A demand of $E \leq 79 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ . In addition to this, the small house is supposed to fill in the E-factor boundary ( $E \leq 127 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ) of the proposed nearly zero-energy house. The existing energy efficiency provisions of the energy efficiency class A is much more challenging to achieve, as the proposed near-zero energy level.  IDA ICE- simulation program was used on this thesis to make the energy simulations. Three alternative energy simulations were made from the small house. They examined how much of their own energy production was needed in the small house to fulfill the E-factor of the energy efficiency class A. A different heating system were used in each energy simulations which choice is an essential part of the forming of the E-factor. The solar collector system and solar panel system were selected methods to create their own energy production of the plot. Aimed E-factor boundary were achieved after adding enough solar panels to the three energy simulations.  According to the results of the thesis, using geothermal heat or district heating the needed amount of solar panels were at reasonable level. Using the combination of the air heating and district heating, the needed amount of solar panels grew so large that it wasn't a good solution due to high acquisition cost.		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Energy efficiency, energy, E-factor, nearly zero-energy building		
<b>Pages</b> 45	<b>Language</b> English	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Johanna Arola and Mika Kuusela		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Etelä-Kymenlaakson ammattipisto

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ENERGIAMÄÄRÄYKSET .....	2
3	E-LUVUN LASKENNAN PERUSTEET.....	4
3.1	Rakennuksen lämpöhäviöt ja lämmitysenergian nettotarve .....	4
3.2	Rakennuksen standardikäyttö .....	7
3.3	Järjestelmähäviöiden ja tuoton laskenta .....	9
4	ENERGIATEHOKKUUDEN MÄÄRITELMIÄ .....	12
4.1	Kansainvälinen määritelmä lähes nollaenergiarakentamiselle .....	12
4.2	Lähes nollaenergiarakennus Suomessa.....	12
4.3	Ehdotus lähes nollaenergiarakennuksesta pientalojen osalta .....	14
4.4	Uusiutuvan energian taserajat.....	15
5	LÄHES NOLLAENERGIATALON SUUNNITTELU .....	18
5.1	Sijainti ja muoto.....	18
5.2	Kesäajan huonelämpötilan hallinta.....	19
5.3	Rakenteet ja lämmöneristys .....	19
5.4	Kylmäsiilat.....	19
5.5	Rakennusvaipan ilmapitävyys .....	20
5.6	Ikkunat .....	21
6	ENERGIAN TUOTTO .....	21
6.1	Aurinkokeräimet .....	22
6.2	Aurinkopaneelit .....	22
6.3	Passiivinen maalämpö ja -kylmä .....	23
7	KOHTEEN KUVAUS .....	24
7.1	Kohteen yleistiedot .....	24
7.2	Kohteen E-lukuraja .....	27
8	PIENTALON KOKONAISENERGIALUVUN LASKENTA.....	27
8.1	Laskennassa käytetty ohjelma .....	28
8.2	Rakennuksen muoto ja vyöhykkeet .....	28
8.3	Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteet .....	29
8.4	Rakenteet .....	30
8.5	Ikkunat ja ovet .....	31

8.6	Rakennuksen suuntaus ja varjostukset.....	31
8.7	Kylmäsiilat.....	32
8.8	Vaihtoehtoiset lämmitysjärjestelmät kohteessa.....	32
8.9	Talotekniikka .....	33
8.10	Aurinkoenergia .....	34
9	TULOKSET .....	35
10	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	38
	LÄHTEET .....	43

## 1 JOHDANTO

EU:n tavoitteiden mukaan koko Euroopassa pitäisi siirtyä lähes nollaenergiarakentamiseen vuoteen 2020 mennessä. Suomen kylmä ilmasto aiheuttaa omat haasteensa tavoitteen saavuttamisessa. Nykyiset, vuonna 2012 voimaan tulleet energiatehokkuusmääräykset ottavat jo huomioon useimmat keinot rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi. Lähes nollaenergiarakentamisen vaatimuksen myötä nykyiset energiamääräykset tarvitsevat uudistusta. Uusia vaatimuksia käsitellään FInZEB-hankkeessa, jonka tavoitteena on luoda pohja kansallisen lähes nollaenergiarakentamisen sovittamisesta Suomen olosuhteisiin. FinZEB-hankkeen ehdotetut pientalojen E-lukurajat eivät muutu juurikaan nykyisistä vaatimuksista nettoalaltaan alle 150 m<sup>2</sup> kokoisilla rakennuksilla. Ehdotettujen E-lukurajojen suurin kiristys tapahtuisi nettoalaltaan yli 165 m<sup>2</sup> oleviin pientaloihin.

Opinnäytetyössä määritetään Kotkaan rakennettavan pientalon kokonaisenergiankulutus eli E-luku. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, kuinka saavutetaan ehdotettu lähes nollaenergiataso sekä millä toimenpiteillä saavutetaan energialuokka A:n vaatimukset E-luvun osalta. Kohteesta tehdään kolme vaihtoehtoista energiasimulointia IDA ICE -ohjelmaa käyttäen. Rakennukselle on asetettu tavoitteeksi nykyinen energiatehokkuusluokka A, jonka E-luku vaatimus ( $E \leq 79 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ) on huomattavasti haastavampi saavuttaa verrattuna ehdotettuun lähes nollaenergiatasoon ( $E \leq 127 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ).

Rakennusprojektin tavoitteena on rakentaa kolme pientaloa. Ensimmäisen rakennuksen pohjapiirustuksia käytetään pohjana kaikissa taloissa. Jokaisen talon lämmitysjärjestelmä on tarkoitus suunnitella toisistaan poikkeaviksi. Kolme rakennusta tehdään kolmessa eri vaiheessa, noin vuoden väliajoin. Ensimmäisen talon rakentaminen aloitetaan syksyllä 2015. Ensimmäisen talon lattiapinta-ala on 123 m<sup>2</sup> ja lämmitetty nettoala noin 181 m<sup>2</sup>. Toisen rakennuksen on tarkoitus olla samankokoinen kuin ensimmäisen. Kolmannen talon on tarkoitus olla hieman suurempi. Talot ovat puurakenteisia, ja niiden ulkomuodossa pyritään näyttävään ulkoasuun massiivisella kattorakenteella ja isoilla keittiön ja oleskeluhuoneen ikkunoilla. Opinnäytetyössä käsitellään pelkästään ensimmäisenä rakennettavaa pientaloa. Työn tuloksia voidaan kuitenkin käyttää hyväksi seuraavien kahden pientalon suunnittelussa.

Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Kymen ammattikorkeakoulun rakennesuunnittelu-  
puolen, Etelä-Kymenlaakson ammattiopiston (EKAMI) rakennuspuolen ja Aalto-yli-  
opiston arkkitehtuurin laitoksen kanssa. Työn tilaajana toimii EKAMI.

## 2 ENERGIAMÄÄRÄYKSET

Voimassa olevat rakennusten energiamääräykset keskittyvät osakohtaisten energiate-  
hokkuusvaatimusten sijasta kokonaisenergiatarkasteluun, joka ottaa huomioon myös  
käytettävät energiamuodot. Kokonaisenergiatarkastelu mahdollistaa rakennuksen ener-  
giatehokkuuden kuvaamisen yhdellä lukuarvolla – E-luvulla. Tähän asti rakennusosa-  
kohtaiset vaatimukset ovat sanelleet, miten rakennetaan. Nykyisten määräysten avulla  
suunnittelussa voidaan käyttää enemmän luovuutta, sillä vaatimukset kohdistuvat ko-  
konaisenergiankulutukseen. [1, s.7.]

Rakennusmääräyskokoelman osa D3 (RakMK D3) sisältää määräykset rakennusten  
energiatehokkuuden soveltamiseksi. Määräykset koskevat uusia rakennuksia, joissa  
käytetään energiaa tilojen ja ilmavaihdon lämmitykseen ja mahdollisesti jäähdyttämi-  
seen. Rakennukset on jaoteltu yhdeksään luokkaan, jossa erilliset pientalot kuuluvat  
luokkaan yksi. Lukuun ottamatta määräyksissä mainittuja poikkeustapauksia, kaikkien  
uusien rakennusten ostoenergiankulutus on laskettava rakennustyyppin standardikäytön  
mukaisten lähtöarvojen mukaan. [2.]

Lisäksi rakennuksista lasketaan kokonaisenergiankulutus eli E-luku. E-luku on energia-  
muotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennus-  
tyypin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku lasketaan rakennukseen  
ostettavien energioiden ja energiamuotojen kertoimien (taulukko 1) tulona lämmitettyä  
nettoalaa kohti ja ilmaistaan yksiköllä kWh/m<sup>2</sup> vuodessa. [1, s. 8.]

**TAULUKKO 1. Energiamuodon kertoimet [2]**

	Energiamuodon kertoimet 2012
Fossiiliset polttoaineet	1
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

Pientalojen sallitut E-luvut on jaoteltu pientaloihin ja hirsitaloihin. Lisäksi nämä momentit kategoriat on jaoteltu neljään eri kokoluokkaan lämmitetyn nettoalan mukaan. Taulukossa 2 on esitetty uudisrakennusten sallitut E-lukuarvot.

## TAULUKKO 2. Uudisrakennusten sallitut E-lukurajat [2]

Uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää seuraavia arvoja:

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, $A_{\text{netto}}$	kWh/m <sup>2</sup> vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150
Luokka 2	Asuinkerrostalo		130
Luokka 3	Toimistorakennus		170
Luokka 4	Liikerakennus		240
Luokka 5	Majoitusliikerakennus		240
Luokka 6	Opetusrakennus ja päiväkot		170
Luokka 7	Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli		170
Luokka 8	Sairaala		450
Luokka 9	Muut rakennukset ja määräaikaiset rakennukset		E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta

Rakennuksen energiatehokkuus on jaettu luokkiin A-G. Uudisrakennusten tulee täyttää vähintään energiatehokkuustaso C. Opinnäytetyössä tarkasteltavan pientalon E-lukurajat on esitetty tuloksissa (taulukko 12).



### 3 E-LUVUN LASKENNAN PERUSTEET

RakMK osa D3 sisältää määräykset rakennusten kokonaisenergiankulutuksen laskentaan. Energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet löytyvät RakMK osasta D5. E-luku lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$E\text{-luku} = \frac{\sum \text{rakennukseen ostettu energia} * \text{enegiamuotokerroin}}{\text{lämmitetty nettoala}} \quad (1)$$

Rakennukseen ostettava energia lasketaan kaavalla:

$$\frac{Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{lämmitys}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + Q_{\text{jäähdytys}} + W_{\text{jäähdytys}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{valaistus}} - W_{\text{käytetty omasähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (2)$$

Energiamuotokertoimet on esitetty taulukossa 1.

RakMK osassa D3 annetaan seuraavat lähtöarvot:

- Ulkoilman säätiedot
- Sisäilmasto-olosuhteet
- Rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiajat sekä sisäiset lämpökuormat [2.]

Muut energialaskennassa tarvittavat lähtötiedot saadaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista, joihin sisältyy pohjapiirustukset, leikkaus- ja julkisivukuvat, rakennetyypikuvat ja LVI-suunnitelmat. Jos tiedossa on tarkat tiedot LVI-järjestelmästä, kuten käytettävän ilmanvaihtokoneen merkki ja malli, voidaan sen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käyttää valmistajan antamaa arvoa.

#### 3.1 Rakennuksen lämpöhäviöt ja lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Rakennuksen lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin RakMK osan D3 mukaisilla vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö. Vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään seuraavia osan D3 tietoja:

- Rakennusosien vertailu U-arvot (taulukko 3)
  - Ilmanvuotoluku  $q_{50} = 2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$
  - Ilmanvaihdon ilmavirta =  $0,4 \text{ dm}^3/\text{m}^2$  (taulukko 5)
  - Ilmanvaihdon standardi käyntiaika (taulukko 6)
  - Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 45%
- [2.]

Rakennuksen suunnittelulämpöhäviön laskennassa käytetään ilmanvuotoluvun suunnitteluarvoa. Jos ilmapitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, käytetään rakennusvaipan ilmanvuotolukuna  $q_{50} = 4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä esitetään standardissa SFS-EN 13829. [2.]

Rakennuksen lämmöneristyksen suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota rakennusosien oikeaan lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Näin on meneteltävä erityisesti silloin, kun rakennusosien lämmönläpäisykertoimina käytetään taulukon 3 esitettyjä vertailuarvoja pienempiä arvoja. [2.]

**TAULUKKO 3. Lämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennusosien vertailu U-arvot rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvoa laskettaessa [2]**

Rakenneosa	U-arvo $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Ulkoseinä	0,17
Yläpohja	0,09
Alapohja	0,16
Ikkuna	1,0
Ovi	1,0

Lämmitysenergian nettotarve koostuu tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen nettotarpeista. Tilojen lämmityksen nettotarpeen määrää johtumishäviöt. Ne koostuvat rakennusvaipan osien pinta-aloista ja U-arvoista, ikkunoiden ko' oista, rakennuksen muodosta, rakennusosien välisistä kylmäsilloista ja vuotoilmavirrasta. [1, s. 29.]

Lämmitysenergian nettotarpeen laskennassa tarvitaan seuraavien rakennusosien pinta-  
alat ja U-arvot:

- ulkoseinä
- alapohja
- yläpohja
- ikkunat
- ovet.

Tämän lisäksi tarvitaan rakennusosien välisten liitosten viivamaiset konduktanssit ja  
pituudet. Rakennusosien pinta-alat ja liitospituudet lasketaan sisämitoilla. Rakennus-  
osien liitoksista johtuvien kylmäsiltojen määrittämisessä voidaan käyttää RakMK osan  
D5 ohjearvoja (taulukko 4). [1, s. 29.]

**TAULUKKO 4. RakMK osan D5 ohjearvoja viivamaisen kylmäsilan aiheutta-  
malle lisäkonduktanssille erityyppisissä liitoksissa [3]**

Ulkoseinä- materiaali	Lisäkonduktanssi $\Psi_k$ , W/(m K)									
	Yläpohjan (ulkonurkka) runkomateriaali			Välipohjan runkomateri- aali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni, maan- vast.	betoni, ryöm. tila	kevyt- betoni, ryöm. tila	puu, ryöm. tila
betoni	0,08		0,04	0,00			0,24	0,28		
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00		0,09	0,08	0,03	
kevytsorabetoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
tiili	0,08		0,04	0,00			0,17	0,06		
puu			0,05			0,05	0,10			0,06
hirsi			0,04			0,00	0,11			0,09

Liitos	Lisäkonduktanssi $\Psi_k$ , W/(m K)					
	Ulkoseinän runkomateriaali					
	betoni	kevyt- betoni	kevyt- sora- betoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen koh- dalla <sup>*)</sup>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,10	0,10	0,07	0,07

<sup>\*)</sup> Karmi peittää vähintään 40 % lämmöneristeen kokonaispaksuudesta.

