

Janne Salonen

Selvitys rivitalon E-luvun laskentaan vaikuttavista tekijöistä

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä 30.4.2015
Tekijä(t) Salonen Janne		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma
Nimeke Selvitys rivitalon E-luvun laskentaan vaikuttavista tekijöistä		
Tiivistelmä Tämä opinnäytetyö on selvitys rivitalon E-luvun laskentaan vaikuttavista tekijöistä. Työssä vertaillaan rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutusta rakennuksen E-lukuun. Työn tavoitteena on luoda työn tilaajalle aineisto, josta käy ilmi millä eri tavoin rakennuksen energiatehokkuuteen voi vaikuttaa rakennushankkeen suunnittelu vaiheessa. Opinnäytetyössä tutkittiin rakennusvaipan osien, lämmöntuottotavan, lämmönjakotavan, ilmanvaihtojärjestelmän ja lisälämmityksen vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiantarkasteluun. E-luvun laskennan lähtöarvoina on käytetty esimerkkikohteen tietoja. Opinnäytetyössä esitettävät rakennuksen E-luvut on laskettu laskentapalvelu.fi laskentaohjelman avulla. Laskentaohjelmaan luotiin malli, joka vastasi esimerkkikohteen suunnitteluratkaisua. Yksittäisten tekijöiden vaikutusta rakennuksen E-lukuun tutkittiin vertaamalla saatuja tuloksia esimerkkikohteen suunnitteluratkaisun mukaisesti laskettuun E-lukuun. Lasketut tulokset on esitetty Excel taulukko-ohjelmalla luotujen kuvaajien avulla. Yksittäisistä tekijöistä lämmöntuottotavan valinnalla oli suurin merkitys rakennuksen E-lukuun. Lämmöntuottotavan valinta määritteli sen, kuinka energiatehokkaiksi ratkaisuksi muut tekijät tuli suunnitella, jotta rakennus täyttäisi vähimmäisvaatimukset energiatehokkuuden osalta. Esimerkkikohteen lämmöntuottotavaksi oli suunniteltu kaukolämpö. Työssä on esitetty kolme vaihtoehtoista suunnittelu ratkaisua, joilla saavutetaan Suomen rakentamismääräysten vähimmäistaso energiatehokkuuden osalta. Lisäksi työssä on esitetty yksi suunnittelu ratkaisu, jonka mukaisesti esimerkkirakennus sijoittuu vaatimuksia parempaan energiatehokkuusluokkaan. Rakennuksen E-lukuun vaikuttaa lukuisat eri tekijät. Tästä syystä tässä työssä esitettävät suunnitteluratkaisut eivät ole ainoita mahdollisia ratkaisuja rivitalokohteen toteutuksessa. Rakennusten energiatehokkuus vaatimukset tulevat kiristymään tulevaisuudessa. Tämä tarkoittaa mahdollisesti sitä, että uusiutuvan omavaraisenergian käyttö tulee lisääntymään entisestään.		
Asiasanat (avainsanat) Energiatehokkuus, uudisrakentaminen, lämmitysjärjestelmä, LVI-suunnittelu, rivitalo		
Sivumäärä 45+6	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Kuusela Mika		Opinnäytetyön toimeksiantaja Keski- Uudenmaan Talorakenne Oy

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 30.4.2015
Author(s) Salonen Janne	Degree programme and option Bachelor of engineering	
Name of the bachelor's thesis The report terraced house E-values calculation of the affect factors		
Abstract <p>This thesis is a report of factors affecting the calculation of the terraced house E-value. This thesis compares the factors and their impact on the affect building energy efficiency. The aim of the thesis is to create a customer data and showing the different ways in which the energy performance can be affected by the construction project planning stage. The thesis examined the effect of building envelope components, heating way, heat distribution method, ventilation system and additional heating of the building's total energy review.</p> <p>Initials value as calculation an example of the building information. Presented in the thesis of the building E-values is calculated laskentapalvelu.fi calculation program. The calculation model was created for the program, which corresponded to an example in the design of the solution. The calculated results are shown in the Excel spreadsheet program created graphs.</p> <p>Among individual factors, heat produce of choice was the largest role in building the E-values. Heat produce mode selection determines how energy-efficient solutions for other factors had to be designed so that the building would pass the minimum requirements for energy efficiency.</p> <p>Example for the thermal mode was designed for district heating. The theses include of three alternative design solutions that achieve a minimum level of Finnish building regulations with regard to energy efficiency are shown. In addition, the work of one planning solution, according is to the example of the building placed for better energy efficiency class.</p> <p>Building E-values impact many different factors. For this reason, references in this work of design solutions are not the only possible solutions townhouse in implementation. Energy performance of buildings requirements will tighten in the future. This probably means that the use of renewable energy will increase even further.</p>		
Subject headings, (keywords) Energy efficiency, HVAC- planning, heating system, terraced house		
Pages 45+6	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Kuusela Mika	Bachelor's thesis assigned by Keski- Uudenmaan Talorakenne Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ENERGIAMÄÄRÄYKSET 2012	3
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	5
3.1	Esimerkkikohteen tiedot	5
3.2	Laskenta ohjelma	7
4	TUTKITTAVAT TEKIJÄT	7
4.1	Rakennusvaipan lämpöhäviöt	7
4.2	Lämmitysjärjestelmä	9
4.3	Lisälämmitys	13
4.4	Ilmanvaihtojärjestelmä	14
5	KOHTEEN SUUNNITTELURATKAISUN MUKAINEN E-LUKU	15
6	TUTKITTAVIEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS E-LUKUUN	16
6.1	Rakennusvaipan lämpöhäviöiden vaikutus E-lukuun	16
6.2	Lämmitysjärjestelmän vaikutus E-lukuun	22
6.3	Lisälämmityksen vaikutus E-lukuun	27
6.4	Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus E-lukuun	31
7	ERI TEKIJÖIDEN YHTEISVAIKUTUKSET	33
7.1	Esimerkki suunnitteluratkaisu 1	33
7.2	Esimerkki suunnitteluratkaisu 2	36
7.3	Esimerkki suunnitteluratkaisu 3	38
7.4	Esimerkki suunnitteluratkaisu 4	40
8	YHTEENVETO	43
9	POHDINTA	45
	LÄHTEET	46

LIITTEET

- 1 Esimerkkikohteen pohjapiirros
- 2 Laskentaohjelman tulokset

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on selvitys rivitalon E-luvun laskentaa vaikuttavista tekijöistä. Voimassa olevat energiamääräykset astuivat voimaan 1.7.2012. Nämä määräykset kiristivät rakennusten energiatehokkuus vaatimuksia. Vaatimusten kiristyminen ja yleinen taloustilanne ovat nostaneet rakennuskustannuksia viime vuosina. Rakennuskustannuksien nousun ja kiristyneiden rakennusten energiatehokkuusvaatimusten seurauksena opinnäytetyön tilaaja haluaa saada selville mitkä eri tekijät vaikuttavat rakennuksen E-luvun laskentaan ja millä eri keinoin vaatimusten mukainen E-luku on mahdollista saavuttaa.

Työn tilaajana toimii Keski-Uudenmaan Talorakenne Oy, joka on rakennusalalla toimiva yritys. Opinnäytetyön tavoitteena on luoda työntilajalle aineisto, josta selviää tutkittavien tekijöiden vaikutus rakennuksen E-lukuun. Opinnäytetyön avulla työntilaja saa selvyuden siitä, kuinka suuret vaikutukset kullakin tekijällä on rakennuksen E-lukuun ja millä eri ratkaisulla viranomaismääräysten mukainen E-luku vaatimus on mahdollista saavuttaa.

Opinnäytetyössä tutkittavien tekijöiden vaikutusta rakennuksen E-lukuun tullaan mallintamaan esimerkkikohteen avulla. Työssä käsiteltävä esimerkkirakennus on uudisrivitalokohde. Laskentaohjelmaan luodaan malli suunnitteluratkaisujen perusteella. Eri ratkaisujen vaikutusta rakennuksen E-lukuun tutkitaan vertaamalla saatuja tuloksia suunnitteluratkaisun mukaisesti laskettuun E-lukuun. Esimerkkikohta on suunniteltu siten, että se täyttäisi viranomaismääräysten minimivaatimukset energiatehokkuuden osalta.

Eri tekijöiden vaikutus rakennuksen E-lukuun tullaan esittämään laskentaohjelmalla saatujen tulosten perusteella. Tämän opinnäytetyön apuna käytetään laskentapalvelu.fi laskentaohjelmaa. Laskentapalvelu.fi on selainpohjainen ohjelmisto, jonka avulla rakennukselle saadaan laskettu kokonaisenergiankulutus, ostoenergiankulutus sekä rakennuksen E-luku. Ohjelmisto laskee rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen kuukausitason laskentamenetelmällä. Laskujen tulokset esitetään Microsoft Excel taulukko ohjelmalla tehtyjen kuvaajien avulla.

Rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen eli E-lukuun vaikuttaa lukuisat eri tekijät. Tästä syystä opinnäytetyössä käsiteltävien tekijöiden määrää on jouduttu rajaamaan. Tässä opinnäytetyössä tullaan tutkimaan seuraavia tekijöitä, jotka vaikuttavat rakennuksen E-lukuun.

- Rakennuksenvaipan ilmatiiveys
- Ala- ja yläpohjan eristevahvuus
- Ikkunoiden lämmönläpäisy ja ikkunoiden pinta-alat
- Lämmöntuottotapa
- Lämmönjakotapa
- Varaava takka
- Ilmalämpöpumppu
- Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde
- Ilmanvaihdon puhaltimien ominaissähköteho

Työssä tutkittavat tekijät on valittu yhdessä opinnäytetyön tilaajan kanssa. Edellä mainitut tekijät on valittu käsiteltäväksi tässä opinnäytetyössä, koska näihin tekijöihin työn tilaaja pystyy vaikuttamaan omissa rakennushankkeissaan.

Yksittäisten tekijöiden lisäksi tutkitaan eritekkijöiden yhteisvaikutusta rakennuksen E-lukuun. Rakennuksen laskennalliseen kokonaisenergian kulutukseen vaikuttaa niin moni eri tekijä, että voidaan olettaa, että viranomais määräysten mukainen rakennuksen E-luku on mahdollista saavuttaa monilla eri suunnitteluratkaisuilla. Opinnäytetyön lopussa tullaan esittämään suunnitteluratkaisuja, joilla minimivaatimukset rakennuksen energiatehokkuuden osalta on mahdollista saavuttaa. Lisäksi työn lopussa esitetään yksi suunnitteluratkaisu, jonka mukaisesti rakennus sijoittuu parempaan energiatehokkuusluokkaan.

Tässä opinnäytetyössä ei esitetä kohta kohdalta miten rakennuksen E-luku lasketaan. Rakennuksen kokonaisenergian kulutus ja E-luku lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisesti [1]. Lisäksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu ohjeita rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen laskentaan [2].

2 ENERGIAMÄÄRÄYKSET 2012

Rakennuksen energiatehokkuuteen liittyvät määräykset perustuvat rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen tarkasteluun. Kokonaisenergiatarkastelu mahdollistaa sen, että määräysten mukainen energiatehokkuusvaatimus on mahdollista saavuttaa monin eri tavoin. Tämä laskentatapa mahdollistaa energiatehokkuuden parantamisen kustannustehokkaasti, kun järjestelmäratkaisut valitaan projektikohtaisesti. [3, s.5]

Rakennuksille laadittava energiatodistus mahdollistaa rakennusten energiatehokkuuden vertailun. Energiatodistuksesta selviää rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen määrä sekä se mihin energiatehokkuusluokkaan rakennus sijoittuu. Rakennukset sijoittuvat energiatehokkuusluokkiin A-G laskennallisen E-luvun perusteella. Energiatodistuksen tarkoituksena on kannustaa asunnon ostajaa investoimaan energiatehokkaampaan asuntoon. [4]

Rakennuksen energiaselvityksen keskeinen osa on rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen selvittäminen. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus eli E-luku on laskennallinen arvo, joka kertoo kuinka paljon rakennus kuluttaa energiaa lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. E-luku lasketaan jakamalla ostoenergian ja energiamuotokertoimen tulo lämmitetyllä nettoalalla. [3, s.8]

Rakennuksen ostoenergiankulutus on arvo, joka kertoo kuinka paljon sähköä, kaukolämpöä tai muuta polttoainetta tarvitaan rakennuksen lämmittämiseen vuodessa. Rakennuksen ostoenergiankulutus koostuu lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän, sekä järjestelmien apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta. Rakennuksen ostoenergiakulutus lasketaan rakennustyyppin standardikäytöllä. Energiatehokkuus laskennan vakioidut lähtöarvot on annettu seuraaville tekijöille [1]:

- Sisäilman lämpötila
- Ilmanvaihdon käyntiaika ja ilmamäärä
- Valaistuksen sähkönkäyttö
- Kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö
- Rakennuksen käyttäjien lukumäärä
- Lämpimän käyttöveden kulutus
- Säätidot

Laskennassa käytettävillä vakioituilla lähtöarvoilla mahdollistetaan se, että rakennusten energiatehokkuusvertailuun ei vaikuta kuluttajien käyttötottumukset. Kokonaisenergiatarkastelussa rakennuksessa käytettävään kuluttajasähköön ei voi vaikuttaa suunnittelun avulla. Esimerkiksi asuntoihin hankittavat paremman energialuokan kodinkoneet eivät vaikuta rakennuksen E-lukuun.[3]

E-luvun laskennassa ostoenergian taseraja on sama, kuin tontin raja. Kokonaisenergian kulutuksen ratkaisee se, kuinka paljon energiaa joudutaan ostamaan sähköverkosta, kaukolämpöverkosta tai muina polttoaineina taserajan yli. E-luvun laskennassa uusiutuvat polttoaineet lasketaan ostoenergiaksi, kun taas paikallisesti tuotettu uusiutuva omavaraisenergia vähentää ostoenergianmäärää. Polttoaineet luokitellaan aina ostoenergiaksi, vaikka esimerkiksi polttoaineena käytettävä puu olisi hankittu omasta metsästä. Uusiutuvaksi omavaraisenergiaksi on määritelty aurinkolämmöllä, tuulivoimalla sekä lämpöpumpuilla tuotettu energia. Uusiutuvan omavaraisenergian osalta tulee huomioida, että ainoastaan rakennuksessa hyödynnettävä tuotto voidaan ottaa huomioon kokonaisenergiatarkastelussa.[3, s.13]

Energiamääräyksillä pyritään ohjailemaan rakentamista niin, että rakennuksista tehtäisiin mahdollisimman energiatehokkaita. E-luvun laskennassa huomioidaan energiamuodot ja lämmitystavat, joita rakennuksessa käytetään. Määräyksissä on annettu energiamuotokertoimet eri energiamuodoille. Määräyksissä annetuilla energiamuotokertoimilla pyritään kannustamaan uusiutuvan energian käyttöön ja suosimaan mahdollisimman energiatehokkaita ratkaisuja. Sähkön energiamuotokerroin on suurin 1,7, kun taas esimerkiksi kaukolämmön energiamuotokerroin on 0,7. Kevyen polttoöljyn energiamuotokerroin on 1,0, ja uusiutuvien polttoaineiden kuten puun energiamuotokerroin on 0,5. Kertoimet tarkoittavat sitä, että E-luvun laskennassa sähkö on 1,7 kertaa arvokkaampaa, kuin öljy ja 2,4 kertaa arvokkaampaa kuin kaukolämpö.[3, s.9]

Kokonaisenergiatarkastelussa käytettävä E-luku ja sen raja-arvot määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituseraluokan perusteella. Uusien rivitalojen minimivaatimus E-luvulle on $150 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$ [1, s.9]. Uudisrivitalo sijoittuu energiatehokkuusluokkaan C, kun se täyttää tämän E-luvulle asetetun minimivaatimuksen. Energiamääräykset ja E-luvun vähimmäisvaatimukset tulevat kiristymään entisestään, koska Euroopassa on tarkoitus siirtyä lähes nollaenergiarakentamiseen vuoteen 2021 mennessä.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tässä luvussa esitellään työssä käytetty aineisto sekä menetelmät, joilla tutkittaviin asioihin haetaan vastauksia.

3.1 Esimerkkikohteen tiedot

Tässä kappaleessa esitetään tutkittavan kohteen tiedot, jotka toimivat E-luvun laskennan lähtöarvoina. Esimerkki rakennus on Keski-Uudenmaan Talorakenne Oy:n urakoima kohde. Rakennuskohde sijaitsee Mäntsälässä. Kohde on rivitalo kiinteistö, joka määrittää sen että rakennuksen suurin sallittu E-luku on $150 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$. Rivitalo on yksi kerroksinen ja siinä on neljä asuinhuoneistoa. Kohteen rakennustilavuus on 1089 m^3 ja lämmitetty nettoala on 275 m^2 . Liitteessä 1 on esitetty esimerkkikohteen pohjapiirros. E-luvun määrittämiseen on käytetty säävyöhyke 1 arvoja. Laskennassa rakennuksen sisäilmanlämpötilana käytettiin arvoa $21 \text{ }^\circ\text{C}$. Suunnitteluvaiheessa rakennuksen ilmanvuotoluvuksi on asetettu $2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$. Taulukossa 1. on esitetty kohteen rakennusvaipan osien pinta-alat sekä lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot.

Taulukko 1. Esimerkki kohteen rakennusvaipan osien pinta-alat ja U-arvot

Rakennusvaipan osa:	Ilmanvuotoluku: $2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	
	Pinta-ala m^2	U-arvo $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ulkoseinä	125,0	0,16
Yläpohja	251,0	0,09
Alapohja	251,0	0,15
Ikkunat	39,0	0,89
Ulko-ovet	26,0	0,90

Taulukossa 2. on esitetty ikkuna pinta-alat ja ikkunoiden U-arvot. Lisäksi taulukossa on esitetty ikkunoiden g-arvo eli auringonlämpösäteilyn kokonaisläpäisykerroin.

Taulukko 2. Kohteen ikkunoiden laskennan lähtöarvot

Ikkuna	Pinta-ala	U-arvo	g-arvo
Ikkuna Pohjoinen	8,4	0,89	0,55
Ikkuna Itä	4,1	0,89	0,55
Ikkuna Etelä	22,8	0,89	0,55
Ikkuna Länsi	4,1	0,89	0,55

Kohteen lämmöntuottotavaksi on valittu kaukolämpö ja lämmönjako on suunniteltu toteutettavaksi vesikiertoisella lattialämmityksellä. Laskennassa lattialämmityksen mitoituslämpötiloina on käytetty arvoja 40 °C menoveden lämpötila ja 30 °C paluuv veden lämpötila. Taulukossa 3 on esitetty kohteen lämmitysjärjestelmän tiedot ja näiden perusteella määräytyvät laskennan lähtöarvot.

