

Lasse Vaskelainen

ASUINRAKENNUKSEN
ENERGIATEHOKKUUS JA
ENERGIANKULUTUKSEEN
VAIKUTTAMINEN

Opinnäytetyö
Talotekniikan ko.


Joulukuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 5.12.2016		
Tekijä(t) Lasse Huurinainen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka ja LVI-tekniikka		
Nimeke Asuinrakennuksen energiatehokkuus ja energiankulutukseen vaikuttaminen			
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kaukolämmöllä lämmitettävän pientalon energiatehokkuutta. Työssä vertailtiin rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavien rakenteiden ja LVI-järjestelmien vaikutusta E-lukuun, energialuokkaan ja laskennalliseen energiankulutukseen. Työssä selvitettiin ratkaisuja asuinrakennuksen energiankulutuksen laskemiseen. Energiansäästövaihtoehdoista tehtiin rahallisia säästölaskelmia.</p> <p>Työssä havainnollistettiin energiatodistuksen laatimista ja korjausrakentamisen energiamääräysten vaikutusta energiatoimenpiteisiin. Työssä tehtiin energiatodistus sekä selvitettiin asuinrakennuksen laskennalliset energiankulutukset. Työ antaa tietoja energiatehokkuuteen vaikuttavasta talotekniikasta tulevaisuudessa toteuttavia energiasaneerauksia varten.</p> <p>Osana työtä tehtiin selvitys asuinrakennuksen käyttövesijärjestelmän toiminnasta.</p> <p>Tarkasteltavasta rakennuksesta tehtiin mallinnuksia energialaskentatyökalulla sekä energialaskelmia. Mallinnusten ja laskelmien avulla selvisi rakenteiden ja järjestelmävaihtoehtojen vaikutukset energiankulutukseen ja E-lukuun. Työssä esiteltiin rakenteellisia ja taloteknisiä toimenpideratkaisuja kohderakennuksen talotekniikan kehittämistä varten.</p> <p>Asuinrakennuksen E-luvuksi laskettiin 227 kWh/m²vuosi. Energialuokaksi tuli E-luokka. Kohteessa oli merkittävästi energiansäästöpotentiaalia.</p> <p>Rakennuksessa suurimmat energiankulutukset olivat rakenteilla, ilmanvaihdolla ja käyttövedellä. Sisälämpötilan laskemisella asteella oli 5 % vaikutus rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen.</p> <p>Toimenpidevaihtoehdoista energiankulutukseen ja E-lukuun merkittävimmin vaikuttivat seinärakenteen lisäeristäminen, painovoimaisen ilmanvaihdon muuttaminen 45-75 % LTO-vuosihyötysuhteella olevaan IV-järjestelmään ja rakennusvaipan tiiviyn parantaminen.</p>			
Asiasanat (avainsanat) LVI-tekniikka, energiatehokkuus, energiatodistukset, LVI-järjestelmät, energiansäästö sekä korjausrakentaminen.			
Sivumäärä 74 + 11	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli Suomi</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> </table>	Kieli Suomi	URN
Kieli Suomi	URN		
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Kiinteistöyhtymä Huurinainen		

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 5.12.2016
Author(s) Lasse Huurinainen	Degree programme and option Building services engineering	
Name of the bachelor's thesis Energy efficiency in a residential building and influencing on the energy consumption		
Abstract <p>In this engineering thesis was studied energy efficiency of a residential house having district heating system. The thesis compared impact of building's structures and HVAC-systems on E-value, energy glass and calculatory energy consumption. The objective of the thesis was to find solutions to reduce energy consumption of the building. Financial saving calculations were made for energy saving options.</p> <p>In the thesis was made an energy certificate and studied computational energy consumption of the building. The thesis gives information of house technique having effect on energy efficiency for future energy repairs.</p> <p>As a part of the study was done a report of the residential building hot water system works.</p> <p>The building under consideration was modelled using energy calculation tool and energy calculations executed in order to figure out the effects of the structures and system alternatives to energy consumption and E-value of the building. The work presented structural and technical building measure solutions for the development of the target house building technology.</p> <p>E-value of the residential building was calculated 227 kWh /m²year. The building's energy class became E-class. The target has a significant potential to save energy.</p> <p>The biggest energy consumptions were found from structures, ventilation and hot water use in the house. Decreasing the building's inside temperature by one degree resulted in 5 % calculatory savings in building's energy consumption.</p> <p>From operational options to energy consumption and E-value most significantly affected by the wall structure additional isolation, gravity ventilation change for 45-75 % year efficiency ratio heat recovery system and reduction of air leaks in the building structures.</p>		
Subject headings, (keywords) HVAC-technology, energy efficiency, energy certificates, HVAC-systems, energy saving and repair construction		
Pages 74 + 11	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Veuro	Bachelor's thesis assigned by Kiinteistöyhtymä Huurinainen	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TAVOITTEET	4
3	MENETELMÄT TUTKIMUKSESSA	5
3.1	Toteutusmenetelmät.....	5
3.2	Kohdekuvaus ja energialaskennan lähtötiedot.....	6
3.2.1	Rakennuksen rakenteet, rakennusosien pinta-alat ja kylmäsilat.....	8
3.2.2	Ilmanvaihto, ilmatilavuus sekä vuotoilma	10
3.2.3	Sijainti, säätiedot, ulkolämpötilat ja mitoituslämpötilat	12
3.2.4	Rakennuksen käyttötarkoitus sekä standardikäyttöajat	12
3.2.5	Rakennuksen käyttövesijärjestelmä	13
3.2.6	Rakennuksen lämmitysmuoto sekä kesäajan jäähdyttäminen	14
3.3	Energiatodistuksen laatiminen asuinrakennukseen	16
3.3.1	Rakentamisen energiatehokkuusmääräykset – mitä energiatehokkuutta edistävät vaatimukset tarkoittavat?	16
3.3.2	Olemassa olevan rakennuksen energiasaneerausvaatimukset ja tavoitteet	19
3.3.3	Energialaskennan kulku, periaatteet ja RakMk D3 ja D5 määrittämät määräykset	20
3.4	Asuinrakennuksen energiatase.....	24
3.5	Saneeraushankkeen toteuttaminen ja korjausrakentamisessa muutostöiden toteuttamisen tausta	25
3.6	Kannattavuuslaskennan kuvaus ja teoriaa	27
3.6.1	Takaisinmaksuaikamenetelmä	27
3.6.2	Nykyarvomenetelmä	28
3.6.3	Kannattavuuteen vaikuttavat asiat	28
3.7	Energiankulutuksen laskemiseen soveltuvien LVI-järjestelmien teoriaa ja toimintaperiaatteita.....	31
3.7.1	LTO ilmanvaihtojärjestelmässä	31
3.7.2	IV-järjestelmien valinnassa huomioitavia asioita	33
3.8	Energiansäästömahdollisuuksia vaikuttamalla asuinrakennuksen energiankulutukseen rakennusvaiheen rakenteilla ja LVI-järjestelmillä.....	35

3.8.1	Vaipan lämpöhäviöiden vähentäminen lämpöeristeen lisäämisellä rakenteisiin.....	35
3.8.2	Vedenkulutuksen vähentäminen vakiopaineventtiilillä	35
3.8.3	Lämmitysjärjestelmän tasapainottaminen, kuntotarkastus sekä menoveden lämpötilan säätö.....	36
3.9	Lämminkiertovesi	37
4	TULOKSET	38
4.1	Kohderakennuksen laskennalliset energian tarpeet	38
4.1.1	Rakenteiden läpi johtuva lämmitysenergia.....	39
4.1.2	Rakenteiden läpi johtuvan lämmitysenergia sisälämpötilaa muuttaessa.....	40
4.1.3	Vuotoilman lämmitysenergia.....	41
4.1.4	Ilmanvaihdon lämpöenergiankulutus.....	41
4.1.5	Sähkölaitteet ja valaistus sähköenergiankulutus.....	42
4.1.6	Lämpökuormat.....	43
4.1.7	Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve.....	43
4.1.8	Koko rakennuksen lämmitysenergiantarpeen vähentyminen sisälämpötilaa muuttaessa.....	44
4.1.9	Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarve	44
4.1.10	Energiatase rakennuksessa.....	45
4.1.11	Yhteenvedo	46
4.2	Energiatodistus, laskennallinen ostoenergiankulutus sekä E-luku	47
4.3	Rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen vaikuttavien tekijöiden vaikutukset, merkittävimmät tekijät ja niiden vertailut.....	48
4.3.1	Rakenteet.....	49
4.3.2	Vuotoilma	55
4.3.3	Käyttöveden lämmitys	56
4.3.4	Ilmanvaihto	59
4.3.5	Asuinrakentamisen energiatehokkuuden kehittyminen	61
4.3.6	Johtopäätökset.....	62
4.4	Saneeraus- ja parannustoimenpide vaihtoehtojen kannattavuuden arviointi63	
4.4.1	Käyttötottumusten vaikutus kustannuksiin rakennuksen sisälämpötilaa laskemalla	64
4.4.2	Rakenteiden vaikutus energiakustannuksiin ja investointivaihtoehdot64	

4.4.3	Ilmavaihtojärjestelmien vaikutus energiakustannuksiin ja investointivaihtoehdot.....	65
4.4.4	Yhteenvedo säästölaskelmista	68
4.5	Toteutunut energiankulutus kohderakennuksessa 2010-2015	68
4.6	Käyttövesijärjestelmän kartoitus	68
4.6.1	Käyttövesijärjestelmän tilanne kohteessa	68
4.6.2	Käyttöveden virtaamatarkastelu mittauksin.....	69
4.6.3	Veden lämpötilamittaukset	70
4.6.4	Veden virtausnopeuden tarkastelu käyttöpisteille ja LKV:n toiminnan tilanne kohderakennuksessa	71
4.6.5	Veden kulutuksen vaikutus energiankulutukseen.....	72
4.6.6	Todellisen käyttöveden kulutuksen tilanne kohteessa	72
4.6.7	Toimenpide- ja tehostamisehdotukset.....	74
5	JOHTOPÄÄTÖKSET TUTKIMUKSESTA	74
	LÄHTEET	76

LIITE/LIITTEET

- 1 Yksisivuinen liite
- 2 Monisivuinen liite

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön aiheena on asuinrakennuksen energiatehokkuus sekä talotekniikka. Työssä tutkitaan ja esitetään eri rakenteellisia ja taloteknisiä vaihtoehtoja energiatehokkuuden ja asumisviihtyvyyden parantamiseen. Työssä esimerkkikohteen tarkastellaan kiinteistöyhtymään kuuluvaa asuinrakennusta. Tarkasteltavan pientalon huoneistot toimivat vuokra-asuntokäytössä. Vuokra-asuntokäytössä on oleellista asukasviihtyvyys ja asumisterveysmääräyksien täytyminen. Toisena tekijänä on taloudellinen kannattavuus. Energiatehokkuuden avulla säästetty ostoenergian määrä tarkoittaa säästettyä rahaa kiinteistön ylläpitokustannuksissa. Lämmitysenergiakustannuksilla on suurin osuus rakennuksen ylläpitokustannuksista. Lisäksi yleinen energianhintojen nousu kannustaa tutkimaan ratkaisuja energiankulutuksen vähentämiseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää vaihtoehtoja energiatehokkuuden parantamiseksi, havainnollistaa energiansäästötoimenpidevaihtoehtojen vaikutuksia energiankulutukseen sekä kertoa tietoa energiankulutukseen vaikuttavista LVI-järjestelmistä. Työn tuloksia kiinteistön omistajat voivat hyödyntää asuinrakennuksen ylläpidossa sekä taloteknisten rakentamistoimenpiteiden toteuttamisessa tulevaisuudessa. Työn tietoja hyödynnetään vuokra-asuntojen vuokraustoiminnan kattavassa yritystoiminnassa. Rakennuksen taloteknisten ominaisuuksien sekä energiatehokkuuden parantamiseksi selvitetään mitä erilaisia rakennukseen soveltuvia mahdollisuuksia on olemassa. Työn tilaaja tarvitsee informaatiota asuinrakennuksen laskennallisesta energiatehokkuudesta, energialaskennasta ja LVI-järjestelmistä. Analysoidaan ja vertaillaan yleisesti asuinrakennusten energiankulutukseen vaikuttavia eri LVI-järjestelmiä. Tuodaan esille erilaiset järjestelmävaihtoehdot asuinrakennuksiin. Yhtenä työn tuloksena esitetään toimenpide-ehdotuksia. Mahdollisten taloteknisten parannusten suunnittelua varten tehdään säästölaskelmia kannattavuustarkastelujen osa-alueena.

Oikein suunnitellulla talotekniikalla voidaan vähentää energiankulutusta sekä lisätä asumisviihtyvyyttä. Yrityskäytössä toimivan kiinteistöyhtymän on tarkoitus tuottaa osakkailleen voittoa. Mitä tyytyväisemmät asukkaat ovat toimivan talotekniikan tuottamaan asumisviihtyvyyteen sitä korkeampaa vuokraa pystyvät omistajat pitämään. Asukkaat myös viihtyvät vuokra-asunnoissa pidempään, jolloin asuntojen

tyhjänäpitoaika laskee ja uusien vuokrasopimuksien tekemistarve vähenee. Tällöin kannattavuus kasvaa. Toisaalta LVI-järjestelmäinvestoinnit eivät ole välttämättä kustannusten kannalta kannattavia. On oleellista vertailla erilaisia LVI-järjestelmiä. Järjestelmää uusittaessa ei aina saada tarpeeksi suurta hyötyä, jos saavutettava energiansäästö ei ole riittävää suhteessa hankintahintaan ja käyttöikään. On myös hyvä ottaa huomioon, onko järjestelmän vaikutus ylläpitokustannuksiin tai asukasviihtyvyyteen riittävä. Mikäli vanha järjestelmä on toimiva sekä teknistä käyttöikä on jäljellä, ei investointi välttämättä ole kustannusoptimaalinen.

Tämän opinnäytetyön ensisijaisena tarkoituksena tarkastellaan, millä keinoilla voidaan asuinrakennuksissa vaikuttaa laskennalliseen energiankulutukseen ja E-lukuun. Tutkittiin teoriassa energiansäästötoimenpiteiden vaikutusta energiankulutukseen. Tämä toteutetaan mallintamalla asuinrakennuksen energiankulutusta erilaisilla rakenteiden lämmöneristävyyksillä, rakennusvaipan tiiviyksillä, sisälämpötiloilla, käyttövesijärjestelmillä ja ilmanvaihtojärjestelmillä ilman LTO:ta ja LTO:lla. Selvitys antaa suuntaa antavan ja kestävä pohjan tulevaisuuden saneeraustoimenpiteiden suunnittelulle sekä on järkevää kiinteistön ylläpitoa. Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa rakennuksen rakenteilla sekä taloteknisillä järjestelmillä. Siksi opinnäytetyön tilaaja sekä omistajaosakkaat haluavat tarkasti perustellun selvityksen energiataloudesta ja vaihtoehdoista kehittää talotekniikkaa rakennuksessa. Työ kertoo millä toimenpiteillä asuinrakennusten energiankulutusta voidaan vähentää. Motiivina työlle on rakennuksen käyttäminen energiatehokkaasti. Selvitys antaa myös tietoa sekä näkökulmia lukijalle LVI-järjestelmien teknisestä toteuttamisesta, energiansäästölaskelmista sekä kannattavuuslaskennasta.

Tässä työssä rakennuksen energiatehokkuuden tarkastelemiseksi toteutetaan energiatodistus. Tulevaisuudessa energiatodistus tulee olemaan vanhemmissa rakennuksissa jälleenmyyntiarvoa nostava myyntietu kiinteistöä myydessä. Energiatodistus tehdään soveltaen Suomen rakennusmääräyskokoelmien osia D3, D5 ja Ympäristöministeriön liitettä 176/2013 sekä asetusta 4/13. Kohteesta kerätään rakennustekniset sekä LVI-tekniset tiedot, joiden avulla rakennuksen kokonaisenergian kulutus selvitetään laskennallisesti. 2000-luvulla Suomen rakennusmääräyskokoelman vaatimukset ovat tiukentuneet uudis- sekä saneerausrakentamisessa [12] [13] [14] [15]. Energiatodistukseen vaikuttavat määräykset (RakMk D3, D5, Ympäristöministeriön liite 176/2013 ja asetus 4/13).

Energiatodistuksen määräysten täyttymiseen vaikuttavat laskennallinen ostoenergia, E-luku sekä rakennuksen osa- ja järjestelmäkohtaiset vaatimukset, jotka asettavat uudisrakentamisessa sekä vanhan rakennuksen muutostöissä energiatehokkuusvaatimuksia rakennuksen LVI-järjestelmille, vaipan ilmanpitävyydelle, rakenteiden lämmönjohtavuudelle ja –eristävyydelle. Lisäksi lämmitysmuotojen kertoimet vievät energiatarkastelua kokonaisenergiatarkastelun suuntaan. Tämä asettaa vaatimuksia talotekniikalle. [12.] [13.] [14.] [15.]

Rakennuksiin energiankulutukseen vaikuttavia muutostoimenpiteitä tehtäessä koskevat saneeraustöitä v. 2013 voimaan tulleet muutostöiden energiatehokkuusvaatimukset (Ympäristöministeriön asetus 4/13”, rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä). Työssä tuodaan esille eri energiaparannusvaihtoehtojen minimivaatimukset yleisesti rakennuksiin sekä kohderakennukseen. Tavoitteena on havainnollistaa mihin arvoihin rakennusosan tai LVI-järjestelmän energiatehokkuutta pitää parantaa energiaparannuksia asuinrakennukseen tehtäessä. Lisäksi vaatimuksia verrataan uudisrakentamisen minimi energiatehokkuusvaatimuksiin.

Tutkimuksen kohteena on 1950-luvulla rakennettu asuinrakennus, joka on toteutettu aikansa hyvän rakentamistavan mukaisesti. Se on rakennettu ennen nykyisten rakennusmääräyskokoelmien vaatimuksia (U-arvot sekä E-luku tulivat RakMk:lniin myöhemmin 2000-luvulla). Kohteesta selvitettyjä arvoja sekä energiankulutusta vertaillaan nykypäivän arvoihin sekä rakentamiseen. Näin tarkastelemalla rakentamisen kehittymisen/muuttumisen suunta on nähtävissä. LVI-tekniikalta kohde edustaa tyypillistä v. 1985 saneerattua rakennusta. Työ pohjautuu seuraaviin Suomen rakennusmääräyskokoelman osiin C3, C4, D2, D3 ja D5(2012). Työssä lasketut energiankulutukset ovat määritelty RakMk määräysten sekä ohjeiden mukaisesti. Näin menettelemällä työn energiatodistuskalkulaatio noudattaa virallisia määräyksiä sekä on ajantasainen talotekniikka-alalla. RakMk:t toimivat taustatietoina. Rakennuksen lähtötietojen pohjalta rakennukselle tehdään energiaselvitys energiatodistuksen laatimistyökalulla. Lopputuloksena rakennukselle selvisi laskennallinen energiankulutus, E-luku, sekä energiatehokkuusluokka, mihin rakennus energiankulutukseltaan kuuluu.

EU-maana Suomi on sitoutunut energiatehokkuuden parantamisen 20 %, uusiutuvien energialähteiden osuuden nostamiseen 20 % sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen 20 % vuoteen 2020 mennessä [9, s.7]. Energiatehokkuuden kehittämisen taustana ovat ympäristönäkökulmat. Tutkitusti rakennusten kokonaisenergiankulutuksen osuus on n. 40 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta ja 30 % kasvihuonekaasupäästöistä. Suomessa keskimäärin rakennusten lämmityksen osuus on energian loppukäytöstä n. 22 %. [19, s.6.] Tämä on merkittävä osuus. Se avaa talotekniikkateknologialle, rakennusten talotekniikkatutkimuksille sekä alan osaamiselle uusia ovia. Erityisesti vanhemmassa rakennuskannassa on runsaasti energiansäästöpotentiaalia energiankulutuksen vähentämisessä, johon voidaan vaikuttaa monenlaisilla energiatehokkuutta parantavilla toimenpiteillä.

Työssä on kyseessä saneerauskohte. Kohteen talotekniikan sekä rakenteiden vanhenemisen takia uudistamisvaihtoehtojen selvittäminen on perusteltua. Suomessa rakennuskanta on keksimäärin vanhaa, joten korjausrakentaminen tulee kiihtymään tulevina vuosina saneeraustarpeiden tullessa esiin rakennuksissa. LVI-järjestelmien kuluvien osien ja laitteiden keskimääräiset käyttöiät ovat n. 10-50 vuotta [6]. Talotekniikka-teknologian kehittyminen avaa uusia mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja asumisviihtyvyyden kehittämiseen sekä tekniseltä käyttöiltään tiensä päässä olevien järjestelmien uusimiseen.

2 TAVOITTEET

Seuraavaksi tuodaan esille opinnäytetyön tavoitteita.

Työssä tehdään olemassa olevaan asuinrakennukseen laskennallinen energiatodistus, josta selviää rakennuksen laskennallisen energiankulutuksen jakautuminen, E-luku sekä energialuokka. Ensisijaisena tavoitteena vertaillaan rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavien toimenpiteiden vaikutusta E-lukuun, energialuokkaan, laskennalliseen ostoenergiankulutukseen sekä laskennalliseen todelliseen ostoenergiankulutukseen. Tässä työssä laskennallisella todellisella energiankulutuksella tarkoitetaan rakennuksen todellisella säävyöhykkeellä II laskettua laskennallista energiankulutusta. Laskennallisella energiankulutuksella tarkoitetaan säävyöhykkeellä I laskettua laskennallista energiankulutusta.

Laskennallisten energiankulutusten avulla selvitetään kuinka paljon voidaan energiankulutusta laskea rakennuksen taloteknisiä ominaisuuksia muuttamalla.

Työssä analysoidaan ja vertaillaan yleisesti asuinrakennusten energiankulutukseen vaikuttavia eri LVI-järjestelmiä. Kerrotaan erilaisista järjestelmävaihtoehdoista asuinrakennuksiin. Tähän kuuluu soveltuvuuden, tekniikan, hyvien ja huonojen puolien havainnollistaminen. Havainnollistetaan mitä asioita tulee ottaa huomioon järjestelmää valitessa. Lisäksi tehdään selvitys kohdeasuinrakennuksen energiankulutukseen vaikuttavista tekijöistä sekä vaihtoehdoista energiankulutuksen laskemiseen.

Työssä lasketaan säästölaskelmia erilaisille muutostoimenpiteille, jotka vaikuttavat asuinrakennuksen energiankulutukseen ja perehdytään kannattavuuslaskennan teoriaan. Säästölaskelmissa keskitytään säästetyllä energialla saatuihin rahallisiin säästöihin.

Työssä kartoitetaan rakenne- sekä LVI-järjestelmävaihtoehtoja ja niiden soveltuvuutta kohderakennukseen. Tarkoituksena on havainnollistaa ratkaisujen vaikutuksia. Selvitetään tutkimuksilla ja kuntokartoituksilla vanhan rakennuksen LVI-järjestelmien tilannetta sekä korjaustarpeita. Työssä tehtiin asuinrakennuksen käyttövesijärjestelmätutkimus, jossa havainnollistetaan käyttövesijärjestelmän tilannetta kohderakennuksessa. Tehdään vesijärjestelmämittauksia.