### 3.2 Rakennuksen standardikäyttö

Energialaskenta suoritetaan kyseessä olevan rakennustyyppin standardikäytöllä, jotta tuloksista saadaan vertailukelpoisempia. Standardikäytön määrittävät lähtötiedot ovat testivuosi, sisäilma olosuhteet, käyttö- ja käyntiajat sekä sisäiset lämpökuormat. Testivuosi perustuu viimeisen 30 vuoden Helsinki-Vantaa -säätietoihin. Rakennuksen sijainnilla ei ole siis merkitystä energialaskennan kannalta. [1, s. 20 – 21.]

Standardikäytön mukaiset sisäilmasto-olosuhteet eli ilmavirrat ja lämpötilat on laadittu vastaamaan asuinrakennusten osalta RakMK osan D2 ohjearvoja. Taulukon 5 arvot on tarkoitettu E-luvun laskentaan. Ilmavirrat mitoitetaan RakMK osan D2 tai Sisäilmastoluokituksen arvoilla. Energialaskennassa voidaan kuitenkin ottaa huomioon tarpeenmukainen ilmanvaihto. Tarpeenmukaisella ilmavaihdolla varustetussa tiloissa käytetään ilmavirtojen suunnitteluarvoja. Ilmanvaihtoa voi ohjata myös esimerkiksi hiilidioksidin, lämpötilan tai kosteuden mukaan. Tarpeenmukaiset ilmavirrat lasketaan taulukon 6 käyttöajoilla. [1, s. 20 – 21.]

**TAULUKKO 5. Energialaskennassa käytettävät huonelämpötilan asetusarvot ja käyttöajan ilmanvaihtomäärät. Ilmavirrat on annettu lämmitettyä nettoalaa kohti [2]**

Käyttötarkoitukseluokka	Ulkoilmavirta l/(s m <sup>2</sup> )	Lämmitysraja °C	Jäähdytysraja °C
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	0,4	21	27
Asuinkerrostalo	0,5	21	27
Toimistorakennus	2	21	25
Liikerakennus	2	18	25
Majoitusrakennus	2	21	25
Opetusrakennus ja päiväkot	3	21	25
Liikuntahalli	2	18	25
Sairaala	4	22	25

Käyttöaika (taulukko 6) esittää, kuinka monta tuntia vuorokaudessa ja päivää viikossa rakennusta käytetään. Käyttöaste on keskimääräinen valaistuksen ja kuluttajalaitteiden

käyttöaste sekä ihmisten läsnäolo rakennuksen käyttöajan aikana. Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden lämpökuormat katsotaan samaksi niiden sähkönkäytön kanssa. [1, s. 22.]

**TAULUKKO 6. Standardikäyttöä vastaavat käyttöajat ja lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti [2]**

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika <sup>d</sup>	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m <sup>2</sup>	Kuluttajalaitteet W/m <sup>2</sup>	Ihmiset <sup>a</sup> W/m <sup>2</sup>
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 <sup>b,c</sup>	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 <sup>b,c</sup>	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 <sup>c</sup>	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 <sup>c</sup>	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 <sup>c</sup>	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 <sup>c</sup>	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 <sup>c</sup>	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 <sup>c</sup>	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyttöaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja ihmisten vuotuinen lämpökuorma Q [kWh/(m<sup>2</sup> a)] lasketaan kaavalla:

$$Q = k * P * \frac{\tau_d}{24} * \frac{\tau_w}{7} * \frac{8760}{1000} \quad (3)$$

k käyttöaste

P lämpökuorma W/m<sup>2</sup>

$\tau_d$  rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa h

$\tau_w$  rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa d

Energiatohokkaiden kodinkoneiden valinta ei vaikuta ostoenergiankulutukseen. Taulukon 6 arvoja on käytettävä sellaisenaan. Poikkeuksena voidaan käyttää pienempää valaistustehoa, mikäli valaistustaso säilyy. Valaistustasosta on tällöin esitettävä erillisselvitys energialaskennan lähtötietojen osana noudattaen standardin SFS-EN 12464-1 valaistustasoja. [1, s. 23.]

Lämpökuormaksi lasketaan myös lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpöhäviöistä 50 %, joka tulee tiloihin lämpökuormaksi, ellei laskelmin pystytä toisin osoittamaan. Muita lämmitysjärjestelmän häviöitä ei lasketa lämpökuormiksi. [1, s. 23.]

Lämpimän käyttöveden tarvitseman lämmitysenergian laskennassa käytetään taulukon 7 ominaiskulutuksia ja niitä vastaavia lämmitysenergian nettotarpeita. Taulukon arvot on laskettu kylmän veden lämpötilalla 5 °C ja lämpimän 55 °C. Lämpimän käyttöveden tarkastelussa vedenkulutukseen ei voi vaikuttaa suunnittelulla eli käytännössä esimerkiksi vettä säästäviä vesikalusteita käyttämällä. Käyttöveden lämmittämistapa voidaan kuitenkin valita vapaasti. [1, s. 23 – 24.]

**TAULUKKO 7. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus ja sitä vastaava lämmitysenergian nettotarve lämmitettyä nettoalaa kohti [2]**

Käyttötarkoitusluokka	LKV:n ominaiskulutus dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> a)	Lämmitysenergia kWh/(m <sup>2</sup> a)
Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutilat, asuinkerrostalo	600	35
Toimistorakennus	103	6
Liikerakennus	68	4
Majoitusliikerakennus	685	40
Opetusrakennus ja päiväkot	188	11
Liikuntahalli	343	20
Sairaala	515	30

Aurinkokeräimellä tapahtuvan käyttöveden lämmittäminen on huomioitava laskennassa siten, että nettotarpeesta maksimissaan 40 % voidaan kattaa aurinkokeräimillä tuotetulla lämpöenergialla [3].

### 3.3 Järjestelmähäviöiden ja tuoton laskenta

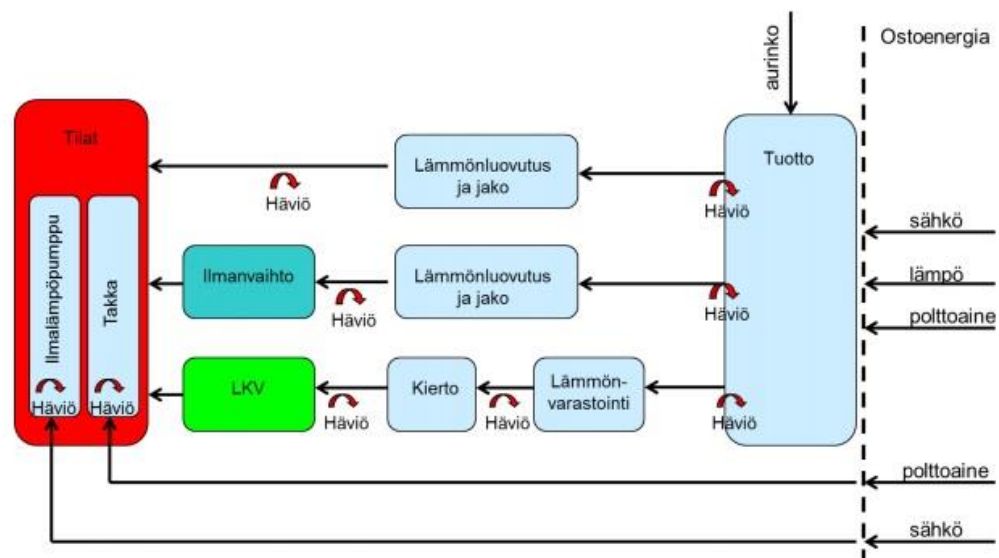
Lämmitysenergian nettotarpeisiin on lisättävä lämmitysjärjestelmän häviöt, kuten lattialämmityksen häviö maaperään tai käyttöveden kiertojohtoon häviö. Häviöiden lisäämisen jälkeen lasketaan lämmitysenergian tuotto, jossa otetaan huomioon esimerkiksi aurinkokeräin, kattila tai lämpöpumppu. [1, s. 34.]

Lämmityksen häviöt lasketaan jakamalla tilojen lämmitysenergian nettotarve käytettävän lämmityksen hyötysuhteella. Niiden ohjearvot annetaan RakMK osassa D5. Taulukossa 8 on esitetty yleisimpien järjestelmien hyötysuhteet. [1, s. 34.]

**TAULUKKO 8. Yleisimpien lämmönjako- ja luovutusjärjestelmien hyötysuhteet [1]**

Lämmitystapa	Hyötysuhde %
Vesiradiaattorit	0,85
Lattialämmitys maata vasten	0,80
Lattialämmitys välipohjassa	0,85
Sähköinen lattialämmitys	0,85
Sähköpatterit	0,95
Ilmalämmitys	0,90

Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskennassa on otettava huomioon tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeet. Lisäksi lämmönluovutuksen, lämmönjaon ja lämmön varastoinnin häviöt, sekä lämmöntuoton vaikutus otetaan huomioon lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskennassa. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 1. [3.]



**KUVA 1. Lämmitysjärjestelmänlaskennan periaate [3]**

Kokonaisenergian laskennassa on huomioitava lämmöntuottoyksiköiden vuosihyötysuhteet. Jos rakennuksessa on kaksi tai useampia lämmöntuottojärjestelmiä, lasketaan

lämmitysenergian kulutus järjestelmittäin sen kyseessä olevan järjestelmän hyötysuhteen ja järjestelmään kohdistuvan lämmöntarpeen avulla. Taulukossa 9 ja 10 esitetään eri lämmöntuottotapojen vuosihyötysuhteita ja sähkönkulutusta. [3.]

**TAULUKKO 9. Erillisten pientalojen sekä rivi- ja ketjutalojen kattiloiden ja KL-lämmönjakokeskusten hyötysuhteiden ja sähkönkulutuksen ohjearvoja [3]**

	Vuosihyötysuhde	Sähkö kWh/a m <sup>2</sup>
standardi öljy/kaasu	0,81 <sup>3)</sup>	0,99 <sup>1)</sup> 0,59 <sup>2)</sup>
kondenssi öljy	0,87 <sup>3)</sup>	1,07
kondenssi kaasu	0,92 <sup>3)</sup>	0,68
pellettikattila	0,75 <sup>3)</sup>	0,77
puukattila energiavaraajalla	0,73	0,38
sähkökattila	0,88 <sup>3)</sup>	0,02
kaukolämpö	0,94	0,60
huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

<sup>1)</sup> öljy

<sup>2)</sup> kaasu

<sup>3)</sup> Vuosihyötysuhde sisältää tyypillisen lämmöntuottoyksikköön integroidun varaajan häviöt. Mikäli varaaja on erillinen, voidaan sen häviöt arvioida interpoloiden käyttövesivaraajan häviöistä, ellei tarkempaa laskelmaa ole olemassa.

Maalämpöä käytettäessä lasketaan lämpöpumpun sähkönkulutus sen tuottaman tilojen tai käyttöveden lämmitysenergian sekä lämpöpumpun kausisuorituskykykertoimen (SPF-luku) avulla [3].

**TAULUKKO 10. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja [3].**

Maalämpöpumppu	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
menoveden korkein lämpötila, °C	-3	+3
<i>Tilojen lämmitys</i>		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
<i>Käyttöveden lämmitys</i>		
60	2,3	2,3



## 4 ENERGIATEHOKKUUDEN MÄÄRITELMIÄ

### 4.1 Kansainvälinen määritelmä lähes nollaenergiarakentamiselle

EU:n parlamentin hyväksymässä EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) energiatehokkuusdirektiivissä todetaan, että EU-maissa otetaan käyttöön ”lähes nollaenergiatalo” uudisrakentamisen perusratkaisuksi vuodesta 2021 alkaen ja julkisen rakentamisen perusratkaisuksi vuoden 2019 alussa. Termillä ”lähes nollaenergiatalo” tarkoitetaan minimienergiataloa, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus. Lisäksi rakennuksen kuluttaman energianmäärän tulee olla lähes olematon tai erittäin vähäinen. Käytettävän energian tulisi olla laajalti uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa, paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettavaa energiaa. [4, s. 8; 5.]

Energiatehokkuudella tarkoitetaan energiakäytön hyötysuhdetta. Energiatehokkaassa rakennuksessa tarpeet tulee saavuttaa normaalia pienemmällä energiamäärällä, tai samalla energiamäärällä tulisi kattaa enemmän toimintoja. Energiatehokkuudella viitataan rakennusten käyttöön, sillä se muodostaa energiankulutuksesta suurimman osan. Energiatehokkuutta tavoiteltaessa energiankulutuksen pienentäminen ei saisi tapahtua asumismukavuudesta tinkimällä. [6.]

Direktiivi ei määritä absoluuttista lukuarvoa lähes nollaenergiatalolle (esim. kWh/m<sup>2</sup>,a), vaan jäsenmaiden tulee itse määritellä kansallisesti oma sovellus direktiivistä, koska ilmasto, kansalliset rakentamiskäytännöt kustannuksineen ja uusiutuvien energialähteiden saatavuus paikallisesti vaikuttavat kustannusoptimiin. Kustannusoptimoinnilla tarkoitetaan, että rakennuksen elinkaarikustannuksissa saavutetaan merkittävä säästö ilman, että investointikustannukset kasvavat kohtuuttomasti. [4, s. 8.]

### 4.2 Lähes nollaenergiarakennus Suomessa

Suomen olosuhteisiin sopivaa lähes nollaenergiatasoa määritetään FInZEB-hankkeessa. Hankkeessa selvitetään, kuinka kansalliset vaatimukset tulisi laatia Suomessa toimivaksi asetukseksi. Hankkeen tarkoituksena on asettaa vaatimukset riittävän haasteellisesti, mutta kustannustehokkaasti direktiivien täyttämiseksi, rakenteiden turvallisuus ja hyvät sisäolosuhteet huomioiden. Hankkeen taustalla toimivat Rakennusteollisuus RT

ry, Talotekniikkateollisuus ry ja ympäristöministeriö. Lisäksi hankkeen ohjausryhmässä toimii yksittäisiä asiantuntijoita eri yrityksistä ja oppilaitoksista. [5.]