Taulukko 3. Esimerkki kohteen lämmitysjärjestelmän tiedot

Lämmitysjärjestelmä:	Kaukolämpö, Vesikiertoinen lattialämmitys	
	Tuoton hyötysuhde	Jaon hyötysuhde
Tilojen lämmitys	94 %	80 %
Käyttöveden lämmitys	94 %	96 %

Rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltu toteutettavaksi asuntokohtaisella ilmanvaihtokoneella, joka varustetaan lämmöntalteenotolla. Taulukossa 4 esitetään laskennan lähtöarvot ilmanvaihtojärjestelmän osalta. Arvot perustuvat suunnitelmien mukaiseen ilmanvaihtojärjestelmään.

Taulukko 4. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tiedot

Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen tulo- ja poisto ilmanvaihtokone varustettuna lämmöntalteenotolla	
	Ilmavirrat tulo/poisto (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)
Ilmanvaihtokoneet	0,09/0,10	2,0
Ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde	70 %	

3.2 Laskenta ohjelma

Työssä esitettävät tulokset rakennuksen kokonaisenergian kulutuksesta on laskettu laskentapalvelu.fi ohjelmistolla. Ohjelmisto täyttää määräyksissä energiatarkastelu ohjelmalle annetut kriteerit. Ohjelmisto on kuukausitason laskentatyökalu ja sen laskenta malli perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa D3 ja D5 annettuihin ohjeisiin ja määräyksiin. Saadut tulokset esitetään Microsoft Excel taulukko ohjelmalla tehtyjen kuvaajien avulla.

4 TUTKITTAVAT TEKIJÄT

Tässä luvussa tullaan esittelemään tekijät joiden vaikutusta rakennuksen E-lukuun tutkitaan tässä opinnäytetyössä. Seuraavat kappaleet sisältävät tietoa siitä miten ja miksi kyseiset tekijät vaikuttavat rakennuksen kokonaisenergiatarkasteluun.

4.1 Rakennusvaipan lämpöhäviöt

Tässä kappaleessa kerrotaan rakennusvaipan lämpöhäviöiden vaikutuksista rakennuksen laskennalliseen E-lukuun. Kappaleessa käsitellään rakennusvaipan ilmatiiveyden merkitystä energiatehokkuuteen, sekä rakennuksen ala- ja yläpohjarakenteen eristevahvuuden vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen. Lisäksi kerrotaan mitä vaikutuksia rakennuksen E-lukuun on ikkunoiden energiatehokkuudella sekä ikkuna pinta-aloilla.

Ilmanvuotoluku eli q_{50} arvo kertoo kuinka monta kertaa ilma vaihtuu tunnissa vuotokohtien kautta vaipan pinta-alaan nähden, kun sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero on 50 Pascalia. Rakennuksen ilmavuodoilla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Varsinkin pientaloissa korostuu rakennusvaipan tiiveyden merkitys, koska pienemmissä rakennuksissa rakennusvaipan pinta-ala on suuri suhteessa lattia-alaan. Rakennuksen ilmavuodot aiheutuvat rakennuksen ulkovaipassa olevista rei'istä ja raosta. Asuinrakennuksissa ilmavuotoja havaitaan eniten seinien ja ikkunoiden välisissä liitoksissa. Yleensä myös ilmanvaihto kanaviston läpiviennit aiheuttavat ilmavuotoja. Uudisrakennusten vähimmäisvaatimus rakennusvaipan ilmavuotoluvulle on $4 \text{ m}^3/(\text{h}, \text{m}^2)$. Uudispienalojen keskimääräinen ilmavuotoluku on $1,5 \text{ m}^3/(\text{h}, \text{m}^2)$. Mini-

mivaatimusta pienempi rakennuksen ilmanpitävyys tulee osoittaa tiiveysmittauksella tai muulla menetelmällä, jonka viranomaiset ovat hyväksyneet.[5]

Rakennusosan johtumislämpöhäviöt riippuvat rakennusosan lämmönläpäisykerroimen arvosta sekä rakennusosan pinta-alasta. Rakennusosan lämmönläpäisy kerroin eli U-arvo kuvaa rakennusosan lämmöneristekykyä. Rakenteen U-arvon parantaminen verrattuna määräyksien minimivaatimukseen lisää rakennusvaiheen kustannuksia mutta tämä on helppo keino parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Lämmönläpäisykerroimet voidaan laskea esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti [6]. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on annettu vertailuarvoja rakennusosien lämmönläpäisykerroimille. Maanvaraisen alapohja ratkaisun määräysten mukainen U-arvo on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$, kun taas yläpohja rakenteen määräysten mukainen U-arvo vaatimus on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ [1, s.13].

Ikkunoiden pinta-alalla ja niiden lämmönläpäisevyydellä on suuri vaikutus rakennuksen lämmityksentehon tarpeeseen. Ikkunoiden ominaisuuksia on kehitetty paljon viime vuosina mutta silti ikkunat ovat rakennusvaipan heikoin osa lämmöneristävyiden kannalta. Tästä syystä ikkunoiden pinta-alalla on suuri merkitys rakennuksen E-luvun laskennassa. Suuria ikkunapintoja tulisi välttää, kun pyritään energiatehokkaaseen rakentamiseen. [7]

Ikkunoiden lämmöneristekykyä kuvataan lämmönläpäisykerroimella, eli U-arvolla. Viranomaismääräysten minimivaatimus ikkunan U-arvolle on $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. U-arvo ei yksinään kerro kaikkea ikkunan energiatehokkuudesta. Toinen tärkeä arvo, joka vaikuttaa ikkunan energiatehokkuuteen on auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin. Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin eli g-arvo kuvaa kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringon säteilyenergiaa. Energiatehokkuuden kannalta ikkunat tulisikin valita niin, että niiden U-arvo olisi mahdollisimman alhainen ja g-arvo olisi mahdollisimman suuri. Tällainen suunnittelu ei ole kuitenkaan aina ole järkevää, koska tällaisilla ikkunoilla saatetaan heikentää rakennuksen sisäilma olosuhteita. Rakennuksessa jossa ikkunoiden g-arvo on suuri ja rakennusvaipan osien lämmönläpäisykerroimet ovat alhaiset, tapahtuu herkästi sisäilman yllälämpenemistä. [7]

Suomessa on ollut käytössä määräyksiä ja ohjeita matalaenergia- ja passiivirakentamiselle[8]. Nykyiset määräykset eivät tunne termejä matalaenergiarakentaminen tai passiivirakentaminen, eikä nykyisissä rakentamismääräyksissä ole myöskään määritetty raja-arvoja passiivi- tai matalaenergia rakentamiselle. Taulukossa 5 on esitetty aiemmin käytössä olleet ohjeelliset raja-arvot matalaenergia- ja passiivitalon rakennusvai-
pan osille.

**Taulukko 5. Matalaenergia- ja passiivirakentamisen raja-arvot rakennusvai-
pan osille**

Rakennusvai-panosa	Matalaenergiatalo	Passiivitalo
Ulkoseinä	U-arvo=0,12 (W/m ² K)	U-arvo=0,08 (W/m ² K)
Yläpohja	U-arvo= 0,08 (W/m ² K)	U-arvo=0,06 (W/m ² K)
Maanvarainen alapohja	U-arvo= 0,12 (W/m ² K)	U-arvo=0,09 (W/m ² K)
Ikkunat ja ovet	U-arvo=0,8 (W/m ² K)	U-arvo=0,7 (W/m ² K)
Ilmavuotoluku	q ₅₀ -luku=<1,0 (m ³ /h, m ²)	q ₅₀ -luku=<0,6 (m ³ /h, m ²)

Edellä mainittuja raja-arvoja käytetään tässä työssä vertailuarvoina, kun tutkitaan rakennusvai-pan osien energiatehokkuuden vaikutusta rakennuksen E-lukuun.

4.2 Lämmitysjärjestelmä

Tässä kappaleessa käsitellään lämmitysjärjestelmän vaikutusta rakennuksen laskennaliseen E-lukuun. Kappaleessa esitetään eri lämmöntuottotapojen sekä lämmönjakotapojen vaikutus rakennuksen ostoenergian- ja kokonaisenergian määrään. Kokonaisenergiatarkastelussa lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuteen vaikuttaa lämmöntuottotavan ja lämmönjakotavan valinta.

Lämmöntuottotavan valinta määrittää laskennassa käytettävän energiamuotokerroimen sekä laskennassa käytettävän lämmöntuoton hyötysuhteen. Kaukolämmön energiamuotokerroin on 0,7 [1, s.8]. Kaukolämmön energiamuotokerroin on alhainen, koska se on energiatehokas ja suhteellisen ympäristöystävällinen lämmitysmuoto. Laskennassa käytettävä kaukolämmöntuoton hyötysuhde on 94 % [2, s.44].

Maalämmön energiatehokkuus perustuu siihen, että lämmityksessä hyödynnetään maaperästä kerättyä energiaa. Kokonaisenergiatarkastelussa maalämpöpumpulla tuotettu lämmitysenergia lasketaan uusiutuvaksi omavaraisenergiaksi. Rakennuksessa tuotettu omavaraisenergia pienentää rakennuksessa käytettävän ostoenergiantarvetta. E-luvun laskennassa olennaiset arvot maalämpöpumpun osalta ovat lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin tilojen lämmitykselle sekä käyttöveden lämmitykselle. Lisäksi laskennassa tulee tietää maalämpöpumpulla tuotettavan energian osuus koko lämmitysenergian tarpeesta.

Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin on arvo, joka kertoo lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen lämmitysenergian ja lämpöpumpun vuodessa kuluttaman energian suhteen. Esimerkiksi maalämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin on 3, jos lämpöpumpulla tuotetaan lämmitysenergiaa 3 kWh vuodessa ja se kuluttaa 1 kWh verran sähköenergiaa vuodessa. Yleensä maalämpöpumpun vuosilämpökerroin vaihtelee välillä 2,5–3,5. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu arvoja maalämpöpumpun vuoden keskimääräisille lämpökertoimille. [9]

Lattialämmitystaloissa on yleensä parempi maalämmön vuosihyötysuhde kuin patterilämmitystaloissa. Tämä johtuu siitä, että vesikiertoisessa radiaattori lämmityksessä menoveden mitoituslämpötila on korkeampi kuin vesikiertoisessa lattialämmityksessä. Myös runsas käyttöveden lämmityksen tarve heikentää lämpöpumpun vuosilämpökerointa. Tutkittavista lämmöntuottotavoista maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat kaikista suurimmat. Maalämpöjärjestelmän investointikustannuksia voi vähentää suunnittelun avulla. [9]

Ilma-vesilämpöpumppu eli ulkoilma-vesilämpöpumppu on yksi lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävistä lämmitysratkaisuista. Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta, jonka jälkeen se siirtää lämpöenergian vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Tavanomaisesti ilma-vesilämpöpumpulla kyetään tuottamaan noin 50 °C lämmitysvettä. Ilma-vesilämpöpumppu voidaan suunnitella rakennuksen päälämmöntuottotavaksi, mutta järjestelmä tarvitsee kylmimpiä ajanjaksoja ja käyttövedenlämmitystä varten varalämmitysjärjestelmän. Tavallisesti varalämmitysjärjestelmänä käytetään ilmavesilämpöpumpun yhteyteen asennettavan lämminvesivaraajan sähkövastuksia. Tällä tavoin varmistetaan se, että kyseisellä järjestelmällä kyetään kattamaan rakennuksen tarvitsema lämmitystehontarve myös huippupakkasten aikana.

Huippupakkasia on kuitenkin vain muutama päivä lämmityskaudessa, joten ilma-vesilämpöpumpulla kyetään kattamaan suurin osan rakennuksen lämmitysenergiämäärästä. [10]

Ulkoilmavesilämpöpumpun tuottama osuus lämmitysenergiasta riippuu järjestelmän mitoituksesta, laitteen kyvystä toimia kovimmilla pakkasilla sekä rakennuskohteen maantieteellisestä sijainnista. Etelä-Suomessa ulkoilmavesilämpöpumpulla pystytään tuottamaan 60 - 90 % rakennuksen lämmitysenergiatarpeesta [11]. Korkea lämmitysveden lämpötila heikentää ilma-vesilämpöpumpun energiatehokkuutta. Tästä syystä vesikiertoinen lattialämmitys soveltuu vesikiertoista patterilämmitystä paremmin ilma-vesilämpöpumpun tuottaman energian lämmönjakotavaksi. [10]

Ilma-vesilämpöpumpun vuosilämpökerroin vaihtelee 1,5 ja 3,0 välillä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu vuosilämpökertoimia ilma-vesilämpöpumpulle. Ilma-vesilämpöpumppu ei ole yhtä energiatehokas lämpöpumppujärjestelmä verrattuna maalämpöpumppu järjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpun etuna maalämpöpumpuun verrattuna on alhaisempi hankintahinta, sekä se että ilma-vesilämpöpumppu voidaan asentaa sellaisiin kohteisiin, joihin maalämpöpumpun asennus ei maaperän laadusta johtuen ole mahdollista.[11]

Suora sähkölämmitys on yksinkertainen lämmitysmuoto rakennuksen lämmittämiseen mutta se ei ole kovin energiatehokas lämmitysmuoto. Mikäli rakennuksen lämmitysmuodoksi valitaan suora sähkölämmitys, tulee rakennusvaipan lämmöneristävyyttä lisätä huomattavasti, jotta rakennus täyttäisi viranomaismääräykset rakennuksen energiatehokkuuden osalta. Energiämääräykset eivät suosi sähkölämmitystä. Sähkölämmityksen energiamuotokerroin on 1,7 [1, s.8]. Laskennassa suoran sähkölämmitysjärjestelmän lämmöntuoton hyötysuhde on 100 % [2, s.44]. Suoran sähkölämmityksen energiankulutuksen pienentämiseksi on suositeltavaa käyttää päälämmitysjärjestelmän tukena muita lämmitysratkaisuja.[12]

Yksi tapa vähentää rakennuksen ostoenergiantarvetta on hyödyntää rakennuksen tarvitseman lämpömäärän tuotossa aurinkoenergiaa. Suomen rakentamismääräyksissä on asetettu, että aurinkokeräimillä tuotettu lämpömäärä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmitykseen. Aurinkolämmöllä voidaan tuottaa noin puolet lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittavasta energiasta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa

D5 sanotaan, että aurinkoenergian osuus lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta voi olla korkeintaan 40 % [2, s. 46]. Aurinkolämmöllä tuotetun energian osuus lämpimän käyttöveden lämmityksessä, voi olla suurempi, mikäli laskelmat tehdään tarkemmalla laskentamenetelmällä.

Aurinkolämpöjärjestelmät ovat yhteensopivia kaikkien tavanomaisten lämmitysjärjestelmien kanssa mutta kuitenkin parhaiten aurinkolämmitysjärjestelmä soveltuu sellaisen lämmitysjärjestelmän yhteyteen, jossa on jo lämminvesivaraaja. Esimerkiksi aurinkolämmitysjärjestelmä soveltuu erityisen hyvin asennettavaksi sähkölämmityksen tai lämpöpumppujen yhteyteen.[13]

Aurinkokeräimillä saatu laskennallinen lämpömäärä riippuu keräimien yhteispinta-alasta ja keräimien suuntauksesta sekä rakennuksen sijainnista. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu suuntauskertoimia aurinkokeräimille. Aurinkokeräin kannattaa suunnata kohti etelää, näin ollen aurinkokeräimellä saatu lämpömäärä on mahdollisimman suuri. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti säävyöhykkeillä 1 ja 2 aurinkokeräimillä on mahdollista tuottaa 156 kWh lämpöenergiaa vuodessa keräimen pinta-alaa kohden [2, s.46].

Vesikiertoinen lattialämmitys on yleinen lämmönjakotapa uudisrivialohteissa. Lattialämmityksessä koko lattiapinta-ala toimii lämmönluovuttajana. E-luvun laskennassa lämmönjakotapa määrittää lämmönjaon hyötysuhteen. Vesikiertoisen lattialämmityksen jakelujärjestelmän hyötysuhde on 80 % siinä tapauksessa, kun rakennuksen alapohja rakenne on maata vasten rajoittuva alapohjarakenne [2, s.40].

Vesikiertoinen radiaattorilämmitys on perinteinen lämmönjakotapa. Vesikiertoinen radiaattorilämmitys sopii lämmönjakotavaksi jokaiselle lämmöntuottotavalle. Vesikiertoisen radiaattorilämmityksen jakelujärjestelmän hyötysuhde on 90 %, kun jakojohdot ovat eristetty ja lämmityksen meno- ja paluuv veden mitoitus lämpötiloina käytetään 45/35 °C [2, s.40].

Sähköinen lattialämmitys on yleinen suoran sähkölämmityksen lämmönjakotapa. Lattialämmitys lämmittää tasaisesti sisäilmaa ja takaa näin vedottoman ja tasaisen sisäilmaolosuhteen. Sähköisen lattialämmityksen jakelujärjestelmän hyötysuhde on 85 % silloin, kun rakennuksessa on maata vasten rajoittuva alapohja rakenne [2, s.40].

Sähköpatterilämmitys on myös perinteinen lämmönjakotapa suora sähkölämmitys kohteissa. Sähköpatteri lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde on 95 % [2, s.40].

4.3 Lisälämmitys

Tässä aluvuossa esitellään työssä tutkittavien lisälämmitystapojen vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Kappaleessa esitetään miten varaava tulisija huomioidaan rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen laskennassa. Lisäksi tässä kappaleessa esitetään miten lisälämmitykseksi suunniteltu ilmalämpöpumppu huomioidaan rakennuksen kokonaisenergian laskennassa.