3 MENETELMÄT TUTKIMUKSESSA

3.1 Toteutusmenetelmät

Energiatehokkuuslaskennassa käytettiin laskentapalvelut.fi-ohjelmiston energiatodistuslaskentasovellusta. Ohjelmisto on kehitetty rakennuksen energiatodistuksen laatimiseen. Se on rakennusviranomaisten hyväksymä virallinen laskentatyökalu, joka täyttää lainsäädännön vaatimukset energiatodistuksen tekoon. Ohjelmisto perustuu Suomen rakennusmääräyskokoelman osien D3 sekä D5 määräyksiin ja ohjeisiin. Ohjelma soveltuu sekä uudis- että olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuuden laskemiseen. Laskentapalvelut.fi-sovellus on

useiden energiatodistuksia tekevien yritysten käyttämä ohjelma. Energiatodistuslaskentasovelluksen avulla mallinnettiin rakennuksen laskennalliseen ostoenergiaan sekä E-lukuun vaikuttavien tekijöiden vaikutuksia. Lisäksi rakennuksen energiatarpeiden laskennalliseen määrittämiseen tehtiin Excel-
taulukkolaskentaohjelmalla laskentamalli. Laskentamalliin kirjattiin ylös kohdekiinteistön tiedot, jotka vaikuttavat energialaskentaan. Laskentamallin avulla laskettiin rakenteiden pinta-alat, U-arvot, rakennuksen tilavuudet, kylmäsillat sekä suoritettiin RakMk:n osien D3 [12], D5 [13] ja Ympäristöministeriön liitteen 176/2013 [15] mukaista energialaskentaa. Laskentamallista syötettiin tarvittavia tietoja laskentapalvelut.fi ohjelmistoon. Tuloksista tehtiin Excelillä työhön havainnollistavia kuvaajia. Laskentamalliin hyödynnettiin pientalokohteeseen soveltuvilta osin Ympäristöministeriön julkaisua: ”Energiatodistuksen laadintaesimerkki 1970 rakennettu kerrostalo, energiatodistusoppaan 2013 liite 13.11.2013 [17]”.

Tietoa rakennusten energiankulutuksiin yleisesti vaikuttavista LVI-järjestelmistä ja niiden tekniikasta selvitettiin talotekniikka-alan kirjallisuuslähteistä, rakennustietokorteista ja tutkimuksista.

Kohdekiinteistössä kartoitettiin LVI-tekniset sekä rakennetekniset suunnitelmat, piirustukset dokumentteineen. Kohderakennuksessa tehtiin tarkastuksia ja mittauksia energiaa kuluttaviin järjestelmiin,- LVI-tekniikan tilanteen ja tarpeiden tutkimiseksi.

Kannattavuuslaskennassa käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Järjestelmien kustannuksia selvitettiin valmistajien teknisistä tiedoista, tutkimusraporteista Energian hintoja selvitettiin paikallisen energialaitoksen laskutuksista, Motivan sekä Energiateollisuuden julkaisuista. Työssä laskettuja energiakulutuksia käytettiin vertailevina energiakulutuksina kannattavuuslaskennan säästölaskelmissa. LVI-laitteiden teknisiä käyttöikä tietoja ja kestävyttä selvitettiin rakennustietokortista ”Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot” [6].

3.2 Kohdekuvaus ja energialaskennan lähtötiedot

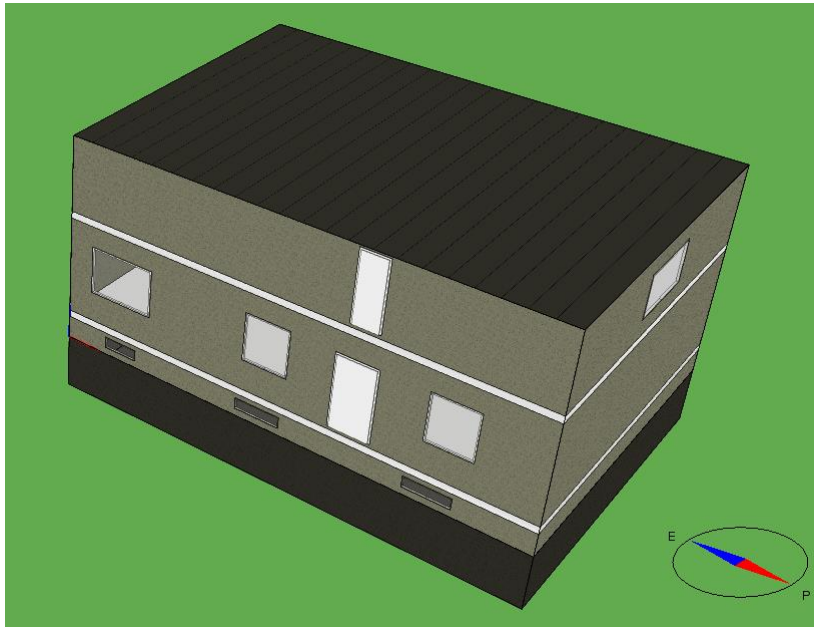
Kohteena on v. 1951 rakennettu kolmekerroksinen pientalo maanvaraisella betonilaattapohjalla. Rakennus on toteutettu aikansa hyvän rakentamistavan

mukaisesti. Rakennus edustaa tyypillistä Suomessa olevaa vanhaa rakennuskantaa. Asuinrakennus toimii vuokra-asutokäytössä. Rakennuksessa on kaksi yksiötä, kaksi kaksiota ja yksi kolmio asuinhuoneistoina. Talon pinta-ala on 415,9 brm². Lämmitetty nettopinta-ala on 372,2 m². Talo luokitellaan suureksi pientaloksi. Rakennukseen on tehty lämmitysjärjestelmän muutos öljystä kaukolämpöön v. 1985 sekä käyttövesiverkoston saneeraus samana vuonna. V. 1985 LVI-tekniikka saneerattiin saneerausvuoden rakentamismääräysten mukaisesti. Kohteeseen on tehty ikkunasaneeraus v. 2013, jolloin ikkunoiden lämmönläpäisevyyttä vähennettiin uusimalla ikkunat U-arvoltaan 1 W/m²K ikkunoihin. Työssä kohde toimii selvityksessä pohjana. Kiinteistöstä tehtiin kohteen tietojen pohjalta energiatodistus sekä energialaskentamalli. Energialaskentamallin avulla vertaillaan eri toimenpidevariaatioiden vaikutusta E-lukuun sekä rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen. Toimenpidevariaatioita olivat rakenteiden ja rakennusosien erilaiset lämmönläpäisevyydet, vaipparakenne erilaisilla vuotoilman läpäisyillä, käyttövesijärjestelmä erilaisilla lämminkäyttövesijärjestelmillä sekä LKV-järjestelmillä, ilmanvaihto painovoimaisella sekä koneellisilla ilmanvaihtojärjestelmillä, lämmöntalteenotolla ja ilman lämmöntalteenottoa. Rakennuksen perustiedot on esitetty taulukossa 1. Kohde on mallinnettu kuvassa 1.

TAULUKKO 1. Rakennuksen perustiedot

PERUSTIEDOT		Lähde
Sijaintipaikkakunta Mikkeli		
Rakennusluvan vireilletulovuosi	1951	rakennuksen asiakirjat
Valmistumisvuosi	1951	rakennuksen asiakirjat
Laskennan säävyöhyke	D3/2012 vyöhyke II	YM asetus 176/2013, liite 1, kohta 2.1
Käyttötarkoitusluokka	pientalot	YM asetus 176/2013, liite 2
Kerrosten lukumäärä	kolme	havainnointi paikanpäällä
Alapohjan tyyppi	maanvarainen betonilaatta	havainnointi paikanpäällä
Rakennetyyppi	D5/2012 taulukko 5.6: pientalo, keskiraskarakenteinen I	havainnointi paikanpäällä

Rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvo	70 Wh/ (m ² K)	D5/2012 taulukko 5.6: pientalo, keskiraskarakenteinen
--	---------------------------	---



KUVA 1. Kuvassa kohderakennus mallinnettuna.

Liitteessä 1 esitetään koottuna energiatodistuksen laskennan lähtötietoja.

3.2.1 Rakennuksen rakenteet, rakennusosien pinta-alat ja kylmäsilat

Energiatodistuslaskennassa rakennuksen lämmitysenergiatarve lasketaan lämmitetyn nettopinta-alan mukaan, - eli rakennuksen kokonaissisämitat määrittävät energiatodistuksen lämmitysenergiatarpeen laskennassa käytettävän pinta-alan. Lämmitetyllä nettopinta-alalla tarkoitetaan pinta-alaa, joka saadaan rakennuksen bruttopinta-alasta ottamalla ulkoseinien pinta-ala pois sekä kylmien tilojen pinta-ala pois. Lämmitetty nettopinta-ala on siis lämmitettyjen kerrostasojen kokonaislattiapinta-ala ilman ulkoseinien pinta-alaa. Bruttopinta-alalla tarkoitetaan rakennuksen pinta-alaa ulkoseinien mitoilla. Myös rakennuksen kylmät tilat lasketaan mukaan bruttopinta-alaan. [15.]

Rakenteet selvitettiin mittaamalla teknisistä piirustuksista ja havainnoimalla paikanpäällä kohteessa. Kohderakennuksessa on puuseinärunko

rappauspäällystyksellä. Perusmuuri on rakennettu tiilistä yhdistettynä betoniin sekä pintarappaukseen. Alapohjana on betonilaatta. Seinissä sekä yläpohjassa lämpöeristeenä on käytetty sahanpurua. Taulukossa 2 esitetään rakenteille lasketut lämmönläpäisykertoimet (U-arvot), pinta-alat sekä ominaisjohtumishäviöt.

TAULUKKO 2. Rakennuksen vaipanrakenteiden U-arvot, rakenteiden pinta-alat ja ominaisjohtumishäviöt.

	U-arvo (W/m ² K)	Pinta-ala (m ²)	U-arvo*pinta-ala = ominaisjohtumishäviö(W/K)
Ulkoseinät	0,53	333,6	177
Yläpohja	0,31	124,1	39
Alapohja	0,47	124,1	58
Ikkunat	1,00	24,3	24
Ulko-ovet	1,40	12,8	18
Yhteensä rakennusvaippa		618,8	316

Rakenteiden läpi johtuu lämpöä ulkoilmaan. Rakenteen lämmöneristävyttä kuvataan U-arvolla. U-arvo on lämmönläpäisykerroin. Mitä pienempi U-arvo sitä vähemmän rakenne johtaa lämpöä läpi, jolloin lämmöneristävyys on parempi. U-arvon yksikkö on W/m²K. Tämä kuvaa, kuinka monta wattia lämpötehoa siirtyy rakenteen läpi neliömetrin pinta-alalta, kun lämpötilaeroa rakenteen sisä- ja ulkopuolen välillä on 1 lämpöaste. Ominaisjohtumishäviö kuvaa kuinka paljon lämpötehoa johtuu koko rakennusosan rakenteen läpi, kun lämpötilaeroa rakenteen sisä- ja ulkopuolen välillä on 1 lämpöaste.

Rakenteiden liitoksissa syntyy viivamaisia kylmäsiltoja, joiden kautta tapahtuu lämpöhäviötä. Kylmäsiltoja on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Rakenteiden väliset kylmäsiltoja, pituudet, lisäkonduktanssit ja ominaisjohtumishäviöt.

Kylmäsiltoja	Y _k	Mitattu pituus l _k	H _{kylmäsiltoja}	Materiaali
	(W/mK)	m	W/K	

us-us yhdistävä sisänurkka	-0,04			puu
us-us yhdistävä ulkonurkka	0,04	24,0	1,0	puu + rappauspinnoite
yp-us yhdistävä liitos	0,05	47,6	2,4	puu + rappauspinnoite
vp-us yhdistävä liitos	0,05	90,4	4,5	puu
ap-us yhdistävä liitos	0,24	47,6	11,4	betoni ja betoni maanvastainen
perusmuuri-us	0,1	47,6	4,8	betoniperusmuuri ja puuseinä
ikk-us yhdistävä liitos	0,04	78,0	3,1	
ovi-us yhdistävä liitos	0,04	28,3	1,1	
lämpähäviöt yht.			28,3	

3.2.2 Ilmanvaihto, ilmatilavuus sekä vuotoilma

Ilmanvaihtojärjestelmänä rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto, jossa tuloilma sisätiloihin tulee ikkunoiden säädettävistä tuloilmaventtiileistä. Huoneissa lämmennyt poistoilma nousee ylös poistoilmaventtiileihin, joista jäteilma johdetaan painovoimaisesti ilman paine-erojen avulla ulos vesikatolle. Poistoilmaventtiilit on sijoitettu huoneistojen märkätiloihin, vaatehuoneisiin sekä keittiöihin. Korvausilma lämmitetään huonekohtaisilla lämmityspattereilla. E-luvun laskennassa ilmanvaihdon poisto- ja tuloilmavirtana käytettiin RakMk:n D3 standardikäyttöä vastaavaa ilmanvaihdon määrä $0,4 \text{ l/(s m}^2\text{)}$. Kohteen pinta-alalla $372,2 \text{ m}^2$ ilmanvaihdon virtaama on $0,4 \text{ l/(s m}^2\text{)} * 372,2 \text{ m}^2 = 149 \text{ l/s}$ [s. 18, 12]. Ilmanvaihdon lämpöhäviöt on siis laskettu standardisoidulla RakMk D3 määrittämällä pientalon ilmamäärällä $0,4 \text{ l/s m}^2$. Todellisuudessa kohteessa vaihtuva ilmamäärä on painovoimaisen ilmanvaihdon vaihtama ilmamäärä, jota ei pystytä painovoimaisuuteen perustuvan toiminnan takia tarkasti määrittämään. Siksi työssä rakennuskohteen laskennallinen ilmanvaihdon energiankulutus ei ole ehdotonta todellista tietoa, vaan suuntaa antavaa laskennallista tietoa. Koneellisten tulopoistoilmanvaihtoratkaisujen vertailussa käytettiin tuloilman asetusarvona $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Tulo- ja poistoilmavirtojen suhteena käytettiin arvoa 1. Taulukossa 4 on koottu ilmanvaihtojärjestelmän tiedot.

TAULUKKO 4. Ilmanvaihtojärjestelmä.

ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ		Lähde
Ilmanvaihtojärjestelmä	painovoimainen ilmanvaihto	havainnointi paikanpäällä
Ilmanvaihtokoneiden lukumäärä	0	havainnointi paikanpäällä
Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto	ei	havainnointi paikanpäällä
Tuloilman lämmitys	ei, korvausilma suoraan ulkoa tuloilmaventtiileistä	havainnointi paikanpäällä

Rakennuksen kokonaisilmatilavuus on 967,8 m³.

Rakennuksessa tapahtuu ilman vuotamista rakenteiden läpi vuotoilmana. Ilmanvuodon mukana siirtyy rakennuksesta ulos lämpöenergiaa. Ilmanvuotoluku kertoo kuinka paljon rakennuksen vaippa vuotaa ilmaa läpi, se kuvastaa rakennuksen vaipan tiiviyttä. Ilmanvuotoluku kertoo kuinka tiiviiksi rakennus on rakennettu. Rakennuskohteelle ilmanvuotoluvuksi määritettiin 9,4 m³/(h m²). [15] Ilmanvaihtoluvun yksikkö kertoo kuinka suuri kuutiotilavuusmäärä ilmaa liikkuu rakennusvaipan läpi neliometriä kohti tunnissa. Kohderakennuksen ilmanvuotoluku on suurehko, koska vanhan rakennuksen seinärakenteet ovat rakennettu runsaasti ilmaa läpi päästäväksi. Ilmanpitävyyttä arvioitiin rakennuksen rakennusvuoden perusteella. Mitä suurempi ilmanvuotoluku sitä huonompi on ilmanpitävyys. Ilmanvuotaminen rakenteiden läpi vaikuttaa sisäilmaston asuinviihtyvyyteen sekä ilmanvaihdon hallittavuuteen. Suuri ilmanvuotaminen rakenteiden läpi aiheuttaa lämpötilaeroja asuintilojen ilmaan, esim. huonosti ilmaa pitäviin kohtiin. Tällöin lämmittämätöntä kylmää ilmaa pääsee sisään sekä lämmintä ilmaa liikkuu ulos. Seurauksena on vedon tunnetta. Rakennuksissa joissa on höyrynsulku, on oleellista kiinnittää huomioita höyrynsulun tiiviyteen, ettei höyrynsulussa ole aukkoja joista vuotoilmaa pääsee läpi. Rikkinäinen ilmanpitävyyteen vaikuttava rakennekerros on vuotoilman kannalta riskipaikka. Kohderakennuksessa seinärakenteen ilmanpitävyyttä lisäävät tervapahvikerrokset. Ilmanvaihdon hallittavuudessa on huomioitava koneellisen ilmanvaihdon vaikutus. Mikäli paljon ilmaa läpi vuotavaan rakennukseen asennetaan koneellinen ilmanvaihto, on olemassa riski ilman liikkumiseen hallitsemattomasti vääriä reittejä pitkin. Siksi on huolehdittava riittävästä tuloilman saannista sekä vältettävä poistoilmanvaihtoa suunnitellessa liikaa alipaineisuutta.

3.2.3 Sijainti, säätiedot, ulkolämpötilat ja mitoituslämpötilat

Tarkasteltava rakennus sijaitsee Mikkelissä RakMk:n D3 säävyöhykkeellä II. Tällöin kohteen lämmitysjärjestelmien todellinen minimi mitoittava ulkolämpötila lämmitysteholle on -29 °C sekä ulkoilman vuotuiset kuukausittaiset lämpötilat ovat säävyöhykkeen II mukaiset. Rakennuksen todellinen lämmitystehontarve sekä todellinen ostoenergiankulutus määritetään todellisen sijainnin ulkoilman lämpötiloilla. Todellinen ostoenergiankulutus on suurempi pohjoisemmalla säävyöhykkeellä II kuin eteläisemmällä säävyöhykkeellä I.

E-lukulaskennassa kokonaisostoenergiankulutus lasketaan RakMk D3 liitteen 2 säävyöhykkeen I Helsinki-Vantaan kuukausittaisilla säätiedoilla (kuukausitason laskentamenetelmä, jolla lasketaan vuoden energiantarve). Tämä tarkoittaa, ettei tarkasteltavan rakennuksen varsinainen sijainti vaikuta E-lukulaskennassa energiankulutukseen, sijainti ajatellaan olevan säävyöhyke I.

Todellisuudessa sijainnin lämpötilat vaikuttavat energiankulutukseen. Sijaintipaikka vaikuttaa lämmitystehontarpeen laskentaan ja todenmukaisen ostoenergian määrittämiseen. Virallisen energiatodistuksen E-luku laskennassa on standardisoitu sijainnin säävyöhykkeen I ulkolämpötilat samaksi koko Suomen alueelle. Tällä tasarvoistetaan eri säävyöhykkeillä sijaitsevia rakennuksia vertailukelpoisiksi keskenään, ettei sijainti vaikuta lämpöolojen kautta vertailtavuuteen.

Rakennuksen sisälämpötilana käytettiin 21 °C . 21 °C on yleinen mitoittava suunnittelulämpötila asuinhuoneistoille [10] [12]. Energiatodistuslaskennassa 21 °C huonelämpötila on asetusarvo [12].

3.2.4 Rakennuksen käyttötarkoitus sekä standardikäyttöajat

Laskennassa ilmanvaihdon käyttöaikoina ovat asuinrakennuskäytössä olevan pientalon standardikäyttöajat 365 päivää vuodessa, 7 päivää viikossa ja 24 h vuorokaudessa. Ilmanvaihdon käyttöaikasuhteena on 1. Ilmanvaihdon käyttöajat kertovat ilmanvaihtokoneen toiminnan ajan. Todellisuudessa painovoimaisen ilmanvaihdon käyttöaikaa ja ilman vaihtumista ei pystytä tarkasti määrittelemään.

Painovoimainen ilmanvaihto toimii rakennuksen sisäisten ja ulkoisten ilmanpaineerojen avulla, toimintaan vaikuttavat ulko- ja sisäilmaolosuhteet. Vakioidut henkilöiden, laitteiden ja valaistuksen käyttöajat sekä lämpökuormat on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Kuluttajalaitteet, valaistus ja lämpökuormat

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde
Rakennuksen viikoittainen käyttöaikasuhte h/(24 h)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3
Rakennuksen kuukausittainen käyttöaikasuhte vrk/(7 vrk)	1,0	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3
Kuluttajalaitteiden ominaisteho	3	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3
Kuluttajalaitteiden käyttöaste	0,6	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3
Valaistuksen ominaisteho	8	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3
Valaistuksen käyttöaste	0,1	-	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3
Lämpökuorma ihmisistä	2	W/m ²	D3/2012 luku 3.3 taulukko 3

3.2.5 Rakennuksen käyttövesijärjestelmä

Rakennuksen käyttövesijärjestelmä on esitetty taulukossa 6 ja laskentasuureet taulukossa 7.

TAULUKKO 6. Rakennuksen käyttövesijärjestelmä.

KÄYTTÖVESIJÄRJESTELMÄ			Lähde
Lämpimän	käyttöveden	kaukolämmitys,	havainnointi paikanpäällä

lämmitysjärjestelmä	toisiopuolen mitoitus 5/50 °C	
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei varaajaa	havainnointi paikanpäällä
Lämpimän käyttöveden kierto	on	havainnointi paikanpäällä
Lämpimän käyttöveden kierron lämmityslaitteet	ei ole	havainnointi paikanpäällä
Lämpimän käyttöveden kiertoputkien eristys	YM asetus 176/2013 liite 1 taulukko 6: kiertojohdon eristystaso 0,5 D	havainnointi paikanpäällä

TAULUKKO 7. Käyttöveden lämmityksen, jakelun hyötysuhteen ja lämpöhäviön ja LVK-pumpun sähköenergian laskentasuureet.

Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	35	kWh/(m ² a)	YM asetus 5/13, taulukko 5
Lämpimän käyttöveden jakelun (siirron) hyötysuhde	0,96	-	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 5: asuinkerrostalo: kierto
Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö	10	W/m	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 6: eristystaso 0,5 D
Käyttöveden lämmönjakelujärjestelmän lvk-pumpun sähköenergia	736	kWh/a	

3.2.6 Rakennuksen lämmitysmuoto sekä kesäajan jäähdyttäminen

Kohteeseen ostetaan energiaa sähköinä ja kaukolämpönä. Ilmaisenergiaa tulee ihmisistä, sähkölaitteista sekä auringosta ikkunoiden kautta. Kohteessa on keskuslämmitysjärjestelmä. Lämmönjakotapana on vesikiertoinen radiaattorilämmitys. Lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötiloina on käytetty 80/60 °C. Rakennuksen kaukolämpöjärjestelmän alajakokeskuksessa on lämmitysvedelle sekä käyttövedelle omat lämmönsiirtimensä. Laskennassa käytetyt arvot ja yksiköt käyvät ilmi taulukosta 8.

TAULUKKO 8. Tilojen lämmitysjärjestelmä.

TILOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ			Lähde
Tilojen lämmitysjärjestelmä	tilakohtaiset vesiradiaattorit (vesipatterit) 80/60 °C lämpötiloilla, käsikäyttöiset termostaattiset patteriventtiilit kaikissa huonetiloissa		havainnointi paikanpäällä ja kaukolämpökeskuksen suunnitelman mitoistiedot.
Suure	Arvo	Yksikkö	Lähde
Lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhde	0,85	-	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 9 ja kohta 2.2.7: vesiradiaattorilämmitys 80/60 °C, jakojohdot puoliksi eristetty, käsikäyttöiset patteriventtiilit
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus	2,0	kWh/(m ² a)	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 9: vesiradiaattorilämmitys 70/40 oC
Lämmitysenergian	0,94	-	YM asetus

tuoton hyötysuhde tilojen lämmityksessä			176/2013, liite 1, taulukko 11: kaukolämpö
Tilojen lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus	0,6	kWh/(m ² a)	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 11: kaukolämpö
Lämmitysenergian tuoton hyötysuhde käyttöveden lämmityksessä	0,96	-	YM asetus 176/2013, liite 1, taulukko 11: kaukolämpö, ei varaajaa

Rakennuksessa ei ole aktiivi- tai passiivijäähdytysjärjestelmää kesäaikaisen lämpötilan nousun hallitsemiseksi. Jäähdytystä ei käsitellä erikseen tässä työssä.

3.3 Energiatodistuksen laatiminen asuinrakennukseen

3.3.1 Rakentamisen energiatehokkuusmääräykset – mitä energiatehokkuutta edistävät vaatimukset tarkoittavat?

Energiatodistuslaskennan taustatietona kartoitettiin energiatehokkuus määräysten teoriaa. Nykyrakentamisessa energiatehokkuusvaatimukset ovat tiukentuneet. Energiatodistus vaaditaan uudisrakentamisessa rakennuslupaa haettaessa ja tulevaisuudessa se tulee olemaan myös vanhemmissa rakennuksissa jälleenmyyntiarvoa nostava myyntietu kiinteistöä myydessä. Lisäksi uuden Ympäristöministeriön lakiasetuksen mukaan ennen 1980 käyttöönotetuissa pientaloissa on rakennusta myydessä tai vuokratessa energiatodistus pakollinen alkaen 1.7.2017. [21.] [22.] Kohdekiinteistössä on oleellista selvittää energiatehokkuutta nostavat toimenpidevaihtoehdot ja korjaustarpeet energiankulutuksen vähentämisen kannalta. Opinnäytetyössä tarkastelun kohteena olevasta asuinrakennuksesta tehtiin energiatodistus E-lukulaskelmineen. Energiatodistuksen tietoja voidaan käyttää hyväksi tulevaisuudessa kiinteistöön mahdollisesti tehtävää virallista energiatodistusta varten.

Suomessa energiapolitiikka ohjaa rakentamista energiatodistuksen avulla, jonka energiatehokkuusvaatimukset rakennuksen on täytettävä. Energiatehokkuusvaatimukset asettavat rajat rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle, jota kuvaa laskennallisena arvona E-luku. Energiatodistuksen sisältämä E-luku kertoo kiinteistön energiakulutuksen suhteutettuna pinta-alaan sekä lämmitysmuodon kertoimiin. Lämmitysmuodon kertoimet kuvastavat lämmitysmuodon vaikutusta energiatehokkuuteen sekä kertovat mitä lämmitysmuotoja määräykset suosivat. Määräykset suosivat energiantuotantotapoja, joissa energia on tuotettu primäärienergiälähteistä luonnonvaroja säästävästi sekä energian tuotannollisesti tehokkaasti. Määräyksiä on viety kokonaisenergiankulutuksen huomioimisen suuntaan. Lämmönlähde vaikuttaa siis energiatehokkuusvaatimuksien täyttymiseen, koska E-luku on pinta-alalla jaettu rakennuksen ostoenergian määrä kerrottuna energiamuodon kertoimella. Vaatimukset on helpompi täyttää lämmönlähteillä, joiden kerroin on pieni. Esim. kaukolämmöllä lämmitetyllä talolla (energiamuotokerroin 0,7) E-luku on pienempi kuin suoralla sähköllä (energiamuotokerroin 1,7) lämmitetyllä talolla. Lämmitysmuotojen kertoimet järjestyksessä pienimmästä suurimpaan ovat kaukojäähdytys 0,4, uusiutuvat polttoaineet 0,5, kaukolämpö 0,7, fossiilisten polttoaineet 1 ja sähkö 1,7. [12.][13.] [16.] Vaatimusten mukaisesti rakentaminen jättää liikkumavaraa toteutukselle, miten rakennetaan, eli millä tekijöillä energiatehokkuutta tehostetaan. Nykyvaatimuksissa keskeistä onkin kokonaisenergiakulutusvaatimuksen (E-luku) täytyminen, ei se millä keinoilla vaatimus täyttyy. Esim. energiankulutusta voidaan vähentää LVI-tekniisillä ratkaisulla tai rakennetekniisillä ratkaisulla, joten suunnittelijan päätettäväksi jää tekijöiden vertailu sekä valitseminen. Tämän työn pääosa-alue on keskittyä vertailemaan näitä tekijöitä.

Energiatehokkuusvaatimusten taustalla ovat valtiopolitiikan energiatavoitteet: ”Rakennusten energiatehokkuutta koskevan lainsäädännön tavoitteena on rakennusten energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian käytön edistäminen sekä rakennusten energiakulutuksen pienentäminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Rakennuksissa kuluu noin 40 % Suomen energian kokonaiskulutuksesta. Sääöksillä toimeenpannaan rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä ja edistetään samalla Suomen omia tavoitteita energiatehokkuuden parantamiseksi. Rakennuksen hyvä energiatehokkuus pienentää käytönaikaisia kustannuksia ja hillitsee asumiskustannusten nousua energian hinnan noustessa. Energiatehokkuuden

parantaminen parantaa usein myös rakennuksen asumismukavuutta” [21, lainaus Ympäristöministeriön energiatehokkuutta koskevasta lainsäädännöstä].

Energiatodistus on työkalu rakennusten energiatehokkuuden vertailuun ja parantamiseen myynti- ja vuokrautilanteessa. Energiatodistuksen avulla on mahdollista helposti verrata eri rakennuksia, sillä se perustuu rakennuksen ominaisuuksiin ja niistä johdettuun energiankulutukseen. Vertailun kohteena on siten vain itse rakennus, eivät rakennuksen sen hetkiset käyttäjät, joten energiatodistuksen energiankulutukseen eivät vaikuta kulutustottumukset. Se tasa-arvoistaa erilaiset rakennukset vertailukelpoisiksi. Energiatodistus perustuu laskennalliseen vuotuisen energiankulutukseen. Siinä ilmoitetaan laskennallinen energiankulutus, E-luku sekä energiatehokkuusluokka. Energiatodistus sisältää myös säästösuosituksia, joiden avulla rakennuksen energiatehokkuutta voi parantaa. Opinnäytetyössä kohderakennuksen säästösuosituksia ei ole lisätty erikseen energiatodistukseen, vaan ne on käsitelty laajemmin osana työraporttia. Rakennuksen energiatodistus tehdään Suomen rakennusmääräyskokoelmien D3 ja D5 määräysten pohjalta ympäristöministeriön rakennusten energiatodistusasetuksen 7 § mukaisesti.

Energiatodistuksen E-luku tarkoittaa rakennuksen standardikäytöllä ostoenergiankulutusta lämmitettyä nettoala kohden vuodessa, joka on painotettu energiamuotojen kertoimilla. Rakennustyyppi määrittää standardikäytön. E-luku saadaan kertomalla rakennuksen vuotuiset ostoenergiankulutukset energiamuodon kertoimilla, summaamalla ne yhteen ja jakamalla lopuksi lämmitetyllä nettopinta-alalla. Energialuvun yksikkö on kWh/m². Yhteenvetona E-luvulla kuvataan rakennuksen kokonaisenergiatarkastelua vuoden ajanjaksolla. [12, s. 8].

Koko rakennuksesta energiatodistusta tehdessä E-luku on laskettava koko rakennukselle. Mikäli rakennus sisältää käyttötarkoitukseltaan useita erilaisia osia on E-lukulaskenta suoritettava käyttötarkoituksiluokkien mukaisille osille. Käyttötarkoitukseluokka, johon rakennus kuuluu on määritelty Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D3 [12]. Uudisrakennuksille on määrätty käyttötarkoitukseluokan mukaiset E-luvun raja-arvot. Tässä työssä tarkasteltava rakennus kuuluu pientaloihin. Pientalossa raja-arvovaatimus menee pinta-alan mukaisesti. Uudisrakentamisen E-luvun raja-arvot eivät koske olemassa olevia rakennuksia. Kohde kuuluu olemassa oleviin rakennuksiin, joille ei virallisesti ole

energiatehokkuusvaatimuksia, ellei rakennukseen tehdä muutostöitä. Mikäli rakennukseen päätetään tehdä energiankulutukseen vaikuttavia muutostoimenpiteitä koskee rakennusta korjaus- ja muutostöiden energiatehokkuusvaatimukset. Korjaus- ja muutostöissä saneerausrakentamisen vaatimukset ovat uudisrakentamisvaatimuksia lievempiä. [4] [14]

Energiatarkastelun laskennalliset energiankulutukset ovat laskennallisia arvoja kohdetietojen pohjalta. Ne antavat suuntaa energiankulutuksille, mutta eivät ole ehdoton totuus kuvaamaan rakennuksen energiankulutusta. Tämä on hyvä huomioida laskennallisilla energiankulutuksilla tehtyjen laskelmien tarkastelussa, esim. kustannuslaskelmissa.

3.3.2 Olemassa olevan rakennuksen energiasaneerausvaatimukset ja tavoitteet

Kohde on olemassa oleva rakennus, joten siihen sovelletaan korjaus- ja muutostöissä olemassa olevan rakennuksen määräyksiä sekä ohjeita: Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä [14]. Asetuksessa on kerrottu tarkat vaatimukset energiatehokkuuden parantamiselle. Vaatimukset antavat energiasaneerauksille vaihtoehtoja ja ovat uudisrakentamisen vaatimuksia lievemmit kannustaen energiasaneerauksiin. Olemassa olevaan rakennukseen rakennusluvan tarvitsemaa muutostyötä tehdessä voidaan korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimukset täyttää kolmella eri tavalla: 1. parantamalla energiatehokkuutta rakennusosa- ja järjestelmäkohtaisesti, 2. parantamalla rakennuksen laskennallista energiankulutusta tai 3. parantamalla rakennuksen kokonaisenergiankulutusta eli E-lukua. Rakennuksen osia muuttaessa tai saneerattaessa on rakennusluvan vaatimissa korjaustoimenpiteissä parannettava rakennus-osan tai koko rakennuksen energiatehokkuutta vähintään minimivaatimusten verran. Muutostöissä energiatehokkuutta ei saa heikentää [4].

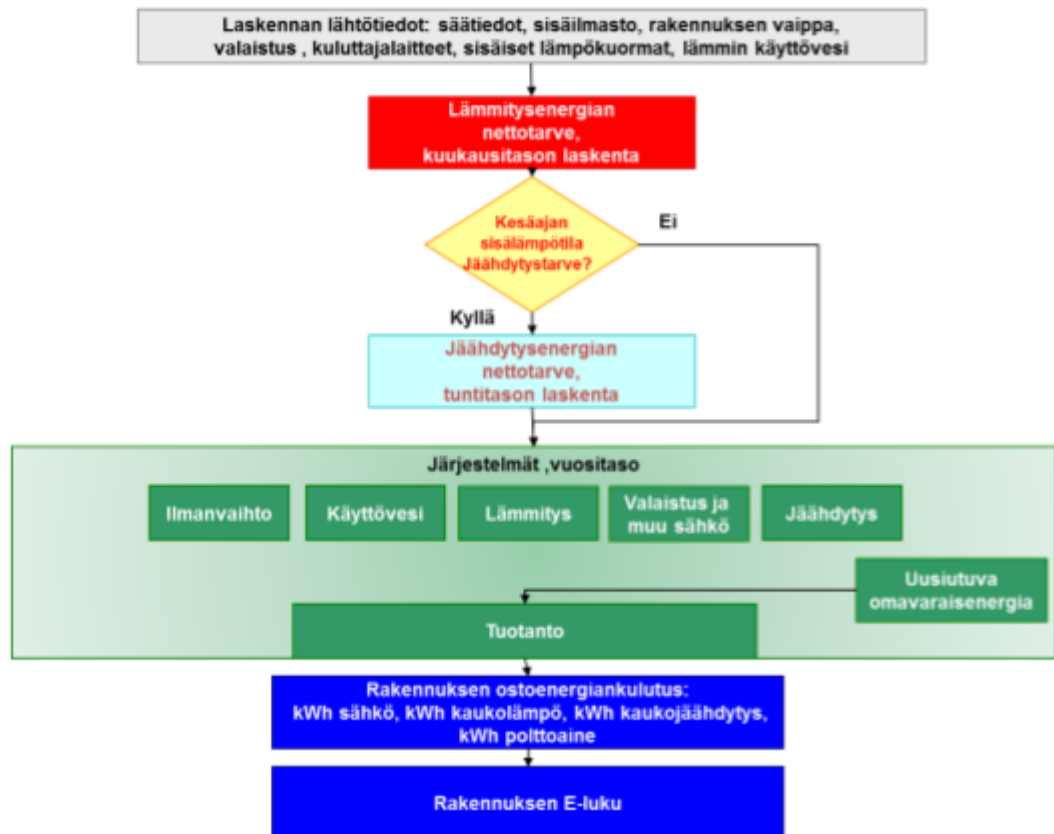
Energiakorjauksen yleisiä tavoitteita ovat:

- Merkittävä energiansäästö energiatehokkuutta parantamalla.
- Kiinteistön arvon nostaminen sekä asumisviihtyvyyden parantaminen.
- Rakennuksen elinkaaritiedon parantaminen energiakustannuksia pienentämällä.

- Sisäilmastolliset tekijät, kuten sisäilman laadun parantaminen hallitulla ilmanvaihhdolla sekä tuloilman suodattamisella.
- Sisäilmaolosuhteiden parantaminen lämpötilaltaan tasaiseksi ja vedottomiksi. Nopea sisäilman virtausnopeus yhdessä matalan huonelämpötilan kanssa aiheuttaa vetoa, joten päätelaitteiden ilman virtausnopeus ei saa olla liian suuri suhteessa lämpötilaan, eikä tuloilman lämpötila oleskeluvyöhykkeellä liian kylmää. Oleskeluvyöhykkeellä normaaleilla asumislämpötiloilla ilman virtausnopeudessa pyritään alle 0,2 m/s nopeuteen [10, s7] [18, s.24].
- Tarpeenmukaisella sekä hallitulla ilmanvaihhdolla vähennetään asuintilojen kosteusongelmia. Huoneilman ilman suhteellisen kosteuden saaminen hallintaan hyvälle välille, joka on asuinhuoneissa 25-45 % suhteellinen kosteus. [8] [10]
- Kosteustiivistymisen ja homeeriskien ehkäiseminen seinärakenteiden paikallisten lämmöneristyskohtien, höyrynsulkujen sekä kylmäsiltojen korjaamisella.
- Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten huomioiminen ekotehokkuutta nostamalla, jolloin uusiutumattoman energian kulutusta sekä energiantuotannon päästöjä vähennetään.

3.3.3 Energialaskennan kulku, periaatteet ja RakMk D3 ja D5 määrittämät määräykset

Energialaskennan perusteena ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 laskentasäännöt sekä kansainväliset EU-taustaiset Ympäristöministeriön asettamat SFS-EN-standardit. Laskenta on toteutettava näiden mukaisesti. Lisäksi Ympäristöministeriön liitteessä 176/2013 ja julkaisussa energiatodistusopas 2013, RakMK:ssa C4 ja D2 on määräyksiä sekä ohjeita, jotka täydentävät ja tarkentavat laskentaa. Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 mukaan rakennuksen korjaus- tai muutostyön energialaskennassa käytettävässä laskentatyökalussa sekä tulosten esittämisessä sovelletaan Ympäristöministeriön asetusta rakennusten energiatehokkuudesta RakMk:n osaa D3 ja D5. Kuvassa 2 on koottu rakennuksen energiankulutuksen laskennan osa-alueet.



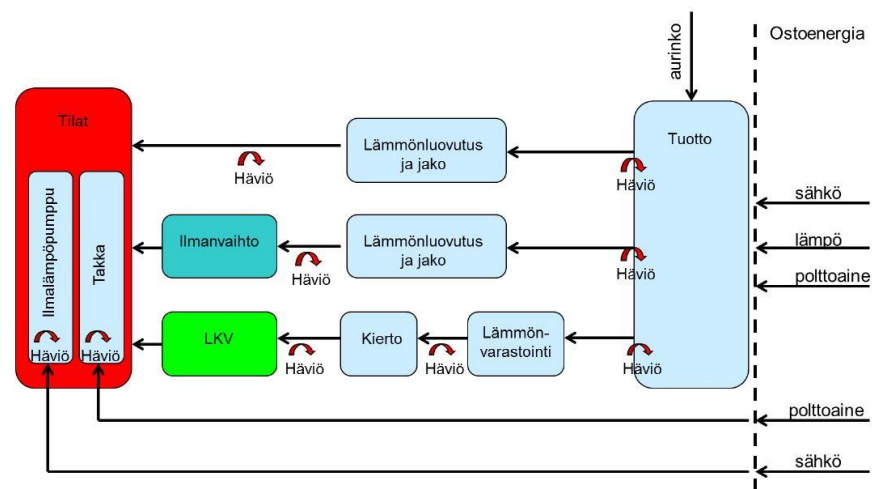
KUVA 2. Rakennuksen energialaskennan vaiheet [13].

E-lukuenergiankulutuslaskenta pohjautuu ostoenergiankulutukseen, joka tarkoittaa rakennukseen ostettua primäärienergiaa jota käytetään lämmitys-, jäähdytys-, käyttövedenlämmitys-, ilmanvaihto- sekä sähköjärjestelmiin (valaistus, järjestelmien apulaitteet sekä kulutuslaitteet). Primäärienergialla tarkoitetaan tuotannollista rakennuksen käyttöön tulevaa energiaa esim. kaukolämpöenergia tai sähköenergia voimalaitokselta. Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen ostoenergiankulutuksen muodostuminen.



KUVA 3 Ostoenergiankulutuksen muodostuminen sekä mistä osa-alueista kiinteistön energiankulutus koostuu havainnollistettuna [13].

Kuvassa 4 on esitetty energialaskennan lämmitysenergian siirtymisen ja jakautumisen periaate. Kuva havainnollistaa lämmitysjärjestelmän energiankulutusta.



Kuva 6.1. Lämmitysjärjestelmälaskennan periaate.

KUVA 4. Energialaskennassa lämmitysenergian siirtymisen ja jakautumisen periaate [13].

Tutkimuksen kohteessa ei ole jäähdytystä. Mikäli rakennuksessa ei ole jäähdytystä voidaan energialaskenta suorittaa kuukausitason laskentamenetelmällä. Tämä tarkoittaa energiankulutusten laskemista kuukausittaisella tarkkuudella. Energiankulutukset voidaan laskea joka kuukaudelle erikseen ja summata

kuukausittaisista kulutuksista vuotuinen energiankulutus. [12, s. 26.] Kohteissa joissa on jäähdytysjärjestelmä, on energialaskenta suoritettava dynaamisella laskentatyökalulla. Dynaaminen laskentatyökalu esim. IDA ICE-ohjelmisto on tarkempi, se huomioi rakenteiden lämmönvarausominaisuudet ajasta riippuvaisena. [12, s. 27].

Kokonaisenergiankulutuksen selvittämistä varten lasketaan koko vuoden energiankulutus rakennuksen käyttötarkoitukseluokan standardikäytöllä ja säävyöhykkeen määrittelemillä lämpötiloilla.

Ostoenergiankulutusta laskettaessa on käytettävä RakMk:n D3 vakioituja lähtöarvoja rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohti sisäilmasto-olosuhteiden ilmamäärille, rakennuksen standardikäytölle, sisäisille lämpökuormille, kuluttajalaitteiden sähkökäytölle, valaistukselle sekä lämpimän käyttöveden kulutukselle. Lisäksi sisäilman lämpötiloille ja säätiedoille lähtöarvot ovat vakioitu.

Laskenta perustuu rakennuksesta selvitettäviin kohdekohtaisiin lähtöarvoihin, jotka ovat esitetty kappaleessa ”3.2 Kohdekuvaus ja lähtötiedot”. Laskennan lopputuloksena saadaan laskennallinen ostoenergia, joka koostuu rakennuksen tilojen, tuloilman ja lämpimän käyttöveden lämmityksestä, mahdollisen jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksesta sekä sähköenergiankulutuksesta lämmitysjärjestelmän apulaitteissa, ilmanvaihtojärjestelmässä, jäähdytysjärjestelmässä, kuluttajalaitteissa ja valaistuksessa. Kohderakennuksen laskennallisen ostoenergian koostuminen on esitetty energiatodistuksen tuloksissa liitteessä 2.

Energiatodistus olemassa olevaan rakennukseen lasketaan rakennuksen olemassa olevien ominaisuuksien tiedoilla, sen mukaan miten rakennus on rakennettu. Uudisrakennukseen energiatodistus lasketaan uudisrakennuksen suunnittelutietojen pohjalta, joiden on täytettävä uudisrakentamista koskevat energiatehokkuusvaatimukset jo suunnitteluvaiheessa rakennusluvan saamiseksi. Laskennan lopputuloksena saadaan ostoenergiankulutus, E-luku, ET-luku ja energialuokka.

ET-luku: Energiatodistukseen voidaan laittaa ET-luku jolla tarkoitetaan ostettua energiaa jaettuna bruttopinta-alalla. Tämä ei huomioi lämmitysmuotojen kertoimia, joten lämmitysmuodoista ei voida ET-luvussa hyötyä. Yksiköksi tulee kWh/brn².

Energiatehokkuusluokat määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. Pientaloissa energiatehokkuusluokat ovat kuvan 5 mukaiset.

$$150 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$$

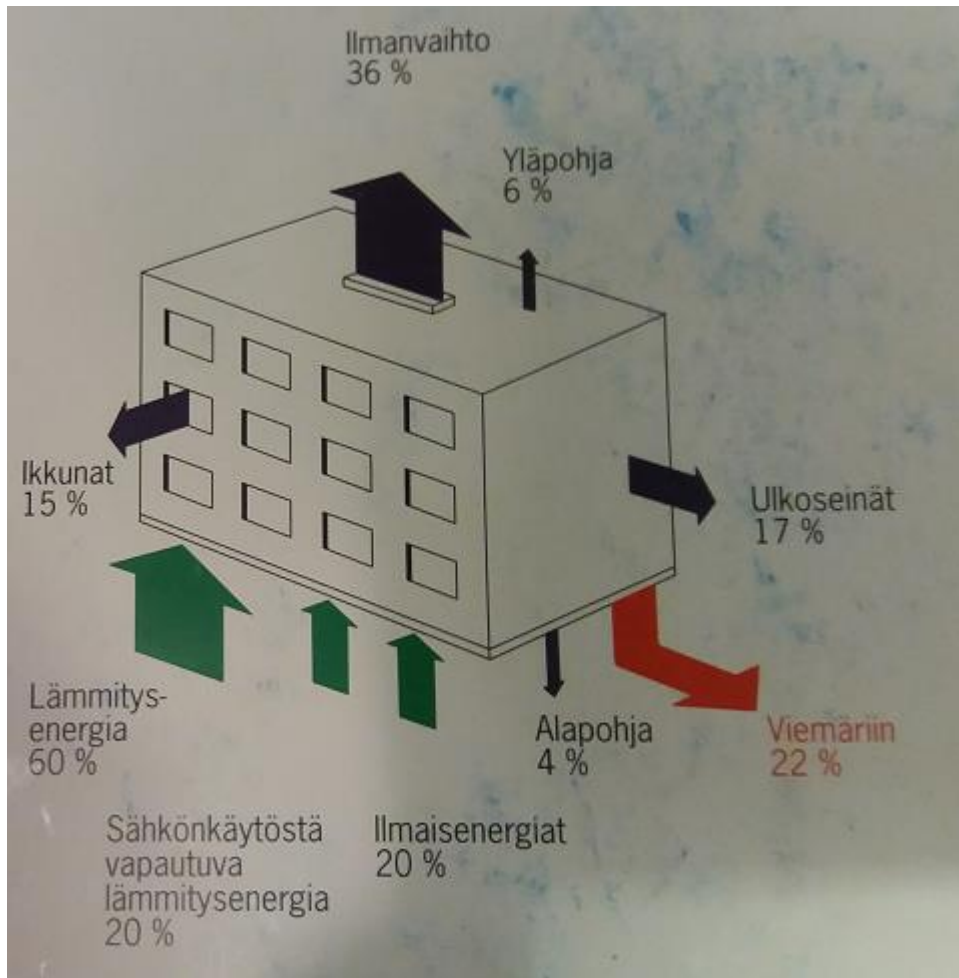
Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh _E /m ² vuosi)
A	E-luku $\leq 83 - 0,02 \times A_{\text{netto}}$
B	$83 - 0,02 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 131 - 0,04 \times A_{\text{netto}}$
C	$131 - 0,04 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
D	$173 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 253 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
E	$253 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 383 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
F	$383 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 453 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
G	$453 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

KUVA 5. Energiatehokkuusluokan määräytyminen pientaloissa [15].