FInZEB-hankkeessa linjattiin, mikä on direktiivin mukaista ”lähellä tuotettua” uusiutuvaa energiaa, sekä päätettiin esittää kohteessa tuotetun uusiutuvan energian ulosmyynnin huomioimista, mikä ei ole mahdollista nykyisin voimassa olevin laskentasäännöin. Energiatehokkuusdirektiivin perusteella kaukolämpö lasketaan kuuluvaksi rakennuksen lähellä tuotetuksi uusiutuvaksi energiaksi, jos se perustuu yksinomaan uusiutuviin energialähteisiin. [4, s. 8; 7.]

Lähes nollanenergiarakennukselle on ehdotettu neljää ominaisuutta, jotka lähes nollanenergiarakennuksen tulee täyttää. Lähes nollanenergiatarkastelu on tarkoitus tehdä vaiheittain. Osa vaatimuksista tulee osoittaa rakennuslupaa haettaessa ja loppujen vaatimusten on täytyttävä käyttöönottotarkastukseen mennessä. Ohessa luettelo neljästä vaiheesta:

- Rakennuksen lämpöhäviötarkastelu
- Rakennuksen sähköteho
- Kokonaisenergiankulutuksen sekä nZEB-E-luvun laskenta
- Muut vaatimukset [7.]

Ensimmäisellä vaiheella varmistetaan, että rakenteet, tiiviys ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotto ovat tarkoituksenmukaiset ja täyttävät vertailuarvot. Ehdotuksessa mainitaan vertailuarvojen mahdollinen tiukentaminen esimerkiksi ikkunoiden ja lämmöntalteenoton hyötysuhteen osalta. [7.]

Toisessa vaiheessa tulisi esittää rakennuksen sähköteho mukaan lukien lämmitykseen käytetty sähköenergia määrä rakennuslupaa haettaessa. Tavoitteena on rajoittaa huipun käyttöaika teknologian ja automaatiikan keinoin. [7.]

Kolmannessa vaiheessa kokonaisenergiankulutus sekä nZEB-E-luku esitettäisiin rakennuslupaa haettaessa. Rakennusmääräyskokoelman osa D3 määrittää nZEB-E-luvuille raja-arvot rakennustyyppistä riippuen. Tällä tarkoitetaan nykyisestä käytännöstä kehitetty E-luku-laskentasäännöin laskettua ja nykyisten energiamuotokertoimin painotettua ostoenergiakulutusta. [7.]

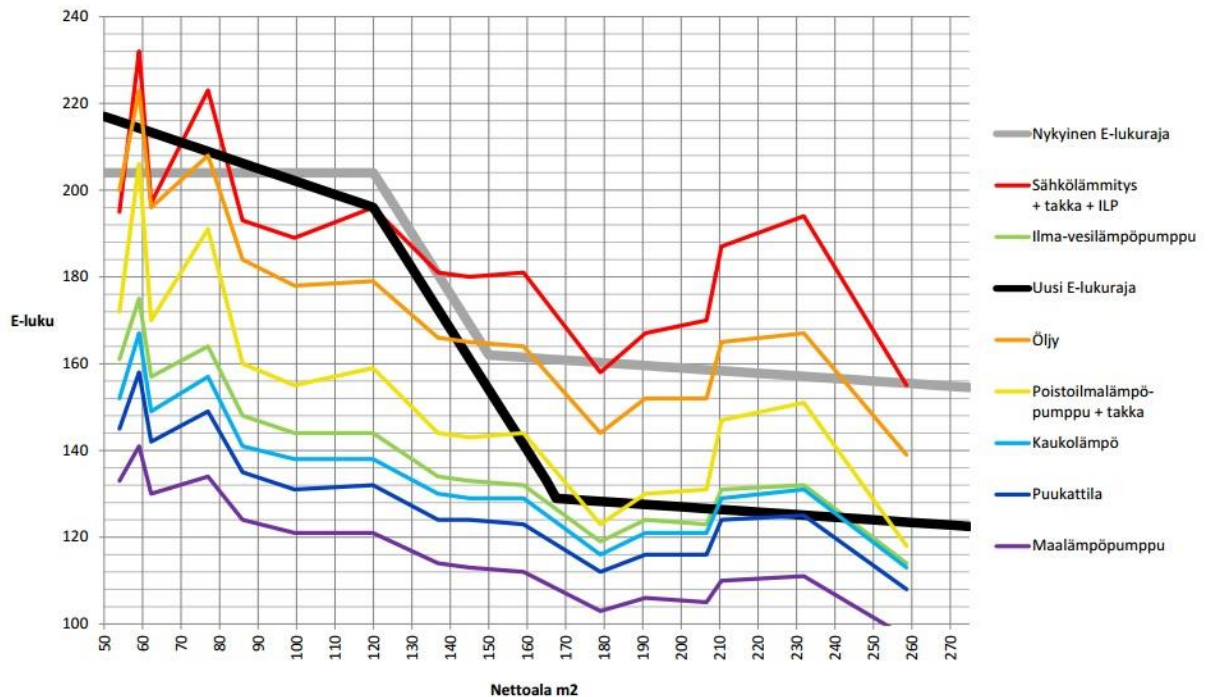
Neljänteen vaiheeseen kuuluvat muut vaatimukset, joihin sisältyvät esimerkiksi rakennuslupavaiheessa esitettävä asuinrakennusten yllämpenemistarkastelu, ilmanvaihtojärjestelmien sähkötehokkuustarkastelu, RER-luvun laskenta, joka huomioi uusiutuvan energian osuuden ostoenergiasta ja mahdollisen paikalla tuotetun uusiutuvan energian, sekä alustava energiatodistus. Lisäksi käyttöönottovaiheessa tulee esittää rakennuksen tiiviysmittauksen tulokset, kohteen erityisominaisuudet huomioiva laskennallinen tavoitteena oleva energiankulutus ja rakentamisvaiheen tiedoin päivitetty energiatodistus. [7.]

### **4.3 Ehdotus lähes nollaenergiarakennuksesta pientalojen osalta**

Pientalojen kohdalla FinZEB-hankkeessa laadittiin ehdotus uudeksi E-lukurajaksi. Ehdotettujen E-lukurajojen tavoitteena on:

- Kiristää isojen rakennusten vaatimuksia
- Kannustaa rakentamaan pienempiä omakotitaloja
- Ohjata energiatehokkaaseen arkkitehtuuriin
- Sallia jatkossakin kaikki lämmitysmuodot ainakin jossain määrin [8.]

Kuvassa 2 on esitetty ehdotus uudeksi E-lukurajaksi pientalojen osalta. Kuvasta nähdään, että nettoalaltaan alle 150 m<sup>2</sup> olevien pientalojen E-lukuraja ei tule ehdotuksen mukaan juurikaan muuttumaan. Yli 167 m<sup>2</sup> pientalojen osalta E-lukurajan kiristys on suurin, noin -35 kWh/m<sup>2</sup>,a.



**KUVA 2. Ehdotus uudeksi E-lukurajaksi pientalojen osalta [8]**

Ehdotetut nZEB-E-lukutasot eivät edellytä rakenteiden U-arvojen parantamista nykyisestä määräystasosta. Kustannustehokkaita tapoja pientalon rakentamisessa pienemmän E-luvun saavuttamiseksi ovat esimerkiksi:

- Parempi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
- Rakenteiden kylmäsiltojen lisäkonduktanssien pienentäminen 30%
- Energiatehokkaampi varaaja taulukkoarvoihin verrattuna
- Tiiveyden parannus ilmanvuotolukuun  $q_{50}$  1,5
- Lämpöpumppuratkaisuissa paremmat SPF-luvut [8.]

#### 4.4 Uusiutuvan energian taserajat

E-luvun määrittämisessä käytettävä ostoenergian taseraja (kuva 3) kuvaa rakennusta, johon tuodaan energiaa joko ostoenergiana, uusiutuvana omavaraisenergiana tai lämpökuormana. Rajan sisäpuolella oleva energiantuotto on taserajan sisällä ja otetaan energiankulutuksen laskennassa huomioon. Kokonaisenergiankulutuksen määrittää se, miten paljon energiaa joudutaan tuomaan taserajan ulkopuolelta energiaverkoista tai

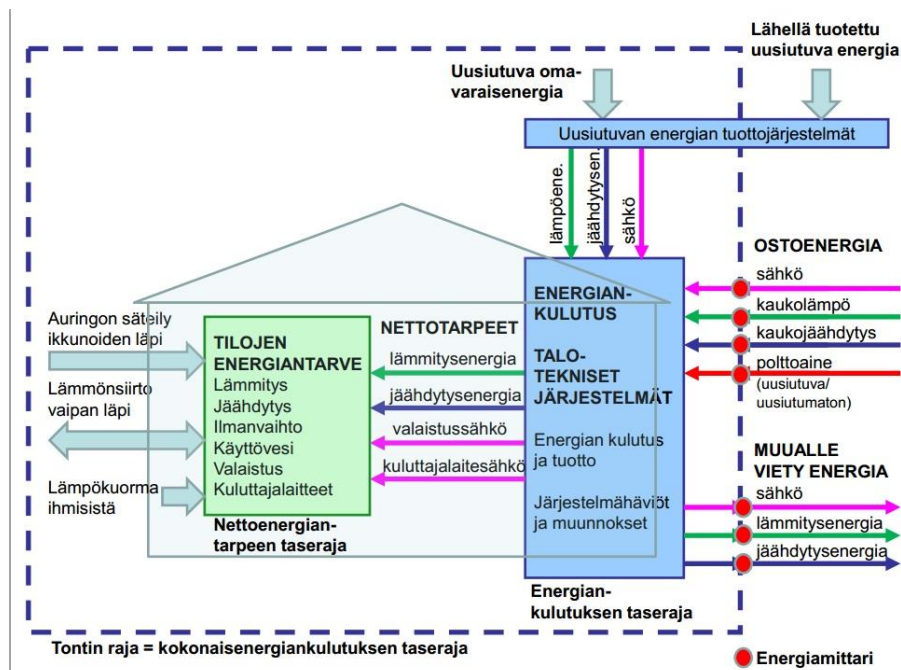
polttoaineina. Ostoenergian eri osat huomioidaan energiamuotokertoimilla (Taulukko 1). [1, s. 12 – 13.]



**KUVA 3. Ostoenergiankulutuksen taseraja [3]**

Ostoenergian taserajassa kaikki tekniset ratkaisut ovat samalla viivalla. Uusiutuva polttoaine kuten esimerkiksi lämmitykseen käytettävä polttopuu on ostoenergiaa, mutta tonilla tuotettu aurinkolämpö tai –sähkö on uusiutuvaa omavaraisenergiaa, joka vähennetään ostoenergiakulutuksesta. Omavaraisenergiaa ei kerrota energiamuotokertoimella. Uusiutuvien polttoaineiden käyttöä kannustetaan määräyksissä edullisella energiamuotokertoimella. [1, s. 13.]

Yhtenä FinZEB-hankkeen tavoitteena on ollut laatia ehdotus rakennusmääräyskokoelman osan D3 kokonaisenergiatarkastelun taserajan kehittämiseen. Ehdotuksen on tarkoitus muuttaa kokonaisenergian taserajaa paremmin yhteensopivaksi nollanenergiarakentamisen kanssa. Lähes nollaenergiarakennuksen määritelmässä mainittu paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia on mukana uusiutuvana omavaraisenergiana. Taserajaan on lisättävä lähellä tuotettu uusiutuva energia ja myös verkkoon syöttäminen, jota tapahtuu Suomessa jo tälläkin hetkellä. Taserajaehdotuksen mukaan lähellä tuotettu uusiutuva energia otettaisiin huomioon, jos se on kytketty energiamittarin sisäpuolelle (kuva 4). Tuotantolaitteiston tulisi olla kytkettynä suoraan rakennukseen siten, että sen tuottama energiamäärä voidaan mitata rakennuksen omalla energiamittarilla. [7; 9.]



**KUVA 4. Ehdotus uudesta ostoenergian kokonaisenergiankulutuksen taserajasta [9]**

Ehdotuksen mukaan ulosmyynnillä voidaan vaikuttaa rakennuksen E-lukuun tietyin rajoituksin. Kaikki energian ulosvienti tapahtuu tontin rajalla olevien yleisten verkostomittareiden kautta. Ulosviennille on tarkoitus asettaa omat rajoitukset, joilla otetaan huomioon eri aikaan tuotetun sähkön tuotantorakenteesta ja kapasiteettitilanteesta johtuva eriarvoisuus. E-luvun pienennykselle on tarkoitus asettaa kuukausitason rajat ja myös oma ulosmyynnin kerroin varsinaisen energiamuotokertoimen lisäksi. Tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian tuotantoa markkinalähtöisesti ja estää huonojen energiatehokkuusratkaisuiden kompensointia ylisuurella uusiutuvan energian tuotannolla. [7; 9.]

## 5 LÄHES NOLLAENERGIATALON SUUNNITTELU

### 5.1 Sijainti ja muoto

Maantieteellisellä sijainnilla ei energiasimuloinnin kannalta ole merkitystä, koska parempien vertailuarvojen saamiseksi E-luvun laskenta tehdään aina rakennusmääräyskoelman D3 mukaan säävyövyöhykkeen 1 säätiedoilla. Kyseisen säävyöhykkeen kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat ja auringon säteilyenergiat perustuvat Helsinki-Vantaan lentoaseman säähavaintoasemien mittauksiin. [2.]

Rakennuksen muodolla on olennaisesti väliä, kun halutaan rakentaa mahdollisimman energiatehokasta taloa. Paras muoto olisi käytännössä suorakaiteen muotoinen talo. Ylimääräiset nurkat lisäävät huomattavasti kylmäsiltojen määrää ja nostavat lämpöhäviöitä. muutoinkin erikoisia muotoja tulisi välttää, koska ne lisäävät riskiä ylimääräisten ilmavuotojen muodostumiseen. Talon muotoa päättäessä hyvällä suunnittelulla saadaan aikaan sekä energiatehokas että asumisviihtyvyydeltään hyvä rakennus. [10.]

Myös rakennuksen koko vaikuttaa olennaisesti energiatehokkuuteen. Pientalossa syntyvä hukkalämpö on likipitään yhtä iso rakennuksen koosta riippuen. Energiatehokkaassa pientalossa hukkalämmön osuus huonelämmön ylläpidossa on merkittävässä osassa. Pienemmässä rakennuksessa hukkalämmön osuus tarvittavasta lämmitysenergiasta on suurempi, kun taas isossa rakennuksessa vaaditaan suurempaa lämmitysenergian osuutta tai parempaa eristystasoa. [10.]