Rakennuksen ostoenergian tarvetta on mahdollistaa vähentää suunnittelemalla ilmalämpöpumppu rakennuksen lisälämmitysratkaisuksi. Ilmalämpöpumput ovat rakennuksen lämmitysjärjestelmää täydentäviä lämmityslaitteita. Uudisrakennuksen kokonaisenergiatarkastelussa ilmalämpöpumpun tuottamaksi lämmitysenergiaksi saadaan laskea enintään 1000 kWh vuodessa [1, s.24]. Kokonaisenergiatarkastelussa ilmalämpöpumpun energiatehokkuuden määrittää lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin. Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin kuvaa kuinka moninkertaisen lämpömäärän pumppu tuottaa kuluttamaansa energiamäärän verrattuna yhden vuoden aikana. Vuoden keskimääräisestä lämpökerrointa kutsutaan SPF-arvoksi. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu ohjearvo ilma-ilmalämpöpumpun lämpökertoimille. Ilmalämpöpumpulla voi parantaa rakennuksen energiatehokkuutta varsinkin silloin, kun rakennuksen päälämmitysmuotona on suoräsähkölämmitys. [14]

Varaava tulisija on yksi mahdollinen lisälämmitysmuoto päälämmitystavan rinnalle. Uudisrakennuksen E-lukua laskettaessa voidaan varaavasta tulisijasta tilaan saatavaksi lämmitysenergiaksi laskea enintään 2000 kWh vuodessa tulisijaa kohden [1, s.24]. Tämä 2000 kWh ei ole ilmaisenergiaa, vaan se tuotetaan takassa poltettavilla puilla. Kokonaisenergian tarkastelussa varaavan takan energiatehokkuuteen vaikuttaa tulisijan kokonaisvuosihyötysuhde, jos tätä arvoa ei ole tiedossa voidaan tulisijan kokonaishyötysuhteena käyttää arvoa 0,6 [2, s.45].

4.4 Ilmanvaihtojärjestelmä

Työssä tutkitaan ilmanvaihdon osalta lämmöntalteenottotavan sekä puhaltimien ominaissähkötehon vaikutusta rakennuksen E-lukuun. Tässä kappaleessa käsitellään näiden kyseisten tekijöiden vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen.

Rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuus riippuu ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisvuosihyötysuhteesta. Suomen rakentamismääräysten mukaisesti rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Nykyisillä ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotoilla saadaan poistoilman lämpöenergiasta talteen noin 50–80 %. Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisvuosihyötysuhde saadaan laskettua, kun tunnetaan ilmanvaihtojärjestelmän toiminta-arvot. Määräyksiä parempia ilmanvaihtokoneen toiminta-arvoja voi käyttää E-luvun laskennassa, mikäli ilmanvaihtokoneesta on tiedossa vakioituissa olosuhteissa varmennetut arvot.

Yksi tekijä joka vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisyötysuhteeseen on lämmöntalteenoton lämpötilasuhte. Lämpötilasuhteella kuvataan LTO-laitteen lämmöntalteenotto kykyä standardoidussa testitilanteessa. Tehokkaimmat ilmanvaihdon lämmöntalteenottotavat ovat, joko pyörivälämmönsiirrin tai vastavirtalevylämmönsiirrin. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu ohjearvoja eri lämmöntalteenotto tapojen lämpötilasuhteille. Pyörivän lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteeksi on annettu arvo joka on 65 %, kun taas vastavirtalämmönsiirtimen lämpötilasuhteen ohje arvoksi on annettu 60 % [2, s.22]. Koska nykyään sekä pyörivällä lämmönsiirtimellä, että vastavirtalevylämmönsiirtimellä päästään lähes samoihin tuloilman lämpötilasuhteen arvoihin, olennainen vaikutus on sillä, kuinka alhaisessa lämpötilassa ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto on varmennettu toimimaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on annettu ohjearvoja lämmöntalteenoton jäätyminen eston minimilämpötiloiksi silloin, kun lämmöntalteenottolaitteesta ei ole tiedossa varmennettuja suoritusarvoja. Levylämmönsiirtimen jäteilman minimi lämpötilan ohjearvoksi on annettu +5 °C ja pyörivänlämmönsiirtimen jäteilman minimilämpötilaksi on annettu +0 °C [2, s.22].

Myös ilmanvaihtokoneiden puhaltimien ominaissähkö eli SFP-luku vaikuttaa rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuuteen. Ilmanvaihdon ominaissähköteho on koko ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna ilmanvaihto järjestelmän mitoitus ilmavirralla. Toisin sanoen SFP-lukua antaa lukuarvon sille, miten paljon sähkötehoa rakennuksen ilmanvaihto tarvitsee siirtääkseen 1 m^3 ilmaa sekuntissa. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ [2].

Aiemmin Suomen rakentamismääräyksissä määriteltiin termit matalaenergia- ja passiivirakentaminen. Käytössä on ollut ohjeellisia raja-arvoja matalaenergia- ja passiivitalojen ilmanvaihdon ominaissähköteholla ja ilmanvaihdon LTO-laitteen vuosihyötysuhteelle. Matalaenergiarakentamisessa ohjeellinen vähimmäisarvo ilmanvaihtokoneen ominaissähköteholle oli $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Passiivitaloihin suunniteltavien ilmanvaihtojärjestelmien ominaissähkötehon ohjeellinen raja-arvo on ollut $1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Ohjeellinen raja-arvo ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteelle on ollut 70 %, kun pyrittiin matalaenergiarakentamiseen. Passiivitalon ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen raja-arvona oli 80 %. Nämä edellä mainitut raja-arvot eivät ole enää käytössä mutta näitä arvoja tullaan käyttämään vertailu arvoina tässä opinnäytetyössä, kun tutkitaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon vaikutusta rakennuksen E-lukuun.[8]

5 KOHTEEN SUUNNITTELURATKAISUN MUKAINEN E-LUKU

Tässä luvussa esitetään esimerkki kohteen suunnitteluratkaisujen mukaisesti laskettu E-luku. Laskentaohjelmalla laskettiin esimerkkikohteen kokonaisenergian kulutus suunnitteluratkaisujen mukaisesti. Esimerkkikohteen lämmöntuottotavaksi oli suunniteltu kaukolämpö. Rakennuksen lämmönjakotavaksi oli valittu vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennuksen ilmanvaihto oli suunniteltu toteutettavaksi asuntokohtaisella ilmanvaihtokoneella, joka varustetaan lämmöntalteenotto laitteella.

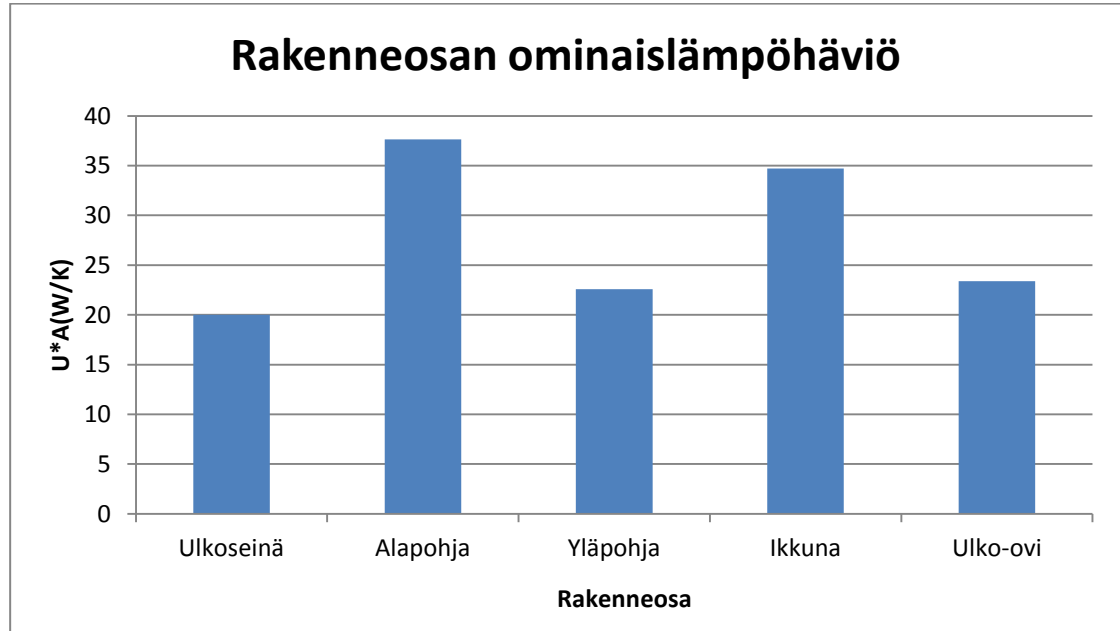
Esimerkki kohteelle laskettu E-luku on $144 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$ ja tämän luvun perusteella rakennus sijoittuu C energialuokkaan. Tämä arvo täyttää viranomaisvaatimuksen, joka on $150 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$. Rakennuksen laskettu ostoenergiantarve on 40040 kWh/a . Liitteessä 2.1 on esitetty laskentaohjelman tulokset.

6 TUTKITTAVIEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS E-LUKUUN

Tässä luvussa esitellään työssä tutkittavien tekijöiden vaikutus rakennuksen laskennalliseen E-lukuun. Eri tekijöiden vaikutusta rakennuksen E-lukuun tutkitaan vertaamalla saatuja tuloksia suunnitteluratkaisun mukaisesti laskettuun E-lukuun. Lisäksi tässä luvussa vertaillaan eri tekijöiden energiatehokkuutta muilla tavanomaisilla vertailutavoilla.

6.1 Rakennusvaipan lämpöhäviöiden vaikutus E-lukuun

Rakennusosan johtumislämpöhäviöt ja niiden aiheuttama lämmitysenergian tarve riippuu rakennusosan pinta-alasta sekä rakennusosan U-arvosta. Rakennusosien energiatehokkuutta voidaan vertailla rakennusosan ominaislämpöhäviön avulla. Rakennusosan ominaislämpöhäviö on rakennusosan pinta-alan ja rakennusosan U-arvon tulo. Rakennusosa on energiatehokkuudeltaan heikompi, mitä suurempi rakennusosan ominaislämpöhäviö on. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki kohteen suunnitteluarvojen mukaisesti toteutettavien rakenneosien ominaislämpöhäviöt.

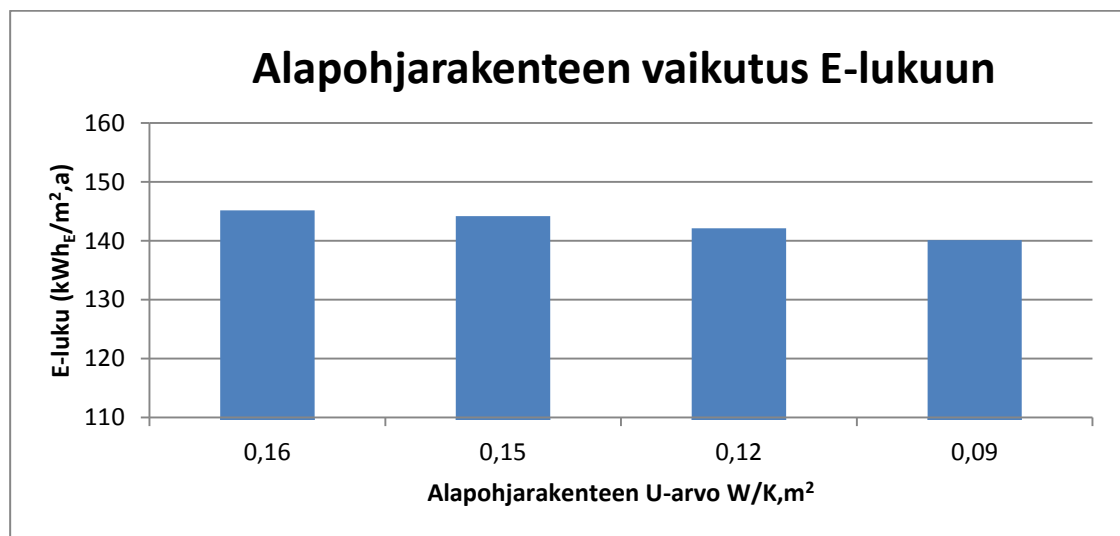


Kuva 1. Rakenneosien ominaislämpöhäviöt

Suunnitteluratkaisun mukaisesti toteutettavan rakennuksen ulkoseinä on rakennusvaipan energiatehokkain osa, kun taas rakennuksen alapohja on rakennusvaipan heikoin osa energiatehokkuuden kannalta, kun rakennusvaipan osien energiatehokkuutta vertaillaan osien ominaislämpöhäviöiden avulla. Esimerkkikohteeseen valittujen ikku-

noiden ominaislämpöhäviö on lähes yhtä suuri, kuin esimerkkikohteen alapohjarakenteen ominaislämpöhäviö. Ikkunoiden aiheuttamia johtumislämpöhäviöitä voi vähentää valitsemalla rakennukseen energiatehokkaammat ikkunat, sekä pienentämällä rakennuksen ikkunapinta-alaa.

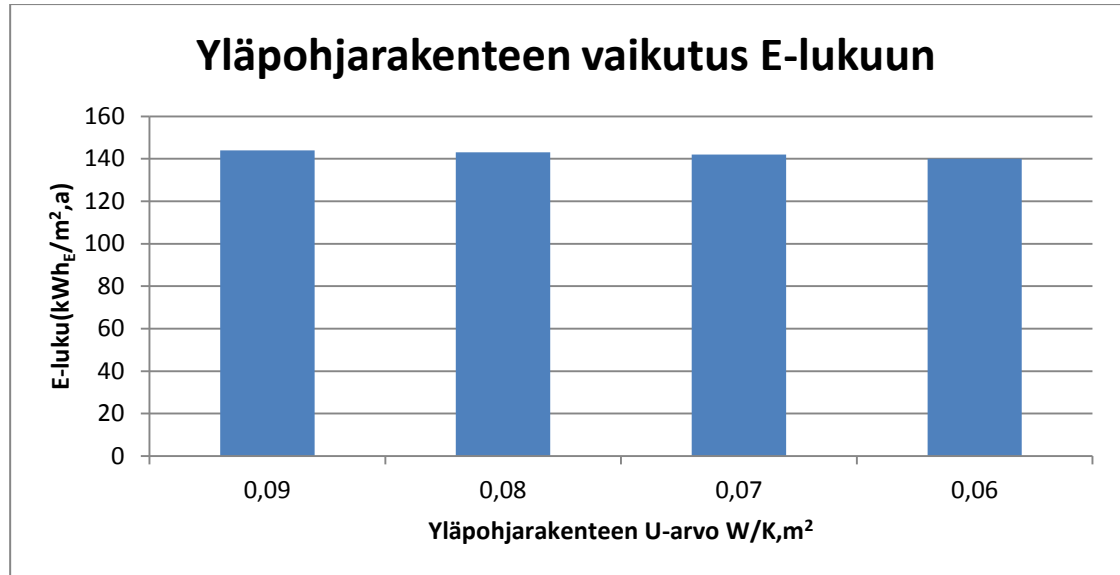
Alapohja rakenteen aiheuttamia johtumislämpöhäviöitä voi pienentää lisäämällä eristevahvuutta. Eristevahvuuden lisääminen parantaa rakenteen U-arvoa. U-arvo 0,16 W/K, m² vastaa määräysten ohjeellinen vähimmäistaso, kun taas U-arvo 0,15 W/K, m² vastaa alapohjarakenteen suunnitteluratkaisun U-arvoa. Vertailu arvoina käytetään U-arvoja 0,12 W/K, m² ja 0,09 W/K, m². Kuvassa 2 on esitetty alapohja rakenteen U-arvon vaikutusta rakennuksen E-lukuun.



Kuva 2. Alapohjarakenteen U-arvon vaikutus rakennuksen E-lukuun

Alapohjarakenteen U-arvon ollessa 0,09 W/K, m² rakennuksen E-luku on 3 % pienempi kuin suunnitteluratkaisun mukaisesti toteutetussa ratkaisussa.

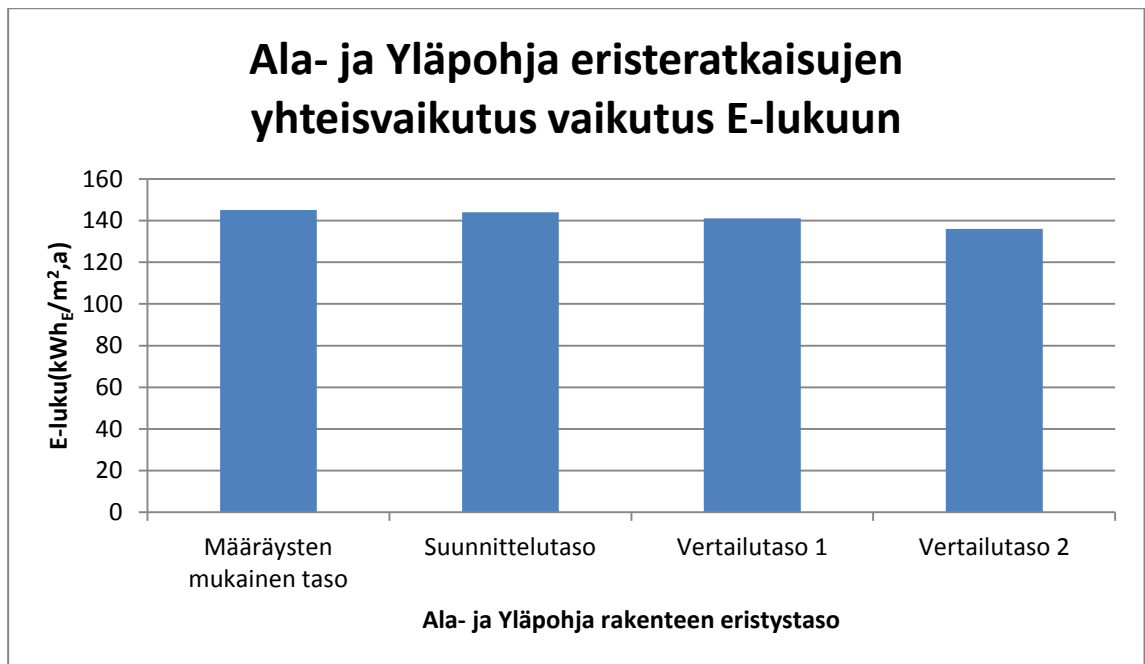
Yläpohjarakenteen johtumislämpöhäviöihin vaikuttaa yläpohja rakenteen U-arvo. Suunnittelu ratkaisun yläpohjarakenteen U-arvo $0,09 \text{ W/K, m}^2$. Tämä arvo vastaa rakentamismääräyskokoelman osassa D3 annettua yläpohjarakenteen vertailuarvoa. Vertailuarvoina käytetään U-arvoja $0,08 \text{ W/K, m}^2$, $0,07 \text{ W/K, m}^2$ sekä $0,06 \text{ W/K, m}^2$. Kuvassa 3 on esitetty yläpohjarakenteen U-arvon vaikutusta rakennuksen E-lukuun.