Kohderakennuksen pinta-ala on 372,2 m², joten E-luvun ollessa välillä 116-147 kWh/m²a on energialuokka C ja välillä >147-226 kWh/m²a on energialuokka D ja välillä >226-357 kWh/m²a energialuokka on E.

3.4 Asuinrakennuksen energiatase

Alla oleva kuva 6 valaisee energiankulutuksen jakautumista normaalissa asuinalossa.



KUVA 6. Energiatase tyypillisessä uudessa asuinrakennuksessa [11].

Energiatase tarkoittaa, kuinka paljon mihinkin energiaa kuluttaviin tekijöihin rakennus kuluttaa energiaa. Se siis kuvaa, miten rakennus kuluttaa energiaa sekä mistä rakennukseen tulee energiaa. Taloon tulevan ja poistuvan energian määrän on oltava yhtä suuri. Rakennuksen ostoenergiatarve (nettoenergiatarve) on järjestelmien ja rakenteiden lämpöhäviöt (bruttoenergiatarve) vähennettynä rakennukseen tulevalla lämpökuormien tuottamalla ilmaislämpöenergialla.

3.5 Saneeraushankkeen toteuttaminen ja korjausrakentamisessa muutostoimenpiteiden toteuttamisen tausta

Olemassa olevaan rakennusta saneerattaessa eräs tapa on ajatella hanketta projektimaisesti vaihe vaiheelta. Aluksi rakennushankkeeseen liittyen on hyvä tehdä tarveselvitys, jossa selvitetään investointitarpeet ja tarvittavat investoinnit. Tämän jälkeen tarveselvityksen tietojen pohjalta aloitetaan hankesuunnittelu. Hankesuunnittelussa selvityksien tietojen pohjalta suunnitellaan hanketta, eli mitä

järjestelmiä valitaan sekä rajataan näille kustannukset. Lopulta käynnistetään varsinainen toteutussuunnittelu luonnossuunnittelun pohjalta sekä rakentaminen kilpailutuksen pohjalta. Taloteknisten järjestelmien taloudellisen kannattavuuden vertailulla on keskeinen rooli siihen, mitä järjestelmiä toteutukseen valitaan. On keskeistä minimoida taloudelliset riskit ennen rakentamisen aloittamista. [4, s.91-98.]

Yleensä tarveselvitykselle on pohjana järjestelmien toiminnan taso sekä kunto. Mikäli kuntoa ei ole huomioitu etukäteen ja järjestelmä hajoaa, saatetaan joutua tekemään hätiköityjä ratkaisuja lyhyellä suunnitteluajalla. Järjestelmien kuntoa voidaan arvioida tarkastuksin sekä huomioida ajallisesti suunnitellut tekniset käyttöiät sen mukaan mikä elinkaaren vaihe on menossa. Järjestelmien vertailun avulla pystytään tarkastelemaan tulevaisuuden investoinnit. LVI-järjestelmien investoinneissa ennakoiti on kestäväää rakentamista. [4, s.91-98.]

Rakennuksen energiansäästötoimenpiteiden kartoituksen periaate vaihe vaiheelta:

1. Selvitetään tarve energiansäästötoimenpiteelle.
2. Todetaan LVI-järjestelmän tai rakennusosan kunto, jäljellä oleva tekninen käyttöaika sekä aika minkä verran tätä on taloudellisesti järkevä käyttää. Samalla tarkastellaan paljonko nykyiselle osalle jää kokonaisuudessa arvoa.
3. Kartoitetaan toimenpidevaihtoehdot, jotka soveltuvat kohteeseen.
4. Tehdään energiansäästölaskelmat.
5. Tarkastellaan toimenpiteen tuottamia kustannuksia kustannuslaskelmilla.
6. Tehdään kannattavuuslaskelmat.

Taloteknisiä järjestelmien valinnassa on huomioitava järjestelmien ominaisuudet sekä soveltuvuus kohteeseen. Reititykset sekä tilantarve korostuvat saneerauskohteissa, esim. IV-järjestelmä (kanavat, päätelaitteet sekä IV-kone/koneet) vievät yleensä rakennuksissa suurimman tilantarpeen. Siksi reitityksiä sekä tilantarpeita suunniteltaessa on järkevää lähteä liikkeelle IV-suunnittelusta ja suunnitella se ensin. IV-järjestelmä siis määrittää jäljelle jäävän tilan muille järjestelmille. Mikäli tilantarpeissa tulee risteämiä ja tila ei riitä on tarkasteltava tilantarpeeltaan eri reittejä sekä tilantarpeeltaan vähäisempiä järjestelmävaihtoehtoja. Lopulta selvitettyjen investointitarpeiden sekä laskettujen kannattavuuslaskelmien mukaan on päätettävä mitä LVI-järjestelmiä saneerataan ja rakennetaan.

3.6 Kannattavuuslaskennan kuvaus ja teoriaa

Taloteknisen järjestelmän kustannuslaskennassa vertailtavien energiaparannusten kannattavuuksista ja takaisinmaksuajoista voidaan tehdä LCC-laskelmia (elinkaarikustannuslaskelmat life cycle cost). Elinkaarikustannuslaskennan tuloksena on elinkaaren aikana syntyvien kustannusten nykyarvo. Seuraavassa selvitetään investoinnin kannattavuuden tarkastelun periaatteita sekä menetelmiä, kerrotaan mitä ne ovat ja tarkoittavat.

Taloteknisissä järjestelmissä elinkaarikustannukset koostuvat aluksi hankintakustannuksista, johon kuulu pääomakustannukset eli investointikustannukset (järjestelmän hinta, asennus ja rakentaminen). Mahdollisesti hankintaan tarvitaan myös rahoitusta, josta tulee rahoituskustannuksia, esim. lainan otto- ja korkokustannuksia. Rakentamisen jälkeen vaikuttavat huoltokustannukset ja kunnossapitokustannukset. Järjestelmän käyttö tuo lämpöenergiakustannuksia, sähköenergiakustannuksia tai käyttövesikustannuksia. Elinkaarensa päässä hankinnalla voi olla vielä arvoa, jota kutsutaan jäännösarvoksi. Yleensä taloteknisillä järjestelmillä ei ole jäännösarvoa, jäännösarvo on nolla. Investointilaskelmat perustuvat näihin asioihin. Lisäksi laskentajakson pituus millä investointilaskelma tehdään sekä laskentakorko vaikuttavat kannattavuuteen. Eripituisilla laskentajaksoilla saadaan erilaisia tuloksia kannattavuuksille, joten vertailun vuoksi laskentajaksojen pituuksia kannattaa vertailla. Kannattavuusselvityksen tilaajan kanssa on kommunikoitava, esitettävä ja avattava mitä tarkasteluun soveltuvia energian hintoja ja muita huomioitavia kustannuksia (esim. huolto, kunnossapito ja korjaus) sekä herkkyystarkasteluja käytetään. Investoinnin kannattavuutta voidaan arvioida monenlaisten menetelmillä.

Elinkaarikustannusajattelussa on järkevää hakea optimiratkaisua investointi-, kunnossapito- ja energiakustannusten välille [9]. Vanhanaikaisessa rakentamistavassa aikoinaan painotettiin investointikustannuksia, huomioimatta tarpeeksi kunnossapito ja energiakustannuksia. Tällainen ajattelu on lyhytnäköistä rakentamista.

3.6.1 Takaisinmaksuaikamenetelmä

Investointilaskentamenetelmistä takaisinmaksuaikamenetelmä on hyvä peruslaskentamenetelmä, jolla saadaan havainnollistettua kuinka kauan ajallisesti menee investoinnilla saatavilla säästöillä investoinnin hankintahinnan/kustannusten kattamiseen. Säästöjä ovat mm. energiakulutuksessa säästetty energian hinnan arvo. Yksinkertaisen menetelmän takaisinmaksuaika lasketaan jakamalla investointikustannukset vuodessa saaduilla säästöillä. Yleensä toimenpide on kannattava, mikäli takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin uusittavan tai korjattavan kohteen käyttöikä on korjaamisen tai uusimisen jälkeen. [7.]

Takaisinmaksuajan määrittämisellä saadaan selville hankkeen taloudellista kannattavuutta, mutta varsinaiseen kannattavuuteen vaikuttavat myös monet muut tekijät [7]. Merkittävää on se mitä tekijöitä halutaan painottaa hankintapäätöksen kannalta. Mikäli takaisinmaksuaikaa halutaan tarkastella laajemmin, voidaan takaisinmaksuajan laskemisessa huomioida siihen vaikuttavia erilaisia tekijöitä. Tätä kutsutaan herkkyystarkasteluksi. Vaikuttavia tekijöitä ovat mm. energian hinnan kehitys, inflaatio sekä lainojen korot. Yleensä lainojenkorkoja ei takaisinmaksumenetelmässä huomioida, vaan ne tarkastellaan erikseen. Lisäksi takaisinmaksuajan laskenta ei huomioi mahdollisia takaisinmaksuajan jälkeen kertyviä säästöjä. Mikäli takaisinmaksuajan jälkeen tekniikalla on elinkaarta jäljellä reilusti on oleellista huomioida takaisinmaksuajan jälkeiset kertyvät säästöt. Tämä korostuu mitä pidempi elinkaari on. Lyhyt takaisinmaksuaika tarkoittaa parempaa kannattavuutta.

3.6.2 Nykyarvomenetelmä

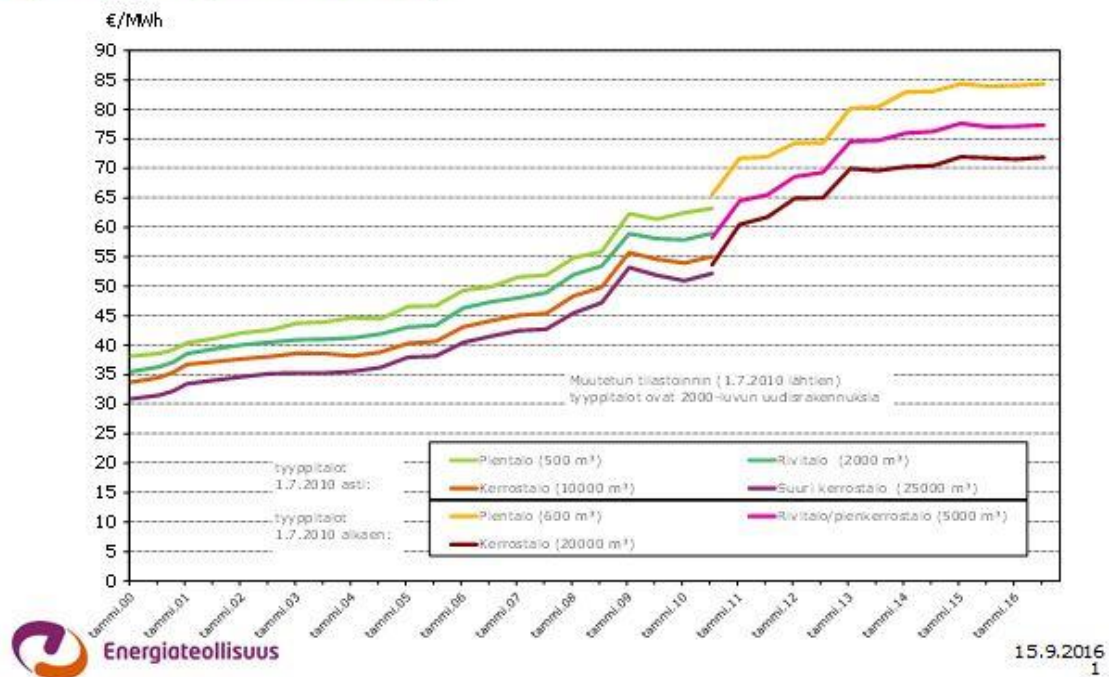
Nykyarvomenetelmällä huomioidaan rahan arvon aleneminen. Tulevaisuudessa hankinnan rahallinen arvo on vähempiarvoinen mitä nykyhetkessä saatava rahallinen arvo. Menetelmällä tehdään eriaikaiset kustannukset sekä tuotot vertailukelpoisiksi. Menetelmässä käytetään korkoa joka selvittää kuinka paljon arvokkaampi rahamäärä on nykyhetkessä kuin tietyn ajan kuluttua tulevaisuudessa. [7.]

3.6.3 Kannattavuuteen vaikuttavat asiat

Kannattavuuslaskelmissa vaikeinta on ennustaa energianhinnan kehitystä sekä mahdollista korkojen kehitystä. Etenkin energian hinnan nousemiseen tulevaisuudessa on mahdotonta arvioida tarkasti, koska tähän vaikuttavat primäärienergian

polttoaineiden saatavuus, politiikka sekä energiayhtiöiden voitontavoittelu. Aikaisempien vuosien energianhinnoilla sekä kehityksellä voidaan hakea suuntaviivaa sekä tehdä herkkyystarkasteluja erilaisilla hinnankehityksillä. Herkkyystarkasteluilla voidaan minimoida riskit kannattavuusarvioissa. Kuvassa 7 on esitetty kaukolämmön hinnan kehitys vuosien 2000-2016 välillä Suomessa. Lämmitysenergialla on suurin osuus asuinrakennusten energiankulutuksesta ja ylläpitokustannuksista.

Kaukolämmön hinta, teho+energiamaksu €/MWh (sis. verot)



KUVA 7. Kaukolämpöenergian hinnan kehitys Suomessa [24].

Uudet järjestelmät nostavat kohteen arvoa niin myydessä kuin vuokratessakin. Ihmisten arvot ja mielikuvat asumisviihtyvyydestä, järjestelmistä sekä energian säästämisestä vaikuttavat kannattavuuteen. Esim. energialuokituksen paraneminen sekä energiatehokkuus vaikuttavat ihmisillä olevien mielikuvien kautta rakennuksen haluttavuuteen nostavasti.

Saneerausrakentamisessa kannattavuuteen vaikuttaa useamman taloteknisen järjestelmän saneeraamisen ennakointi ja ajoittaminen samanaikaisesti samalle aikajaksolle. Samaan aikaan rakenteiden auki ollessa on kannattavaa tarkastella tehdäänkö yksittäisen osa-alueen saneeraus vai samalla useamman osa-alueen, esim.

IV-saneerauksen yhteydessä vesijärjestelmien tai lämmitysjärjestelmän saneeraus. Tätä kutsutaan vaikutussuhteiden huomioimiseksi.

Yleisesti investointilaskelmissa tarkastellaan kannattavuuksia järjestelmien teknisten käyttöikien mittaisissa aikajaksoissa.

Energiansäästötoimenpiteille laskettujen kustannussäästöjen pohjana ovat ostoenergian hinnat. Katselmushetkellä lämmitysenergian, sähkön ja veden hinnat (tariffit) ovat seuraavanlaiset:

- Lämpö

Kaukolämmön hintana on Etelä-Savon Energia Oy:n 2016 vuoden kaukolämpöenergian hinta seuraavina komponentteina:

Perusmaksu: 712,07 e/v ALV 0 % tai 882,97 e/v sis. ALV 24 %.

Energiamaksu: 48,69 e/MWh ALV 0 % tai 60,38 e/MWh sis. ALV 24 %.

- Sähkö

Sähkön hintana on Etelä-Savon Energia Oy:n nykyinen kiinteistösähkön hinta v. 2016:

Perusmaksu: 2,42 e/kk + siirtomaksu 6,04 e/kk ALV 0 % tai 3,00 e/kk + siirtomaksu 7,49 e/kk sis. ALV 24 %. Kokonaishinta 10,49 e/kk sis. ALV 24 %.

Energiamaksu: 0,0512 e/kWh + siirtomaksu 0,0230 e/kWh + energiavero 0,0225 e/kWh ALV 0 % tai 0,0635 e/kWh + siirtomaksu 0,0285 e/kWh + energiavero 0,0279 e/kWh sis. ALV 24 %. Kokonaishinta 0,1199 e/kWh sis. ALV 24 %.

- Vesi

Mikkelin vesilaitoksen nykyinen veden ja jäteveden hinta, jonka hintakomponentit ovat v. 2016 seuraavat:

Vesi: $1,64 \text{ e/m}^3 * 1,24 \% = 2,03 \text{ e/m}^3$.

Jätevesi: $2,35 \text{ e/m}^3 * 1,24 \% = 2,91 \text{ e/m}^3$.

Perusmaksu: $5,7 \text{ e/1 kk} * 1,24 \% = 7,07 \text{ e/1 kk}$.

Kaikki hinnat sisältävät ALV 24 %.

3.7 Energiankulutuksen laskemiseen soveltuvien LVI-järjestelmien teoriaa ja toimintaperiaatteita

Seuraavassa kuvataan järjestelmien toimintaperiaatteita järjestelmien toiminnan havainnollistamiseksi.

3.7.1 LTO ilmanvaihtojärjestelmässä

Rakennuksessa poistoilma on lämmintä sen lämmitysjärjestelmällä lämmityksen sekä huoneistoissa olevien lämpökuormien lämmittämänä. Lämmennyt sisäilma kulkeutuu ilman LTO-järjestelmää (lämmöntalteenottojärjestelmää) suoraan rakennuksesta ulos, vieden mukanaan lämpöenergiaa. Poistoilmasta on kannattavaa ottaa lämpöä talteen tuloilman lämmitykseen LTO-järjestelmällä. Muuten huomattava osa poistoilman lämpöenergiasta menee hukkaan, kuten kappaleen ”4.1.4 Ilmanvaihdon lämpöenergiankulutus kohdekiinteistön ilmanvaihdon lämpöenergiankulutuksesta havaitaan (kts. kappale ”4.1.4 Ilmanvaihdon lämpöenergiankulutus”). Kohdekiinteistön painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään ei voida asentaa LTO-järjestelmää sen aiheuttaman painehäviön takia. Painovoimainen ilmanvaihto liikuttaa ilmaa lämpötilojen sekä paine-erojen aiheuttama, eikä ilman liikevoima ei riitä järkevästi liikuttamaan ilmaa markkinoilla olevien LTO-laitteistojen läpi. Mikäli rakennuksen ilmanvaihtoon halutaan LTO-järjestelmä, on rakennettava koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Merkittävän energiansäästöpotentiaalın takia on hyvä vertailla LTO-laitteistojen vaikutusta energian säästämisen. Lisäksi mikäli rakennuksen IV-järjestelmä uusitaan koneelliseksi, on siihen määräysten mukaan käytännössä pakko asentaa ilmanvaihtokoneeseen LTO-järjestelmä [12, s. 15]. IV-koneeseen asennettava lämmöntalteenottolaitteisto on laitteisto, jonka avulla poistoilmasta siirtyy lämpöä tuloilmaan tai muuhun rakennuksen tiloja lämmittävään järjestelmään. Talteenotetulla lämpöenergialla saadaan alennettua ilmanvaihdon tuloilman lämmityskustannuksia. [2.]

LTO-laitteistojen vertailemiseksi on oleellista ymmärtää toimintaperiaatteet sekä aiheeseen liittyvät käsitteet. Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteella tarkoitetaan LTO:lla talteenotettua lämpömäärään suhdetta rakennuksen ilmanvaihdon tarvitsemaan lämpömäärään vuodessa, eli kuinka paljon ilmanvaihdon tarvitsemasta lämmitysenergiasta pystytään vuodessa LTO-laitteella kattamaan. Uudisrakennuksille

RakMk on määrittänyt minimivaatimukset sekä oletusarvot erilaisille lämmönsiirrintyypeille mikäli LTO-valmistajan mittaamia tietoja ei ole käytettävissä. Tuloilman lämpötilasuhteella tarkoitetaan tuloilman lämpenemisen suhdetta poistoilman ja ulkoilman lämpötilaeroon. Se kuvaa lämmönsiirtymistä poistoilmasta tuloilmaan ottaen huomioon ulkoilman ja poistoilman lämpötilat. Lämpötilasuhteeseen vaikuttavat tulo- sekä poistoilmavirtojen suhteet. [2.]

Poistoilman lämpötilasuhteella tarkoitetaan poistoilman jäähtymisen suhdetta ulkoilman ja poistoilman väliseen lämpötilaeroon, eli se ilmoittaa suhteen kuinka paljon poistoilma jäähtyy luovuttaessaan tuloilmaan lämpöä.