Rakennuksen suuntauksessa tärkeintä on aurinkoenergian hyödyntäminen talvisin ja yllilämpökuormitusten välttäminen kesäaikaan. Optimitilanteessa rakennuksen pitkä-sivu osoittaa etelään päin. Ikkunapinta-alasta suurin osa kannattaa sijoittaa suuntaamaan etelään, jotta niiden kautta saadaan hyödynnettyä auringon lämpösäteilyä. Ylimääräisen lämpökuorman syntymistä kesäisin voidaan estää rakentamalla esimerkiksi katettu terrassi tai aurinkolippa etelään päin. Auringon säteily tulee kesäisin huomattavasti suuremmasta kulmasta maahan nähden kuin talvisin, joten aurinkolippa suojaa auringon säteilyltä kesällä, kun talvisin ja keväisin säteily osuu paremmin ikkunoihin, jolloin se saadaan hyödynnetyksi. Rakennuksen pohjoispuolelle ei kannata sijoittaa suuria ikkunoita. [11.]

## 5.2 Kesäajan huonelämpötilan hallinta

RakMK osassa D3 käsitellään kesäajan huonelämpötilan hallintaa. Rakennukset on suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti. Asuntojen jäähdytysraja-arvoa 27 °C ei saa ylittää enempää kuin 150 astetuntia 1.6 – 31.8 välisenä aikana. Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuus osoitetaan eri tilatyypin lämpölaskennalla. Käyttötarkoitukseluokan 1 ja 9 rakennukset on kuitenkin jätetty pois pakollisesta kesäajan lämpötilalaskennasta. [2.]

## 5.3 Rakenteet ja lämmöneristys

Hyvin eristetyssä rakennuksessa lämmönläpäisykertoimet ja rakennuksen lämpöhäviöt ovat selvästi pienempiä. Rakenteiden lähtökohtaisissa U-arvoissa lähes nollaenergiarakennuksessa kannattaa pyrkiä seuraaviin arvoihin:

- ulkoseinä 0,08–0,14 W/m<sup>2</sup>K
- alapohja 0,1–0,15 W/m<sup>2</sup>K
- yläpohja 0,06–0,09 W/m<sup>2</sup>K
- ikkuna 0,7–0,9 W/m<sup>2</sup>K
- kiinteä ikkuna 0,6–0,8 W/m<sup>2</sup>K
- ulko-ovi 0,6–0,8 W/m<sup>2</sup>K [4, s. 22.]

Hyvää energiatehokkuutta haettaessa lämmöneristyspaksuuksia on käytännössä aina suurennettava. Seinän rakennepaksuus voi olla rakennuseriaatteesta ja materiaalista riippuen 300 - 600 mm. Yläpohjassa eristyspaksuus voi kasvaa jopa 700 mm:iin. Maanvaraisessa lattiassa tyypillinen eristepaksuus on 250 – 300 mm. [12.]

## 5.4 Kylmäsillat

Kylmäsillat ovat kohtia talon vaipassa, joista lämpöä johtuu ulospäin selvästi enemmän kuin ympäröivästä rakenteesta. Huonoimmassa tapauksessa kylmäsillan kohdalla sisäilman kosteus voi tiivistyä rakenteen pinnalle ja aiheuttaa home- ja lahovaurion. Herkkiä



kohtia kylmäsiltojen syntymiselle ovat rakennuksen nurkat sekä seinän ja lattian liitoskohdat. [13.]

Kylmäsiltoja muodostuu helpommin, kun käytetään rakennusmateriaaleja, jotka johtavat hyvin lämpöä. Näitä ovat esimerkiksi betoni ja teräs. Niiden käytössä on otettava huomioon, etteivät ne saa ulottua asuinrakennuksen vaipparakenteen läpi. Kylmäsiltojen syntymistä voidaan ehkäistä katkaisemalla sen ulottuminen vaipparakenteen läpi lämmöneristeellä. Sama toimenpide on kannattava tehdä myös puun ja tiilen kaltaisten materiaalien käytössä. [13.]

### **5.5 Rakennusvaipan ilmapitävyys**

Rakennusvaipan ilmapitävyydellä tarkoitetaan rakenteiden ja liitosten kautta vuotavaa ilmaa eli vuotoilmaa. Vuotoilmalla on suora yhteys rakennuksen energiakulutukseen. Energiatehokasta pientaloa rakennettaessa vuotoilman määrä halutaan minimoida. Vanhoissa pientaloissa ilmavaihtuvuus tapahtuu usein painovoimaisena ilmanvaihtona, sekä rakenteiden lävitse vuotoilmana. Niiden ongelmana on, ettei ilmanvaihtuvuuteen voida vaikuttaa juurikaan, vaan se on riippuvainen painovoimaisten venttiilien ja ilmapuottojen suuruuden määrästä. Uudisrakentamisessa ilmavaihtuvuus tapahtuu koneellisella ilmanvaihdolla. Koneellisella ilmanvaihdolla pientaloon saadaan haluttu ilmanvaihtuvuus, jota voidaan tarvittaessa tehostaa. Suuremmat ilmavuodot nostavat lämmitysenergian tarvetta, ja pahimmillaan vuotoilma aiheuttaa vedon tunnetta kylminä kuu-kausina. [14.]

Rakennusmääräyskokoelman osan D3 mukaan rakennusvaipan ja tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmapitäviä, etteivät vuotoilmavirtaukset aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai energiätehokkuudelle. Rakennettaessa uudisrakennusta liitosten ja läpivientien suunnitteluun ja rakennustyöhön on kiinnitettävä huomiota. Rakenteisiin tulee tehdä tarvittaessa erillisiä ilmasulkuja. [2.]

Erityisiä riskikohtia ilmavuottojen syntymiselle ovat talon nurkat, seinien liitoskohdat ylä- ja alapohjaan, ikkunan karmin ja seinän välien sekä karmin ja ilmasulun liitokset. Ilmasulkujen saumat tulee teipata tarkoitukseen soveltavalla materiaalilla. Muita riskikohtia ilmavuottojen syntymiselle ovat iv-kanavien läpimenot ja sähkövedot. [15.]

Ilmanpitävyyttä voidaan mitata siihen tarkoitettulla laitteistolla. Energiatehokasta pientaloa rakennettaessa ilmatiiveys mitataan yleensä siinä vaiheessa, kun kaikki ilmasulut on asennettu. Rakennusvaiheessa suoritettujen mittausten etuna on se, että ilmatiiveyttä voidaan tarvittaessa parantaa. Jos mittaus tehdään vasta sen jälkeen, kun rakennus on valmistunut, niin ilmatiiveyden parantaminen hankaloituu huomattavasti. Jos ilmatiiveyttä ei mitata tai muutoin varmenneta, oletetaan sen arvoksi  $n_{50}=4,0$  1/h. Luku  $n_{50}$  tarkoittaa, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuuden verran ilmaa vuotaa rakenteiden läpi 50 Pa paine-erolla mitattuna. Yksikkönä on 1/h ja oletusarvo 4,0 1/h tarkoittaa, että koko rakennuksen ilmatilavuus vaihtuisi rakenteiden läpi neljä kertaa tunnin aikana. Energiatehokasta pientaloa rakennettaessa ilmanvuotoluvuksi tulisi saada 0,6 1/h tai alle. [14.]

## 5.6 Ikkunat

Ikkunat muodostavat merkittävän osan ulkovaipan lämpöhäviöistä. Parhaatkin ikkunaratkaisut ovat lämmöneristävyydeltään tyypillistä seinärakennetta heikompia. Kohtuullisella ikkunapinta-alalla päästään parempaan energitehokkuuteen. Ikkunat eivät saisi olla myöskään liian korkeita. Vaikka käytettäisiin matalaenergiaikkunoita, ne eivät estä vedon tunnetta käytettäessä liian korkeita ikkunoita. Lattiatasossa olevat ikkunat lisäävät ilmavuotojen riskiä. [4, s.18.]

## 6 ENERGIAN TUOTTO

Matalampaa E-lukua haettaessa aurinkoenergian hyödyntäminen on olennaisena osana ostoenergian pienentämisessä. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää kolmella keinolla. Käytettävissä olevia tapoja ovat esimerkiksi aurinkolämpö, aurinkosähkö sekä passiivinen maalämpö.

Aurinkokeräimen erona aurinkopaneeleihin on, että aurinkokeräimellä tuotetaan lämpöenergiaa ja aurinkopaneeleilla sähköenergiaa. Aurinkokeräimen etuna aurinkopaneeliin nähden on halvempi hinta ja parempi hyötysuhde suhteessa samaan pinta-alaan.

## 6.1 Aurinkokeräimet

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää kahdella erilaisella järjestelmällä. Ensimmäinen on tasokeräimet. Niiden avulla voidaan lämmittää joko käyttövettä tai erikoistapauksissa itse rakennusta. Tasokeräimessä kierrätetään yleensä vesi-glykoliseosta pumpun avulla. Katolla tai seinustalla sijaitsevan keräimen sisältämä neste siirtyy kokoomaputkien kautta varaajaan, jonka vettä se lämmittää. Varaaja on yhteydessä lämpimään käyttöveeseen lämmönsiirtimen kautta. Yhden neliömetrin keräimen tuotto vuodessa on arviolta 250 - 400 kWh lämpöenergiaa. Tasokeräinten hyötysuhde vaihtelee 35 – 75 % välillä. [16.]

Toinen aurinkolämpöä hyödyntävä järjestelmä on tyhjiöputkikeräin. Tyhjiöputken uloin putkiosa on valmistettu lasista. Sen sisäpuolella on toinen lasiputki, jonka sisällä on auringon säteilyä absorboiva kalvo. Lasiputkien väli on tyhjiössä, joka toimii laitteiston eristeenä. Lämpö johtuu sisemmän lasiputkilon sisällä olevien alumiinilevyjen välityksellä kupariputkeen, jossa on helposti höyrystyvää nestettä. Höyrystynyt neste nousee putken yläpäähän, jossa se tiivistyy takaisin nesteeksi, ja luovuttaa lämpöä jakotukissa kiertävään vesi-glykoli-seokseen. Kondensoitunut neste valuu takaisin putken alapäähän ja alkaa jälleen höyrystymään. Vesi-glykoli-seoksen sisältämä lämpö hyödynnetään tämän jälkeen samalla tavalla varaajassa kuin tasokeräimellä. [17.]

Tyhjiöputkikeräimen erona tasokeräimeen on se, ettei tyhjiöputkikeräin ole riippuvainen säteilyn tulosuunnasta. Ne pystyvät myös hyödyntämään hajasäteilyä, jota tapahtuu pilvisellä säällä. Tasokeräin ei pysty hyödyntämään hajasäteilyä, koska se vaatii oikean säteilyn tulosuunnan. Tyhjiöputkikeräinten hyötysuhde on noin 35 – 85 %. [18.]

## 6.2 Aurinkopaneelit

Aurinkosähkön tuottaminen perustuu auringon säteilyenergia hyödyntämiseen. Aurinkosäteily koostuu fotoneista, jotka kuljettavat säteilyenergiaa. Aurinkopaneelin kenoissa on materiaalia, jonka elektronit pystyvät ottamaan vastaan fotonin luovuttamaa energiaa ja muodostamaan sähkövirran aurinkokennon virtajohtimiin. Erilaisilla aurinkokennojen kytkennöillä saadaan muodostettua halutun suuruinen jännite ja virta. Au-

rinkopaneelien tuottama tasasähkö eroaa yleisen sähköverkon vaihtovirtasähköstä. Tasasähköä voidaan hyödyntää vain tasasähköä käyttävissä sähkölaitteissa. Tasasähkö voidaan muuntaa kuitenkin vaihtovirtasähköksi invertterin avulla. Toinen huomio aurinkosähkön käytössä on, että se vaatii käytännössä aina akuston, johon sähkövirta varastoidaan. [19.]

Auringon säteily jakautuu suoraan säteilyyn ja hajasäteilyyn. Hajasäteily on ilmakehän ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastuvaa säteilyä. Etelä-Suomessa noin puolet kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Aurinkopaneelit voivat hyödyntää molempia säteilyjä. Suuren hajasäteilyn takia Suomen olosuhteissa aurinkoa seuraavat järjestelmät eivät ole kovinkaan tehokkaita taloudellisuuden kannalta. Sen sijaan aurinkopaneelien sijoittelu ja kallistuskulma vaikuttavat olennaisesti hyödynnetyn kokonaissäteilyn määrään. [19.]

Etelä-Suomen vuotuinen kokonaissäteily on lähes yhtä suurta kuin Pohjois-Saksassa. Kokonaissäteily jakautuu Suomessa kuitenkin vahvemmin kesäkuukausille, joten tuotannon vaihtelu vuodenajan mukaan on suurempaa verrattuna Euroopan olosuhteisiin. Helsingin vuotuinen säteily määrä vaaka-suoralle pinnalle Ilmatieteen laitoksen testivuoden mukaan on noin 980 kWh/m<sup>2</sup>. Suuntaamalla paneelit 45 asteen kulmassa etelään päin, saadaan vuositasolla 20 - 30 % parempi hyöty verrattuna vaakatasoon asennettuihin paneeleihin. [19; 20.]

Tuotettu sähkö hyödynnetään yleensä aina kohteessa mutta ylijäämän myynti takaisin sähköverkkoon on alkanut yleistymään. Sähkön takaisinmyynti vaatii erillisen sopimuksen sähkön myyjän kanssa. Verkkoon syötetty sähkö mitataan tunneittain verkkoyhtiön sähkömittareilla. [21.]