Kuva 3. Yläpohjarakenteen U-arvon vaikutus rakennuksen E-lukuun

Yläpohjarakenteen U-arvon ollessa $0,06 \text{ W/K, m}^2$ rakennuksen E-luku on 2 % pienempi kuin suunnitteluratkaisun mukaisesti laskettavan E-luvun.

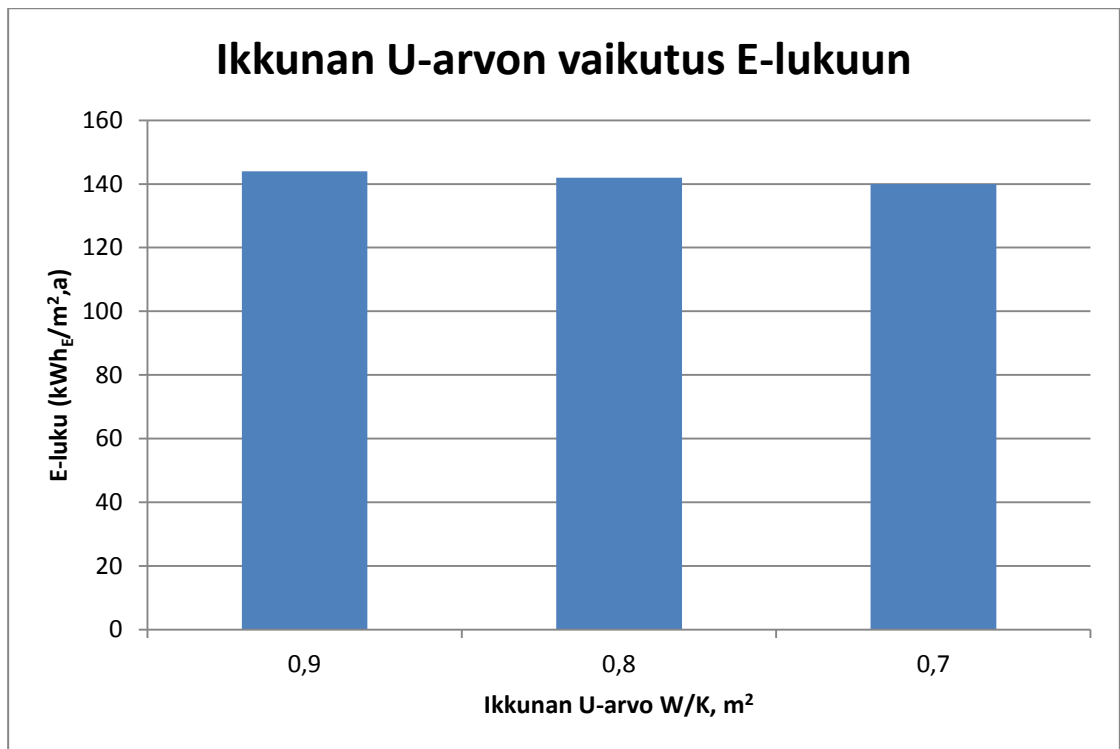
Seuraavaksi on esitetty rakennuksen ylä- ja alapohja ratkaisujen yhteisvaikutus rakennuksen E-lukuun. Tutkittavina ratkaisuina on neljä erilaista ala- ja yläpohja ratkaisua. Tutkittavina ratkaisuina on määräysten mukainen ala- ja yläpohjarakenne sekä suunnitteluratkaisun mukainen ala- ja yläpohjarakenne. Lisäksi tutkitaan kahden vertailuratkaisun vaikutusta rakennuksen E-lukuun. Vertailuratkaisu 1. alapohjarakenteen U-arvoksi on suunniteltu $0,12 \text{ W/K, m}^2$ ja yläpohjarakenteen U-arvoksi $0,07 \text{ W/K, m}^2$. Vertailuratkaisu 2. alapohjarakenteen U-arvoksi on suunniteltu $0,09 \text{ W/K, m}^2$ ja yläpohjarakenteen U-arvoksi $0,06 \text{ W/K, m}^2$. Kuvassa 4 on esitetty rakennuksen ala- ja yläpohja eristeratkaisujen yhteisvaikutus rakennuksen laskennalliseen E-lukuun.



Kuva 4. Ala- ja yläpohjarakenteen eristevahvuuden vaikutus E-lukuun

Ala- ja yläpohja rakenteen U-arvon pienentäminen vertailuratkaisu 2. tasolle pienensi rakennuksen E-lukua 6 % suunnitteluratkaisuun verrattuna.

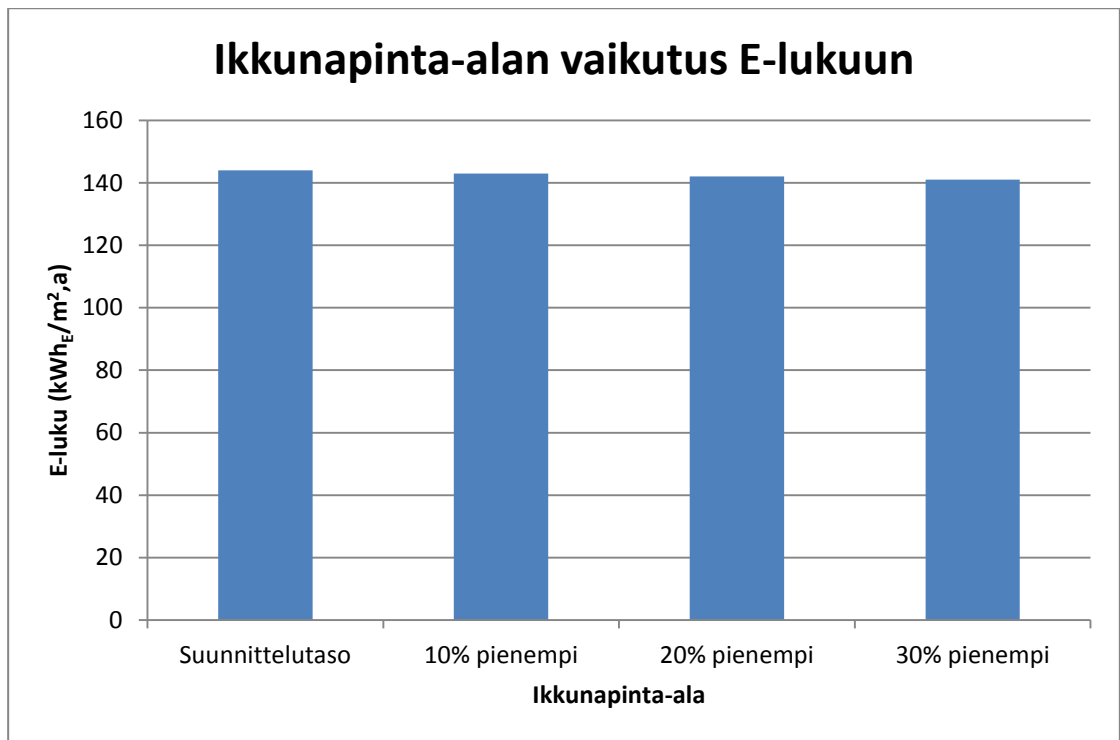
Ikkunoiden valinnalla voi vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Suunnittelu ratkaisuun on valittu ikkunat joiden U-arvo on 0,9 W/K, m². Matalaenergia ikkunoiden U-arvot vaihtelevat 0,7...0,8 W/K, m² ikkuna lasituksesta riippuen. Ikkunoiden U-arvo on siis selkeästi korkeampi kuin ulkoseinän U-arvo. Tämä tarkoittaa, sitä että ikkunat aiheuttavat suurimman osan rakennuksen ulkovaipan lämpöhäviöistä, vaikka rakennukseen valittaisiin markkinoiden energiatehokkaimmat ikkunat. Kuvassa 5 on esitetty ikkunoiden U-arvon vaikutus rakennuksen E-lukuun.



Kuva 5. Ikkunoiden U-arvon vaikutus rakennuksen E-lukuun

Ikkunoiden U-arvon parantaminen 0,9...0,7 W/K, m² alensi rakennuksen laskennallista kokonaisenergian kulutusta 2 %. Ikkunan energiatehokkuuteen vaikuttaa ikkunan U-arvo sekä g-arvo. Laskelmissa ikkunan g-arvo on pidetty vakiona. Tästä syystä tämän vertailun tulos toteutuu vain, kun ikkunan g-arvo pysyy vakiona.

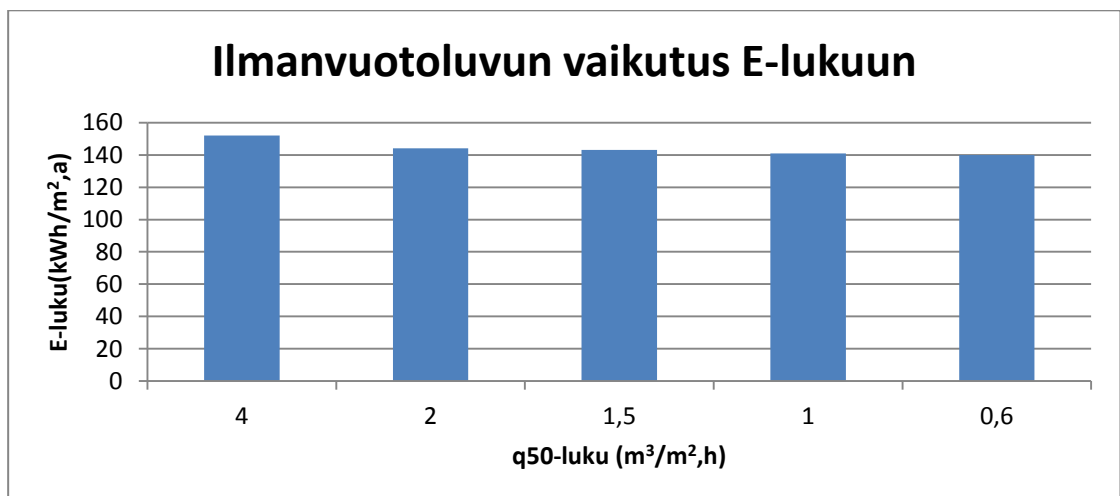
Ikkunoiden johtumislämpöhäviöiden vähentämien ikkunoiden U-arvoa parantamalla on hankalaa ja kustannuksia lisäävää. Ikkunoiden aiheuttamia johtumislämpöhäviöitä pystyy vähentämään pienentämällä rakennuksen ikkuna pinta-alaa. Suunnittelu ratkaisun ikkuna pinta-aloja pienennettiin 10 %, 20 % ja 30 % alkuperäisestä ikkuna pinta-alasta. Ikkuna pinta-alasta vähennetty ala on lisätty rakennuksen ulkoseinän pinta-alaan. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on sanottu, että asuinhuoneessa tulee olla ikkuna jonka pinta-ala on vähintään 10 % huonealasta. Näissä edellä mainituissa ratkaisuisa täyttyy tämä ehto. Kuvassa 6 on esitetty rakennuksen ikkuna pinta-alan vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen.



Kuva 6. Ikkuna pinta-alan vaikutus rakennuksen E-lukuun

Suunnitteluratkaisun ikkunapinta-alojen pienentämien 30 % paransi rakennuksen laskennallista kokonaisenergiankulutusta 2 %.

Rakennuksen tiiveydellä on suuri merkitys tilojen lämmitysenergian tarpeen määrään. Määräyksissä maksimiarvo rakennuksen ilmavuotoluvulle on $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2,\text{h}$. Suunnittelu ratkaisussa rakennuksen ilmavuotoluvuksi on asetettu arvo $2,0 \text{ m}^3/\text{m}^2,\text{h}$. Tässä työssä ilmavuotoluvun vertailu arvoina käytetään $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2,\text{h}$, $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2,\text{h}$ ja $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2,\text{h}$. Kuvassa 7 on esitetty rakennuksen ilmavuotoluvun vaikutus rakennuksen E-lukuun.

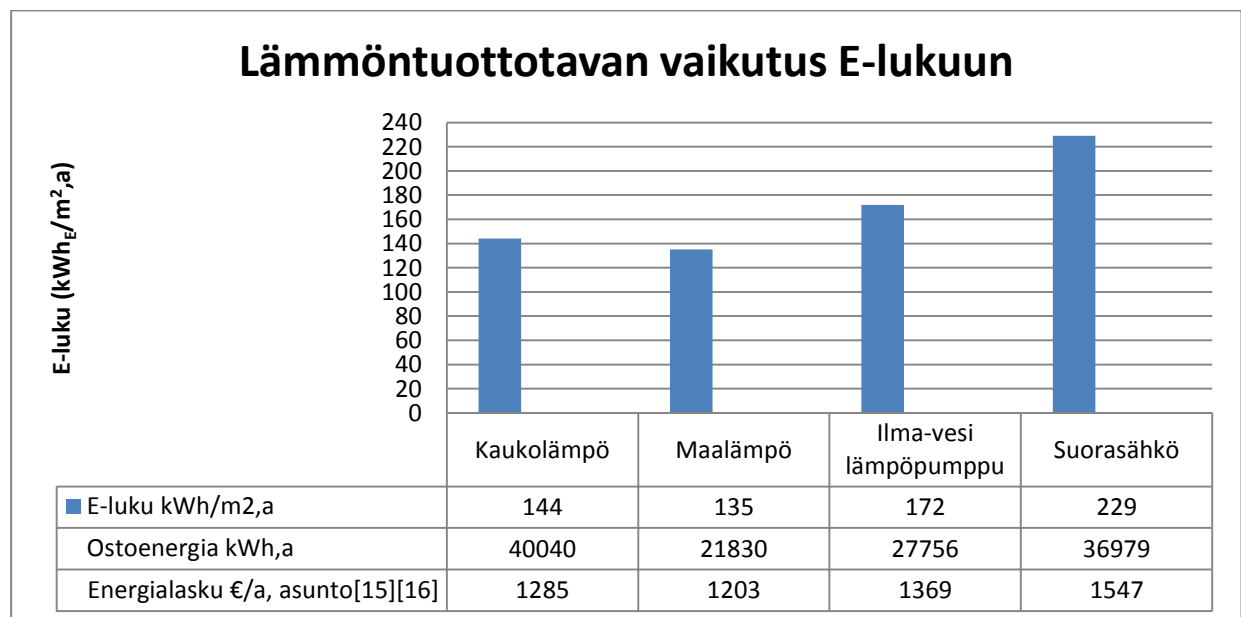


Kuva 7. Ilmanvuotoluvun vaikutus E-lukuun

Rakennuksen ilmapuotoluvun pienentämien arvosta $2,0 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}$ arvoon $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}$ paransi rakennuksen E-lukua 3 % ja määräyksien minimivaatimukseen verrattuna muutos vähensi rakennuksen kokonaisenergiankulutusta 7 %. Ilmapuotoluvun ollessa $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{h}$ rakennus ei enää täytä viranomaismääräysten vähimmäisvaatimusta rakennuksen E-luvun osalta.

6.2 Lämmitysjärjestelmän vaikutus E-lukuun

Rakennuksen lämmöntuottotavan valinnalla on iso merkitys rakennuksen kokonaisenergiatarkastelussa. Suunnitteluratkaisussa rakennuksen lämmöntuottotavaksi on valittu kaukolämpö. Suunnitteluratkaisua verrataan ratkaisuihin joissa lämmöntuottotavoiksi on valittu maalämpö, ulkoilma-vesilämpöpumppu ja suorasähkölämmitys. Seuraavissa ratkaisuisa lämpöpumput on mitoitettu täystehomitoituksen mukaisesti ja laskennassa käytetyt lämpöpumppujen vuosi lämpökertoimet vastaavat Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettuja ohjearvoja. Kuvassa 8 on esitetty lämmöntuottotavan vaikutus rakennuksen E-lukuun.



Kuva 8. Lämmöntuottotavan vaikutus rakennuksen E-lukuun

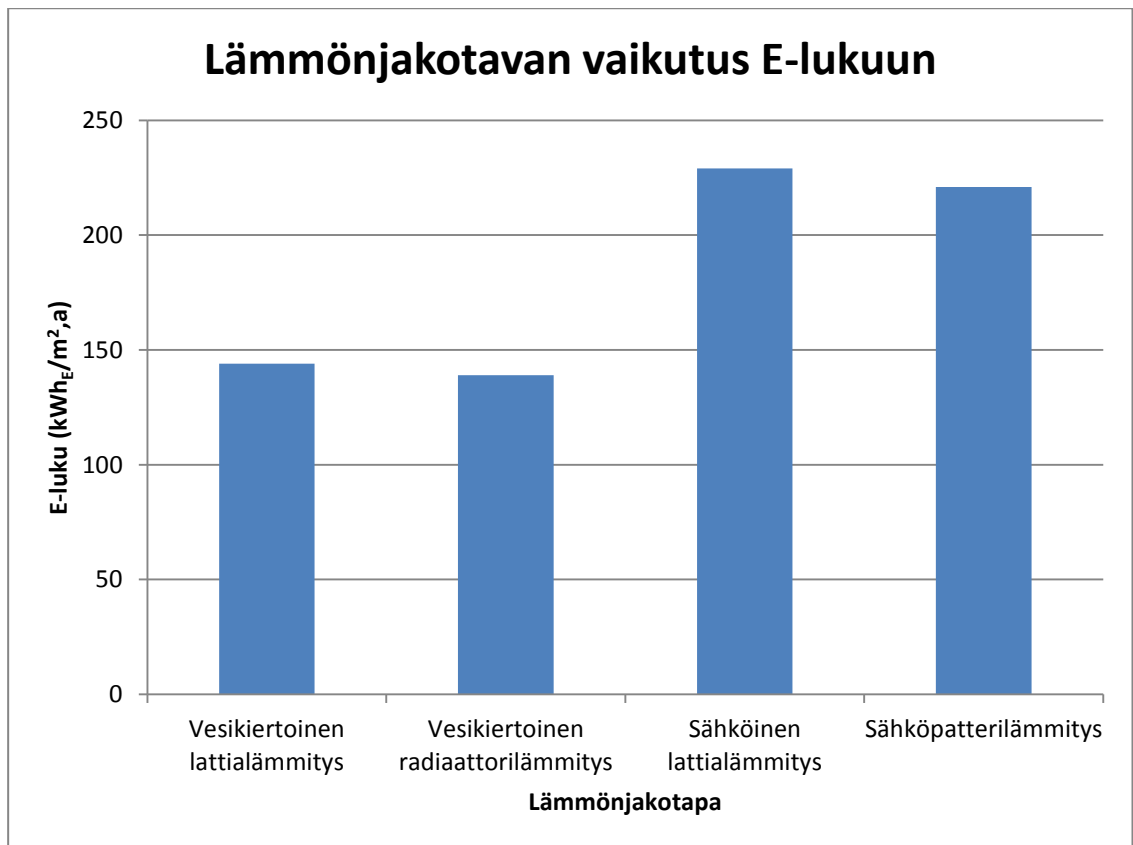
Lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia luokitellaan uusiutuvaksi energiaksi. Lämpöpumpuilla tuotettu lämpöenergian määrä vähentää rakennuksen tarvitsemaa ostoenergianmäärää. Suunnitteluratkaisun ostoenergiankulutus on 83 % suurempi kuin vertailuratkaisussa, jonka lämmöntuottotavaksi on valittu maalämpöpumppu. Ulkoilma-

vesilämpöpumpun valinta rakennuksen lämmöntuottotavaksi pienensi rakennuksen ostoenergiankulutusta 32 % verrattuna suunnitteluratkaisuun.