LTO-järjestelmässä on IV-koneeseen asennettava lämmönsiirrin. Lämmönsiirtimessä poistoilmavirrasta siirtyy lämpöenergiaa tuloilmavirtaa lämmittämään. Lämmönsiirrintyyppi vaikuttaa energian siirtymiseen, joten valittaessa LTO-järjestelmää rakennukseen on tällä suuri merkitys. Tehokkaammin lämpöä siirtävällä siirtimellä saadaan suurempi energiansäästö. Vain energiasäästöpotentiaalia tarkasteltaessa regeneratiiviset pyörivän kiekon siirtimet ovat eniten lämpöä talteen ottavia, seuraavaksi vastavirtalevysiirtimet ja kolmanneksi ristivirtalevysiirtimet. Tyypillisiä lämpötilasuhteita LTO-lämmönsiirtimille ovat:

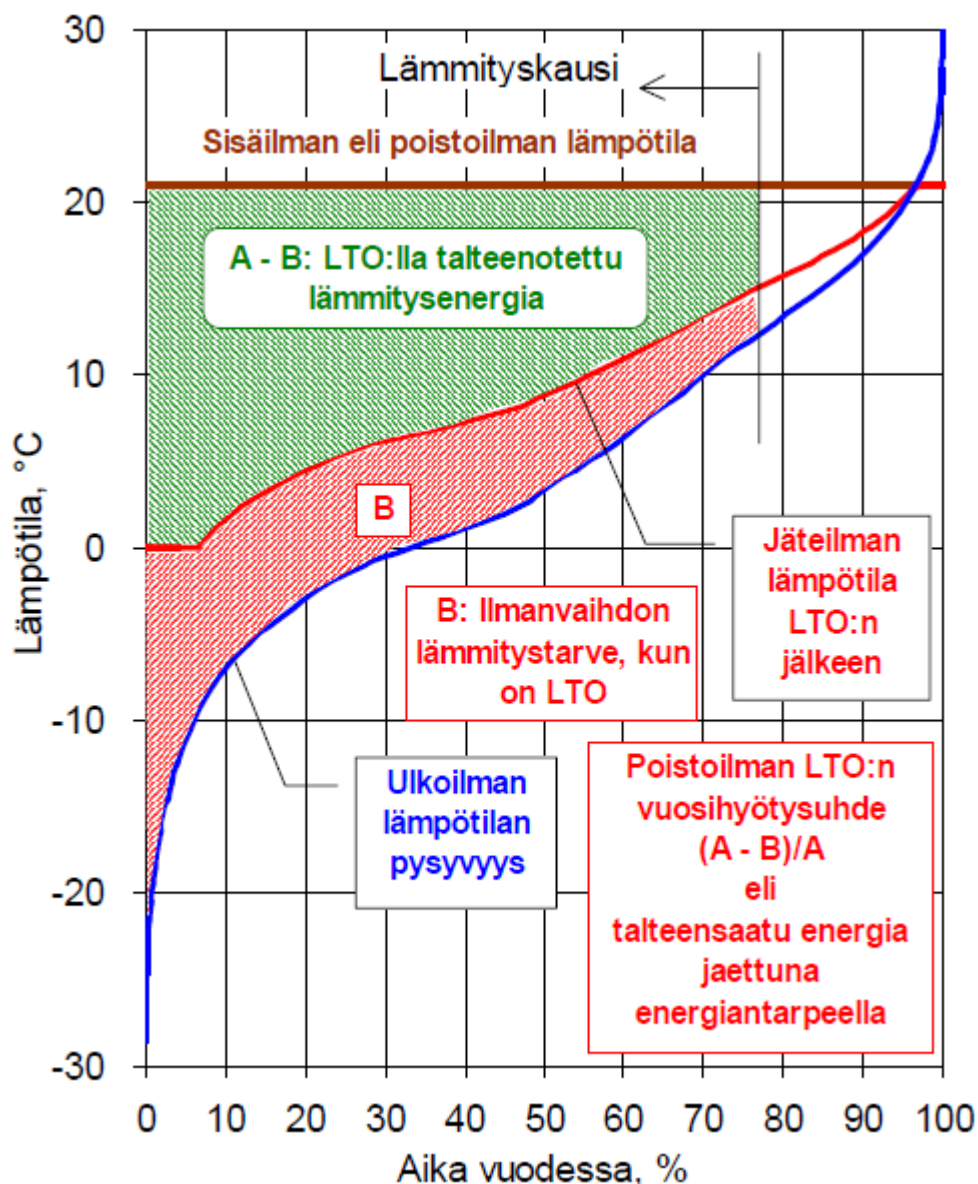
- 60 - 80 % regeneratiivisille pyörivällä kiekolla varustetut lämmönsiirtimille
- 60 - 80 % vastavirtalevylämmönsiirtimille
- 50-70 % ristivirtalevylämmönsiirtimille
- 40-60 % virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtäville siirtimille. [2.]

Mikäli valmistajalla ei ole varmennettua laitekohtaista tietoa, lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään RakMk D5 mukaisia lämpötilasuhteita:

- 65 % (0,65) regeneratiivisille pyörivällä kiekolla varustetut lämmönsiirtimille
- 60 % (0,6) vastavirtalevylämmönsiirtimille
- 50 % (0,5) ristivirtalevylämmönsiirtimille
- 40 % (0,4) virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtäville siirtimille [2, s. 22.]

Energialaskennassa käytetään ilmanvaihdon kokonaisvuosihyötysuhdetta. Vuosihyötysuhde voidaan määrittää myös LTO-valmistajan ilmoittaman varmennetun vuosihyötysuhteen perusteella tai laskemalla lämpötilasuhteesta IV-koneen toiminta lämpötilojen avulla. [12, s.16.] Määräysten mukaan IV-poistoilmasta on otettava vähintään 45 % talteen lämpöenergiaa koko ilmanvaihdon vuodessa tarvitsemasta

energiämäärästä. Eli LTO-vuosihiötysuhdevaatimuksen täyttämiseen pääsee yksinkertaisimmin 45 % vuosihiötysuhteen omaavalla LTO-järjestelmällä. Toisena vaihtoehtona on kompensoida 45 % LTO-vaatimus parantamalla vaipan lämmöneristystä, ilmanpitävyyttä tai vähentämällä ilmanvaihdon tarvitseman lämmitysenergian määrää, esim. muilla ilmaa lämmittävillä lämmitysjärjestelmillä [12, s.15.] Hyvään energiatalouteen voidaan päästä monilla eri keinoilla. Näitä keinojen vaikutuksia vertaillaan tässä työssä. Kuvassa 8 on havainnollistettu LTO-järjestelmän vuosihiötysuhdetta.



KUVA 8. LTO-järjestelmän vuosihiötysuhteen periaate [2].

3.7.2 IV-järjestelmien valinnassa huomioitavia asioita

Toimiva ilmanvaihto vaikuttaa asumisviihtyvyyteen ja työnteon tehokkuuden nousemiseen [8]. Energiatehokkuuden kustannuksella sisäilmaston ilman laatua ei saa heikentää. Ilmamäärät on uutta ilmanvaihtojärjestelmää suunniteltaessa oltava RakMk:n D2 mukaiset. IV-järjestelmän käyttöaikoina koko koneellista ilmanvaihtoa ei ole hyväksyttävää kytkeä kokonaan pois energiansäästämisen takia, vaan ilmanvaihdon puhaltimen on hyvä tuottaa käyttöaikojen ulkopuolellakin 60 % suunnitellusta mitoitusilmavirtaamasta asuintaloissa [18]. Mikäli ilmavirtoja pudotetaan tai ilmanvaihdosta tehdään liian alipaineinen, on riskinä ilman mukana olevan kosteuden tiivistyminen kondensoitumisella kylmiin kohtiin ulkoseinärakenteissa. Tällöin lämmin kostea ilma liikkuu ulkosienien kylmiin kohtiin, esim. lämmöneristyksen rajapintoihin ja liitoksiin. Lämpimällä ilmalla on kyky sitoa enemmän kosteuskuormaa mitä kylmällä ilmalla. Rakenteiden kylmissä kohdissa ilman lämpötila laskee alle kastepisteen, jolloin ilman kosteus tiivistyy rakenteisiin. Riskikohtia ovat erityisesti seinärakenteen lämmöneristeen ja höyrynsulun sekä kylmän seinärakenteen väliset rajapinnat. Tämä aiheuttaa kosteusvaurioriskin. Kohdekiinteistössä lämmöneriste on kosteutta huonosti kestävä sahanpuru, jonka kosteudessa olevat mikrobit voivat pilata. Koneellista ilmanvaihtoa suunniteltaessa on varottava liikaa alipaineisuutta vuotoilmaa runsaasti seinärakenteiden läpi päästävissä kohteissa. Mikäli olemassa olevan rakennuksen vaipalle tehdään muutoksia vaipan tiiviyyteen vähentämällä ilmanvuotoa rakenteiden läpi, on varmistettava ilmanvaihdon riittävyys muutoksen jälkeen. IV-järjestelmän ilmamäärien on oltava riittäviä kosteuskuormien, hiilidioksidikuormien ja ilmaan päätyvien epäpuhtauksien takia.

Opinnäytetyössä kyseessä olevassa kiinteistössä on painovoimainen ilmanvaihto. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilman virtausnopeudet vaihtelevat lämpötilaerojen aiheuttamien tiheyserojen vaikutuksesta. Talvella sisälämpötilan ja ulkolämpötilan ero on kesällä olevaa lämpötilaeroa suurempi, jolloin ilmaa vaihtuu enemmän. [8.] Talvella on riski ilman esilämmityksen puuttuessa vedontunteesta ja kesällä ilmanvaihtuminen tuntuu riittämättömältä. Tulevaisuudessa keskeinen asia on ilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi ilmanvaihdoksi. Ilmanvaihdon parannusvaihtoehtojen vaikutuksesta energiankulutukseen tehtiin osiossa ”4.3.4 Ilmanvaihto” vertaileva selvitys. Näin selvitettiin erilaisten IV-järjestelmien energiategokkuutta.

3.8 Energiansäästömahdollisuuksia vaikuttamalla asuinrakennuksen energiankulutukseen rakennusvaipan rakenteilla ja LVI-järjestelmillä

Seuraavaksi tarkastellaan energiatehokkuuteen vaikuttavia rakenneteknisiä ja taloteknisiä parannusvaihtoehtoja sekä niiden hyviä ja huonoja puolia.

3.8.1 Vaipan lämpöhäviöiden vähentäminen lämpöeristeen lisäämisellä rakenteisiin

Vaipan lämpöhäviöiden vähentämiseen yleinen menetelmä on lisäeristäminen. Sillä pyritään vähentämään rakennuksen johtumislämpöhäviöitä vaipan osaan lämpöeristettä lisäämällä. Lisäeristäminen tulee kyseeseen kohteissa, joissa rakennusvaipassa on merkittävästi lämpöhäviötä, eli energiansäästöpotentiaalia. Lisäeristämisen on oleellista olla asennuskustannusten takia helposti toteutettavissa ja kosteusteknisesti soveltuva kohteeseen.

Lisäeristäminen voidaan toteuttaa ulkoseiniin ja yläpohjaan. Tuulettuviksi rakennetut yläpohjat, joissa on työskentelytilavuutta sekä ilmatilavuutta eristeen asentamiseen ovat lisäeristykseen helposti soveltuvia. Olemassa olevaan rakennukseen maanvaraisen alapohjan lisäeristäminen on yleensä kannattamatonta, vaikean toteutettavuuden takia. Lämpöeristyksen asentamisessa seinään on huomioitava seinän hengittävyys ja eristeen toimiminen vanhan seinärakenteen kanssa. Yleensä seinärakennetta lisäeristettäessä kosteusteknisesti toimivin eristeen asennuspaikka on ulkoseinä. Eristyspääöksessä on syytä huomioida ulkoseinän visuaalisen ilmeen muuttuminen seinärakenteen paksuuntuessa. Tällöin mm. räystäät lyhenevät sekä ikkuna-aukot syventyvät. Rakennusmääräysten mukaan räystäiden on oltava riittävän pitkät kattoveden sekä seinän suojaamisen takia. Lisäeristämisen jälkeen on lämmitysjärjestelmä tasapainotettava sekä säädettävä menoveden lämpötila vastaamaan vähentynyttä lämmitystehoa.

3.8.2 Vedenkulutuksen vähentäminen vakiopaineventtiilillä

Rakennuksen käyttövesiverkoston hyvän toiminnan kannalta on oleellista putkistoissa olevan paineen oleminen sopivalla tasolla. Tällöin hanoista saadaan riittävä sekä tasainen virtaama, eikä vettä kulu suurien virtaamien takia turhaan. Liian suurella

paineella verkostossa on olemassa riski esiintyä haitallisia paineiskuja, vesilaitteiston äänitaso kasvaa, virtaama ei ole tasainen ja on käyttötarkoitukseen liian suuri. Näin ollen korkean painetasen kohteissa vakio paineventtiilin puutos aiheuttaa ääniongelmia, paineiskuja, virtausnopeuden kasvaessa putkien kulumista sekä pahimmillaan vuosien päästä takautuvasti putkivuotoja. Kestävän rakentamisen, veden säästämisen, veden lämmitysenergiatarpeen vähentämisen sekä kosteusvaurioiden ehkäisyn kannalta ongelmia on tärkeä ennakoita. Tutkimuksessa vakio paineventtiilin tarve selvitettiin vesimittauksilla osiossa ”4.5.2 Käyttöveden virtaamatarkastelu mittauksin”.

Nykyrakentamismääräykset asettavat hyväksyttäväksi käytettävissä olevaksi maksipainerajaksi 500 kPa päävesimittarin jälkeen. Tätä suuremmalla paineella käyttövesiverkosto ei toimi optimaalisesti. Mikäli paine on 350-500 kPa välillä voidaan tarvittaessa käyttää paineenalennusventtiiliä. [20, s. 34.] Paineen alennusventtiilin tarpeen määrittävät hanoista saatavat virtaamat sekä verkoston äänenpainetasot. [5.] Mikäli hanoista saadaan RakMk:n D1 määrittämiä normivirtaamia huomattavasti suuremmat virtaamat on oleellista harkita paineenalennusventtiilin asentamisen tarvetta vesiverkostoon. Ylisuurten virtaamien leikkaaminen on keino vedenkulutuksen alentamiseen. Normivirtaamalla tarkoitetaan mitoitettua virtaamaa, joka vesikalusteesta tulee saada, eli virtaavan veden tilavuusmäärää aikayksikössä. Paineenalennusventtiilin avulla alennetaan verkoston vettä liikuttavaa käyttöpainetta (toisiopaine). Sillä säädetään paine sellaiseksi, että vesiverkoston vaikeimmasta kulutuspiisteestä saadaan normivirtaaman mukainen käyttövirtaama. Vaikeimmalla kulutuspiisteellä tarkoitetaan vesikalustetta jolle aiheutuu rakennuksen vesikalusteista suurin painehäviö kerroskorkeuden staattisen paine-eron, kalustepainehäviön sekä putkiston reitin painehäviön vaikutuksesta. [5.]

3.8.3 Lämmitysjärjestelmän tasapainottaminen, kuntotarkastus sekä menoveden lämpötilan säätö

Epätasapainossa olevassa vesikiertoisessa lämmitysverkostossa huonelämpötilat ovat kaukolämmön alajakokeskusta lähempänä korkeita ja kauempana matalampia. Rakennusta ei ole oikein lämmittää kylmimmän tai kuumimman asunnon mukaan, vaan lämpötila on oltava tasainen koko rakennuksessa. Lämmitysjärjestelmän perussäädöllä varmistetaan, ettei lämmitysenergiaa kulu hukkaan ja saavutetaan

viihtyisät sisäolot. Tasapainotus toteutetaan kuristamalla linjasäätö- sekä patteriventtiileillä lämmitysverkoston linjojen lämmitysenergiaa kuljettavat virtaukset tasapainoon. Lämmityksen säätökäyrän säätö on toimiva keino lämmitysverkostoon liian korkean lämmitysveden menemisen ehkäisyyn. Menoveden lämpötila on oleellista pitää hallittuna. [4, s. 87-88.] [23.] Energiankulutukseen vaikuttaa lämmitysjärjestelmän alajakokeskuksen toiminta. Esim. alajakokeskuksen ensiö- ja toisiopuolen moottoriventtiilien viallinen toiminta lisää energiankulutusta. Energiankulutus lisääntyy myös lämmönsiirtimen lämmönsiirtopintojen ollessa kuluneet tai likaisia. Likaisuudelle syyinä voi olla hapen pääsy lämmitysverkostoon. Mikäli lämmitysjärjestelmän alajakokeskus ei toimi oikein rakennuksen energiankulutus lisääntyy. Toimenpiteenä on kuntotarkastus lämmitysjärjestelmän alajakokeskukseen. Kuntotarkastuksen perusteella tehtävillä toimenpiteillä voidaan alentaa energiankulutusta. Tarkistuksessa tarkistetaan alajakokeskuksen kunto sekä toiminta ja tehdään tarvittaessa korjaustoimenpiteitä. Toimenpiteet ovat yksinkertaisia, edullisia ajallisesti nopeita toteuttaa asuinrakennukseen. [23.]

Teräksisille lämmönsiirtoputkistoille keskimääräinen käyttöikä on yli 50 vuotta [6]. Lämmönsiirtimille ja tosiopumpulle keskimääräinen käyttöikä on pitkä 20-25 vuotta. Moottoriventtiileiden moottoreille käyttöikä on rajallisempi 8-12 vuotta [6]. Kohderakennuksen n. 30 v. vanha alajakokeskus alkaa olla teknisen käyttöikänsä loppupuolella. Erityisesti yli 12 v. vanhat moottoriventtiilit ovat ohjeelliselta käyttöiltään uusimisen tarpeessa. Moottoriventtiilien toimintaa pystytään tarkastelemaan tarkastamalla onko lämmitysjärjestelmään menevän menoveden lämpötila lämmönsiirtimen käyrän mukainen suhteessa ulkolämpötilaan. Lämmitysvesipumpun virtaama on oleellista tarkastaa vuosittain.

3.9 Lämminkiertovesi

Lämpimän käyttöveden virtausnopeuden riittävyys varmistetaan lämpimällä kiertovedellä, mikäli vesipisteelle on matkaa, jolloin virtausnopeus ei riitä kuljettamaan lämmintä vettä alle 10 s aikana vesipisteelle. Veden virtausnopeuden riittävyyden mitoitus perustuu seuraavan kaavaan 1:

$$v = q_v / a \quad (1)$$

jossa v on virtausnopeus (m/s) ja qv on tilavuusvirta (m^3/s) ja a on putken pinta-ala (m^2).

Kalusteelle määrätty normivirtaaman ja vesiputken putken pinta-ala määrittävät virtausnopeuden putkessa. Virtausnopeuden perusteella voidaan laskea montako metriä vesi etenee sekunnissa kertomalla putkessa oleva virtausnopeus ajalla. Eli, esim. 2 m/s maksimivirtaamalla ja 10 s ajassa vesi etenee 20 m putkessa ($2 \text{ m/s} * 10 \text{ s} = 20 \text{ metriä}$). Tällä periaatteella tietämällä virtausnopeuden voidaan määrittää lämpimän veden virtaama matka suhteessa aikaan sekä päätellä LVK:n pituuksia, liitoskohtia sekä tarpeellisuutta. Virtausnopeus jakojohdolla saa olla yleensä enintään 2 m/s putken kulumisen välttämiseksi.

4 TULOKSET

4.1 Kohderakennuksen laskennalliset energian tarpeet

Työssä tehtiin energialaskennan pohjaksi rakennuksesta Excel-laskentamalli. Laskentamallia sekä laskentapalvelut.fi energialaskentatyökalua käyttämällä saatiin seuraavissa kappaleissa olevat tulokset rakennuksen energiatehokkuudelle. Seuraavaksi esitetään energiatehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutukset energiankulutukseen. Tulokset ovat laskennallisia arvoja, jotka on saatu kohderakennuksen teknisten tietojen pohjalta. Tekniset tiedot löytyvät aikaisemmin kerrotusta kappaleesta ”3.2 Kohdekuvaus ja energialaskennan lähtötiedot”. Laskennalliset energiankulutukset kertovat lasketun energiankulutuksen, mutta ne eivät kerro kohteen todellista energiankulutusta. Energiatodistuksen laskennassa määräysasetusten mukaisesti osa lähtöarvoista on vakioitu rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaisesti samanlaisiksi kaikille saman käyttötarkoitukseluokan rakennuksille. Tässä tapauksessa käyttötarkoitukseluokkana on pientalo. Kohteen todelliseen energiankulutukseen vaikuttavat mm. taloteknisten järjestelmien käyttötottumukset ja käyttötottumusten vaihtelut. Tämä on hyvä huomioida tulosten tulkinnassa ja tulevaisuudessa kohteeseen LVI-järjestelmiä suunnitellessa. Todellinen energiankulutus on mahdollista selvittää vain kulutetun energian mittausten perusteella.

4.1.1 Rakenteiden läpi johtuva lämmitysenergia

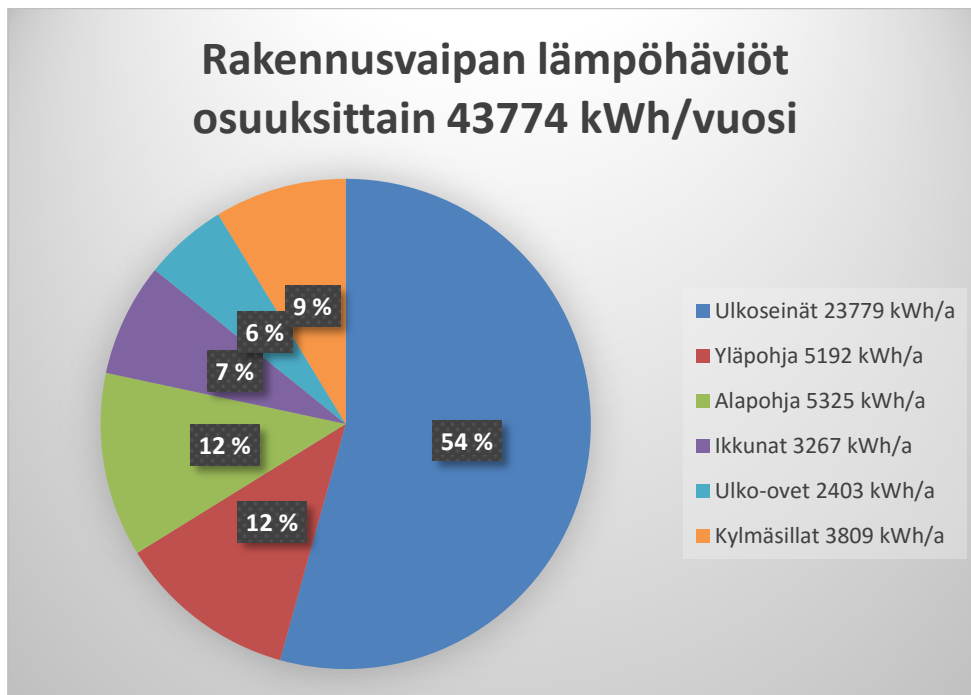
Rakenteiden läpi johtuvan lämmitysenergiatarpeen määrittämiseksi on tiedettävä: rakennusvaipan pinta-alat, rakenteiden tekniset tiedot ja paksuudet, rakennusosien lämmönläpäisykertoimet, rakenteen sisäpinnan- ja ulkopinnan pintavastukset. Rakenteiden lämpöhäviöiden laskennassa käytettiin apuna RakMK:n osaa C4 vuodelta 2003. Taulukossa 9 on esitetty lämpöenergian johtuminen rakennuksen vaipan läpi kuukausittain sekä koko vuoden rakenteiden lämpöhäviöt.

TAULUKKO 9. Rakennuksen lämpöenergian johtuminen rakennusosien läpi vuoden aikana.

	Tuntien lkm	Ulkoilma	Qjoht, ulkoseinä	Qjoht, yläpohja	Qjoht, alapohja	Qjoht, ikkunat	Qjoht, ovet	Qjoht, kylmäsiilat	Johtumishäviöt s
	h	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Tam	744	-3,97	3281	716	453	451	332	526	5758
He	672	-4,5	3027	661	448	416	306	485	5342
Ma	744	-2,58	3099	677	539	426	313	496	5550
Hu	720	4,5	2098	458	564	288	212	336	3957
Tou	744	10,76	1346	294	583	185	136	216	2759
Ke	720	14,23	861	188	522	118	87	138	1914
He	744	17,3	486	106	453	67	49	78	1239
Elo	744	16,05	650	142	409	89	66	104	1461
Sy	720	10,53	1331	291	354	183	135	213	2507
Lo	744	6,2	1945	425	322	267	197	312	3467
Mar	720	0,5	2607	569	312	358	263	418	4527
Jou	744	-2,19	3047	665	366	419	308	488	5293
Koko v	8760	5,57	23779	5192	5325	3267	2403	3809	43774

Taulukossa 9 on jaettu rakenteiden läpi johtuva vuotuinen lämpöenergia rakennekohtaisiin osuuksiin. Taulukon 9 avulla voidaan tarkastella rakenteiden vaikutusta lämpöenergiähäviöihin.