### **6.3 Passiivinen maalämpö ja -kylmä**

Rakennustontilla voidaan tuottaa maalämpöä ja -kylmää passiivisella maakeruuputkistolla. Maassa olevaa termistä massaa voidaan hyödyntää tuloilman lämmittämiseen ja jäädyttämiseen. Ero maalämpöjärjestelmään on, ettei passiivisessa järjestelmässä käytetä lämpöpumppua. Lattialämmitys- tai vesijohtoputkesta tehty maapiiri voidaan asentaa rakennuksen alle, ulkopuolelle tai vesistöön. Maapiirissä olevaa nestettä kierrätetään

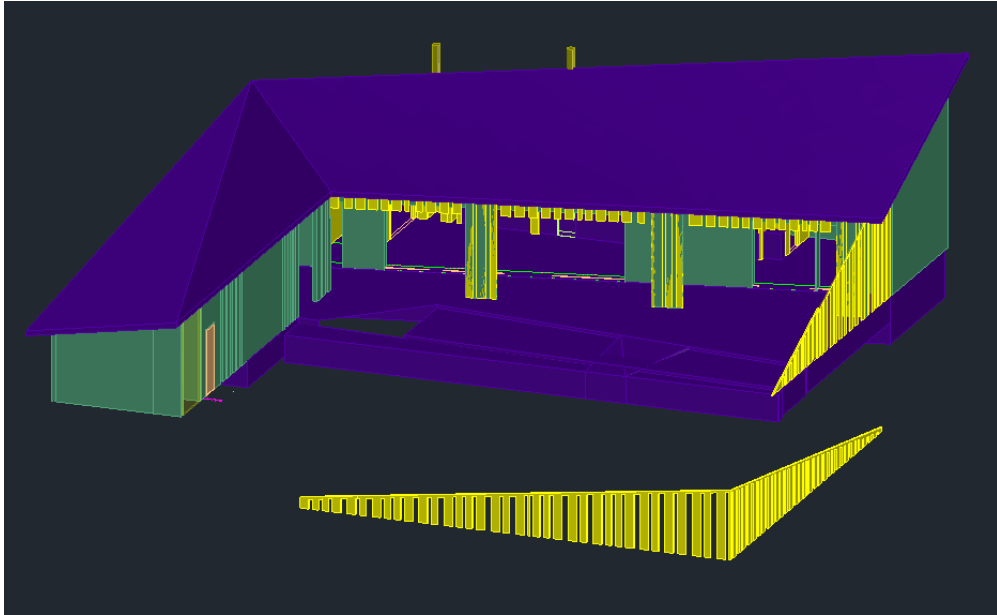
kiertovesipumpulla, joka on järjestelmän ainoa sähköä kuluttava osa. Kiertovesipumpun tarvitsema ottoteho on tyypillisesti noin 5 - 20 W. Putkistossa kiertävä vesi-glykoli johdetaan tuloilmakanavassa olevaan lämmönvaihtimeen, jolla tuloilmaa saadaan joko esilämmitettyä tai jäähdytettyä. [22.]

Rakennuksen alle sijoitettu maapiiri on usein paras vaihtoehto. Maapiiri voidaan asentaa rakennusvaiheessa perusmaan päälle ennen täyttömaata. Tällöin säästytään ylimääräisiltä kaivuutöiltä. Parhaassa tapauksessa kesälämpöä voidaan varastoida maan massaansa talvea varten, jolloin käytössä voi olla jopa 10 asteen lämmönlähde. Vastaavasti talven kylmää varastoidaan kesää varten, jolloin käytössä on 2...10 asteen kylmälähde. [22.]

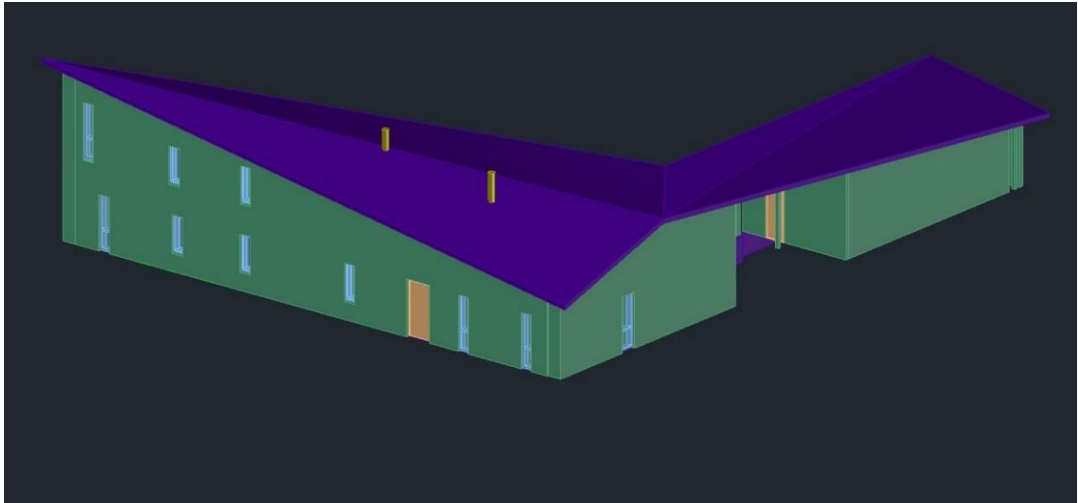
## **7 KOHTEEN KUVAUS**

### **7.1 Kohteen yleistiedot**

Opinnäytetyössä tutkittava kohde sijaitsee Kotkan Räskissä. Kohde on puolisuunnikkaan muotoinen, yksikerroksinen ja harjakattoinen pientalo. Rakennuksen huoneistoala on noin 123 m<sup>2</sup> ja lämmitetty nettoala noin 181 m<sup>2</sup>, jonka lisäksi rakennetaan tekninen tila, kylmä autotalli, varistorakennus ja kasvihuone. Tontin pinta-ala on 1050 m<sup>2</sup>. Rakennuksen katon harjakorkeus on 7340 mm, ja sen pintamateriaali on punaiseksi maalattu pelti. Olohuoneen ja keittiön suuret ikkunat on suojattu pitkällä räystäällä, joka luo pihan yhteyteen sisä- ja ulkotilan yhdistävän, katetun ulko-oleskelutilan. Tämä lisää oleskelutilan alaa merkittävästi kesäisin. Pääjulkisivumateriaalina käytetään pystysuuntaista kuningaspaneelia. Paneelien leveys on 292 mm. [23.]



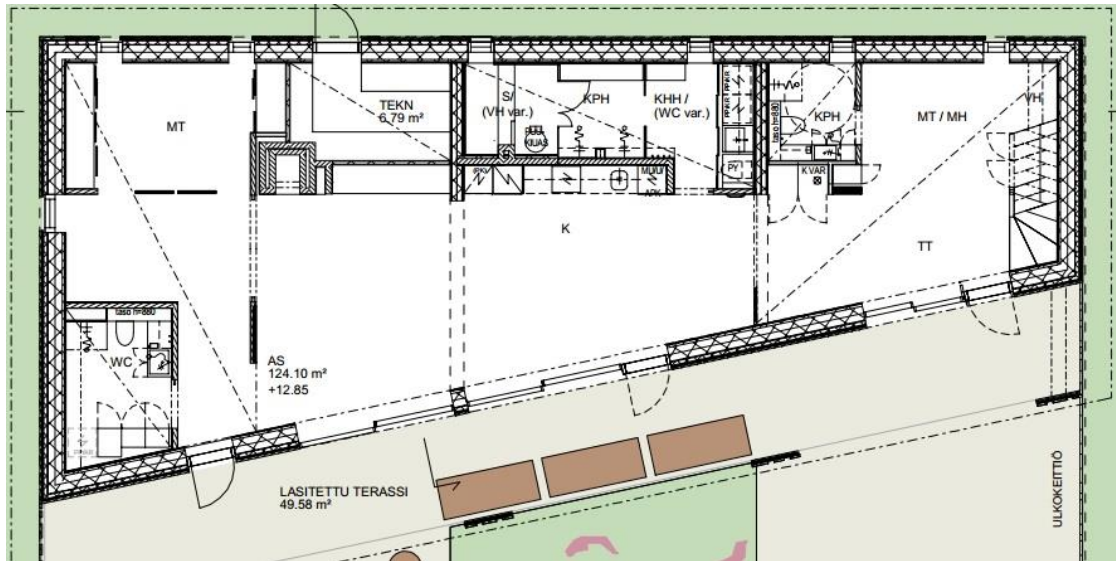
**KUVA 5. Julkisivu.**



**KUVA 6. Rakennus pohjoisesta katsottuna.**

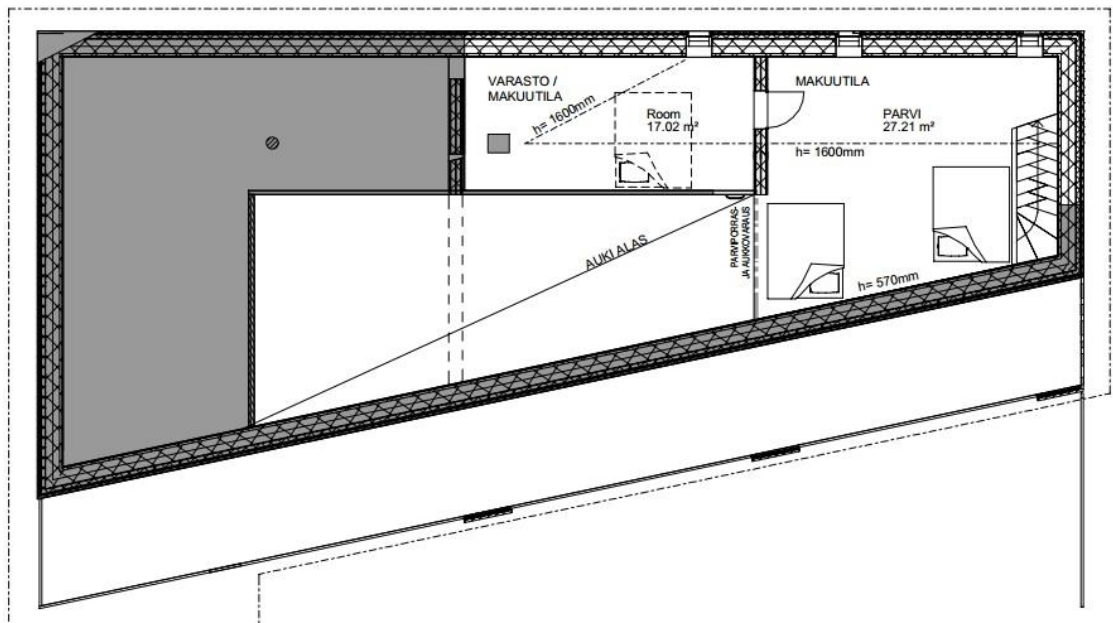
Rakennuksen energiantarve minimoidaan ja pyritään kattamaan uusiutuvin energiamuodoin. Kaikkiin asuntoihin tulee takka. Rakennuksissa tullaan toteuttamaan toisistaan poikkeavat energiaratkaisut, jotta Ekami voi seurannalla kerätä itsellensä tietoa eri ratkaisuiden toimivuudesta juuri omalla toimialueellaan. [23.]

Kohteen pohjapiirustus on esitetty kuvissa 7 ja 8. Rakennuksen olohuone suurilta osin kattoon asti avoin. Alakerran muissa huoneissa on alas laskettu katto, jonka korkeus on 2.7 m.



**KUVA 7. Rakennuksen pohjapiirustus**

Elinkaariasuminen on huomioitu asuntosuunnittelussa niin, että asukas pystyy vaikuttamaan huoneisto- ja huonelukuun sekä huoneiden rajoihin ja kokoon. Tilojen käyttöaste säilyy hyvänä perheeseen muutoksista huolimatta. [23.]



**KUVA 8. Rakennuksen parvityötila**

## 7.2 Kohteen E-lukuraja

Opinnäytetyössä käsiteltävän pientalon lämmitetty nettoala on  $181 \text{ m}^2$ , ja se kuuluu toiseen kokoluokkaan (taulukko 2). Täten kyseisen pientalon suurin sallittu E-luku lasketaan kaavalla:

$$\text{Suurin sallittu E-luku} = 173 - 0,07 * 181 \text{ m}^2$$

Suurin sallittu E-luku kyseiselle pientalolle on  $160 \text{ kWh/m}^2$  vuodessa. Tämä täyttää energiatehokkuusluokan C vaatimukset.

Opinnäytteessä tarkasteltavan rakennuksen tapauksessa lähes nollaenergiarajaksi tulisi noin  $127 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ . Nykyisten määräysten mukaan E-luvun yläraja kyseiselle rakennukselle on  $160 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ . Erotus E-lukurajaan on  $-33 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ . Tavoitteena on kuitenkin rakentaa pientalo, joka täyttäisi energiatehokkuusluokan A ( $E \leq 79 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ), joka alittaa reilusti ehdotetun lähes nollaenergia E-lukurajan.

## 8 PIENTALON KOKONAISENERGIALUVUN LASKENTA

Rakennuksesta mallinnettiin ensimmäisenä vaiheena mallipohja, jonka pohjalta kolme erilaista energiasimulaatiota tehtiin. Mallipohjaan syötettiin kaikki muuttumattomat tiedot eli:

- rakennuksen muoto
- vyöhykkeet
- ikkunat ja ovet
- rakenteiden U-arvot
- kylmäsillat
- suuntaus
- varjostukset.

Tämän vaiheen jälkeen mallipohjasta luotiin kolme erillistä simulaatiota, joiden lämmitysjärjestelmät muutettiin suunnitelmien mukaiseksi.