Suunnitteluratkaisun E-luku on 35 % pienempi kuin vertailuratkaisussa, jonka lämmöntuottotavaksi on valittu suorasähkölämmitys. Suunnitteluratkaisun E-luku on 7 % suurempi, kuin ratkaisun jonka lämmitysenergia tuotettaisiin maalämmöllä. Rakennus ei täytä viranomaismääräyksiä kokonaisenergiatarkastelun osalta, mikäli rakennuksen lämmöntuottotavaksi on valittu suorasähkölämmitys ja rakennukseen ei tehdä muita muutoksia suunnitteluratkaisuun verrattuna.

Esimerkkikohteelle laskettuja energialaskuja vertaillen havaitaan maalämpöjärjestelmän olevan kaikista edullisin vaihtoehto rakennuksen käyttäjille. Tuloksista täytyy huomioda, että kokonaisenergiatarkastelun tuloksena saatu ostoenergian kulutus on laskennallinen arvo, eikä se vastaa todellisia kulutustietoja. Tästä syystä laskettu energialasku ei välttämättä vastaa tämän esimerkkikohteen todellista vuotuista energialaskua. Laskettua energialaskua voidaankin käyttää vain vertailu pohjana sille, kun tutkitaan mikä suunnittelu ratkaisusta, olisi edullisin vaihtoehto rakennuksen käyttäjälle. Esimerkkikohteen laskettu vuotuinen energialasku sisältää rakennuksen lämmityskustannusten lisäksi kulutussähkön osuuden. Laskettuun energialaskuun ei ole huomioitu liittymiskustannuksia tai mahdollisia järjestelmän huoltokustannuksia. Kuvassa 8 esitetyn energialaskun sisältämä sähköenergian osuus on laskettu Mäntsälän Sähkö Oy:n energiahinnastosta löytyvien tietojen perusteella [15]. Energialaskun kaukolämmön osuus on laskettu Energiateollisuus ry:n ylläpitämän kaukolämpöhinnaston perusteella [16]. Esimerkkikohte sijaitsee Mäntsälän Sähkö Oy:n kaukolämpöverkko alueella.

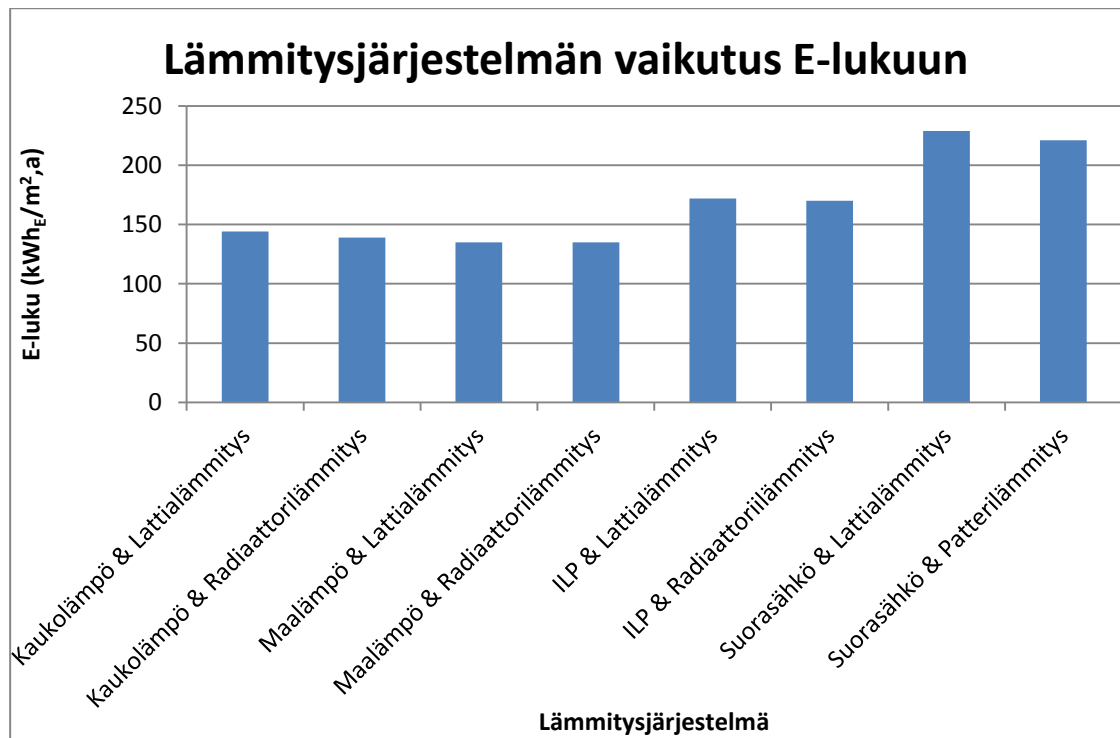
Seuraavaksi vertaillaan lämmönjakotavan vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Työssä vertaillaan vesikiertoisen lattialämmityksen ja vesikiertoisen radiaattorilämmityksen vaikutuksia rakennuksen E-lukuun. Tässä vertailussa vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän lämmöntuottotavaksi on valittu kaukolämpö. Vesikiertoisen lattialämmityksen mitoituslämpötiloina on käytetty arvoja 40/30 °C. Vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän menoveden mitoituslämpötilana on käytetty 45 °C ja paluueden mitoituslämpötilaksi on asetettu 35 °C. Lisäksi tutkitaan sähköisen lattialämmityksen ja sähköpatterilämmityksen vaikutuksia rakennuksen E-lukuun. Kuvassa 9 on esitetty lämmönjakotavan vaikutus rakennuksen E-lukuun.



Kuva 9. Lämmönjakotavan vaikutus rakennuksen E-lukuun

Vesikiertoisen radiaattorilämmityksen valinta kaukolämmöllä lämmitettävän rakennuksen lämmönjakotavaksi paransi rakennuksen E-lukua 3 % verrattuna ratkaisuun, jossa lämmönjakotavaksi valittiin vesikiertoinen lattialämmitys. Sähköinen patterilämmitys paransi suora sähkölämmitteisen rakennuksen E-lukua 3 % verrattuna ratkaisuun, jossa rakennuksen lämmönjakotavaksi oli valittu sähköinen lattialämmitys.

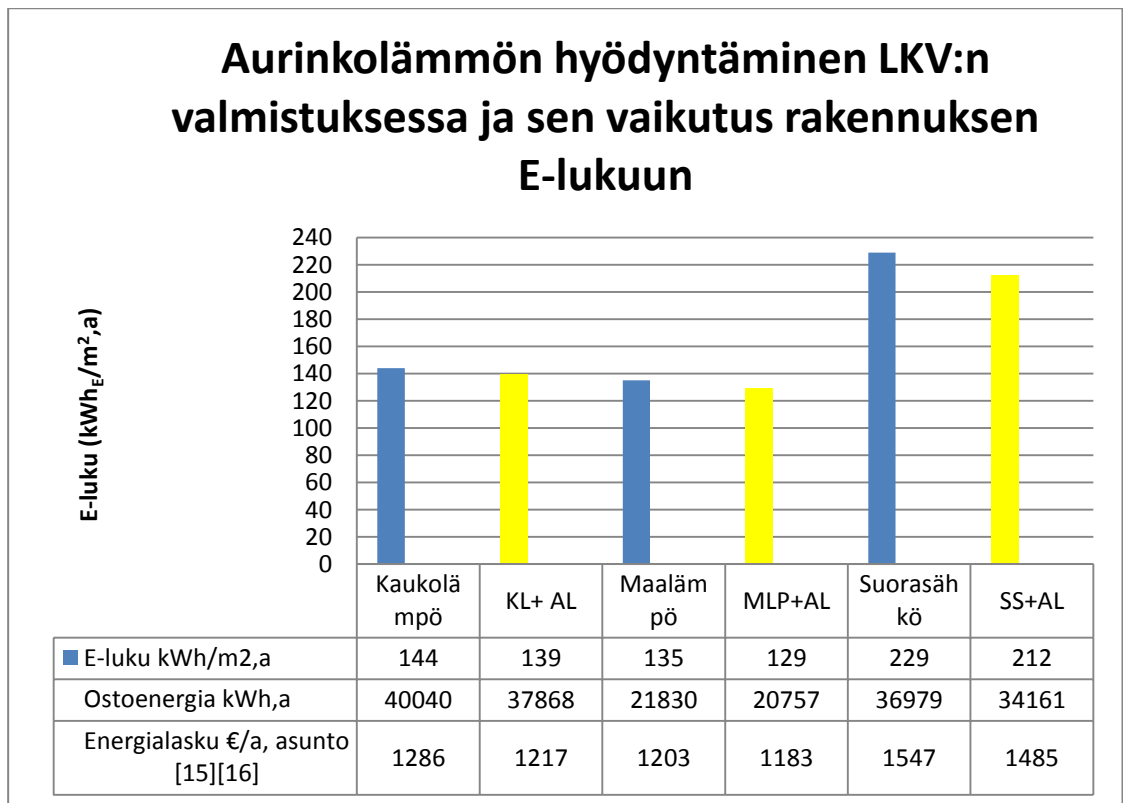
Seuraavaksi esitetään mitä vaikutusta rakennuksen lämmitysjärjestelmän valinnalla on rakennuksen E-lukuun. Lämmöntuottotavan valinnalla on paljon suurempi merkitys rakennuksen kokonaisenergiantarkastelussa kuin lämmönjakotavan valinnalla. Kuvassa 10 on esitetty eri lämmitysjärjestelmä ratkaisujen vaikutus rakennuksen E-lukuun.



Kuva 10. Lämmitysjärjestelmän vaikutus rakennuksen E-lukuun

Lämmitysjärjestelmän, jonka lämmöntuottotavaksi on valittu maalämpö ja lämmönjakotavaksi on valittu vesikiertoinen lattialämmitys, E-luku on 6 % parempi kuin suunnitteluratkaisun E-luku. Vertailuratkaisu, jonka lämmöntuottotavaksi on valittu suora sähkölämmitys ja lämmönjakotavaksi on valittu sähköinen lattialämmitys, E-luku on 41 % suurempi kuin suunnitteluratkaisun E-luku.

Seuraavaksi työssä esitetään aurinkokeräimillä tuotetun lämpömäärän vaikutusta rakennuksen E-lukuun. Aurinkokeräimillä tuotettu lämpömäärä pienentää rakennuksen tarvitsemaa ostoenergianmäärää. Aurinkolämpöjärjestelmä on suunniteltu kaukolämmön, maalämmön ja suoran sähkölämmityksen yhteyteen asennettavaksi lämmitysjärjestelmäksi. Määräysten mukaisesti aurinkolämmöllä tuotettu lämpömäärä on hyödynnetty lämpimänkäyttöveden lämmityksessä. Tutkittaviin ratkaisuihin aurinkokeräinten pinta-alaksi on asetettu 20 m². Aurinkokeräimet on suunniteltu suunnattavaksi kohti etelää siten että keräimien suuntaus kerroin on 1,0. Kuvassa 11 on esitetty aurinkolämmön vaikutusta rakennuksen E-lukuun.



Kuva 11. Aurinkolämmön hyödyntäminen LKV:n valmistuksessa

Kaukolämmön yhteyteen suunniteltu aurinkolämpöjärjestelmä vähensi rakennuksen ostoenergiatarvetta 5 % verrattuna siihen, että lämmöntuotto toteutettaisiin kokonaisuudessaan kaukolämmöllä. Suoran sähkölämmityksen yhteyteen asennettava aurinkolämmitysjärjestelmä vähentäisi rakennuksen ostoenergiatarvetta 7 %. Maalämmön ja aurinkolämmön yhteislämmöntuotto tapa pienensi rakennuksen E-lukua 4 % verrattuna siihen, jos rakennuksen lämmöntuottotavaksi olisi valittu toteutettavaksi pelkästään maalämmön avulla.

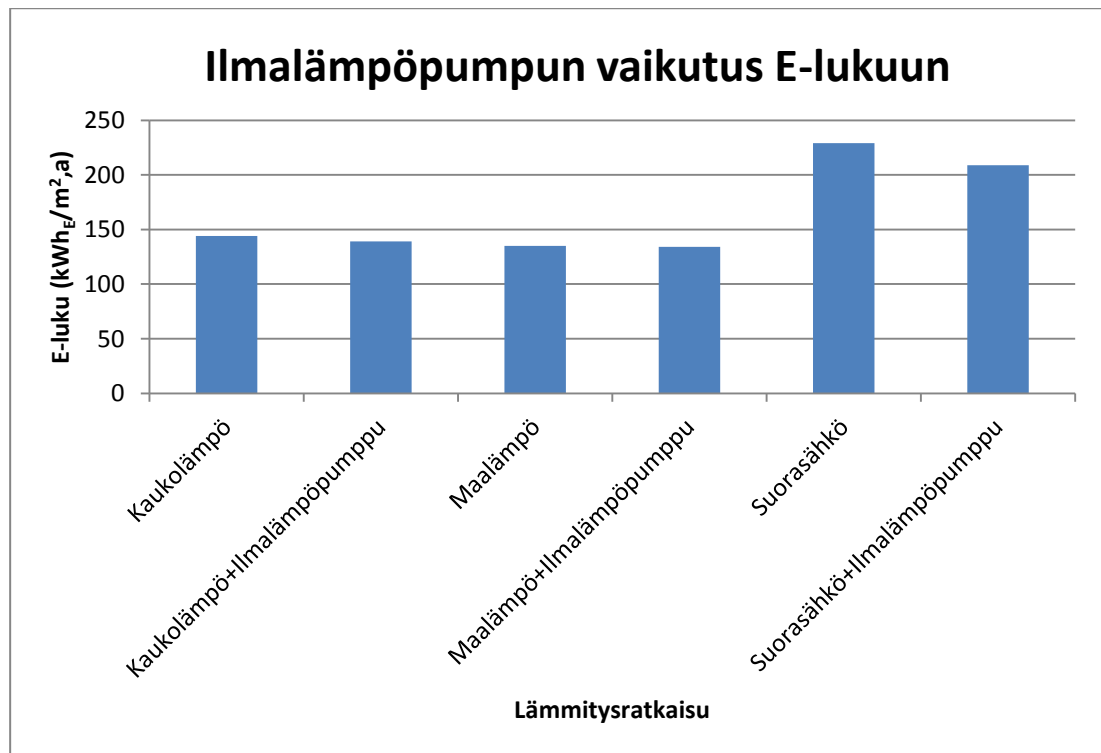
Kokonaisenergiatarkastelun tuloksen saatu ostoenergian määrä on laskennallinen tulos, eikä se välttämättä vastaa todellista tarvittavan ostoenergianmäärää vuodessa. Tästä syystä myös laskettu energialasku ei ole todellinen arvo, vaan ainoastaan suuntaa antava arvio siitä, mikä lämmitysjärjestelmistä on edullisin ratkaisu rakennuksen käyttäjille. Energialaskuun on laskettu mukaan rakennuksen lämmityskustannusten lisäksi kulutussähkön tuottama osuus energialaskusta. Esimerkkirakennuksen energialaskun sähköenergian on laskettu Mäntsälän Sähkö Oy:n energiahinnastosta saatujen tietojen perusteella perusteella [15]. Energialaskun kaukolämmön energiahinta on otettu Energiateollisuus ry:n ylläpitämästä kaukolämpöhinnastosta [16]. Esimerkkikohte sijaitsee Mäntsälän Sähkö Oy:n kaukolämpöverkon alueella.

6.3 Lisälämmityksen vaikutus E-lukuun

Tässä kappaleessa esitetään lisälämmitysratkaisujen vaikutus rakennuksen E-lukuun. Tässä kappaleessa tullaan esittämään varaavan tulisijan sekä ilma-ilmalämpöpumpun vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen.

Ilmalämpöpumpun kokonaisenergiankulutus lasketaan kertomalla enimmäislämmitysenergian ja lämpöpumpun lämpökertoimen jakolaskun tulos energiamuotokertoimella ($1000\text{kWh}/2,8*1,7$). Tällöin ilmalämpöpumpun kokonaisenergiankulutukseksi saadaan 607 kWh. Mikäli sama lämmitysenergian määrä tuotettaisiin suoralla sähköpatterilla lämmityksellä, tarkoittaisi se sitä että kokonaisenergiankulutus olisi ($1000/0,95*1,7$) 1789kWh. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmalämpöpumpun asentaminen rakennukseen, jonka päälämmitysmuotona olisi suora sähkölämmitys, pienentäisi rakennuksen kokonaisenergiakulutusta 1182 kWh.

Ilmalämpöpumppu valinnalla rakennuksen lisälämmitykseksi saadaan vähennettyä rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Ilma-ilmalämpöpumppu on hyvä sijoitus varsinkin silloin, kun rakennuksen päälämmitysmuodoksi on valittu suorasähkölämmitys. Vertailuratkaisuissa ilmalämpöpumppu on asennettu jokaiseen esimerkkikohteen neljään asuntoon. Seuraavissa ratkaisuissa ilmalämpöpumpun vuosi lämpökertoimenä käytetään arvoa 2,8. Tämä vuosilämpökerroin vastaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettua ohjearvoa. Kuvassa 12 on esitetty ilmalämpöpumppujen vaikutus rakennuksen E-lukuun.