Koko rakennusvaipan lämpöhäviöt on jaettu kuvassa 9 rakennusosakohtaisiin %-osuuksiin.



KUVA 9. Rakennusvaipan osien lämpöhäviöt prosentiosuuksina vaipan lämpöhäviöistä.

Rakenteista ulkoseiniä läpi häviää eniten lämpöenergiaa. Seinien läpi johtuu yli puolet rakenteiden lämpöhäviöistä. Toiseksi eniten energiaa läpi päästävät alapohja ja kolmanneksi eniten yläpohja. Nämä rakennusosat vaikuttavat merkittävimmin kohderakennuksen ostoenergiatarpeeseen. Vertaamalla energiahäviöitä rakennusosien pinta-alaan huomataan eniten energiaa kuluttavien rakennusosien muodostavan suurimman osan rakennusvaipan pinta-alasta.

4.1.2 Rakenteiden läpi johtuvan lämmitysenergia sisälämpötilaa muutettaessa

Rakennuksen lämpötilan vaikutusta rakenteiden läpi johtuvaan lämpöenergian määrään vertailtiin. Yleinen suunnittelulämpötila asuinhuoneistoille on 21 °C. Patteriverkoston säädöllä sekä sillä, mihin rakennuksen lämpötila säädetään, voidaan vaikuttaa sisälämpötiloihin. Rakennuksen sisälämpötilan lämpötilan muuttaminen vaikuttaa energiankulutukseen taulukon 10 mukaisesti seuraavasti.

TAULUKKO 10. Sisälämpötilan vaikutus lämpöenergiankulutukseen.

Rakennuksen sisälämpötila	Lämmitystarve, rakenteiden läpi johtuva energia	Lämmitysenergian tarpeen muutos vrt. 21 °C

	kWh/vuosi	kWh/vuosi
T _s = 21	43774	0
T _s = 20	40762	-3012
T _s = 22	46787	3013
T _s = 23	49800	6026
T _s = 24	52812	9038

Taulukosta nähdään mikä vaikutus asuintilojen ylälämpötilojen leikkaamisella on rakenteiden läpi johtuvaan energiankulutukseen. Vertailevana sisälämpötilana käytetään 21 °C. Asteen lämpötilan muutoksella on n. 3000 kWh vaikutus lämpöenergian kulutukseen rakennuksessa vuodessa.

4.1.3 Vuotoilman lämmitysenergia

Taulukossa 11 on esitetty vuotoilman lämmitysenergian tarve energialaskennassa käytetyllä mitoituslämpötilalla 21 °C sekä eri sisälämpötiloilla.

TAULUKKO 11. Taulukossa on esitetty vuotoilman lämmityshäviöt.

	Lämmitystarve, vuotoilman energiatarve	Lämmitysenergian erutus vrt. 21 °C tarpeen
	kWh/vuosi	kWh/vuosi
T _s = 21	13030	0
T _s = 20	12182	-848
T _s = 22	13878	848
T _s = 23	14725	1695
T _s = 24	15573	2543

Kohderakennuksessa vuotuinen vuotoilman häviö on 13030 kWh. Yhden asteen sisälämpötilatilan muutoksella on n. 848 kWh vaikutus vuotoilman lämmityshäviöihin. Vuotoilman kautta sisälämpötilan muuttamisella on suhteessa rakenteisiin ja ilmanvaihtoon nähden vähäinen vaikutus energiankulutukseen.

4.1.4 Ilmanvaihdon lämpöenergiankulutus

Ilmanvaihdon vuotuisen energiankulutuksen laskenta pohjautuu ilmanvaihdon ilmavirtoihin, ilmanvaihtojärjestelmän käyntiaikoihin sekä ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottoon (vuosihyötysuhde). Näiden lähtötietotekijöiden tiedot ovat esitetty aikaisemmin kappaleessa ”3.2 Kohdekuvaus ja energialaskennan lähtötiedot”. Kohderakennuksessa ei ole ilmanvaihtokonetta.

Taulukossa 12 on esitetty ilmanvaihdon tuloilman lämmityshäviöt eri sisälämpötiloilla.

TAULUKKO 12. Taulukossa on esitetty ilmanvaihdon lämmityshäviöt.

	Ilmanvaihdon ilman lämmityshäviöt	Lämmitysenergian tarpeen erotus vrt. 21 °C
	kWh/vuosi	kWh/vuosi
T _s = 21	24055	0
T _s = 20	22490	-1565
T _s = 22	25620	1565
T _s = 23	27185	3130
T _s = 24	28750	4695

Yhden asteen lämpötilamuutos ilmanvaihdon ilmassa vaikuttaa n. 1565 kWh vuotuisen energiankulutukseen. Ilmanvaihdon lämmittämisellä on suuri merkitys energiankulutukseen ilman LTO-järjestelmää. Ilmanvaihdossa asteen lämpötilan muutos vaikuttaa rakenteiden jälkeen toiseksi eniten lämpöenergiankulutukseen.

4.1.5 Sähkölaitteet ja valaistus sähköenergiankulutus

Sähkölaitteiden ja valaistuksen sähköenergiatarve on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Sähköenergiankulutus.

Sähköenergiankulutus		
	kWh/(m ² v)	kWh/vuosi
Lämmitysjärjestelmä	2,6	968
Lämpimän käyttöveden	2	744

valmistus		
Kuluttajalaitteet ja valaistus	22,8	8486
Yhteensä	27,4	10180

4.1.6 Lämpökuormat

Rakennukseen tulevat lämpökuormat on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14.

Lämpökuormat		
	kWh/(m ² vuosi)	kWh/vuosi
Aurinko	12,51	4656
Ihmiset	10,51	3913
Kuluttajalaitteet	15,77	5869
Valaistus	7,01	2608
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä	1,88	701
Yhteensä	47,68	17747

4.1.7 Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve

Taulukossa 15 on laskettu tilojen tarvitsema kokonaislämmitysenergia.

TAULUKKO 15. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve yhteensä.

	Tilojen lämmitysenergian häviöt/bruttokokonaistarve yhteensä				Nettoalaa kohden häviöt/bruttolämmitysenergian tarve			
	Johtuminen	Vuotoilma	Korvausilma	Yhteensä	Johtuminen	Vuotoilma	Korvausilma	Yhteensä
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Tam	5758	1798	3319	10876	15,47	4,83	8,92	29,22
He	5342	1658	3062	10062	14,35	4,46	8,23	27,03
Ma	5550	1698	3135	10382	14,91	4,56	8,42	27,89
Hu	3957	1150	2123	7229	10,63	3,09	5,70	19,42
Tou	2759	737	1361	4857	7,41	1,98	3,66	13,05
Ke	1914	472	871	3257	5,14	1,27	2,34	8,75
He	1239	266	492	1997	3,33	0,72	1,32	5,36
Elo	1461	356	658	2475	3,92	0,96	1,77	6,65
Sy	2507	730	1347	4583	6,73	1,96	3,62	12,31
Lo	3467	1066	1967	6500	9,31	2,86	5,29	17,46
Mar	4527	1429	2637	8593	12,16	3,84	7,08	23,09
Jou	5293	1670	3083	10046	14,22	4,49	8,28	26,99
Koko vuosi	43774	13030	24055	80859	117,60	35,00	64,62	217,22

4.1.8 Koko rakennuksen lämmitysenergiatarpeen vähentyminen sisälämpötilaa muutettaessa

Rakennuksen sisälämpötilan muuttamisen vaikutusta energiansäästöön vertaillaan taulukossa 16. Vertailussa käytettiin asumiseen soveltuvia sisälämpötiloja välillä 20-24 °C, joita vertailtiin 21 °C lämpötilaan.

TAULUKKO 16. Rakennuksen sisälämpötilan laskun vaikutus energiankulutukseen.

Rakennuksen sisälämpötilan muuttamisen kokonaisvaikutus energiankulutukseen		sis. rakenteiden johtumisenergian, vuotoilman ja korvausilman energiatarpeet yhdistettynä						
Ts= 21	80859	0						
Ts = 20	75434	-5425						
Ts = 22	86285	5426						
Ts = 23	91710	10851						
Ts = 24	97135	16276						
	kWh/a	kWh/a						

Sisälämpötilan muuttamisella havaitaan olevan suuri vaikutus lämpöenergiankulutukseen. Yhden asteen sisälämpötilan muutoksella pystytään vaikuttamaan n. 5425 kWh verran lämpöenergiankulutukseen vuodessa. Tämä on n. 5 % koko rakennuksen laskennallisesta ostoenergiatarpeesta (Energiatodistuksen ostoenergiankulutus 105947 kWh/a, liite 2.). Rakennuksen sisälämpötilan muuttaminen 21 °C lämpötilasta kahdella asteella 23 °C lämpötilaan lisää energiankulutusta n. 10 %. Johtopäätöksenä todettakoon käyttötottumuksilla olevan suuri merkitys energiankulutukseen. Termostaattisilla patteriventtiileiden säädöillä voidaan leikata yllämpötiloja pois. Patteriventtiilit on taloudellista säätää rajoittamaan huonelämpötiloja huomioiden asumisviihtyvyyden sekä energiankulutuksen vaikutukset optimaalisesti. Energiataloudellisesti ajatellen asuinhuoneistojen sisälämpötiloja kannattaa pitää mahdollisimman alhaalla siten, että asumisviihtyvyys säilyy asukkaiden mieleisenä.

4.1.9 Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarve

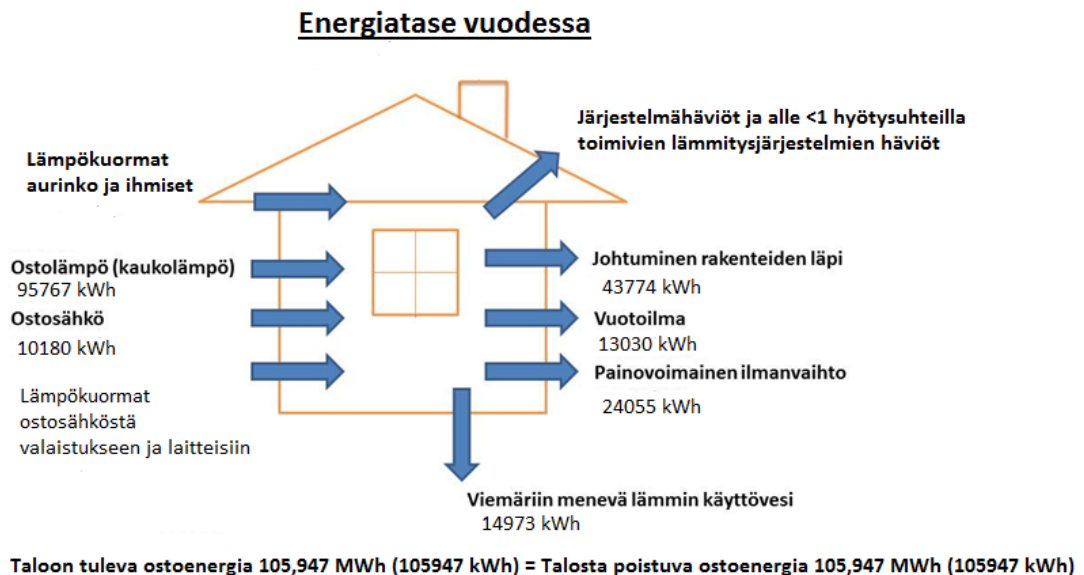
Energialaskennassa käyttöveden lämmitysenergiatarve on standardisoitu rakennustyyppikohtaisesti rakennuksen nettopinta-alan mukaan vakio energiantarpeelle. Lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva lämpöenergia on esitetty taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Rakennuksen vedenkulutus sekä käyttöveden lämmityksen kokonaisenergiatarve.

Vedenkulutus		
Pientalo	600	l/(m ² vuosi)
	223344	l/vuosi
	223	m ³ /vuosi
Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva lämmitysenergia		
Pientalo	35	kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysenergia	13028	kWh/a
LV-kierto	1402	kWh/a
Hyötysuhde	0,96	
LV-järjestelmä hyötysuhteella	13571	kWh/a
Kokonaisenergia LV + LV-kierto	14973	kWh/a

4.1.10 Energiatase rakennuksessa

Kuvissa 10-11 on esitetty rakennuksen laskennallinen energiataase ja lämpöenergiankulutuksen jakautuminen eri osa-alueisiin.



KUVA 10. Energiankulutuksista laskettu energiataase kohteessa.



KUVA 11. Lämmitysenergiakulutuksen jakautuminen kohderakennuksessa.

Kohderakennuksessa laskennallinen sähköenergiankulutus on 10180 kWh, joka on 9,6 % koko rakennuksen laskennallisesta 105947 kWh:n energiakulutuksesta.

Rakenteilla on suurin 43774 kWh:n energiantarve, toiseksi suurin energiantarve 24055 kWh on ilmanvaihdolla ja kolmanneksi suurin 14973 kWh käyttövedellä. Nämä osa-alueet painottuvat energiakulutuksessa. Niissä on rakennuksen merkittävin energiansäästöpotentiaali. Verrattaessa kohdetta kappaleen ”3.4 Asuinrakennuksen energiatase” kuvan uudempaan asuinrakennukseen huomataan energiakulutusten olevan samansuuntaisia, mutta vanhemmassa kohteessa rakenteiden läpi johtuvan energiakulutuksen osuus on suurempi. Keskeistä energiakulutuksen jakautumisessa on jokaisen osa-alueen huomattava merkitys energiakulutukseen. Ilmanvaihdon, käyttöveden, vuotoilman ja rakenteiden vuotuiset energiakulutukset jakautuvat vuotoilman 13030 kWh ja rakenteiden 43774 kWh kulutuksien välille.

4.1.11 Yhteenveto

Energiakulutuksen vähentämisen näkökulmasta kohteessa suositellaan vähentämään rakenteiden, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen energiakulutusta. Jokaisella osa-alueella on paljon säästettävää energiaa, joten energiansäästötoimenpiteillä on mahdollista säästää energiaa merkittävästi. Vertaillessa sisälämpötiloja välillä 20-24 °C vertailulämpötilaan 21 °C rakennuksen sisälämpötilojen laskemisella saadaan

vähennettyä energiahäviötä huomattavasti, jolloin energiankulutus laskee. Yhden asteen sisälämpötilan muutoksella on n. 5 % vaikutus koko rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen.

4.2 Energiatodistus, laskennallinen ostoenergiankulutus sekä E-luku

Rakennuskohteelle laadittiin energiatodistus. Energiatodistuslaskennan lopputuloksena selvitettiin laskennallinen ostoenergiankulutus, E-luku sekä energiatodistuksen luokka. Laskentapalvelut.fi-ohjelman energialaskentasovelluksen avulla määritetyt tulokset ovat liitteessä 2. Rakennuksen ostoenergiaksi nettopinta-alaa kohden ilman energiakertoimien painotuksia saatiin 284 kWh/m²vuosi. Kohteesta laskettiin myös ET-luku, jotta nähtäisiin energiankulutus ilman energiamuotokertoimia ja suhteessa koko rakennuksen bruttopinta alaan. ET-luvuksi saatiin sähköenergia 10180 (kWh/a) + lämpöenergia 95767 (kWh/a) / 415,9 (brm²) = 255 kWh/brm²vuosi. Laskennalliseksi kokonaisenergiakulutukseksi (E-luku) saatiin 227 kWh/m²vuosi. Energialuokaksi tuli E-luokka.

Kohteen tilanteeksi todettiin rakennuksen kuuluttavan runsaasti energiaa. Erityisesti talossa kuluu lämmitysenergiaa. Sähkön osuus kulutuksesta on vähäistä. Energialuokka E on kolmanneksi huonoin sekä kolmanneksi eniten energiaa kuluttava luokitus. Kohteessa on paljon energiansäästöpotentiaalia. Mikäli huomioidaan talon rakennusvuosi 1951 sekä LVI-tekniikan saneerausvuosi 1985 voidaan talon energialuokkaa ja energiankulutusta kuitenkin pitää hyvänä verrattuna ikäisiinsä taloihin [3, s. 77, s. 79, s. 83].

RakMk:n osan D3 määräyksen mukaan kohdetta vastaavan uudisrakennuksen E-luku saa olla enintään $173 - 0,07 \cdot 372,2 \text{ (m}^2\text{)} = 146,9 \text{ (kWh/ m}^2\text{a)}$ ja energiankulutus 54693 kWh/vuosi. Kohteelle laskettu E-luku (227 kWh/ m²a) poikkeaa paljon (81 kWh/ m²a) nykyrakennusten vaatimustason arvosta. Rakennus on 1950-luvulta, jolloin rakenteiden U-arvot eivät olleet lähellekään niin lämpöenergiaa vähän läpäiseviä kuin nykyään. Myös vuotoilma ja painovoimainen ilmanvaihto kuluttavat rakennuksessa runsaasti energiaa. Rakennusmääräykset ovat kiristyneet huomasti 1950-luvulta nykypäivään. Myös rakennusmateriaalit sekä erilaiset talotekniset järjestelmät ovat menneet paljon energiatehokkaampaan suuntaan, joka selittää nykyvaatimustasoa. Kaukolämpö vaikuttaa kohteen E-lukuun positiivisesti, koska energiakerroin 0,7 on

alhainen kaukolämmölle. Tästä johtuen ostoenergia on E-lukua suurempi, koska siinä ei huomioida energiamuotoa. Tehdystä energiaselvityksestä voidaan todeta rakennuksen energiatehokkuuden jäävän melko vaatimattomalle tasolle nykypäivän rakennusmääräyksien vaatimukseen verrattuna. Kohteessa siis näyttäisi olevan energiankulutuksen osalta melko runsaasti parannusmahdollisuuksia.

4.3 Rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen vaikuttavien tekijöiden vaikutukset, merkittävimmät tekijät ja niiden vertailut

E-lukuvaatimukset kannustavat panostamaan vanhoihin rakennuksiin ja niiden energiaa runsaasti kuluttaviin kohtiin. Vaatimukset ovat uudisrakennuksia kevyemmät ja rakennusosa- tai järjestelmäkohtaisia jättäen saneerauksiin toteutusvaraa.

Energiasaneerausta tehdessä vanhoissa rakennuksissa voidaan uusia yksittäisiä järjestelmiä tai parantaa kokonaisvaltaisesti rakennuksen energiatodistusta. Seuraavissa kappaleissa tuodaan esille kohderakennuksen osakohtaiset minimivaatimukset muutostoimenpiteille sekä paljonko kiinteistö kuluttaa energiaa näillä vaihtoehdoilla. [4.] [14.] Lisäksi vertaillaan kohderakennuksen energiatehokkuutta eri osa-alueiden erilaisilla muutostoimenpidevariaatioilla. Vertaillaan myös energiatodistuksen parantumista, mikäli muutostoimenpiteet toteutettaisiin uudisrakentamisen määräyksillä. Lisäksi vertaillaan kuinka paljon energialuokitus nousee, kun energiatehokkuuteen vaikuttavia ominaisuuksia rakennuksessa parannetaan.

Energiatehokkuuden kannalta on tehokasta parantaa niitä järjestelmiä, joilla katsotaan olevan eniten vaikutusta energiankulutukseen. Taloudellista kannattavuutta on arvioitu erikseen työn kannattavuuslaskentaosiossa. LVI-tekniikka uusittaessa on järkevää analysoida energiaa säästävempiä ratkaisuja, jotka parantavat E-lukua ja energiatodistusta. Energiatodistuksen parantuminen osoittaa kiinteistön energiatehokkaammaksi, jolloin energiatehokkuuden parannustoimenpiteet nostavat rakennuksen arvoa. Energiasaneerausten suunnitteluvaiheessa on valittava energiatehokkaat määräykset täyttävät LVI-järjestelmät, joten ammattitaitoisen sekä huolellisen suunnittelun rooli korostuu.

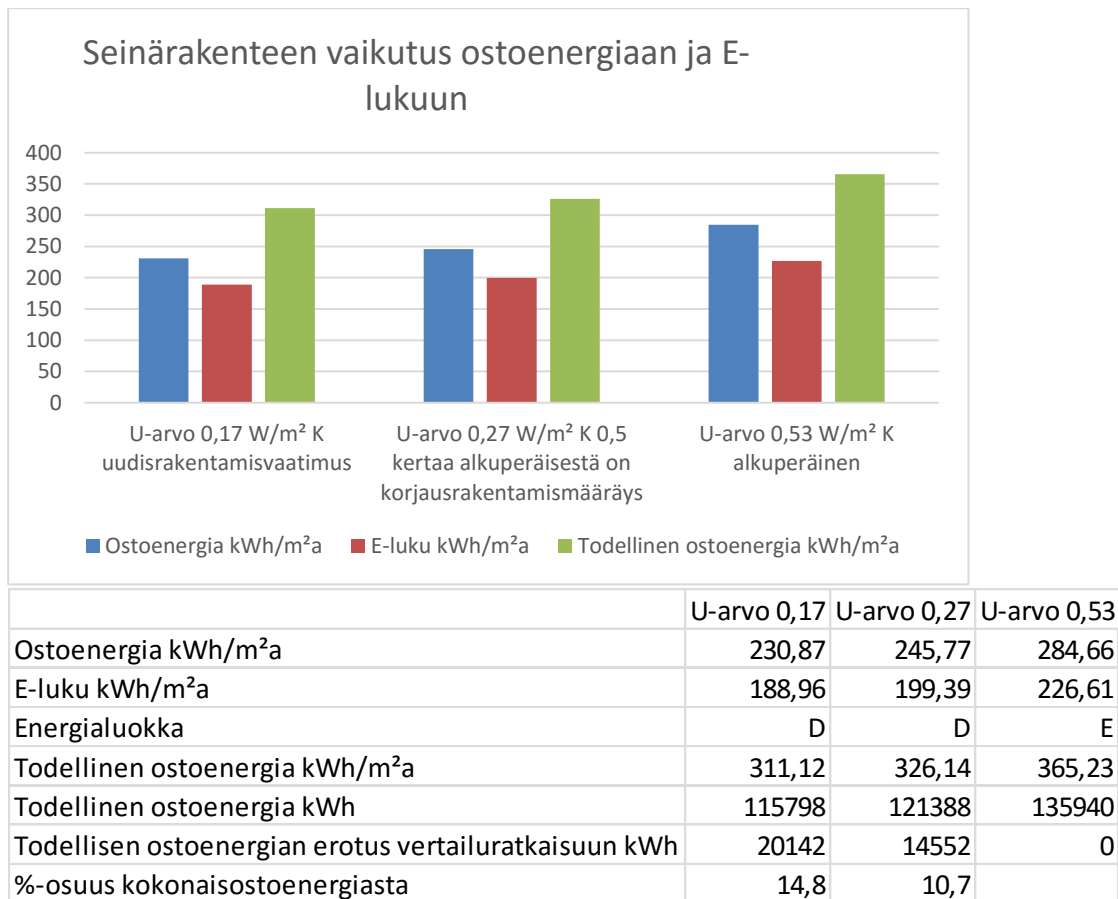
E-lukulaskuista ja aikaisemmin esitetystä kohderakennuksen energiataseesta havaitaan, millä teknisillä järjestelmillä tai rakennusosilla on suurimmat vaikutukset energiankulutukseen. Seuraavissa kappaleissa vertaillaan taloteknisten järjestelmien sekä rakenteiden vaikutusta E-lukuun, kun ominaisuuksia muutetaan. Näin huomataan millä tekijöillä on merkittävimmät vaikutukset E-lukuun sekä vuotuisen laskettuun ostoenergiankulutukseen. Seuraavaksi esitetään energiatehokkuusmallinnukset kohteesta erilaisilla taloteknisillä järjestelmillä.