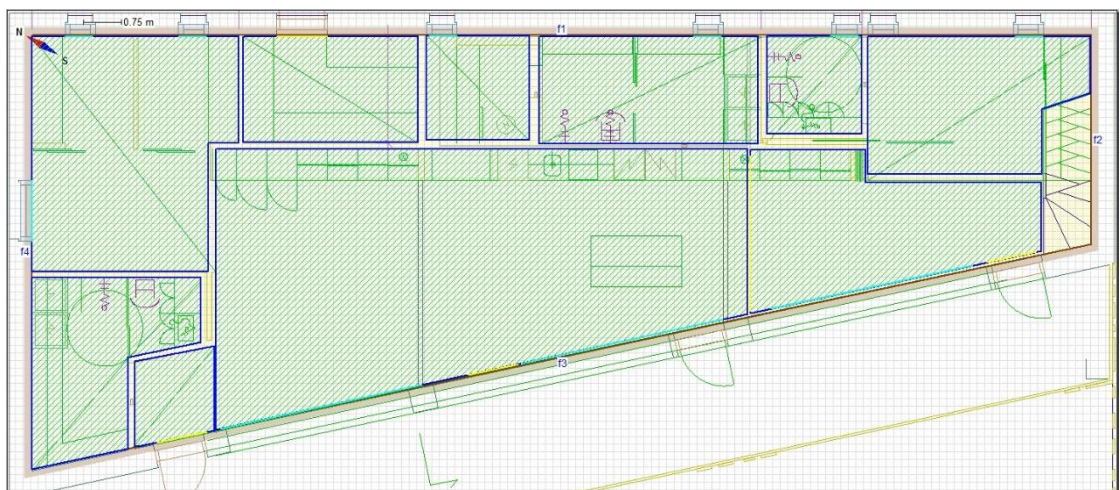


## 8.1 Laskennassa käytetty ohjelma

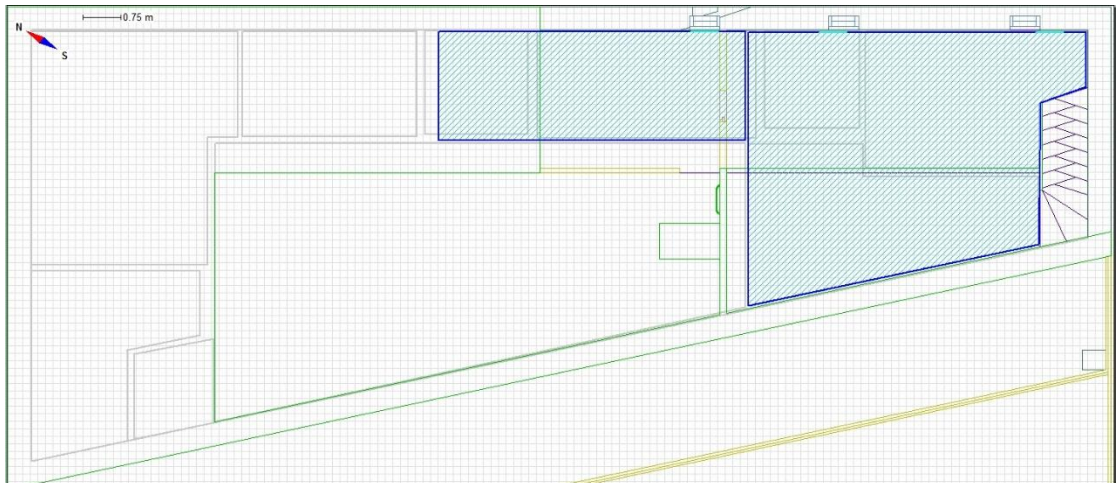
IDA ICE on dynaaminen simulointiohjelmisto, jolla voidaan luoda rakennuksesta monivyöhyke- ja järjestelmämallinnus. Ohjelmalla voidaan tutkia rakennuksen lämpötaetta ja koko rakennuksen energiankulutusta. Ohjelma käyttää dynaamisessa laskentamenetelmässä testivuoden tunnittaisia säätietoja, jonka lisäksi jopa tuulen ja lämpötilaerojen aiheuttama ilmavirtaukset voidaan ottaa huomioon. Mallinnuksessa voidaan ottaa huomioon myös ympäröivien rakennusten varjostukset. Rakennusta mallinnettaessa sen rakennusosia voidaan hakea ohjelman tietokannasta tai vaihtoehtoisesti luoda omia rakennusosia. [24.]

## 8.2 Rakennuksen muoto ja vyöhykkeet

Energiasimulointi aloitettiin tuomalla arkkitehdin pohjapiirustus simulointiohjelmaan. Pohjapiirustuksen toimiessa mallina rakennuksen muoto voidaan rajata oikeanlaiseksi. Rajaaminen tehdään pohjapiirustusten ulkoseinien sisäpinnan mukaan, jonka jälkeen ohjelma muodostaa ulkoseinät annettujen arvojen mukaan. Rakennuksen muodon määrittämisen jälkeen huoneet jaetaan omiksi vyöhykkeiksi. Jokainen huone rajataan simulaatio-ohjelman Zone-valinnalla ottaen huomioon taas, että valinta rajoitetaan sisäseinien pintaan, jotta ohjelma voi itse muodostaa tarvittavat väliseinät. Vyöhykkeiden valinnassa valitaan myös huoneiden huonekorkeus, joka on alas laskettujen kattojen kohdalla 2,7 metriä. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty ohjelmaan luodut vyöhykkeet.



**KUVA 9. Energiasimulaation vyöhykkeet**



**KUVA 10. Rakennuksen parven vyöhykkeet**

### 8.3 Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteet

IDA ICE:n default-välilehdelle (kuva 11) asetetaan tiedot rakenteista sekä tuotannon hyötysuhteet. Hyötysuhteiden ja sähkönkulutusten arvot saadaan RakMK osasta D5. Arvot on esitetty taulukoissa 9 ja 10.

Kaukolämpöä ja ilmalämmitystä käytettäessä lämmityksen hyötysuhteeksi asetettiin 1 ja käyttöveden lämmityksen hyötysuhteeksi asetettiin 0,94. Toisessa simulaatiossa käytettiin pelkästään kaukolämpöä, joten lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen hyötysuhteiksi asetettiin 0,94. Kolmannessa simulaatiossa käytettiin maalämpöä, ja sähkönkulutuksen arvoiksi asetettiin lämmityksen osalta 3,1 ja käyttöveden lämmitykseen 2,3

**Building defaults**

Elements of Construction

External walls © Lähes nollaenergia ulkoseinä

Internal walls © Lähes nollaenergia sisäseinä

Internal floors © Lähes nollaenergia välipohja

Roof © Lähes nollaenergia yläpohja

External floor © Lähes nollaenergia alapohja

Glazing Lähes nollaenergia ikkuna 0.7

Door construction Lähes nollaenergia ovi 0.72

Integrated window shading Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä

---

Generator Efficiencies

	Electric	Fuel	District
Heating	Default carrier <input checked="" type="radio"/> COP 3.1	<input type="radio"/> 0.9	<input type="radio"/> 0.97
Cooling	Default carrier <input checked="" type="radio"/> COP (EER) 3	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1
Domestic hot water	Default carrier <input checked="" type="radio"/> COP 2.3	<input type="radio"/> 0.9	<input type="radio"/> 0.97

**KUVA 11. Tuotannon hyötysuhteet ja sähkönkulutus**

## 8.4 Rakenteet

Rakennuksen rakenteet määriteltiin ohjelmaan Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennesuunnittelijoiden tekemien alustavien rakennesuunnitelmien perusteella. Rakenteiden muodostaminen tapahtui antamalla ohjelmaan rakennesuunnitelmien mukaiset tiedot materiaaleista ja niiden lämmönjohtavuuksista, tiheyksistä ja ominaislämmöistä. Ulkoilmaa vastaa olevien rakenteiden U-arvoa laskettaessa otetaan huomioon ilmarakojen korjaustekijä, joka käytännössä heikentää rakenteen U-arvoa. Tätä ominaisuutta ei löydy nykyisestä IDA ICE -versiosta, joten ilmarat otettiin huomioon heikentämällä yhden eristekerroksen lambda-arvoa. Näin rakenteen U-arvo saatiin rakennesuunnittelijoiden laskemia U-arvoja vastaaviksi. Taulukossa 11 on esitetty opinnäytetyössä tarkasteltavan pientalon rakenneosien U-arvot.

**TAULUKKO 11. Rakenteiden U-arvot**

Rakenneosa	U-arvo W/(m <sup>2</sup> *K)
Ulkoseinä	0,086
Yläpohja	0,067
Alapohja	0,086
Ikkuna	0,70
Ovi	0,72

## 8.5 Ikkunat ja ovet

Energiasimulointiin mallinnettiin talon ikkunat ja ovet. Niiden koot saatiin arkkitehdin piirustuksista. Lounaan suuntaan avautuvat suuret ikkunat ovat kooltaan 4080 x 2300 mm. Rakennuksen koillispuolen pienemmät ikkunat ovat kooltaan 550 x 1400 mm ja isommat ikkunat 550 x 2300 mm kokoiset. Luoteen puolen ikkunan koko on 1200 x 2050 mm. Rakennuksen ikkunoiden kokonaispinta-ala on noin 40 m<sup>2</sup>. Ikkunoiden ja ovien U-arvot on esitetty taulukossa 11.

## 8.6 Rakennuksen suuntaus ja varjostukset

Kuvasta 12 nähtävät harmaat tasot kuvaavat simulaatio-ohjelmassa aurinkosuojia. Niiden tarkoituksena on mallintaa aurinkosuojan vaikutusta kesäajan auringon aiheuttamaan lämpökuormaan. Vasemmalla näkyvä aurinkosuoja on rakennuksen kyljessä oleva autotalli ja varasto. Ulkoseinän yli ulottuva kattolippa suojaa tehokkaasti kesäajan auringolta, joka paistaa korkeammasta kulmasta kuin keväisin. Katto on oikeasti kalteva, mutta IDA ICE ei tue aurinkosuojien kallistusta, joten simuloinnissa oli tehtävä pieni kompromissi sen mallintamisessa.



**KUVA 12. Energiasimulaation 3d-malli**

## 8.7 Kylmäsillat

Rakennuksen kylmäsillat määritettiin Rakennusmääräyskokoelma D5 mukaisten ohjearvojen perusteella (taul 4). Laskentaohjelmaan voi syöttää muidenkin liitosten viivamaisten kylmäsillojen arvot, mutta niitä ei RakMK osan D5 ohjeiden mukaan tarvitse ottaa huomioon.

## 8.8 Vaihtoehtoiset lämmitysjärjestelmät kohteessa

Kohteeseen valittiin kolme erilaista lämmitysjärjestelmää, joilla kokonaisenergiatarkastelu tehtiin. Ensimmäisenä lämmitysvaihtoehtona on ilmalämmityksen ja kaukolämmön yhdistelmä. Alkutietojen mukaan ensimmäinen talo yhdistetään varmuudella kaukolämpöverkostoon. Ilmalämmityksessä tuloilma esilämmitetään kaukolämmöllä vähintään 16 asteiseksi. Loput lämmöntarpeesta katetaan tuloilmapäätelaitteissa olevilla sähkövastuksilla. Ilmalämmitys soveltuu huonosti märkätilojen lämmitykseen, joten niissä käytetään lämmitysmuotona vesikiertoista lattialämmitystä. Noin 40 % käyttöveden lämmityksentarpeesta katetaan aurinkokeräimillä ja loput lämmitetään kaukolämmöllä.

Toiseksi lämmitysjärjestelmäksi valittiin lattialämmitys kaukolämmöllä. Kaukolämmön etuna on sen pieni energiamuotokerroin, joten sen käytöllä päästään helposti alhaiseen E-lukuun. Lattialämmityksellä voidaan kattaa kaikki huoneet parvitilaa lukuun ottamatta. Rakennuksen parvitilaan asennetaan vesikiertoinen radiaattori. Tuloilma esilämmitetään kaukolämmöllä myös tässä järjestelmässä. Käyttöveden lämmitys tapahtuu samalla tavalla kuin edellä mainitussa järjestelmässä

Kolmannessa energiasimuloinnissa lämmitysjärjestelmänä on lattialämmitys maalämpöpumpulla. Myös maalämmöllä päästään helposti matalaan E-lukuun. Lattialämmityksellä lämmitetään pohjakerros ja parvitilat edellisen järjestelmän tapaan vesikiertoisilla radiaattoreilla. Tuloilman esilämmitys tapahtuu vesikiertoisella patterilla. Käyttövesi lämmitetään aurinkokeräimen ja maalämpöpumpun avulla.

## 8.9 Talotekniikka

Osa talotekniikasta on kaikissa kolmessa energiasimulaatiossa toisiaan vastaavia. Yhteisiä ominaisuuksia on:

- Ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettu SFP-luku  $1.25 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 60 %
- Vesivaraajien koko 300 l
- Ilmanvuotoluku  $q_{50} = 2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$
- Käyttöveden lämmityksestä n. 40 % katetaan aurinkokeräimillä.
- Tuloilman lämpötila  $16 \text{ }^\circ\text{C}$
- Lattialämmityksen meno/paluulämpötila  $40/30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Ensimmäisen simulaation lämmitysmuotona oli ilmalämmityksen ja kaukolämmön yhdistelmä. Normaali ilmanvaihdon tekniikka vaihdettiin IDA ICE:n replace-toiminnolla muotoon, jossa paluuilman lämpötilaa voidaan säätää. Paluuilman lämpötilaksi asetettiin 18 astetta. Kaukolämpöön liitetty tuloilman esilämmitin lämmittää tuloilmaa vähintään 16 asteiseksi. Ilmanvaihtojärjestelmän jäädytyspatteri asetettiin pois päältä, jotta sähkön ostoenergian määrä saatiin minimoitua. Myös käyttöveden lämmitys vaihdettiin sähköstä kaukolämpöön, jotta sähkön osuus ostoenergiasta pienenesi. Ilmalämmityksen käytössä on huomioitava, että sen toimivuuden takaamiseksi ilmavirtojen on oltava riittävät. Lähtökohdaksi on otettu Climecon valmistama Eco- ilmalämmitin, jonka maksimi lämmitysteho 400W vaatii ilmavirraksi 15 l/s. Energiasimuloinnin laskennassa ilmanvaihdon ilmavirtana käytetään  $0,4 \text{ l/s, m}^2$  (taulukko 5), joka ei riitä kaikkien tilojen lämmitykseen. Ilmalämmittimen sisältävien tilojen ilmavirtoja nostettiin tasoon, jossa ilmalämmitys toimisi käytännössä. Muutoksen jälkeen tuloilmavirraksi rakennukselle saatiin 126 l/s. Ilmalämmityksen mallinnukseen käytettiin ohjelman ”ideal heater” -laittevalintaa. Märkätilojen vyöhykkeisiin asetettiin ilmalämmityksen sijasta vesikiertoinen lattialämmitys.

Toisessa energiasimulaatiossa lämmitysmuotona käytettiin kaukolämpöä. Lämmönjako huoneisiin tapahtuu lattialämmityksellä. Vyöhykkeiden asetuksia muokkaamalla jokaiseen huoneeseen asetettiin lattialämmitys. Parvitiilan lämmönjako tapahtuu vesikiertoisilla radiaattoreilla. Kaukolämpöä käyttämällä ilmavirtoihin ei tarvittu muutoksia, joten

laskennassa käytettiin RakMK osan D5 ilmavirtoja (taulukko 5). Rakennuksen kokonaistuloilmavirraksi muodostui 72 l/s. IDA ICE:n esiasetukset olivat suurilta osin oikein, eikä LVI-järjestelmiin tarvinnut tehdä juurikaan muutoksia.