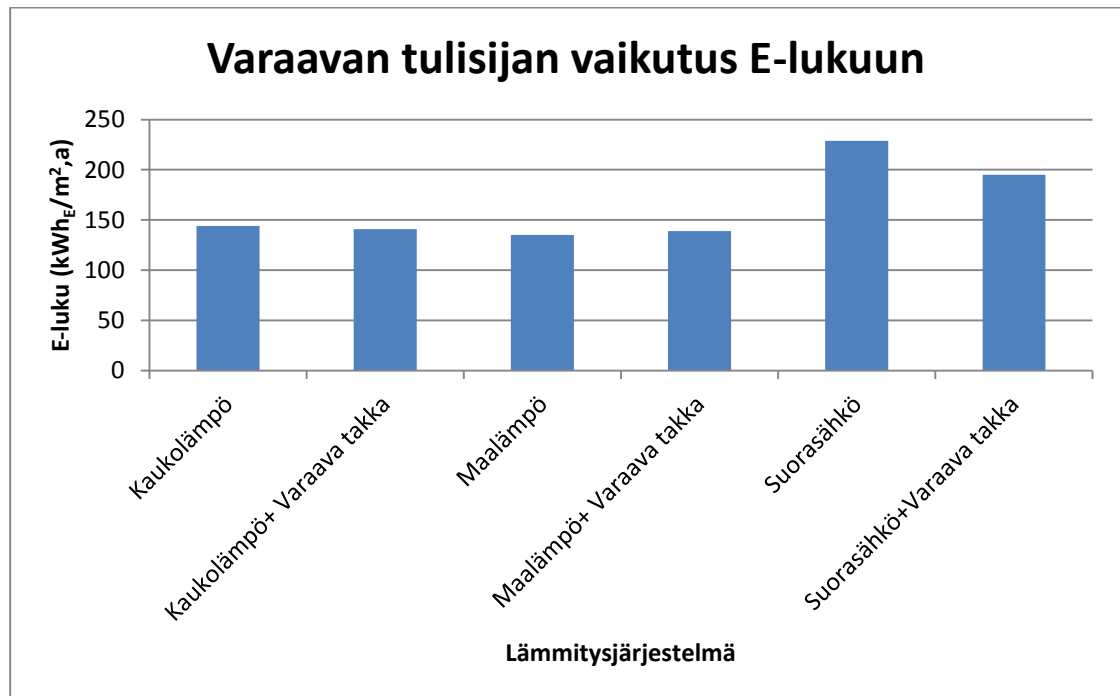
Kuva 12. Ilmalämpöpumpun vaikutus rakennuksen E-lukuun

Esimerkkikohteen suunnitelmien mukaisesti tehdyssä laskennassa ilma-ilmalämpöpumppujen valinta lisälämmitysmuodoksi vähensi rakennuksen laskennallista kokonaisenergiakulutusta 3 %, kun taas vertailuratkaisussa, jossa lämmöntuottotavaksi oli suunniteltu suorasähkölämmitys, ilma-ilmalämpöpumppujen asentaminen huoneistoihin pienensi rakennuksen E-lukua 9 %.

Varaavan tulisijan ostoenergiankulutus lasketaan jakamalla tuotetun energian enimmäismäärä tulisijan kokonaishyötysuhteella ($2000\text{kWh}/0,6$) 3333kWh . Varaavan tulisijan kokonaisenergiankulutus saadaan ostoenergiankulutuksen ja uusiutuvien polttoaineiden energiamuotokertoimen tulona ($333\text{kWh}\cdot 0,5$). Näin ollen varaavan takan kokonaisenergiankulutukseksi saadaan 1667 kWh . Saman lämmitysenergia määrän tuottaminen sähköpattereilla tarkoittaisi sitä, että kokonaisenergian kulutus olisi ($2000\text{kWh}/0,95\cdot 1,7$) 3579kWh . Näin ollen varaava tulisija säästä suora sähkölämmitys rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta 1911 kWh .

On kuitenkin huomattava, että varaava tulisija ei aina vähennä rakennuksen laskennallista kokonaisenergiakulutusta. Esimerkiksi päälämmöntuottotavan ollessa maalämpö varaava tulisija usein kasvattaa laskennallista kokonaisenergiakulutusta. Varaava tulisija on hyvä lisälämmitys ratkaisu varsinkin silloin, kun päälämmitysmuotona on

suorasähkölämmitys. Laskennassa varaavan tulisijan kokonaisvuosihyötysuhteena on käytetty arvoa 0,6. Tutkittavat ratkaisut on suunniteltu siten, että varaava tulisija asennettaisiin rivitalon jokaiseen asuntoon. Näin ollen laskelmissa on huomioitu neljän varaavan tulisijan vaikutus suunnitteluratkaisujen E-lukuun. Kuvassa 13 on esitetty varaavan tulisijan vaikutus rakennuksen E-lukuun.



Kuva 13. Varaavan tulisijan vaikutus rakennuksen E-lukuun

Kaukolämpöjärjestelmässä varaavien takkojen asentaminen esimerkkikohteen huoneistoihin vähensi rakennuksen kokonaisenergiakulutusta 2 %. Maalämpö järjestelmän lisänä varaavat tulisijat kasvattivat rakennuksen E-lukua. Suorasähkölämmitys laskenta esimerkissä varaavat tulisijat vähensivät rakennuksen kokonaisenergiankulutusta 15 %.

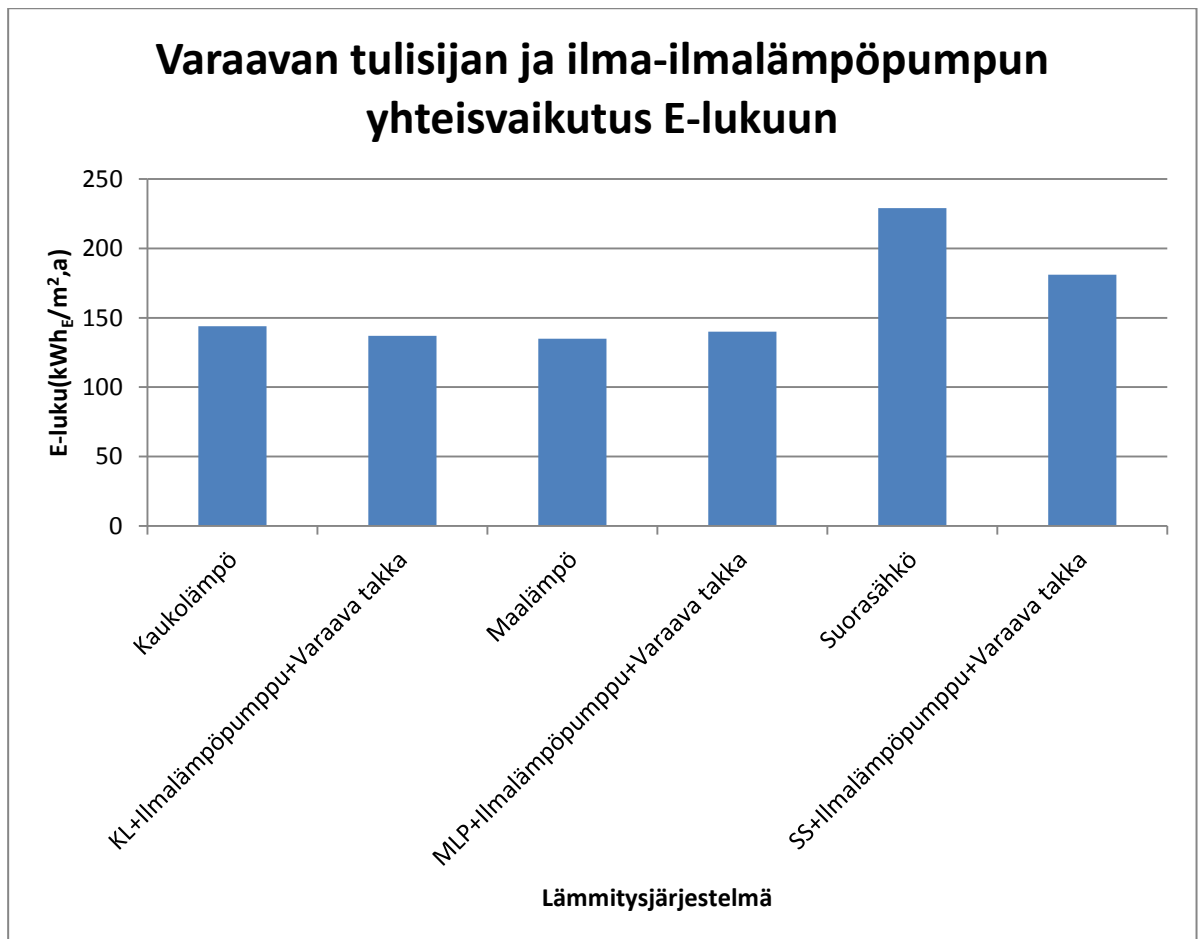
Seuraavaksi vertaillaan, kumpi on tehokkaampi lisälämmitystapa, varaava tulisija vai ilmalämpöpumppu. Kuvassa 14 vertaillaan ilmalämpöpumppua ja varaavaa tulisijaa eri lämmitysmuotojen lisälämmitys ratkaisuin.



Kuva 14. Lisälämmitystapojen vertailu

Kaukolämpöjärjestelmässä varaava takka vähensi kokonaisenergiakulutusta 2 %. Maalämpö järjestelmän lisänä varaava tulisija kasvatti rakennuksen E-luku. Suorasähkölämmitys esimerkissä varaava tulisija vähensi rakennuksen kokonaisenergiakulutusta 15 %. Kaukolämpö kohteessa ilmalämpöpumppu vähensi rakennuksen laskennallista kokonaisenergiakulutusta 3 %, kun taas vertailuratkaisussa jossa lämmöntuototavaksi oli suunniteltu suora sähkölämmitys, ilmalämpöpumppu pienensi rakennuksen E-lukua 9 %. Maalämpöjärjestelmän yhteydessä ilmalämpöpumppu alensi rakennuksen E-lukua 1 % verran.

Seuraavassa kohdassa esitellään varaavan tulisijan ja ilmalämpöpumpun yhteisvaikutus rakennuksen E-lukuun. Seuraavaksi tutkittavat laskenta esimerkit on suunniteltu toteutettavaksi siten, että jokaiseen asuntoon asennetaan varaava takka sekä ilmailmalämpöpumppu. Kuvassa 15 on esitetty varaavan tulisijan ja ilmalämpöpumpun yhteisvaikutus rakennuksen E-lukuun.

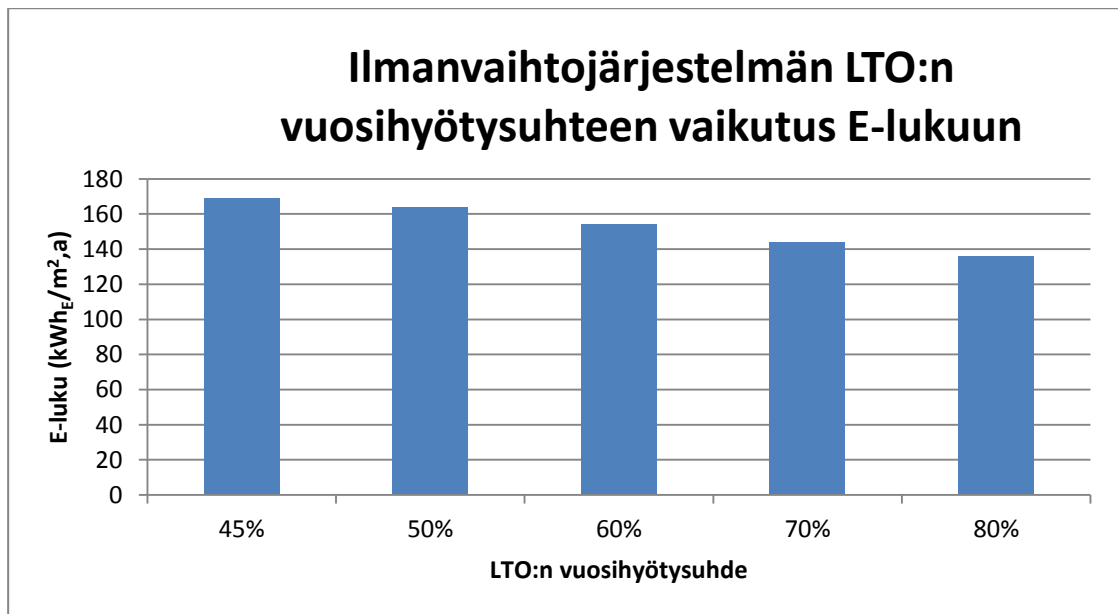


Kuva 15. Varaavan tulisijan ja ilmalämpöpumpun yhteisvaikutus E-lukuun

Suunnitteluratkaisuun lisätyt ilmalämpöpumput ja varaava tulisijat vähensivät rakennuksen kokonaisenergiankulutusta 5 %. Suorasähkölämmitys laskenta esimerkissä ilmalämpöpumput ja varaavat tulisijat pienensivät rakennuksen E-lukua 21 %. Tämä ratkaisu ei kuitenkaan täytä viranomaismääräyksiä rakennuksen energiatehokkuuden osalta. Vertailu ratkaisussa, jossa päälämmitysmuotona oli maalämpöjärjestelmä, lisälämmitysratkaisut vain kasvattivat rakennuksen E-lukua.

6.4 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus E-lukuun

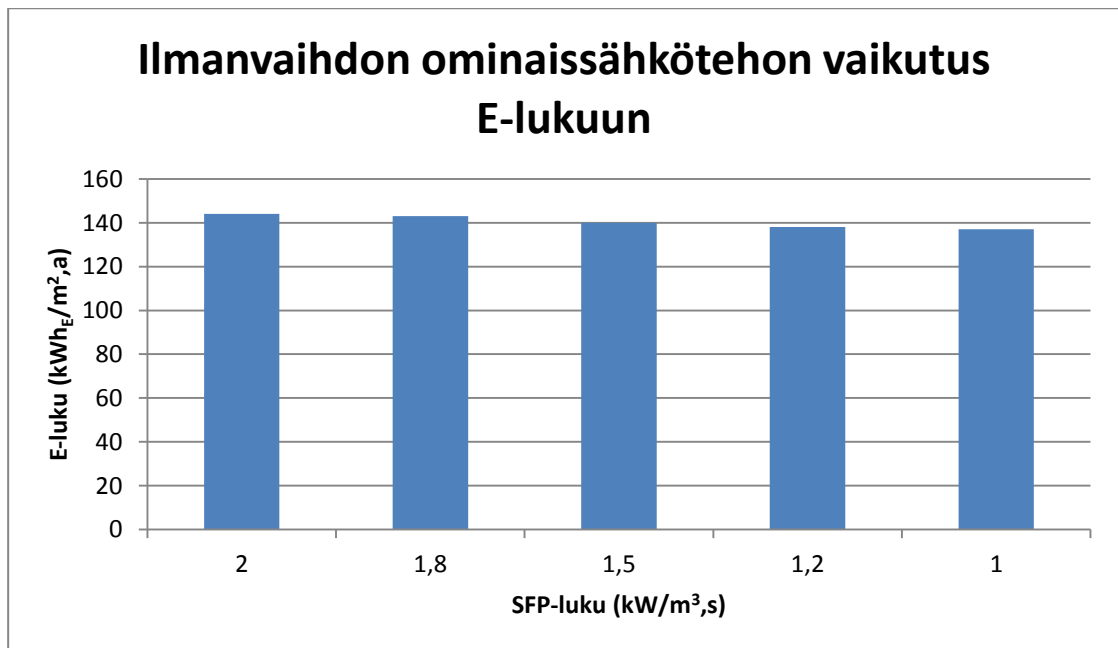
Suomen rakentamismääräysten mukaisesti rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Nykyisillä ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotoilla saadaan poistoilman lämpöenergiasta talteen noin 50–80 %. Rakennukseen suunnitellun ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhteeksi on laskettu 70 %. Kuvassa 16 on esitetty ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen merkitys rakennuksen E-lukuun.



Kuva 16. Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen vaikutus rakennuksen E-lukuun

Suunnitteluratkaisun mukainen ilmanvaihto järjestelmä paransi rakennuksen E-lukua 15 % määräysten minimivaatimuksiin nähden. Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen ollessa 60 % rakennuksen E-luku kasvoi 7 % suunnittelu ratkaisuun verrattuna. Esimerkkirakennus ei täyttäisi energiamääräyksiä rakennuksen laskennallisen E-luvun osalta, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen ollessa 60 % tai alhaisempi.

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho vaikuttaa rakennuksen sähköenergian tarpeeseen. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,0 kW/m³/s. Suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon ominaissähköteho on myös 2,0 kW/m³/s. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoon voi vaikuttaa ilmanvaihtokoneen valinnalla. Markkinoilla on ilmanvaihtokoneita joiden varmennettu ominaissähköteho on alle 2,0 kW/m³/s. Kuvassa 17 on esitetty ilmanvaihdon ominaissähkötehon arvon vaikutuksen rakennuksen E-lukuun.



Kuva 17. Ilmanvaihdon ominaissähkötehon vaikutus E-lukuun

Ilmanvaihdon ominaissähkötehon pienentäminen määräysten mukaisesta enimmäisarvosta arvoon 1,5 kW/m³/s vähensi rakennuksen kokonaisenergiankulutusta 3 %.

7 ERI TEKIJÖIDEN YHTEISVAIKUTUKSET

Tässä luvussa esitellään eri tekijöiden yhteisvaikutuksia rakennuksen E-lukuun. Seuraavissa kappaleissa esitellään vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja. Ensimmäiset kolme vaihtoehtoista suunnitteluratkaisua on suunniteltu siten, että ne täyttävät energiamääräysten minimivaatimukset. Näiden kolmen suunnitteluratkaisun rakennuksen laskennallinen E-luku on enintään 150 kWh_E/m²,a ja tämän perusteella suunnitteluratkaisujen mukaiset rakennukset sijoittuvat energialuokkaan C. Viimeinen suunnitteluratkaisu on toteutettu siten, että rakennus sijoittuu energialuokkaan B ja rakennuksen E-luku on alle 110 kWh_E/m²,a.

7.1 Esimerkki suunnitteluratkaisu 1

Tässä kappaleessa esitetään suunnittelu ratkaisu, jonka lämmöntuottotavaksi on valittu maalämpö. Lämmönjakotavaksi on valittu vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltu toteutettavaksi huoneistokohtaisella koneellisella tulo- ja poisto ilmanvaihtokoneella joka varustetaan lämmöntalteenotolla.