E-luvun ollessa välillä 116-147 kWh/m²a on energialuokka C ja >147-226 kWh/m²a on energialuokka D ja välillä >226-357 kWh/m²a energialuokka on E.

Kuvien kuvaajissa maininta ”ostoenergia” ilmaisee laskennallisen energiatodistuksen ostoenergiankulutuksen säävyöhykkeellä 1. Maininta ”todellinen ostoenergiankulutus” kertoo laskennallisen energiankulutuksen rakennuksen todellisessa sijainnissa säävyöhykkeellä 2, ilman E-lukukertoimia.

4.3.1 Rakenteet

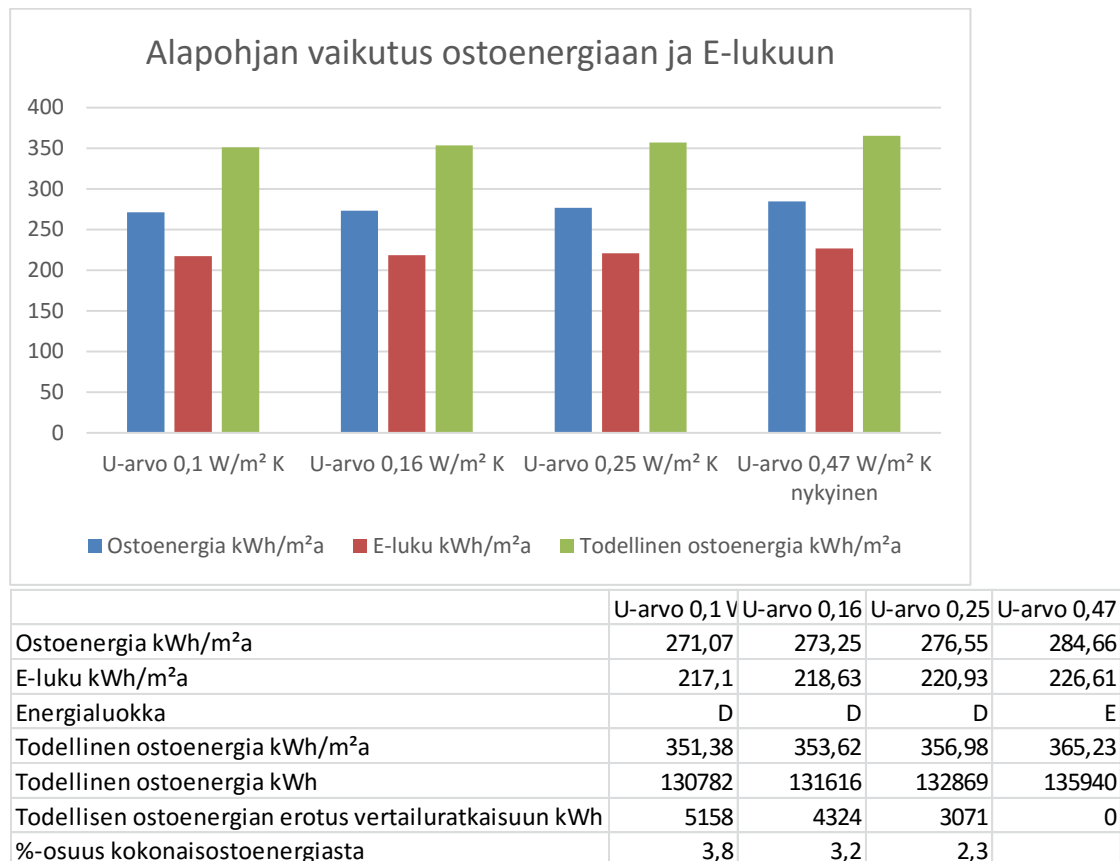
Rakennuksessa ulkoseinärakenteiden pinta-ala on n. 333,6 m², joka on 53,9 % koko rakennusvaipan pinta-alasta. Kuvassa 12 on esitetty lämmönläpäisykertoimiltaan (U-arvoiltaan) kolmen erilaisen seinäratkaisun vaikutus ostoenergiaan ja E-lukuun. Vertaillaan kohderakennuksen alkuperäistä 0,53 W/m²K seinäratkaisua kahteen lämmöneristävyydeltään parannettuun ratkaisuun.



KUVA 12. Vaipan seinärakenteen vaikutus energiankulutukseen.

Seinän lisäeristäminen U-arvosta 0,53 W/m²K U-arvoon 0,17 W/m²K tai 0,27 W/m²K säästää huomattavasti lämpöenergiaa. Seinän U-arvolla 0,27 rakennuksen energiankulutus laskee 14552 kWh/a, eli 10,7 %. U-arvolla 0,17 W/m²K toteutetulla seinärakenteella rakennuksen energiankulutus laskisi 20142 kWh/a, eli 14,8 %. U-arvolla 0,53 energialuokka on E. Lämpöä eristävimmillä U-arvoilla 0,27 W/m²K ja 0,17 W/m²K energialuokka on D, joka tarkoittaa energialuokan parantumista. Kohderakennuksessa ulkoseinärakenteella havaitaan olevan suurin vaikutus energiatehokkuuteen. Parantamalla seinän lämmöneristävyyttä E-luku sekä ostoenergiankulutukset laskevat huomattavasti. Vanhassa rakennuksessa, jossa seinärakenteet ovat runsaasti lämpöä läpäiseviä, seinän U-arvon parantamisen merkitys energian säästämässä korostuu. Uudemmissa hyvin lämpöä eristävissä rakennuksissa, joissa rakenteiden lämpöenergiankulutuksen osuus rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta on vähäisempi, laskee samalla rakenteiden lisäeristämisen kautta saatava energiansäästöpotentiali. Rakenneosana ulkoseinä on suurin osa rakennusta, joten energiansäästötoimenpiteenä seinän U-arvon laskeminen on suuri toimenpide.

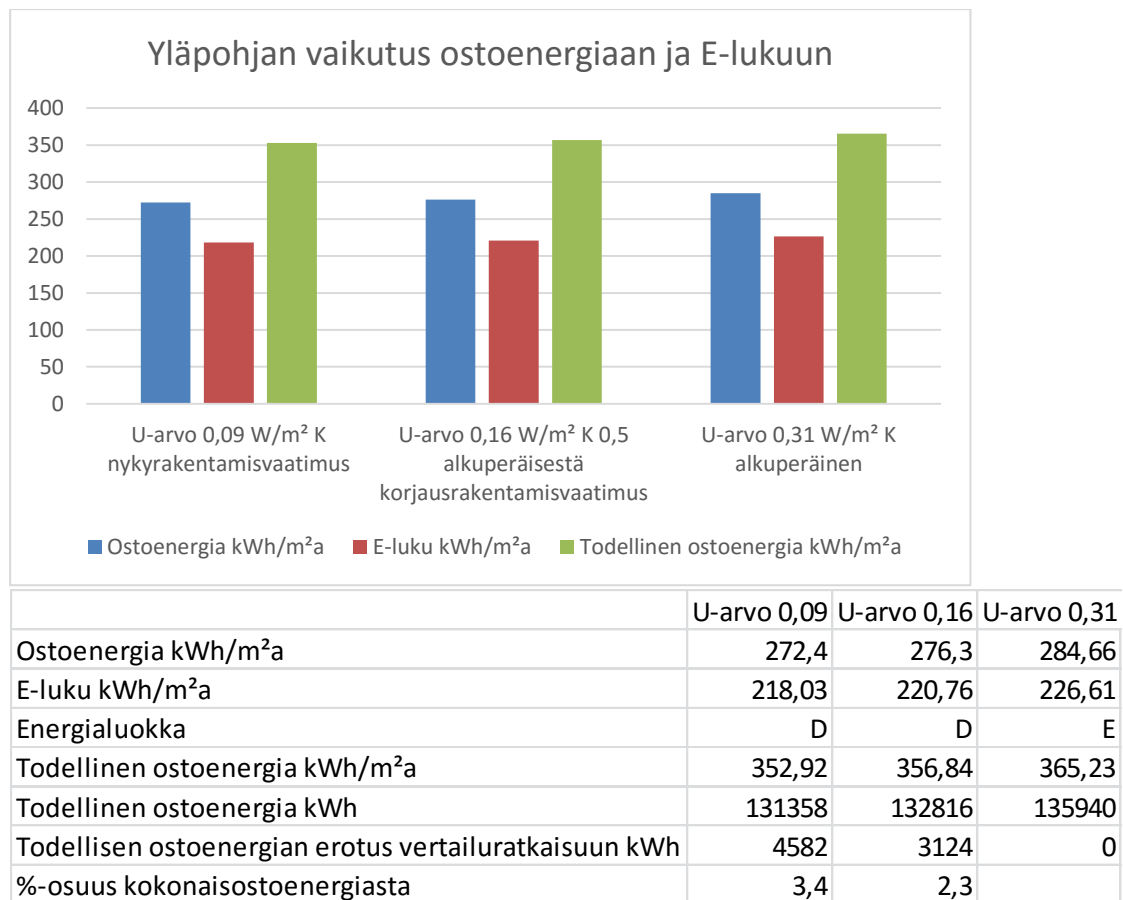
Maata vasten olevaa alapohjaa asuinrakennuksessa on n. 124,1 m². Alapohjan pinta-ala on 20,1 % koko rakennuksen vaipan pinta-alasta. Kuvassa 13 on esitetty alapohjan vaikutus ostoenergiaan ja E-lukuun. Alapohjaan muutostöitä tehdessä ei alapohjan lämmöneristävyttä saa heikentää, muita vaatimuksia alapohjalle ei korjausrakentamisessa ole [4] [14].



KUVA 13. Alapohjan vaikutus energiankulutukseen.

Alapohjarakenteella on vähäinen vaikutus ostoenergiaan ja E-lukuun. Mikäli U-arvoa parannetaan kohteen U-arvosta 0,47 W/m²K uudisrakentamisessa yleisesti käytettyyn 0,16 W/m²K U-arvoon on vuotuinen ostoenergian säästö 4324 kWh, joka on vain 3,2 % koko rakennuksen ostoenergiasta. Alapohjan osuus 20,1 % rakennuksen vaipan pinta-alasta on pieni verrattuna vaipan kokonaisalaan, mikä vähentää alapohjan vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen. Maan lämpötila sekä pintavastukset vähentävät lämmönsiirtymistä alapohjan läpi maahan. Alapohjaan ei suositella toimenpiteitä vähäisen energiankulutuksen takia, ottaen huomioon maanvastaisen alapohjarakenteen lisäeristämisen toteutettavuuden. Alapohjan lisäeristäminen maansiirtotöineen on laaja rakentamisurakka.

Yläpohjan lämmöneristävyyden vaikutusta vertailtiin rakennuksen nykyisellä U-arvolla, korjausrakentamisvaatimuksen puolelta nykyisestä U-arvosta arvolla ja uudisrakentamisen U-arvolla. Ulkoilmaa vasten olevaa yläpohjaa asuinrakennuksessa on n. 124,1 m². Yläpohjan pinta-ala on 20,1 % koko rakennuksen vaipan pinta-alasta. Kuvassa 14 on esitetty yläpohjarakenteen vaikutus rakennuksen ostoenergiaan ja E-lukuun. Vertailuvaihtoehtoina on käytetty kohderakennuksen U-arvoa sekä uudisrakentamisen sekä korjausrakentamisen vaatimuksien U-arvoja [4][14][12].

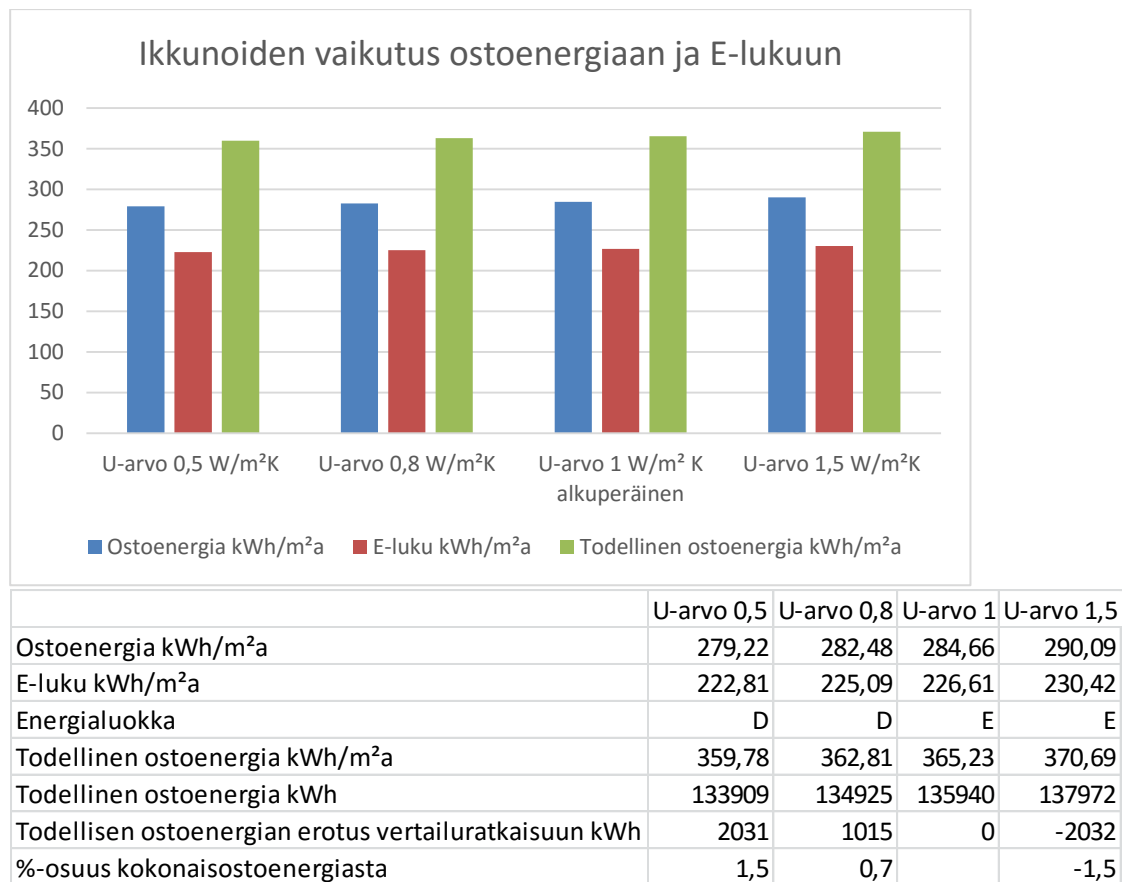


KUVA 14. Yläpohjan vaikutus energiankulutukseen.

Yläpohjalla ei havaittu olevan suurta vaikutusta ostoenergiaan tai E-lukuun. Yläpohjan pinta-alan osuus on pieni verrattuna vaipan kokonaispinta-alaan sekä lämmönläpäisykerroin on seinärakenteen lämmönläpäisykerrointa parempi. Todennäköisesti matalammissa rakennuksissa yläpohjan vaikutus kokonaisenergiankulutukseen nousisi hieman. Asuinrakennuksen yläpohjan lisäeristämällä ei ole suurta energiansäästöpotentiaalia verrattaessa kokonaisenergiankulutukseen. Yläpohjan lisäeristämällä saadaan n. 2,3-3,4 % sekä

n. 3000-4500 kWh vuotuinen säästö energiakustannuksiin. Energiakulutuksen minimoinnin näkökulmasta yläpohjan lisäeristämällä on n. 3000-4500 kWh verran merkitystä, vaikka rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen merkitys oli pieni.

Ikkunoiden pinta-ala on 24,3 m², joka on 3,9 % rakennusvaipan pinta-alasta. Kuvassa 15 on vertailtu erilaisten ikkunoiden vaikutusta ostoenergiaan ja E-lukuun. Kohteessa olevat ikkunat ovat U-arvoltaan 1 W/m²K, joka on uudisrakentamisen sekä korjausrakentamisen minimivaatimus ikkunoille [4][14][12].



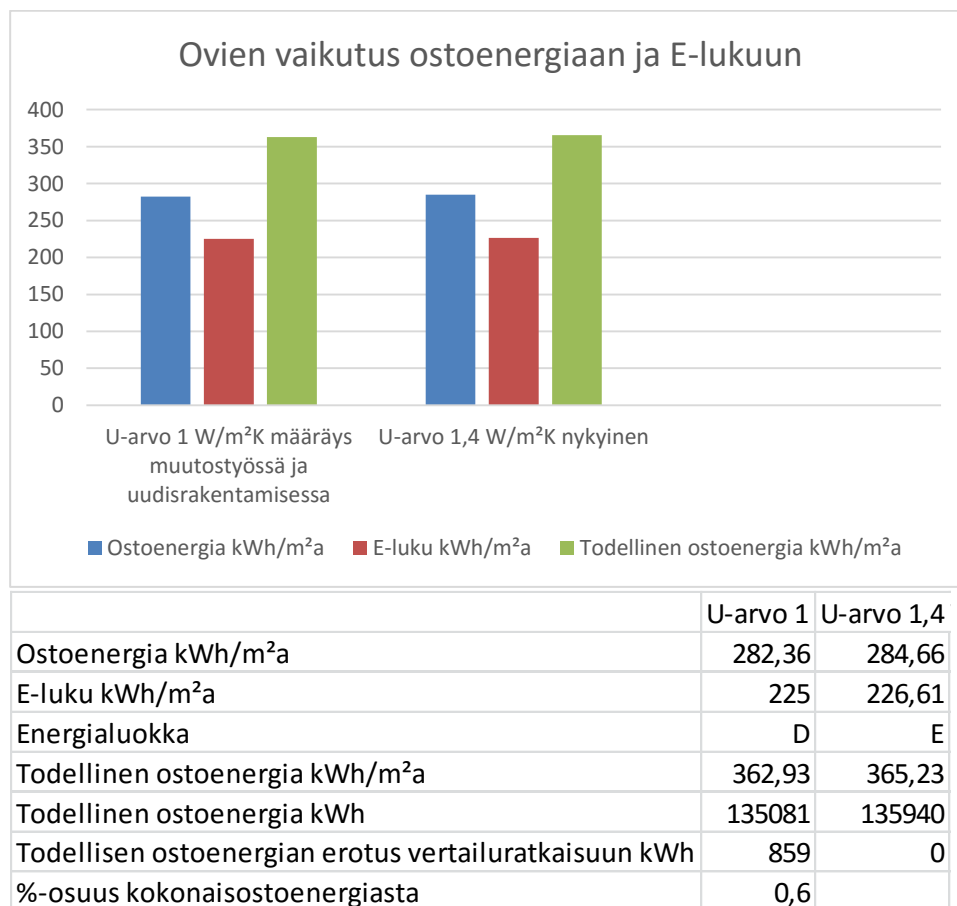
KUVA 15. Ikkunoiden vaikutus energiakulutukseen.

Suhteessa ikkunoiden pinta-alaan ikkunat päästävät lämpöä läpi huomattavasti, mutta kohderakennuksessa ikkunoiden pinta-ala vaippaan verrattuna on pieni. Ikkunoiden U-arvo on verrattain suuri, joten jo pieni muutos ikkunan U-arvossa näkyy merkittävästi ostoenergian kulutuksessa. Ikkunoiden U-arvo on muiden rakenteiden U-arvoa paljon (jopa monta kertaa) suurempi johtuen ikkunoiden valmistusmateriaalista ja ohuudesta - ikkunoista on näyttävä läpi. Ikkunan lasiin ei saada sitoutettua lämpöä eristävää ilmaa. Tätä voidaan kompensoida useampilasisilla ikkunoilla, jolloin saadaan lämpöä eristävää ilmaa ikkunarakenteiden väliin U-arvoa

nostamaan. Suuren ikkunapinta-alan omaavissa rakennuksissa ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen vaikutus korostuu lämpöenergiankulutuksessa. Ikkunoiden vaikutus ostoenergiaan ja E-lukuun on vähäinen.

Ikkunoihin ei suositella toimenpiteitä, koska kohteen ikkunoiden U-arvolla $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ikkunoiden vaikutus energiankulutukseen on vähäinen.

Ulko-ovien pinta-ala on $12,8 \text{ m}^2$, joka on $2,1 \%$ rakennusvaipan pinta-alasta. Ulko-ovien nykyistä $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ U-arvoa vertailtiin uudisrakentamisen sekä korjausrakentamisen vaatimuksen U-arvoon $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ [4][14][12]. Kuvassa 16 on esitetty ovien vaikutus ostoenergiaan ja E-lukuun.



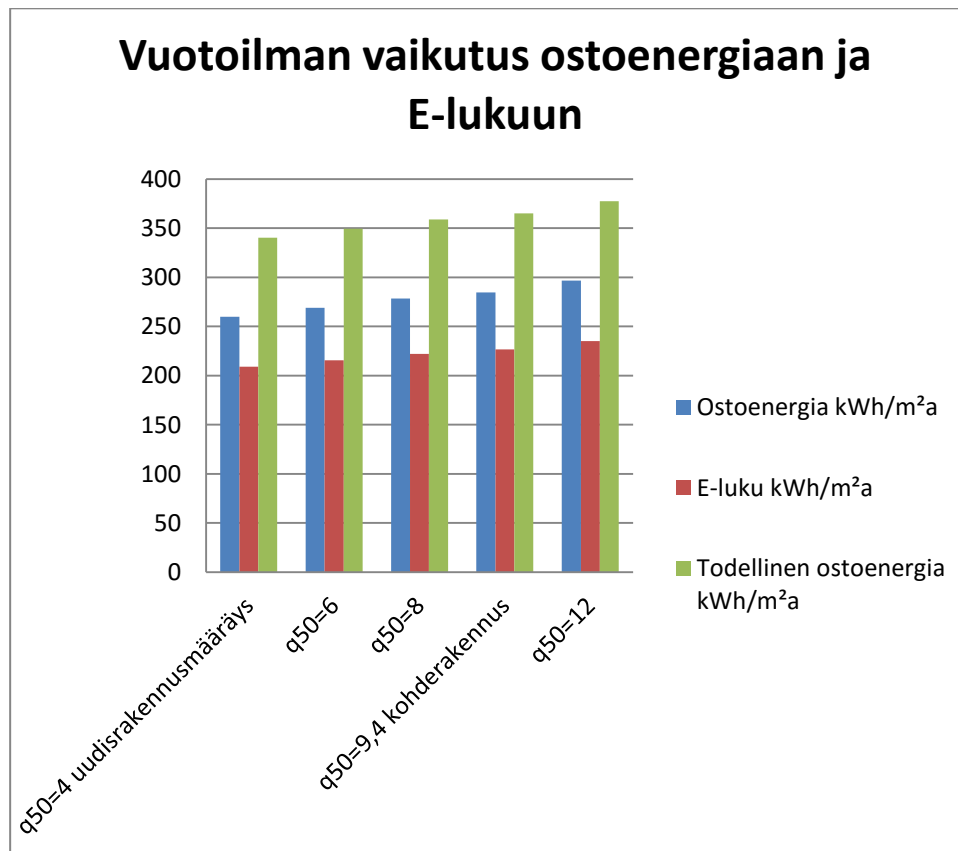
KUVA 16. Ovien vaikutus energiankulutukseen.