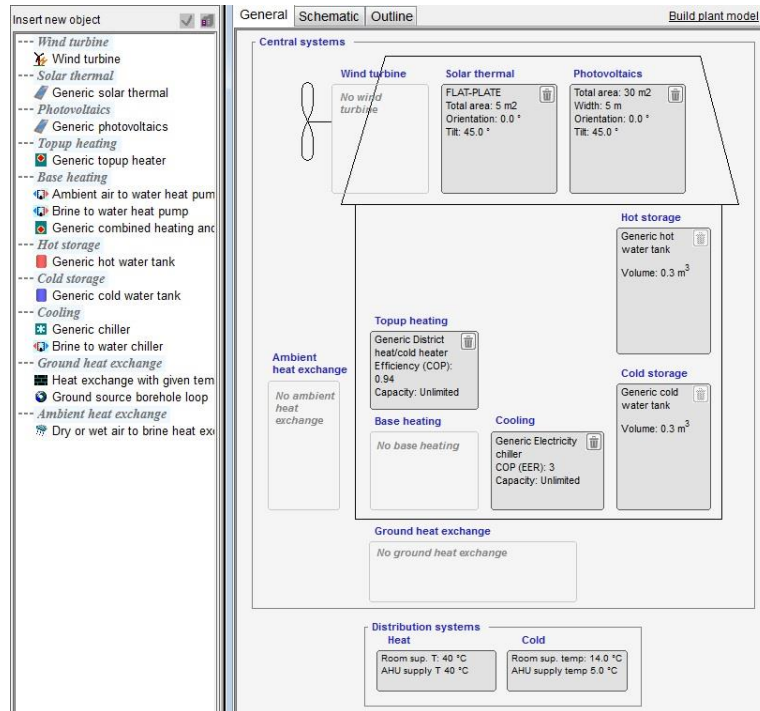
Kolmannessa energiasimulaatioissa lämmitysmuodoksi asetettiin maalämpö. Lämmönjakona käytettiin lattialämmitystä, ja ne asetettiin huoneisiin edellisen simulaation tapaan. Default-välilehteen muutettiin lämmityksen suorituskertoimeksi (COP, Coefficient Of Performance) 3,1 ja käyttöveden suorituskertoimeksi 2,3. Arvot saatiin rakennusmääräyskoelma osasta D5 (Taul 10).

Kokonaisenergiankulutusta laskettaessa käytössä ei ollut rakennusvaipan ilmavuotoluvun suunnitteluarvoa. Normaalisti ilmanvuotolukuna käytettäisiin  $q_{50} = 4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta jos ilmanpitävyys osoitetaan mittaamalla tai muulla menetelmällä, voidaan laskennassa käyttää ilmanvuotolukuna  $q_{50} = 2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Käytännössä rakennettavan kohteen ilmanpitävyys on mitattava rakennusvaiheessa.

## 8.10 Aurinkoenergia

Kaikissa energiasimulaatioissa käytetään aurinkokeräintä käyttöveden lämmitykseen, sekä aurinkopaneelistoa sähköenergian tuottamiseen. Passiivinen maalämpö jätettiin pois laskennasta, jotta järjestelmät pysyisivät yksinkertaisina.

Energian tuotto eli esimerkiksi aurinkokeräimet, aurinkopaneelit ja passiivinen maalämpö mallinnetaan energiasimulaatioon sen LVI-järjestelmän ”Plant”-asetussivulta (kuva 13). Asetuksissa määritetään keräimen tai paneelin muoto, pinta-ala, kallistuskulma ja paikka rakennuksen tontilla.



**KUVA 13. IDA ICE Plant-välilehti**

## 9 TULOKSET

Taulukkoon 12 on laskettu opinnäytetyössä tarkasteltavan kohteen energiatehokkuusluokkien E-lukurajat.

**TAULUKKO 12. Opinnäytetyössä käsiteltävän pientalon E-lukurajat**

Energiatehokkuusluokka	Energiatehokkuusluku (E-luku, kWh/m <sup>2</sup> ,a)
A	$E \leq 79$
B	$80 \leq E \leq 123$
C	$124 \leq E \leq 160$
D	$161 \leq E \leq 240$

Vuotuinen käyttöveden lämmitykseen tarvittava energiamäärä on 6214 kWh. Aurinkokeräimen mitoitus tapahtui jakamalla käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia kertoimella 0,4. Laskutoimituksesta saadaan selville, että 2486 kWh käyttöveden lämmityksestä voidaan kattaa aurinkolämmöllä. 5 m<sup>2</sup> aurinkokeräintä tuottaa simulaation perusteella 2214 kWh käyttöveden lämmittämiseen. Aurinkokeräimen pinta-ala on sama



jokaisessa kolmessa simulaatiossa, koska käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia on vakio.

Energiasimulaatioista laskettiin tämän jälkeen ensimmäiset E-luvut. Mikään kolmesta simulaatiosta ei täyttänyt energialuokitus A vaatimusta  $<79 \text{ kWh/m}^2$ . Toimenpiteenä E-luvun pienentämiseksi laskelmissa tarvittiin aurinkosähkön tuotantoa. Energiasimulaatioihin lisättiin aurinkosähkön tuotantoa, niin että E-luku saatiin alle  $79 \text{ kWh/m}^2$ . Aurinkopaneelien määrät on esitetty taulukossa 16.

Opinnäytetyössä tehtyjen kolmen eri energiasimuloinnin kokonaisenergioiden tulokset on esitetty taulukoissa 13,14 ja 15. Taulukosta nähtävä ”Delivered energy” tarkoittaa rakennukseen tuotua energiaa. Vuotuinen tuotu energia on esitetty kokonaistarpeena, sekä kokonaistarpeena per lämmitetty nettoala. Aurinkosähkön tuotanto on miinusmuodossa, koska se vähennetään ostoenergiatarpeesta. ”Primary energy” tarkoittaa kokonaisenergiaa, eli se on kerrottu energiamuotokertoimella. Taulukoiden ”Grand total” -kohdan oikeassa reunassa on esitetty energiasimulaatio-ohjelman laskema E-luku.

**TAULUKKO 13. Kokonaisenergiankulutus ilmalämmityksen ja kaukolämmön yhdistelmällä.**

	Delivered energy		Demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	1177	6.5	0.13	2000	11.1
LVI sähkö	1546	8.6	0.18	2628	14.6
Sähkölämmitys, kiinteistö	7951	44.0	3.06	13517	74.9
Total, Facility electric	10674	59.1		18145	100.5
Lämmitys, kaukolämpö	14481	80.2	5.16	10137	56.1
Total, Facility district	14481	80.2		10137	56.1
Total	25155	139.3		28282	156.7
Laitteet, asukas	2648	14.7	0.3	4501	24.9
Total, Tenant electric	2648	14.7		4501	24.9
Aurinkosähkön tuotanto	-11022	-61.1	-10.84	-18737	-103.8
CHP tuotto	0	0.0	0.0	0	0.0
Total, Produced electric	-11022	-61.1		-18737	-103.8
Grand total	16781	93.0		14046	77.8

TAULUKKO 14. Kokonaisenergiakulutus kaukolämmöllä.

	Delivered energy		Demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	1177	6.5	0.13	2000	11.1
Jäähdytys	108	0.6	1.29	183	1.0
LVI sähkö	1741	9.6	0.21	2959	16.4
Total, Facility electric	3026	16.8		5142	28.5
Lämmitys, kaukolämpö	13672	75.7	6.5	9570	53.0
Total, Facility district	13672	75.7		9570	53.0
Total	16698	92.5		14712	81.5
Laitteet, asukas	2648	14.7	0.3	4501	24.9
Total, Tenant electric	2648	14.7		4501	24.9
Aurinkosähkön tuotanto	-2977	-16.5	-2.95	-5060	-28.0
CHP tuotto	0	0.0	0.0	0	0.0
Total, Produced electric	-2977	-16.5		-5060	-28.0
Grand total	16369	90.7		14153	78.4

TAULUKKO 15. Kokonaisenergiakulutus maalämmöllä.

	Delivered energy		Demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	1177	6.5	0.13	2000	11.1
Jäähdytys	109	0.6	1.29	185	1.0
LVI sähkö	1740	9.6	0.21	2959	16.4
Sähkölämmitys, kiinteistö	5448	30.2	2.63	9261	51.3
Total, Facility electric	8474	46.9		14405	79.8
Total	8474	46.9		14405	79.8
Laitteet, asukas	2648	14.7	0.3	4501	24.9
Total, Tenant electric	2648	14.7		4501	24.9
Aurinkosähkön tuotanto	-2756	-15.3	-2.73	-4686	-25.9
CHP tuotto	0	0.0	0.0	0	0.0
Total, Produced electric	-2756	-15.3		-4686	-25.9
Grand total	8366	46.3		14220	78.8

Ohessa on esitetty kolmen energiasimulaation E-luvut ilman aurinkosähkön hyödyntämistä, jonka lisäksi taulukoissa esitetään aurinkosähkön tarve vuodessa A-energiatehokkuusluokan saavuttamiseksi ja tarvittava aurinkopaneelin pinta-ala.

**TAULUKKO 16. Energiasimulaatioiden E-luvut ja aurinkosähkön tuotto**

Lämmitys- muoto	E-luku ilman aurinkosäh- kön tuotantoa kWh/m <sup>2</sup> ,a	Aurinkosäh- kön tuoton tarve vuo- dessa kWh	Aurinkopaneelin kokonaispinta- ala m <sup>2</sup>	E-luku aurinkosäh- kön tuotannon jäl- keen kWh/m <sup>2</sup> ,2
Ilmalämmitys + kaukolämpö	182	11022	100	78
Kaukolämpö	106	2977	27	78
Maalämpö	105	2756	25	79

Taulukossa 17 esitetään energiasimulaatioiden ostoenergiatarvetta vuodessa sekä sähkön ja kaukolämmön osuutta kyseisestä ostoenergiatarpeesta.

**TAULUKKO 17. Energiasimulaatioiden ostoenergioiden kokonaistarve vuodessa**

Lämmitys- muoto	Ostoenergian koko- naistarve vuodessa kWh	Sähkön osuus os- toenergian tarpeesta %	Kaukolämmön osuus ostoenergian tarpeesta %
Ilmalämmitys + kaukolämpö	27803	52	48
Kaukolämpö	19346	71	29
Maalämpö	11122	100	0

Käyttöluokan 1 ja 9 rakennukset on jätetty pois pakollisesta kesäajan lämpötilalaskennasta eikä kohteen osalta siten suoritettu lämpötilalaskentaa. Kesäajan lämpökuormat vaikuttavat kuitenkin olennaisena osana rakennuksen asumisviihtyvyyteen, eikä niitä voi todellisuudessa jättää huomioimatta. Asiaan on otettu kantaa opinnäytetyön johtopäätöksissä.

**10 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Taulukosta 12 nähdään, että opinnäytetyössä tarkasteltavan kohteen osalta lähes nollaenergian E-lukuraja täyttyy, kun saavutetaan nykyisten energiatehokkuusmääräysten energialuokan B E-lukuraja. Rakennettaessa nettoalaltaan alle 150 m<sup>2</sup> kokoinen pientalo, täyttyisi lähes nollaenergiataso lähestulkoon jo rakennusmääräyskokoelman osa

D5 vertailuarvoja käyttämällä, sillä ehdotettu lähes nollaenergia taso ei muutu juurikaan pienten pientalojen kohdalla.

Tuloilman ja kaukolämmön yhdistelmä (taulukko 13) tuotti kolmesta energiasimulaatiosta suurimman laskennallisen E-luvun ( $182 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ), kun aurinkosähkön tuotantoa ei oteta huomioon. Ilman aurinkosähkön tuotantoa tulos ei läpäise nykyistä E-lukurajaa  $160 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ . Pienimpään laskennalliseen E-lukuun päästiin maalämmöllä (taulukko 15). Sen laskennallinen E-luku ilman aurinkosähkön tuotantoa on  $105 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ . Energiatohokkuusluokassa se kuuluisi siis B-luokkaan, jonka lisäksi se läpäisisi ehdotetun lähes nollanenergia E-lukurajan  $127 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ . Kolmas energiasimulaatio, jossa käytettiin pelkkää kaukolämpöä (taulukko 14), sai maalämpöä vastaavan tuloksen. Laskennallisen E-luvun ilman aurinkosähkön tuottoa ollessa  $106 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ , se läpäisisi energiatohokkuusluokan B ja ehdotetun lähes nollaenergia E-lukurajan.

Työn tavoitteena oli selvittää, millä toimenpiteillä eri lämmitysmuodoilla päästään energialuokkaan A sekä miten saavuttaa lähes nollanenergian E-lukuraja. Mikään kolmesta energiasimulaatiosta ei täyttänyt energialuokkaa A:n vaatimusta ilman aurinkosähkön tuotantoa. Tämä tulos oli hyvin odotettavissa. Normaaleilla energiankulutuksen vähentämistoimenpiteillä, kuten rakenteiden U-arvojen parantamisella, kauko- tai maalämmön käytöllä, pienellä ilmavuodolla ja hyvällä ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton hyötysuhteella päästään lähestulkoon aina energialuokkaan B. Energialuokan A E-lukuraja on todella tiukka, ja sen saavuttamiseen vaaditaan käytännössä aina jonkin muotoista omaa energiantuotantoa. Lähes nollaenergian E-lukuraja saavutetaan helpoiten käyttämällä sellaista lämmitysmuotoa, jonka energiamuotokerroin on pieni. Sähkölämmitystä käyttämällä kyseiseen tasoon on vaikea päästä. Lähes nollaenergian E-lukuraja on mahdollista täyttää ilman rakenteiden U-arvojen parantamista. Helpoiten se onnistuu suunnittelemalla nettoalaltaan alle  $150 \text{ m}^2$  kokoinen rakennus. Rakenteiden paksuuden nostamisen sijasta kannattaa kiinnittää huomiota esimerkiksi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen ja matalaan ilmanvuotolukuun. Näin rakennuskustannusten nousu pysyy maltillisena.

Rakennusprojektin yhtenä alkuperäisenä tavoitteena oli tehdä kaikista kolmesta rakennuksesta nollaenergiataloja. Ensimmäisenä ongelmana tavoitteessa on, ettei nollaenergiatalolle ole olemassa vielä virallisia määritelmiä tai vaatimuksia. Toisena ongelmana

on, ettei nykyisten energiamääräysten mukaisilla laskentatavoilla päästä tulokseen, jossa rakennuksen kokonaisenergiakulutus olisi vuositasolla 0 kWh/m<sup>2</sup>. Omavaraisella energiatuotannolla ei voida käytännössä kattaa rakennuksen energiatarvetta talvisin, joten rakennuksessa on käytettävä ostoenergiaa. Vaikka kesäaikaan syntyisikin energian ylituotantoa, ei sillä voida kattaa ostetun energian määrää. Syynä tähän on se, että nykyisten energiamääräysten mukaan muualle vietyä energiaa, eli esimerkiksi aurinkopaneelilla tuotettua sähköenergiaa ei voida vähentää ollenkaan kokonaisenergian kulutuksen määrästä. Nollaenergia nimitys on varsin hämäävä, koska ei aina tiedetä, mihin määritelmään se perustuu. Yhteistä kaikille nollaenergia-määritelmille on, etteivät ne perustu nykyisiin määräyksiin.