Tämän suunnittelu ratkaisun rakennuksen ulkovaipan osat ovat suunniteltu siten että niiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot vastaavat Suomen rakentamismääräyskoelman osassa D3 annettuja vertailu arvoja. Ulkoseinän U-arvo $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ saavutetaan, kun ulkoseinä eristetään Paroc Xtra eristeellä, eristäen seinä 200 mm paksulla eristekerroksella ja ulkoseinän ulkopintaan asennettavalla 30 mm paksulla Paroc WPB tuulensuojalevyllä. Yläpohjan U-arvo $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ saavutetaan, kun yläpohjaan puhalletaan 420 mm paksu eristekerros Paroc BLT puhallusvillaa [17]. Maanvaraisen alapohjanrakenteen U-arvo $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ saavutetaan, kun alapohja eristeenä käytetään Thermisol Platina Lattia eristettä ja eriste paksuus on vähintään 150 mm [18].

Pääsääntöisesti kaikkien markkinoilla olevien ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykerroin on alle $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rakennuksen yhteenlaskettu ikkuna pinta-ala on sama, kuin alkuperäisessä suunnitelmassa. Taulukossa 6 on esitetty rakennuksen rakennusvaipan osien tiedot.

Taulukko 6. Vaihtoehtoisen suunnittelu ratkaisun rakennusvaipan osien tiedot

Rakennusvaipan osa:	Ilmanvuotoluku: $2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	
	Pinta-ala m^2	U-arvo $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ulkoseinä	125,0	0,17
Yläpohja	251,0	0,09
Alapohja	251,0	0,16
Ikkunat	39,0	0,98
Ulko-ovet	26,0	1,0

Tämän vaihtoehtoisen suunnittelu ratkaisun ikkuna pinta-alat ja ikkunoiden suuntaus vastaa alkuperäisen suunnitteluratkaisun tietoja. Suunnitteluratkaisun ikkunoiksi on valittu Karelia MS EALU 170 ikkunat [19]. Taulukossa 7 on esitetty ikkunoiden pinta-alat, U-arvot ja g-arvot sekä ikkunoiden suuntaus.

Taulukko 7. Vaihtoehtoisen suunnitteluratkaisun ikkunoiden tiedot

Ikkuna	Pinta-ala	U-arvo	g-arvo
Ikkuna Pohjoinen	8,4	0,98	0,43
Ikkuna Itä	4,1	0,98	0,43
Ikkuna Etelä	22,8	0,98	0,43
Ikkuna Länsi	4,1	0,98	0,43

Suunnitteluratkaisun lämmöntuottotavaksi on valittu maalämpö. Lämmitysjärjestelmän maalämpöpumppu on mitoitettu täystehomitoituksella. Lämmönjakotavaksi rakennukseen on suunniteltu vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmityksen menovenmitoituuslämpötila on 40 °C ja paluuvedenmitoituuslämpötila on 30 °C. Tässä suunnitelmassa lämpöpumpun vuoden keskimääräiset lämpökertoimet tilojen ja käyttöveden lämmitykselle vastaavat Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettuja ohje arvoja. Taulukossa 8 on esitetty lämmitysjärjestelmän tiedot, joita käytetään E-luvun laskennan lähtötietoina.

Taulukko 8. Lämmitysjärjestelmän tiedot

Lämmitysjärjestelmä:	Maalämpöpumppu, Vesikiertoinen lattialämmitys	
	SPF-luku	Jaon hyötysuhde
Tilojen lämmitys	3,1	80 %
Käyttöveden lämmitys	2,3	96 %
Tuotto-osuus lämpöenergian tarpeesta		0,99

Ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteeksi ja ilmanvaihdon ominaissähkötehoksi asetetut arvot sekä rakennuksen huoneistokohtaiset ilmavirrat on esitetty taulukossa 9. Tämän suunnitteluratkaisun ilmanvaihtokoneeksi on valittu Vallox 090 MC asuntokohtainen ilmanvaihtokone [20].

Taulukko 9. Ilmanvaihtojärjestelmän tiedot

Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla		
Vallox 090 MC	Ilmavirrat/ huoneisto tulo/poisto (dm ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	Ilmanvaihtojärjestelmän LTO vuosihyötysuhde
Ilmanvaihtokoneet	35/35	2,0	65 %

Tällä suunnitteluratkaisulla, rakennuksen laskennallinen E-luku on 144 kWh_E/m²,a ja rakennus sijoittuu energiatehokkuus luokkaan C. Suunnitteluratkaisun laskettu osastoenergiankulutus on 23216 kWh/a. Laskentaohjelman tulokset on esitetty liitteessä 2.2.

7.2 Esimerkki suunnitteluratkaisu 2

Tässä kappaleessa esitellään suunnitteluratkaisu, jossa rakennuksen lämmöntuottotavaksi on valittu ulkoilma-vesilämpöpumppu ja lämmönjakotavaksi on valittu vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennuksen ilmanvaihto toteutetaan asuntokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla, jotka varustetaan lämmöntalteenotolla.

Ulkoseinän suunniteltu U-arvo on $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Tämä arvo saavutetaan 250 mm eristepaksuudella, kun eristeenä käytetään Paroc Xtra eristettä ja lisäksi ulkoseinään asennetaan 50 mm paksu Paroc WPS tuulensuojalevy. Yläpohjan suunniteltu U-arvo $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ saavutetaan puhaltamalla rakennuksen yläpohjaan 450 mm paksu kerros Paroc BLT puhallusvilla eristettä [17]. Maanvastaisen alapohja rakenteen suunniteltu U-arvo $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ saavutetaan käyttämällä alapohjan eristämiseen Termisol Platina Lattia. Alapohjan eristepaksuuden tulee olla vähintään 200 mm, kun eristeenä käytetään Termisol Platina Lattia eristettä [18]. Taulukossa 10 on esitetty rakennuksen rakennusvaipan osien pinta-alat ja U-arvot.

Taulukko 10. Rakennuksen rakennusvaipan osien pinta-alat ja U-arvot

Rakennusvaipan osa:	Ilmanvuotoluku: $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	
	Pinta-ala m^2	U-arvo $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ulkoseinä	139,0	0,12
Yläpohja	251,0	0,08
Alapohja	251,0	0,12
Ikkunat	32	0,77
Ulko-ovet	26,0	0,8

Tässä suunnittelu ratkaisussa ikkuna pinta-aloja on pienennetty 20 % verrattuna alkuperäiseen suunnittelu ratkaisuun. Lisäksi ikkunat on valittu niin että niiden U-arvo on enintään $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Suunnitteluratkaisun ikkuna malliksi valikoitui Pihla Thermo 170 ikkunat [19]. Taulukossa 11 on esitetty tämän suunnittelu ratkaisun ikkunoiden pinta-alat ja U-arvot.

Taulukko 11. Ikkunoiden pinta-alat ja U-arvot

Ikkuna	Pinta-ala	U-arvo	g-arvo
Ikkuna Pohjoinen	7	0,77	0,33
Ikkuna Itä	3	0,77	0,33
Ikkuna Etelä	19	0,77	0,33
Ikkuna Länsi	3	0,77	0,33

Rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi on suunniteltu ulkoilma-vesi lämpöpumppu. Lämmitysenergian tarve huiput katetaan lämminvesivaraajan sähkövastuksilla. Lämmönjakotavaksi on suunniteltu vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmityksen menovedenmitoituslämpötila on + 40 °C ja paluuedenmitoituslämpötila on + 30 °C. Tässä suunnitelmassa lämpöpumpun vuoden keskimääräiset lämpökertoimet tilojen ja käyttöveden lämmitykselle vastaavat Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettuja ohje arvoja. Taulukossa 12 on esitetty lämmitysjärjestelmän arvot, joita hyödynnetään E-luvun laskennan lähtötietoina.

Taulukko 12. Lämmitysjärjestelmän tiedot

Lämmitysjärjestelmä	Ulkoilma-vesilämpöpumppu, vesikiertoinen lattialämmitys		
	Tuotto-osuus lämpöenergian tarpeesta	SPF-luku	Jaon hyötysuhde
Tilojenlämmitys	0,81	2,5	80 %
Käyttöveden lämmitys	0,79	1,8	96%

Tämän suunnitteluratkaisun ilmanvaihtokoneeksi on valittu asuntokohtainen ilmanvaihtokone Vallox 096 MC SE [21]. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteeksi ja ilmanvaihdon ominaissähkötehoksi on asetettu arvot, joissa Vallox 096 MC SE asuntokohtainen ilmanvaihtokone on varmennettu toimimaan. Taulukossa 13 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän tiedot.

Taulukko 13. Ilmanvaihtojärjestelmän tiedot

Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla		
Vallox 096 MC SE	Ilmavirrat/ huoneisto tulo/poisto (dm ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	Ilmanvaihtojärjestelmän LTO vuosihyötysuhde
Ilmanvaihtokoneet	35/35	1,2	75 %

Tämän suunnitelman mukaisesti toteutettavan rakennuksen E-luku on 150 kWh_E/m²a. Lasketun E-luvun perusteella, rakennus sijoittuu energialuokkaan C. Rakennuksen laskettu ostoenergiankulutus on 24258 kWh/a. Liitteessä 2.3 on esitetty laskentaohjelman tulokset.

7.3 Esimerkki suunnitteluratkaisu 3

Tässä kappaleessa esitetään suunnitteluratkaisu, jonka lämmöntuottotavaksi on suunniteltu suorasähkölämmitys. Lämmitysjärjestelmän lämmönjakotavaksi on valittu sähköpatterilämmitys. Rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltu toteutettavaksi huoneisto kohtaisella koneellisella tulo- ja poisto ilmanvaihtokoneella joka varustetaan lämmöntalteenotolla. Lisäksi tähän suunnitteluratkaisuun on suunniteltu lisälämmitys. suunnittelu ratkaisussa jokaiseen asuntoon on suunniteltu asennettavaksi ilmalämpöpumppu. Taulukossa 13 on esitetty tämän suunnittelu ratkaisun ulkovaipan osien pinta-alat ja U-arvot

Ulkoseinän suunniteltu U-arvo 0,07 W/K, m² saavutetaan 400 mm eristepaksuudella, kun eristeenä käytetään Paroc Xtra eristettä ja lisäksi ulkoseinään asennetaan 50 mm paksu Paroc WPS tuulensuojalevy. Yläpohjan rakenteen suunniteltu U-arvo 0,06 W/K, m² saavutetaan Paroc BLT puhallusvillalla, kun eristyksen kokonaispaksuus on 640 mm [17]. Maanvastaisen alapohja rakenteen suunniteltu U-arvo 0,06 W/K, m² saadaan toteutettua käyttämällä alapohjan eristämiseen Termisol Platina Lattia eristettä. Alapohjan eristepaksuuden tulee olla 300 mm[18]. Taulukossa on esitetty 14 on esitetty rakennusvaipan osien pinta-alat ja rakennusvaipan osien U-arvot.

Taulukko 14. Rakennusvaipan osien pinta-alat ja U-arvot

Rakennusvaipan osa:	Ilmanvuotoluku:	0,6 m ³ /(h m ²)
	Pinta-ala m ²	U-arvo W/(m ² K)
Ulkoseinä	138,0	0,07
Yläpohja	251,0	0,06
Alapohja	251,0	0,09
Ikkunat	26	0,74
Ulko-ovet	26,0	0,7

Tässä suunnittelu ratkaisussa ikkuna pinta-alaksi on asetettu määräysten vähimmäistaso. Määräysten mukaisesti rakennuksen ikkuna pinta-ala tulee olla 10 % asuinhuoneen lattia-alasta. Suunnitteluratkaisun ikkunamalleiksi on valikoitunut Fenestran Polaris 5 ikkunat [19]. Taulukossa 15 on esitetty tämän suunnittelu ratkaisun ikkunoiden pinta-alat ja U-arvot.

Taulukko 15. Ikkunoiden pinta-alat, U-arvot sekä niiden g-arvot

Ikkuna	Pinta-ala	U-arvo	g-arvo
Ikkuna Pohjoinen	5	0,74	0,47
Ikkuna Itä	2,5	0,74	0,47
Ikkuna Etelä	15	0,74	0,47
Ikkuna Länsi	2,5	0,74	0,47

Tässä suunnitelmassa tilojen lämmitysenergiantarve on suunniteltu katettavaksi sähköpattereilla tuotetulla lämpöenergialla. Käyttövedenlämmitys toteutetaan lämminvesi varaajassa olevalla sähkövastuksella. Taulukossa 16 on esitetty lämmitysjärjestelmän tiedot.

Taulukko 16. Lämmitysjärjestelmän tiedot

Lämmitysjärjestelmä:	Suorasähkö, sähköpatteri lämmitys	
	Tuoton hyötysuhde	Jaon hyötysuhde
Tilojen lämmitys	100 %	95 %
Käyttöveden lämmitys	100 %	96 %

Tämän suunnitteluratkaisun ilmanvaihtokoneeksi on valittu asuntokohtainen ilmanvaihtokone Vallox 096 MC SE. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteeksi ja ilmanvaihdon ominaissähkötehoksi on asetettu arvot, joissa Vallox 096 MC SE asuntokohtainen ilmanvaihtokone on varmennettu toimimaan. Taulukossa 17 on esitetty tämän suunnitteluratkaisun ilmanvaihtojärjestelmän tiedot [21].

Taulukko 17. Ilmanvaihtojärjestelmän tiedot

Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla		
Vallox 096 MC SE	Ilmavirrat/ huoneisto tulo/poisto (dm ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	Ilmanvaihtojärjestelmän LTO vuosihyötysuhde
Ilmanvaihtokoneet	35/35	1,2	75 %

Tässä suunnitelmassa rakennukseen on suunniteltu lisälämmitys. Suunnitelmassa rivitalon jokaiseen asuntoon on suunniteltu asennettavaksi ilmalämpöpumppu. Lämpöpumpun vuoden keskimääräiseksi lämpökertoimeksi on asetettu arvo, joka vastaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettua ohje arvoa. Taulukossa 18 on esitetty lisälämmitysratkaisun tiedot.

Taulukko 18. Lisälämmitysjärjestelmän tiedot

Lisälämmitys:	Ilma-ilma lämpöpumppu	
	4 kpl	SPF-luku=2,8

Tämän suunnitelman perusteella toteutettava rakennus sijoittuu energiatehokkuus luokkaan C. Tämän suunnittelu ratkaisun laskennallinen E-luku on 149 kWh_E/m²a. Rakennuksen ostoenergianmäärä on 24064 kWh/a. Laskentaohjelmantulokset on esitetty liitteessä 2.4.

7.4 Esimerkki suunnitteluratkaisu 4

Tässä kappaleessa esitetään suunnittelu ratkaisu, jonka lämmöntuottotavaksi on valittu maalämpö. Lämmönjakotavaksi on valittu vesikiertoinen radiaattorilämmitys. Rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltu toteutettavaksi huoneistokohtaisella koneellisella tulo- ja poisto ilmanvaihtokoneella joka varustetaan lämmöntalteenotolla. Tämä vaih-

toehtoinen suunnitteluratkaisu on suunniteltu siten, että rakennuksen laskennallinen E-luku on alle $110 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$, ja rakennus sijoittuu energiatehokkuus luokkaan B.

Ulkoseinän suunniteltu U-arvo $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ saavutetaan 400 mm eristepaksuudella, kun eristeenä käytetään Paroc Xtra eristettä ja lisäksi ulkoseinään asennetaan 50 mm paksu Paroc WPS tuulensuojalevy. Yläpohjan rakenteen suunniteltu U-arvo on $0,06 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Tämä arvo saavutetaan käyttämällä yläpohjan eristykseen Paroc BLT puhal-lusvilla siten, että yläpohja rakenteen eristepaksuus on vähintään 640 mm [17]. Maanvastaisen alapohja rakenteen suunniteltu U-arvo $0,06 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ saadaan toteutettua käyttämällä alapohjan eristämiseen Termisol Platina Lattia eristettä. Tällöin alapohjan eristepaksuuden tulee olla 300 mm [18]. Rakennuksen suunnitteluvaiheen ilmavuoto-luvuksi on asetettu $0,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Taulukossa 19 on esitetty tämän suunnittelu ratkai-sun rakennusvaipan osien pinta-alat sekä niiden U-arvot.

Taulukko 19. Rakennusvaipan osien pinta-alat ja U-arvot

Rakennusvaipan osa:	Ilmanvuotoluku: $0,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	
	Pinta-ala m^2	U-arvo $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ulkoseinä	125,0	0,09
Yläpohja	251,0	0,06
Alapohja	251,0	0,09
Ikkunat	39,0	0,58
Ulko-ovet	26,0	0,7

Tässä suunnittelu ratkaisussa ikkuna pinta-alaksi on asetettu määräysten vähimmäistä-so. Määräysten mukaisesti rakennuksen ikkuna pinta-ala tulee olla 10 % asuinhuoneen lattia-alasta. Suunnitteluratkaisun ikkunoiksi on valittu Skaala Alfa 30,2 ikkunat [19]. Taulukossa 20 on esitetty tämän suunnittelu ratkaisun ikkunoiden pinta-alat ja U-arvot.

Taulukko 20. Ikkunoiden pinta-alat ja U-arvot

Ikkuna	Pinta-ala	U-arvo	g-arvo
Ikkuna Pohjoinen	5	0,58	0,35
Ikkuna Itä	2,5	0,58	0,35
Ikkuna Etelä	15	0,58	0,35
Ikkuna Länsi	2,5	0,58	0,35

Rakennuksen lämmöntuotto tavaksi on valittu maalämpöpumppu. Lämmönjakotavaksi rakennukseen on suunniteltu vesikiertoinen patterilämmitys. Vesikiertoisen radiaattorilämmityksen menovedenmitoitustilämpötila on 45 °C ja paluuvedenmitoitustilämpötila on 35 °C. Tässä suunnitelmassa lämpöpumpun vuoden keskimääräiset lämpökerroimet tilojen ja käyttöveden lämmitykselle vastaavat Suomen rakentamismääräyskoelman osassa D5 annettuja ohje arvoja. Taulukossa 21 on esitetty lämmitysjärjestelmän tiedot.

Taulukko 21. Lämmitysjärjestelmän tiedot

Lämmitysjärjestelmä:	Maalämpöpumppu, Vesikiertoinen radiaattorilämmitys	
	SPF-luku	Jaon hyötysuhde
Tilojen lämmitys	2,7	90 %
Käyttöveden lämmitys	2,3	96 %

Tämän suunnitelman ilmanvaihtokoneeksi on valittu asuntokohtainen ilmanvaihtokone Vallox 096 MC SE [21]. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhdeksi ja ilmanvaihdon ominaissähkötehoksi on asetettu arvot, joissa kyseinen ilmanvaihtokone on varmennettu toimimaan. Taulukossa 22 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän tiedot.

Taulukko 22. Ilmanvaihtojärjestelmän tiedot

Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla		
Vallox 096 MC SE	Ilmavirrat/ huoneisto tulo/poisto (dm ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	Ilmanvaihtojärjestelmän LTO vuosihyötysuhde
Ilmanvaihtokoneet	35/35	1,2	75 %

Näillä ratkaisulla rakennuksen E-luku on 108 kWh_E/m²,a ja rakennus sijoittuu energiatehokkuus luokkaan B. Rakennuksen ostoenergiankulutus on 17339 kWh/a. Liitteessä 2.5 on esitetty laskentaohjelmalla saadut tulokset.

8 YHTEENVETO

Tässä luvussa esitellään tämän opinnäytetyön tulosten yhteenveto. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että rakennukseen valittavilla talotekniikan ratkaisuilla on suuri merkitys rakennuksen energiatehokkuuden kannalta.

Lämmöntuottotavan valinta on yksi ratkaisevin tekijä, joka vaikuttaa rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen. Maalämmön tai kaukolämmön valitseminen rakennuksen lämmöntuottotavaksi tarkoittaa sitä, että rakennuksen lämmöneristykseen ei tarvitse panostaa niin paljon kuin esimerkiksi silloin jos rakennuksen lämmöntuottotavaksi valitaan suorasähkölämmitys.

Rakennuksen lämmöntuottotavaksi on mahdollista valita suora sähkölämmitys mutta tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen ulkovaipan lämmöneristystä on lisättävä huomattavasti. Lisäksi rakennuksen ilmavuodot on saatava mahdollisimman vähäisiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen ulkovaipan eristäminen ja tiivistäminen on tehtävä erittäin huolellisesti.

Rakennuksen käyttökustannuksia voi pienentää vähentämällä rakennuksen ostoenergiantarvetta. Rakennuksen laskennallista ostoenergian tarvetta voidaan vähentää hyödyntämällä rakennuksen lämmityksessä uusiutuvaa omavaraisenergiaa. Uusiutuvaksi omavaraisenergiaksi määritellään esimerkiksi lämpöpumpuilla ja aurinkokeräimillä tuotettu lämpöenergia.

Rakennukseen suunnitellulla lämmönjakotavalla ei ole suurta merkitystä rakennuksen kokonaisenergiankulutuksessa. Patterilämmitys on hiukan energiatehokkaampi lämmönjakotapa kuin lattialämmitys, mutta lattialämmitys on asumisviihtyisyyden kannalta parempi ratkaisu. Lämmönjakotavan valintaa voidaankin pitää asumisviihtyvyys kysymyksenä.

Tulosten perusteella voi todeta, että ilmanvaihtokoneen valinnalla on suuri vaikutus rakennuksen E-lukuun. Ilmanvaihdon energiatehokkuuteen vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisvuosihyötysuhde, joka taas riippuu ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton lämpötilasuhteesta ja siitä missä ulkoilmanlämpötilassa lämmöntalteenotto

on varmennettu toimimaan. Myös ilmanvaihdon ominaissähköteho on merkittävä tekijä rakennuksen kokonaisenergiatarkastelussa.

Rakennuksen lisälämmöneristäminen rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukseen nähden, parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Tuloksien perusteella voidaan kuitenkin todeta, että yksittäisen rakenneosan lämmöneristyksen parantaminen ei tuo huomattavia säästöjä rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Rakennuksen ilma-voitoluvulla on suuri merkitys rakennuksen energiatehokkuuteen.

Saaduista tuloksista havaittiin, että ikkunoiden U-arvoa pienentämällä ja rakennuksen ikkuna pinta-alaa vähentämällä suunnittelu ratkaisuun verrattuna, ei saavutettu suuria parannuksia rakennuksen E-lukuun. Tämä johtuu siitä, että rakennukseen on suunnittelu vaiheessa valittu ikkunat, jotka ovat suhteellisen energiatehokkaita. Ikkunoiden energiatehokkuutta on hankala parantaa pienentämällä U-arvoa. Ikkunan U-arvon pienentäminen tarkoittaa käytännössä sitä, että myös ikkunan g-arvo pienenee. Tämä taas tarkoittaa sitä, että rakennuksen lämmitykseen hyödynnettävissä oleva auringon säteilyenergian määrä vähenee.

Yksi mahdollinen tapa parantaa rakennuksen energiatehokkuutta on suunnitella rakennukseen lisälämmitysmuoto joko ilmalämpöpumppu tai varaavatakka. Lisälämmityksellä voi parantaa rakennuksen E-lukua varsinkin silloin, kun rakennuksen päälämmitysmuodoksi on valittu suoräsähkölämmitys. Varaavaa tulisijaa ei kannata valita lisälämmitys muodoksi silloin kun rakennuksen päälämmitysmuodoksi on valittu maalämpö. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta varaavan takan asentamisen kasvattavan rakennuksen E-lukua, kohteessa jossa päälämmitysmuotona on maalämpö. Ilmalämpöpumppu sopii lisälämmitys muodoksi kaikkien päälämmitysmuotojen rinnalle.

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että energiamääräysten minimivaatimusten mukainen rakennuksen energiatehokkuus saavutetaan määräyksissä osoitetuilla rakenteiden lämmönjohtavuuden vertailuarvoilla ja hyvin suunnitelluilla taloteknisillä järjestelmillä.

9 POHDINTA

Energiamääräykset pohjautuvat rakennuksen kokonaisenergiantarkasteluun. Tästä syystä vaatimusten mukainen energiatehokkuus on mahdollista saavuttaa monin eri keinoin. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksien energiatehokkuuteen liittyvien asioiden suunnitteluun joudutaan käyttämään paljon aikaa ja suunnittelussa tulee ottaa huomioon lukuisia muuttuvia tekijöitä.

Opinnäytetyö toimii esimerkkinä sille, että rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen vaikuttaa lukuisat eri tekijät ja rakennuksen energiatehokkuuden suunnitteluun tulee käyttää paljon aikaa. Työssä on esitetty että jos rakennuksen jotakin osaa heikennetään energiatehokkuuden kannalta, tulee jonkin toisen tekijän energiatehokkuutta parantaa, jotta rakennus täyttäisi viranomaismääräykset energiatehokkuuden osalta.

Tätä opinnäytetyötä voidaan käyttää pientalojen energiatehokkuus suunnittelun apuna. Täytyy kuitenkin huomata, että työssä esiintyvät suunnitelmat ja työssä esitetyt tulokset pitävät paikkansa vain tässä tutkittavassa esimerkkikohteessa. Tässä opinnäytetyössä ei ole otettu huomioon kaikki tekijöitä, jotka vaikuttavat rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen. Esimerkiksi rakennuksen pinta-alan vaikutusta rakennuksen E-lukuun ei ole tutkittu tässä opinnäytetyössä. Rakennushankkeiden kokonaisenergiantarkastelu tulee tehdä aina rakennuskohtaisesti.

Kokonaisuutena opinnäytetyö täyttää sille asetetut tavoitteet. Työ antaa työtilaajalle tietoa siitä millä eri tekijöillä on vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiantarkastelussa. Työssä esitetään tutkittavien tekijöiden vaikutus rakennuksen E-lukuun. Lisäksi työssä esiintyvistä tuloksista saa selville millä tekijöillä on suurin vaikutus rakennuksen E-lukuun.

Energiamääräykset tulevat kiristymään tulevaisuudessa. Vuonna 2021 uudisrakennusten tulisi olla lähes nollaenergiarakennuksia. Tästä syystä tulevaisuudessa rakennusten ostoenergiantarvetta tulee vähentää suunnittelun avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että kiristyvät vaatimukset tulevat todennäköisesti lisäämään uusiutuvan omavaraisenergian käyttöä uudisrakennuksissa. Tästä syystä voidaan olettaa, että lämpöpumppujen ja esimerkiksi aurinkopaneelien käyttö rakennuksen talotekniikan järjestelmissä tulee lisääntymään entisestään.

LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 8.12.2014
2. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468. Ei päivitystietoja. Luettu 9.12.2014
3. Kurnitski, Jarek. Energiamääräykset 2012- Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Sastamala: Vammalan kirjapaino Oy. 2012
4. Energiatodistus info. WWW-sivut. <http://www.energiatodistus.info/>. Luettu 5.1.2015
5. Vertia Oy. WWW-sivut. <http://www.vertia.fi/tiiveysmittaus/ilmanvuotoluku> Luettu 15.1.2015
6. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C4. PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.3.2015
7. Motiva Oy. WWW-sivut. http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_energiatehokkuus. Luettu 10.2.2015
8. Energiatehokas koti. WWW-sivut. http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/suuntaa-antavia_ohjearvoja. Luettu 9.2.2015
9. Motiva Oy. WWW-sivut. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu. Luettu. 20.4.2015
10. Motiva Oy. WWW-sivut. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp. Luettu 27.3.2015
11. Motiva Oy. WWW-sivut. <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>
12. Sähkölämmitysfoorumi ry. PDF-tiedosto <http://www.lamminkoti.fi/doc/Sahkolammitysopas.pdf>. Luettu 4.12.2014
13. Kaukora Oy. Yrityksen WWW-sivut <http://www.kaukora.fi/hybridilammitys/aurinkolammitys>. Luettu 10.4.2015

14. Motiva Oy. PDF-tiedosto. <http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>.
Luettu 10.3.2015

15. Mäntsälän sähkö Oy. WWW- sivut
<http://www.msoy.fi/msoy!/>. Luettu 20.4.2015

16. Energiateollisuus ry. PDF-tiedosto
http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010115_0.pdf. Päivitetty 11.2.2015. Luettu
9.3.2015

17. Paroc Oy. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.paroc.fi/> Luettu 27.2.2015

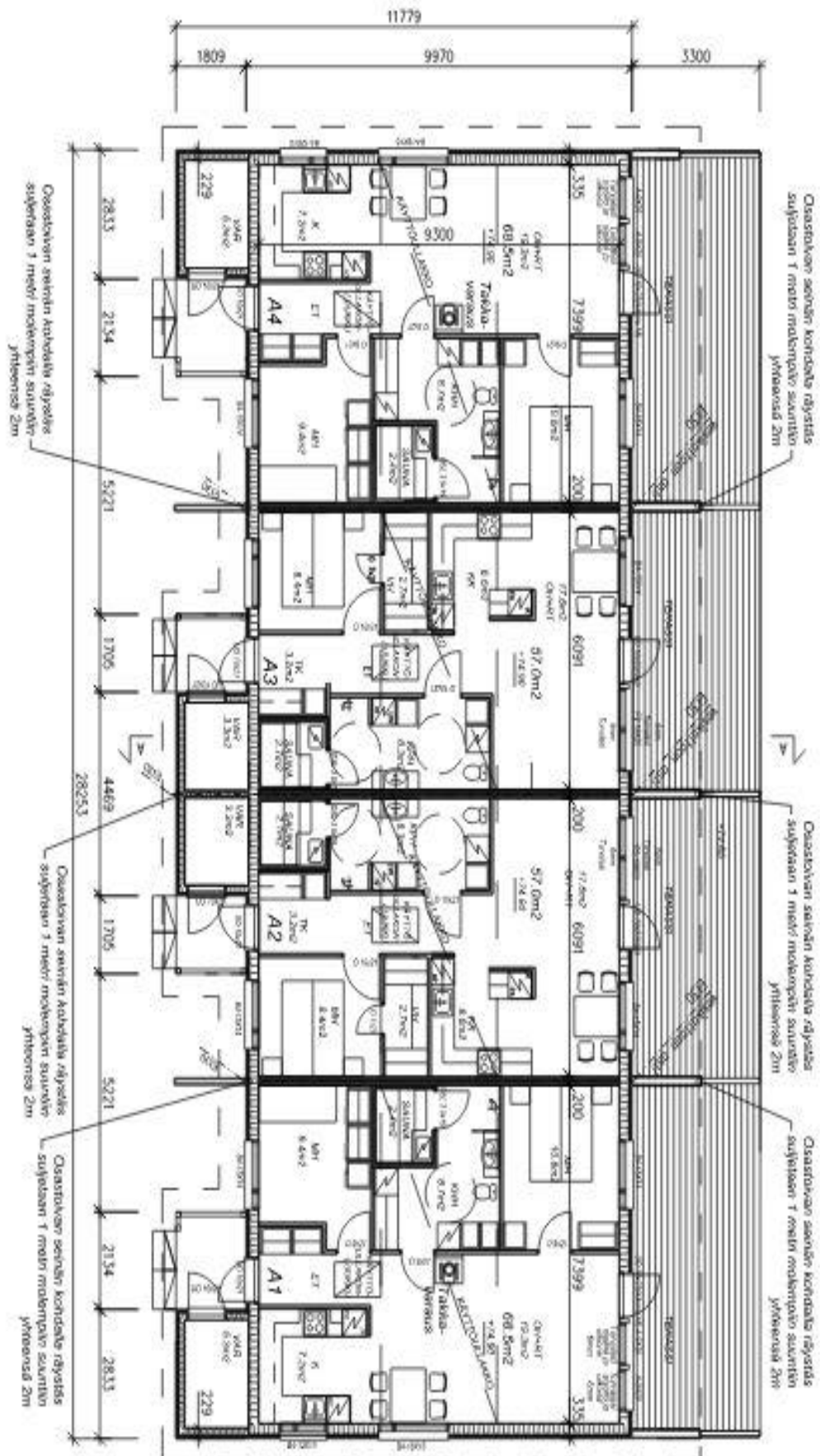
18. Thermisol Oy. PDF-tiedosto.
http://www.thermisol.fi/uploads/pdf/materiaalipankki/ThermiSol_Platina_lattia_esite.pdf. Luettu 11.3.2015

19. Motiva Oy. WWW-sivut
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/ikkunoiden_energialuokitus/luokitellut_ikkunat. Luettu 17.4.2015

20. Vallox Oy. PDF-tiedosto.
http://www.vallox.com/tiedostot/4/documents/Sertifikaatit_FI/sertif_sf_90%20MC-SE%20VTT-C-100112.pdf. Luettu 19.4.2015

21. Vallox Oy. PDF-tiedosto.
http://www.vallox.com/tiedostot/4/documents/Sertifikaatit_FI/Vallox_096MC_SE_VTT_C_10047_13.pdf Luettu 5.2.2015

Esimerkkikohteen pohjapiirros



Suunnitteluratkaisujen E-luvut ja ostoenergiankulutus

Tilojen lämmitystapa: Käyttöveden lämmitystapa: Jälkilämmityspatteri: Omavaraissähköenergia (kWh/a):

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Rivi- ja ketjutilat (Rivi- ja ketjutilat)
Rakennuksen valmistumisvuosi	2015
Lämmitetty nettoala, m ²	275
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	144 (< raja=150)

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWhE/vuosi	kWhE/(m ² vuosi)
Sähkö	11413	1.70	19401	70.6
Kaukolämpö	28628	0.70	20039	72.9
YHTEENSÄ	40040		39441	143.4

Suunnitteluratkaisujen E-luvut ja ostoenergiankulutus

Tilojen lämmitystapa:

Tilojen varalämmitys:

Käyttöveden lämmitystapa:


Käyttöveden varalämmitys:


Jälkilämmityspatteri:


Omavaraissähköenergia (kWh/a):


E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoituusluokka	Rivi- ja ketjutilat (Rivi- ja ketjutilat)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2015			
Lämmitetty nettoala, m ²	275			
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	144 (< raja=150)			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWhE/vuosi kWhE/(m ² vuosi)	
Sähkö	23216	1.70	39466	143.5
YHTEENSÄ	23216		39466	143.5
Uusiutuva omavaraenergia, hyödyksikäytetty osuus				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Maalämpö		18438	67.05	


Suunnitteluratkaisujen E-luvut ja ostoenergiankulutus


Tilojen lämmitystapa:  Ulkoilmalämpöpumppu (ilma-ves) ▼

Tilojen varalämmitys:  Sähkövastukset varaajassa ▼

Käyttöveden lämmitystapa:  Ulkoilmalämpöpumppu (ilma-ves) ▼






Käyttöveden varalämmitys:  Sähkövastukset varaajassa ▼

Jälkilämmityspatteri:  Sähkö ▼

Omavaraissähköenergia (kWh/a):  0


E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoituusluokka	Rivi- ja ketjutilat (Rivi- ja ketjutilat)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2015			
Lämmitetty nettoala, m ²	275			
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	150 (< raja=150)			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWhE/vuosi kWhE/(m ² vuosi)	
Sähkö	24258	1.70	41238	150.0
YHTEENSÄ	24258		41238	150.0
Uusiutuva omavaraenergia, hyödyksikäytetty osuus				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Lämpö ulkoilmasta		8955	32.56	


Suunnitteluratkaisujen E-luvut ja ostoenergiankulutus


Tilojen lämmitystapa:  Huonekohtainen sähkölämmitys Käyttöveden lämmitystapa:  Lämminvesivaraaja sähkövastuks Jälkilämmityspatteri:  Sähkö Omavaraissähköenergia (kWh/a):  0 


E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoituksiluokka	Rivi- ja ketjutilat (Rivi- ja ketjutilat)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2015			
Lämmitetty nettoala, m ²	275			
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	149 (< raja=150)			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWhE/vuosi kWhE/(m ² vuosi)	
Sähkö	24065	1.70	40911	148.8
YHTEENSÄ	24065		40911	148.8
Uusiutuva omavaraenergia, hyödyksikäytetty osuus				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Lämpö ulkoilmasta		2571	9.35	


Suunnitteluratkaisujen E-luvut ja ostoenergiankulutus


Tilojen lämmitystapa:  Maalämpöpumppu

Tilojen varalämmitys:  Sähkövastukset varaajassa

Käyttöveden lämmitystapa:  Maalämpöpumppu

Käyttöveden varalämmitys:  Sähkövastukset varaajassa

Jälkilämmityspatteri:  Sähkö

Omavaraissähköenergia (kWh/a):  0

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Rivi- ja ketjutalot (Rivi- ja ketjutalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2015			
Lämmitetty nettoala, m ²	275			
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	108 (< raja=150)			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWhE/vuosi kWhE/(m ² vuosi)	
Sähkö	17339	1.70	29476	107.2
YHTEENSÄ	17339		29476	107.2
Uusiutuva omavaraenergia, hyödyksikäytetty osuus				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Maalämpö		10064	36.60	