Opinnäytetyössä ei tehty kesäajan lämpötilalaskentaa, koska sitä ei vaadita pientaloille. Kesäajan suuret lämpökuormat tulee kuitenkin ottaa huomioon asumismukavuuden takia. Kokonaisenergiakulutusta simuloidessa IDA ICE antaa myös laskelman vyöhykkeiden korkeimmista lämpötiloista vuoden aikana. Suurimmat lämpökuormat syntyvät olohuoneeseen, jonka yhteydessä on talon suuret ikkunat ja parvella sijaitseviin kahteen huoneeseen. Lämpötilat nousevat korkeimmillaan noin 30 asteeseen. Rakennuksen pohjoispuolelle sijaitseviin huoneisiin ei synny yhtä suurta lämpökuormaa. Niissä lämpötilat nousevat korkeimmillaan noin 27 asteeseen. Asumisviihtyvyyden kannalta taloon olisi kuitenkin syytä lisätä jokin jäähdytysjärjestelmä. Yksi vaihtoehto olisi esimerkiksi ilmalämpöpumppu. Jos lämmitysjärjestelmäksi valitaan maalämpö, voidaan sitä käyttää kesäaikana myös jäähdytykseen.

Vaikka työssä päästiin tavoitteeseen jokaisen kolmen energiasimulaation osalta, on tuloksia katsottava kriittisesti ja miettittävä, onko ne realistista toteuttaa. Ilmalämmityksen ja kaukolämmön yhdistelmässä vaadittiin peräti 100 m<sup>2</sup> aurinkopaneelia, jotta energialuokka A saavutettiin. Määrä on aivan kohtuuton, eikä sen toteuttaminen olisi oikeasti järkevää todella korkeiden hankintakustannusten takia. Jäähdytyksen tarve kasvatasi kustannuksia vielä entisestään. Kyseisestä simulaatiosta on huomioitava, että IDA ICE:n luoma mallinnus ilmalämmityksestä ei ole aivan täydellinen, koska ohjelmaan ei saanut mallinnettua fyysisesti tuloilman päätelaitteiden lämmittämiä, vaan mallissa käytettiin huonelaitteissa ”ideal heater” -valintaa. Jos mallinnus olisi perusteellisempi, olisi

kokonaisenergiankulutus todennäköisesti hieman pienempi. Kaukolämmöllä ja maalämmöllä toteutetut energiasimulaatiomallit ovat realistisia toteuttaa, ja niihin vaadittavat aurinkopaneelien pinta-alat ovat kohtuullisia.

Ilmalämmitys soveltuu rakennuksiin, jossa on pieni lämmitystarve. Ilmalämmitys saadaan reagoimaan nopeasti huonelämpötilan muutoksiin, jonka lisäksi huonelämpötiloja voidaan säätää huonekohtaisesti. Tuloilmalämmitys on yksinkertainen ja hankintakustannuksiltaan edullinen. Vaikka ilmalämmitys sopii käytännössä melko hyvin rakennuksiin, jossa on pieni lämmityksentarve, on siinä omat huonot puolensa. Ilmalämmitys on laskennallisessa E-luvun laskennassa melko huono vaihtoehto, koska nykyiset energiamuotokertoimet tekevät sähkön käytöstä todella epäedullista. Lisäksi tuloilmapäätteiden sähkövastukset vaativat tarpeeksi suuren ilmavirran toimiakseen, eli ilmavirtoja on usein nostettava. Tämä lisää taas ilmanvaihtokoneen sähkönkulutusta. Ilmalämmitys ei sovellu märkätilojen lämmitykseen, vaan kyseiset tilat tarvitsevat jonkin muun lämmitystavan. Usein käytetään sähköllä toimivaa mukavuuslämmitystä. Ilmalämmitys ei ole myöskään paras ratkaisu korkeiden tilojen lämmityksessä, sillä alakerran lämpötila jää yläkertaan paljon pienemmäksi. Ero ylä- ja alakerran välillä saattaa nousta jopa yli viiden asteen. [1, s. 67.]

Lattialämmitys on yleisin lämmitysratkaisu uusissa pientaloissa, mutta senkin käytössä on omat ongelmansa, jos talo on todella hyvin eristetty. Lattialämmitystä säädetään huonetermostaatilla, jonka lämpötila-anturi mittaa asennuspaikasta riippuen huonelämpötilaa, lattian lämpötilaa, joka on lattian sisällä, tai molempia. Huonelämpötilan säädössä saattaa ilmetä vasteaikaongelmia, koska lämmitysputkien sijaitessa lattiarakenteen betonissa sen lämpökapasiteetti on niin suuri. Nopeasti kylmenevä ulkoilma saattaa siis aiheuttaa hetkellistä lämpötilan laskua sisätiloihin, koska lattialämmityksen anturit eivät reagoi tarpeeksi nopeasti. Lattialämmitysputket jäävät viileiksi lämmityskaudellakin, koska lämmöntarve on hyvin eristetyissä taloissa niin pieni. Asumismukavuuden kannalta tämä johtaa siihen, että pientalon lattiaksi on valittava semmoinen materiaali, joka on hieman viileämpänäkin miellyttävä jalkoja vasten. Esimerkiksi parkettilattia soveltuu hyvin tähän tarkoitukseen. [1, s.71-72.]

Energiasimulaatiota tehtäessä rakennuksen varsinaisia LVI-suunnitelmia ei ollut vielä käytössä, koska ne olivat vasta alkutekijöissään. Tästä syystä esimerkiksi ilmanvaihdon

lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena oli käytettävä rakennusmääräyskokoelman osan D5 annettuja arvoja, eikä lämmöntalteenottolaitteiston valmistajan antamaa vuosihyötysuhdetta. Määräyksissä annetun vastavirtalevyylämmönsiirtimen vuosihyötysuhde on 0,6. Nykyisten ilmanvaihtokoneiden vastavirtalevyylämmönsiirtimillä päästään noin 80 % vuosihyötysuhteeseen. Parempaa vuosihyötysuhdetta käyttämällä erotus esimerkiksi ilmalämmitteisen energiasimuloinnin E-luvussa olisi ollut  $-4 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ .

Rakennuskohteessa huomioitavia yksityiskohtia ovat rakennuksen ikkunat. Vaikka ikkunoiden U-arvot ovat pienet, aiheuttavat ne silti suurimman osan rakennusvaipan lämpöhäviöistä. Lämpöhäviölaskelman perusteella 38 % lämpöhäviöistä johtuu ikkunoista. Matalaa energiankulutusta haettaessa olisi ensisijaisen tärkeää, että tarvittava lämmityksen ja jäähdytyksen tarve olisi mahdollisimman pieni. Jos suuria lämpöhäviöitä joudutaan kompensoimaan aurinkosähkön tuotolla, karkaavat rakennuskustannukset helposti korkeiksi. Kesäajan lämpökuormat lisäävät ongelmaa entisestään jäähdytystarpeen kasvaessa.

Opinnäytetyön E-luvun laskenta tapahtui normaalista käytännöstä hieman poiketen. Normaalisti energiantodistuksen laatijalla on käytössään valmiit suunnitelmat, joista tarvittavat tiedot E-luvun laskentaan saadaan. Opinnäytetyössä käytössä oli osa suunnitelmista, osa tiedoista valittiin rakennusmääräyskokoelmasta ja osa järjestelmien ominaisuuksista valittiin sillä perusteella, että E-luku saataisiin tavoitteeseen, eli alle  $79 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ .

LVI-järjestelmän valinnalla on todella merkittävä osuus E-luvun muodostumisessa energiamuotokertoimien takia. Rakennukseen tarvittava ostoenergian määrä voi olla likipitäen sama, käytettiin rakennuksen lämmitykseen sitten sähköä tai kaukolämpöä. Kokonaisenergiankulutusta tarkasteltaessa energiamuotokertoimet tekevät kuitenkin sähkön käytöstä todella huonon vaihtoehdon käytettäväksi lämmitykseen. Laskennallinen E-luku pitää kuitenkin osata erottaa todellisesta energiakulutuksesta. Talon omistaja kiinnostaa laskennallisen E-luvun sijasta todennäköisesti enemmän, kuinka suuret lämmitysjärjestelmän hankintakustannukset ovat ja kuinka paljon rakennuksen lämmittämiseen kuluu rahaa. Opinnäytetyössä tehtyjen kolmen energiasimulaation laskennalliset E-luvut ovat samat, mutta jokaisen vaihtoehdon hankintakustannukset ja käyttökustannukset eroavat toisistaan todella paljon.

## LÄHTEET

- [1] Kurnitski Jarek. Energiämääräykset 2012. Suomen rakennusmedia Oy, Helsinki. 2012
- [2] Ympäristöministeriö. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. 2011
- [3] Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. 2013
- [4] Mari Sepponen, Jyri Nieminen, Pekka Tuominen, Ilpo Kouhia, Jari Shemeikka, Meri Viikari, Kari Hemmilä & Veijo Nykänen. Lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeet. PDF-dokumentti. [www.ara.fi/download/noname/%7BE7FE1AD9-4529-4CC5-8063-8D7D078C15E8%7D/24217](http://www.ara.fi/download/noname/%7BE7FE1AD9-4529-4CC5-8063-8D7D078C15E8%7D/24217). Päivitetty 16.07.2014. Luettu 25.02.2015
- [5] FInZEB. Lähes nollaenergia [nZEB] –käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla. WWW-dokumentti. [http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2014/11/FInZEB\\_esittelykalvot\\_20141028.pdf](http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2014/11/FInZEB_esittelykalvot_20141028.pdf). Päivitetty 17.04.2014. Luettu 25.02.2015
- [6] Passiivi.info. Passiivitalon määritelmä. WWW-dokumentti [http://www.passiivi.info/download/passiivitalon\\_maaritelma.pdf](http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf). Päivitetty 21.07.2009. Luettu 9.3.2015
- [7] FInZEB. FInZEB yhteenveto. WWW-dokumentti. [http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/02/FInZEB\\_yhteenveto\\_final.pdf](http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/02/FInZEB_yhteenveto_final.pdf). Päivitetty 05.02.2015. Luettu 12.3.2015
- [8] Alma Koivu. Pientalojen FInZEB-laskenta. PDF-dokumentti. [http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/02/FInZEB\\_Koivu\\_Alma\\_20150205.pdf](http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/02/FInZEB_Koivu_Alma_20150205.pdf). Päivitetty 05.02.2015. Luettu 25.02.2015
- [9] Jarek Kurnitski. FInZEB ehdotukset taserajasta ja alueellisesta energiatuotannosta. PDF-dokumentti. [http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/02/FInZEB\\_Kurnitski\\_Jarek\\_20150205.pdf](http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/02/FInZEB_Kurnitski_Jarek_20150205.pdf). Päivitetty 05.02.2015 Luettu 09.03.2015
- [10] Nollaenergiatalo. Koko ja muoto. WWW-dokumentti. [http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon\\_perusteet-koko\\_ja\\_muoto](http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon_perusteet-koko_ja_muoto). Päivitetty 27.02.2015. Luettu 27.02.2015
- [11] Nollaenergiatalo. Tontti. WWW-dokumentti. [http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon\\_perusteet-tontti](http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon_perusteet-tontti). Päivitetty 27.02.2015. Luettu 27.02.2015



- [12] Ilmatieteen laitos. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. WWW-dokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>. Päivitetty 05.04.2015 Luettu 05.04.2015
- [13] Energiatehokas koti. Kylmäsillat. WWW-dokumentti. [http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen\\_suunnittelu/kylmasillat](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/kylmasillat) Päivitetty 21.03.2013 Luettu 20.02.2015
- [14] Energiatehokas koti. Ilmatiivis talo. WWW-dokumentti. [http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten\\_tehdaan\\_energiatehokas\\_koti/ilmatiivis\\_talo](http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten_tehdaan_energiatehokas_koti/ilmatiivis_talo). Päivitetty 28.03.2013. Luettu 28.02.2015
- [15] Energiatehokas koti. Ilmapitävyys. WWW-dokumentti. [http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen\\_suunnittelu/ilmanpitavyys](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ilmanpitavyys). Päivitetty 21.03.2013. Luettu 20.02.2015
- [16] Motiva. Aurinkokeräimet. WWW-dokumentti. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet). Päivitetty 14.05.2014 Luettu 12.02.2015
- [17] Novafuture. Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate. WWW-dokumentti. <http://novafuture.fi/putket.html>. Päivitetty 23.10.2012. Luettu 12.02.2015
- [18] Wikipedia. Aurinkokeräin. WWW-dokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkoker%C3%A4in>. Päivitetty 26.02.2015. Luettu 26.02.2015
- [19] Motiva. Aurinkosäteilyn määrä Suomessa. WWW-dokumentti. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringsateilyn\\_maara\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringsateilyn_maara_suomessa). Päivitetty 06.06.2014 Luettu 25.03.2015
- [20] Ilmatieteen laitos. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. WWW-dokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>. Päivitetty 05.04.2015 Luettu 05.04.2015
- [21] Motiva. Ylijäämäsiähkön myynti. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman\\_kaytto/ylijaama-sahkon\\_myynti](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaama-sahkon_myynti) Päivitetty 12.05.2014 Luettu 25.03.2015
- [22] Finnfoam Oy. Passiivinen maalämpö ja –kylmä. WWW-dokumentti [http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon\\_perusteet-passiivinen\\_maalampo\\_ja-kylma](http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon_perusteet-passiivinen_maalampo_ja-kylma) Päivitetty 05.04.2015. Luettu 05.04.2015

[23] Mira Köymäri. Hankekuvaus. PDF-dokumentti. [https://drive.google.com/folder-view?id=0BxFsR71aSFOOfkluRnNmQ3NUUHN6aUpBQlVRR0FFVVJENjBrTDJVaWI1M3NYdnc2QIREU1E&usp=sharing\\_eid&invite=CMa1m4sK&tid=0B7-zKNTqu1ZMd0FBN2VoV05OS2M](https://drive.google.com/folder-view?id=0BxFsR71aSFOOfkluRnNmQ3NUUHN6aUpBQlVRR0FFVVJENjBrTDJVaWI1M3NYdnc2QIREU1E&usp=sharing_eid&invite=CMa1m4sK&tid=0B7-zKNTqu1ZMd0FBN2VoV05OS2M). Päivitetty 13.10.2014 Luettu 31.3.2015

[24] Equa AB ja SIY Oy. IDA indoor Climate and Energy. PDF-dokumentti <http://web.archive.org/web/20040718164230/http://www.sisailmatieto.com/pdf/IDA-ICE-ohjekirja30.pdf>. Päivitetty 18.07.2004. Luettu 09.03.2015