Ovet ovat ikkunoiden ohella U-arvoiltaan eniten lämpöä läpäiseviä rakennus-osia. Ovien pinta-ala on rakennuksessa sen verran pieni, että ovien läpi kuluvan lämpöenergian osuus on pieni. Ovilla ei ole juuri merkitystä rakennuksen

kokonaisostoenergiaan tai E-lukuun. Vaihtamalla ovet U-arvoltaan $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ oviin energiansäästö on 859 kWh vuodessa. Toimenpiteitä oviin ei suositella.

4.3.2 Vuotoilma

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden vaikutuksen vertailemiseksi energiankulutukseen, suoritettiin erilaisilla ilmanvuotoluviilla vertailuja. Tuloksia vertailtiin kohderakennuksen ilmanvuotolukuarvoon $9,4 \text{ m}^3/\text{h m}^2$. Kuvassa 17 on esitetty tulokset.



Ilmanvuotoluku $\text{m}^3/\text{h m}^2$	q50=4	q50=6	q50=8	q50=9,4	q50=12
Ostoenergia $\text{kWh/m}^2\text{a}$	259,76	269,01	278,27	284,66	296,8
E-luku $\text{kWh/m}^2\text{a}$	209,19	215,66	222,14	226,61	235,11
Energialuokka	D	D	D	E	E
Todellinen ostoenergia $\text{kWh/m}^2\text{a}$	340,22	349,51	358,82	365,23	377,43
Todellinen ostoenergia kWh	126629	130089	133551	135940	140478
Todellisen ostoenergian erotus vertailuratkaisuun kWh	9311	5851	2389	0	-4538
Energiasäästön %-osuus kokonaisostoenergiasta	6,8	4,3	1,8	0,0	-3,3

KUVA 17. Vuotoilman ilmanvuotoluvun vaikutus energiankulutukseen.

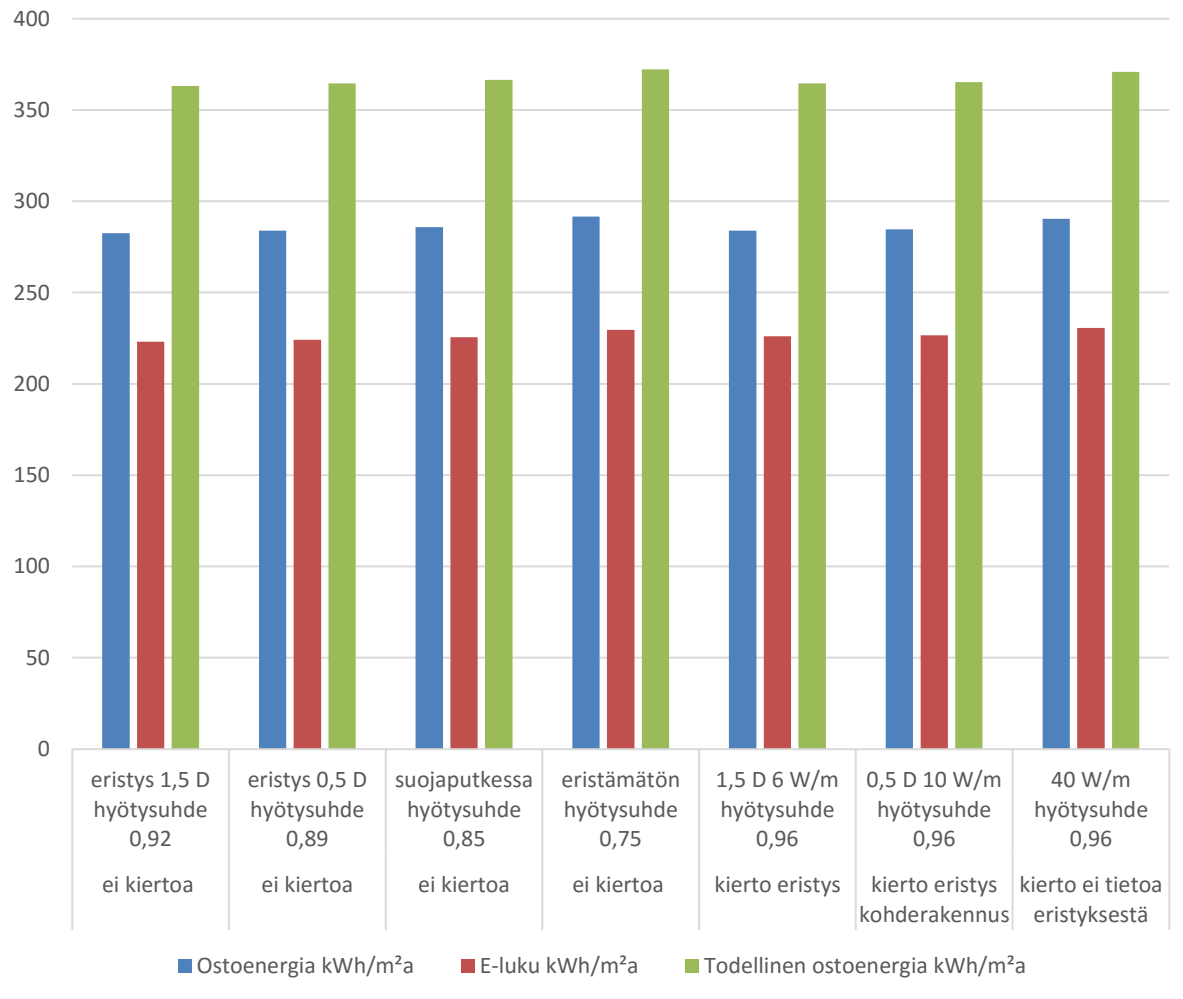
Kohderakennuksen q50-ilmanvuotolukua $9,4 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ verrattaessa uudisrakentamisvaatimuksen q50-ilmanvuotolukuun $4 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ huomataan pienemmällä ilmanvuodolla olevan huomattava vaikutus ostoenergiankulutukseen sekä E-lukuun. Ilmanvuotoluvun $4 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ omaava vaippa kuluttaa lämpöenergiaa 9311 kWh vähemmän mitä nykyinen $9,4 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ ilmanvuotoluvun vaippa. Ratkaisulla säästyvä energiankulutus on 6,8 % koko rakennuksen ostoenergiasta. Vaipan tiiveydellä on suuri merkitys asuinrakennuksen energiankulutukseen. Vanhassa tiiveydeltään ilmaa huomattavasti vuotavassa rakennuksessa vuotoilman osuus energiankulutuksessa korostuu. Ilmanvuotoluvulla voidaan vaikuttaa myös tehokkaasti energialuokkaan.

Energiansäästön kannalta tuloksista huomataan ilmatiiviiden merkityksen korostuminen talojen rakentamisvaiheessa, talot kannattaa rakentaa ilmatiiviiksi. Vaipan ilmatiiviydellä on suhteessa suurempi merkitys lämmitysenergiäviöihin mitä rakenteiden lämpöeristävyyden kasvattamisella. Kohderakennuksessa ovien karmien ilmatiiviyteen kannattaa kiinnittää huomiota enemmän mitä ovien uusimiseen U-arvoltaan parempiin, koska ilmatiiviydellä on suhteessa suurempi merkitys mitä rakennusosan U-arvon parantamisella.

4.3.3 Käyttöveden lämmitys

Käyttöveden lämmitysenergiaan vaikuttavimmat tekijät ovat lämminvesijohdon eristys, lämminvesijärjestelmän hyötysuhde sekä lämminkierto-vesi ja lämminvesijärjestelmän hyötysuhde kiertovedellä. Lämpöä vähän läpäisevällä eristyksellä varustetulla putkistolla lämminvesijärjestelmän hyötysuhde kasvaa. Lisäksi kiertojohto nostaa lämminvesijärjestelmän hyötysuhdetta. Vertaillaan käyttövesijärjestelmää erilaisilla eristepaksuuksilla toteutettuna ilman lämminvesikiertoa sekä kierto-vesijärjestelmällä. Tulokset ovat kuvassa 18.

Lämminkäyttövesijärjestelmän vaikutus ostoenergiaan ja E-lukuun



	ei kiertoa	ei kiertoa	ei kiertoa	ei kiertoa	kierto eristys	kierto eristys, kohderakennus	kierto, ei tietoa eristyksestä
	eristys 1,5 D hyötysuhde 0,92	eristys 0,5 D hyötysuhde 0,89	suojaputkessa hyötysuhde 0,85	eristämätön hyötysuhde 0,75	1,5 D 6 W/m hyötysuhde 0,96	0,5 D 10 W/m hyötysuhde 0,96	40 W/m hyötysuhde 0,96
Ostoenergia kWh/m ² a	282,48	283,85	285,81	291,66	283,9	284,66	290,4
E-luku kWh/m ² a	223,11	224,07	225,45	229,53	226,08	226,61	230,63
Energialuokka	D	D	D	E	E	E	E
Todellinen ostoenergia kWh/m ² a	363,11	364,47	366,44	372,28	364,5	365,23	370,81
Todellinen	135149	135657	136390	138564	135667	135940	138016

ostoenergia kWh							
Todellisen ostoenergian erotus vertailuratkaisuun kWh	791	283	-450	-2624	273	0	-2076
Energiasäästön %-osuus kokonaisostoennergiaasta	0,6	0,2	-0,3	-1,9	0,2	0,0	-1,5

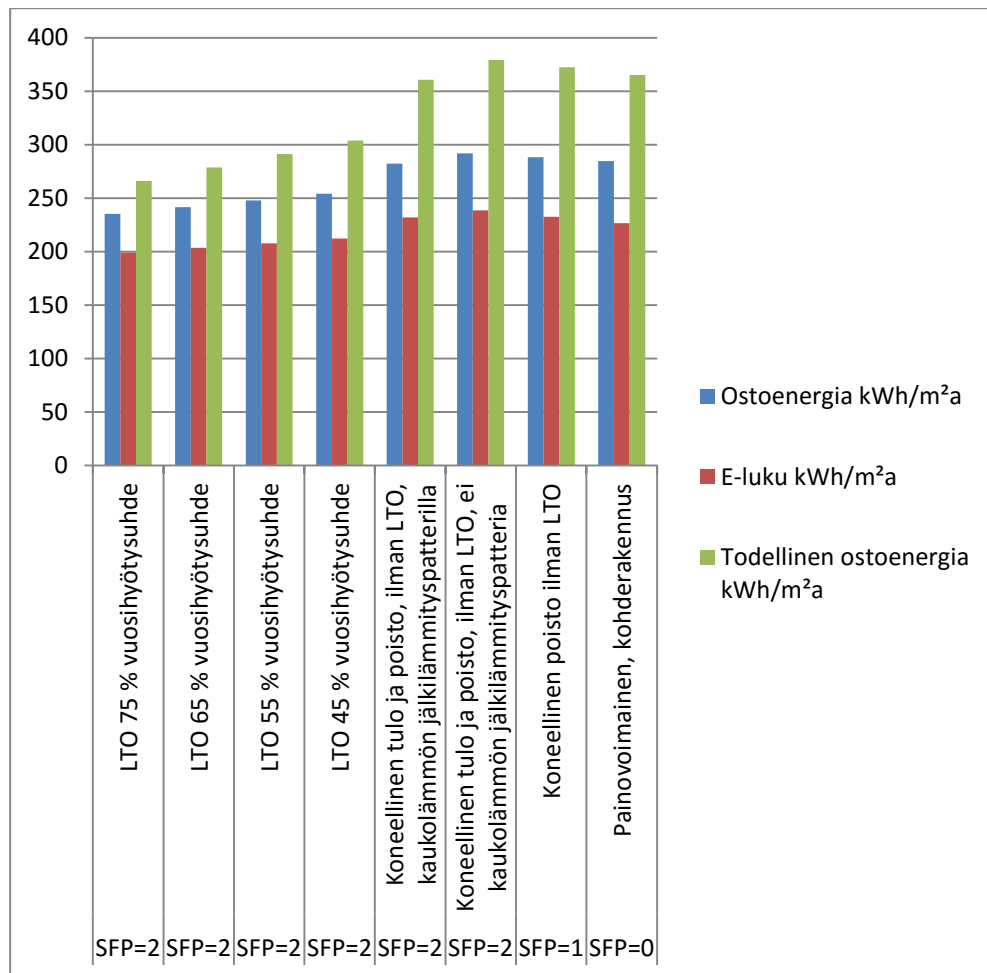
KUVA 18. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon vaikutus energiankulutukseen.

Tuloksista havaitaan LV-kiertojohdon vähäisten lämpöhäviöiden vaikutuksen olevan ostoenergiaan ja E-lukuun hyvin pieni. Tämä johtuu kiertojohdon lyhyestä pituudesta, joka on 16 m. Vertailuvaihtoehdoista LV-putkiston lämmöneristyksellä havaittiin olevan suurin vaikutus lämmitysjärjestelmän lämpöenergiankulutukseen. Huonosti eristetty lämminvesijärjestelmä lisäsi energiankultusta jopa yli 2000 kWh. Energiatohokkuuden kannalta on oleellista eristää LV-putket hyvin, esim. 1,5 D putken paksuudesta olevalla lämpöeristyksellä. 1,5 D eristyksellä eristetty LV-järjestelmä todettiin vähiten lämpöenergiaa kuluttavaksi. Tuloksista havaitaan 1,5 D ja 0,5 D eristyksien ero lämpöenergiankulutukseen vähäiseksi. Energiaa säästävämmäksi ratkaisuksi osoittautui vaihtoehto ilman kiertoa putkisto eristettynä lämpöä vähän läpäisevästi. Tässä vaihtoehdossa säästyy LKV-pumpun tarvitsemaa sähköenergiaa. Toisaalta huonosti eristettynä lämminvesijärjestelmän hyötysuhde laskee ja energiankulutus nousee merkittävästi. Hyvin eristetyllä kiertojohdolla hyötysuhde pysyy hyvänä, energian kulutus vähenee. Ilman lämmintäkiertovettä olevissa järjestelmissä on oleellista huomioida hanoista riittävän nopea veden saanti. RakMk:n osa D1 määrittelee lämpimän veden maksimi virtausajaksi kulutusasteelle 10 s. Pitkillä putkipituuksilla kiertojohto on välttämätön riittävän nopean lämpimänveden virtaamisen turvaamiseksi. Rakennuskohtaisesti on suunnitteluvaiheessa määritettävä tarvitaanko kiertojohtoa. Mikäli putkipituus on lyhyt eikä kiertojohtoa välttämättä tarvita saadaan säästettyä LKV-pumpun kuluttamaa sähköenergiaa.

Kiertojohdon vaikutus lämmitysenergiaan kasvaa pitkän kiertojohdon vaativissa suurissa rakennuksissa, joissa on paljon nousuja ja asuntoja, esim. kerrostaloissa. Kohderakennuksessa kiertojohtoon ei suositella toimenpiteitä, koska toimenpidevaihtoehdoilla ei saada riittävää energiansäästöä.

4.3.4 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmien vertailuun otettiin koneellisia ilmanvaihtojärjestelmiä erilaisilla LTO-vuosihyötysuhteilla, ilman LTO-järjestelmiä sekä painovoimainen ilmanvaihto (kuva 19). Vertailujärjestelmänä on kohderakennuksen painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä. Koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutuksen vertailun kannalta on oleellista sähköenergian kulutusta kuvaava ominaissähköteho sekä lämpöenergian talteen ottoa kuvaava lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Ominaissähkötehon (SFP-luku) arvona koneellisissa järjestelmissä oli yksipuhaltamisella poistoilmanvaihdolla $1 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä käytettiin ominaissähköteho $2 \text{ kW/m}^3/\text{s}$, koska tulo ja poisto vaativat molemmat puhaltimet. Käytetyt IV-koneiden SFP-luvut ovat olleet uudis- sekä korjausrakentamisessa minivaatimuksia vuodesta 2013 alkaen. Ilmanvaihtojärjestelmää muutettaessa uuteen järjestelmään, on se varustettava minimissään 45 % vuosihyötysuhteen omaavalla LTO-laitteella. Tämä vaatimus koskee uudis- sekä korjausrakentamista. [4.][14.][12.]



Ominais sähköt ehoa kuvaava SFP-luku kW/m³/s	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=1	SFP=0
Ilmanvaihtojärjestelmä	LTO 75 % vuosihyötysuhde	LTO 65 % vuosihyötysuhde	LTO 55 % vuosihyötysuhde	LTO 45 % vuosihyötysuhde	Koneellinen tulo ja poisto, ilman LTO, kaukolämmön jälkilämmityspatterilla	Koneellinen tulo ja poisto, ilman LTO, ei kaukolämmön jälkilämmityspatteria	Koneellinen poisto ilman LTO	Painovoimainen, kohderakennus
Ostoenergia kWh/m²a	235,06	241,41	247,71	254	282,34	291,66	288,16	284,66
E-luku kWh/m²a	198,9	203,35	207,76	212,16	232	238,53	232,57	226,61
Energialuokka	D	D	D	D	E	E	E	E
Todellinen ostoenergia kWh/m²a	265,93	278,64	291,24	303,85	360,57	379,26	372,25	365,23
Todellinen ostoenergia kWh	98978	103709	108400	113092	134203	141161	138551	135940
Todellisen ostoenergian erotus vertailuratkaisun kWh	36962	32231	27540	22848	1737	-5221	-2611	0

%-osuus	27,2	23,7	20,3	16,8	1,3	-3,8	-1,9	
kokonaisoston ergiasta								

KUVA 19. Ilmanvaihtojärjestelmien vaikutukset energiankulutukseen.

Ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa suuresti rakennuksen energiankulutukseen. Uusissa hyvin lämmöneristetyissä rakennuksissa, joissa ilmanvaihdon energiatarpeen osuus rakennuksen kokonaisenergiatarpeesta on suurin, on ilmanvaihdossa suurin energiansäästöpotentiaali [11, energiatasekuva] [3]. Vanhassa kohderakennuksessa ilmanvaihdolla havaittiin olevan toiseksi suurin vaikutus ostoenergiatarpeeseen sekä E-lukuun. Seinärakenteilla oli suurin vaikutus. Näin ollen ilmanvaihdon LTO-järjestelmään on perusteltua panostaa IV-järjestelmää valitessa. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa sekä koneellisessa ilmanvaihdossa ilman LTO-järjestelmää lämmitetty ilma puhalletaan suoraan ulos. Selvästi eniten energiaa kuluttivat koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä koneellinen tulo- poistoilmanvaihtojärjestelmä. Näiden järjestelmien ilmanpuhaltimet lisäävät sähköenergian kulutusta, joka näkyy suurempana E-lukuna sekä ostoenergiämääränä. Erityisesti sähkökulutuksen lisääntyessä E-luku nousee sähköenergian suuren primäärienergiakertoimen 1,7 takia. Tuloksista havaitaan että mitä enemmän LTO:lla saadaan poistoilmasta siirrettyä lämpöä tuloilmaan, sitä parempi E-luku sekä vähäisempi ostoenergiatarve rakennuksella on. LTO-järjestelmillä saatiin pudotettua kohdekiinteistön ostoenergiaa kymmeniätuhansia kilowattitunteja sekä energialuokitusta parannettua E:stä D:n. LTO-järjestelmä 45 % vuosihyötysuhteella vähensi vuotuista energiatarvetta 22484 kWh, joka on 16,8 % koko rakennuksen ostetusta energiämäärästä ilman LTO:ta olevalla painovoimaisella ilmanvaihdolla. Todellinen ostoenergia laski arvosta 365,23 kWh/m²a arvoon 303,85 kWh/m²a (113092 kWh/a), joka on n. 61,38 kWh/m²a erotus. E-lukua toimenpide laski n. 15 kWh/m²a, joka on merkittävä pudotus. Vuosihyötysuhdetta kasvatettaessa 45 % - 75 % säästetty energiämäärä nousee lähes lineaarisessa suhteessa mitä enemmän vuosihyötysuhdetta nostetaan.

4.3.5 Asuinrakentamisen energiatehokkuuden kehittyminen

Kohderakennuksen energiankulutusta tarkasteltiin mallintamalla kohderakennus uudisrakentamisen määräysten minimivaatimuksilla [12] [13] [15]. Tällä havainnollistetaan rakennusten energiatehokkuuden kehittymistä menneisyydestä nykypäivään. Mallinnuksessa on lämmitysmuotona kaukolämpö. Ilmanvaihtona on

koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä 45 % LTO-vuosihyötysuhteella. Energialaskennan lähtötiedot löytyvät liitteestä 3 ja tulokset liitteestä 4. Taulukossa 18 on esitetty mallinnuksen tulokset.

TAULUKKO 18. Kohdekiinteistö toteutettuna nykyisillä uudisrakentamisen RakMk:n osien D3 ja D5 energiatehokkuusvaatimuksilla.

	Uudisrakennustoteutuksella kohde	Kohderakennus	Erotus
Ostoenergia kWh/m ² a	153,46	284,66	131,2
E-luku kWh/m ² a	141,78	226,61	84,83
Todellinen ostoenergia kWh/m ² a	205,89	365,23	159,34
Todellinen ostoenergia kWh	76631	135940	59309
Energialuokka	C	E	

Taulukosta huomataan uudisrakennusvaatimuksilla mallinnetun kohteen olevan n. 55 % vähemmän energiaa kuluttavampi mitä v. 1951 rakennettu kohderakennus. Energiatehokkuus on kehittynyt huomattavasti energiatehokkuusmääräysten tiukentuessa ja talotekniikkateknologian kehittyessä. Erityisesti seinärakenteiden U-arvojen parantuminen, vaipan tiiviys ja ilmanvaihdon LTO-järjestelmä vähentävät energiankulutusta.

4.3.6 Johtopäätökset

Yhteenvedon rakennuksen ostoenergiaan ja E-lukuun vaikuttavista tekijöistä suurimmat vaikutukset ovat seinärakenteilla, ilmanvaihtojärjestelmällä sekä vuotoilmalla. Energiansäästämistä ajatellen näihin eniten vaikuttaviin tekijöihin kannattaa panostaa rakentamisessa. Kohteesta löytyi runsaasti energiansäästöpotentiaalia. Tiiviiden suunnitteluun on tärkeää panostaa rakentamisvaiheessa. Vanhassa rakennuksessa on vaikeaa vaikuttaa vuotoilmaan jälkikäteen. Tutkimuksen vanhassa rakennuksessa vuotoilma oli energiankulutukseen kolmanneksi merkittävin tekijä. Nykyrakentamista on viime aikoina ohjattu tiiviimpään suuntaan - ilmatiiviimpiin taloihin [12] [3]. Tiiviillä rakentamisella yhdessä ilmanvaihdon LTO:n kanssa saadaan säästettyä runsaasti suomalaisessa

rakennuskannassa energiaa. Uudisrakentamisessa rakenteet ovat kehittyneet sekä paksuuntuneet energioptimaalisuuden rajoille, jolloin LVI-teknisillä järjestelmillä saadaan rakenneteknisiä järjestelmiä suurempia energiasäästöjä. Rakenteiden lämmöneristävyyttä parantamalla ei saadakaan enää merkittäviä säästöjä energiahäviöihin. [8.] [9.] Vanhassa kohderakennuksessa havaittiin talotekniikan lisäksi rakenneteknisillä ominaisuuksilla olevan suuri vaikutus energiankulutukseen. Tällöin korjausrakentamisessa on kannattavaa keskittyä molempiin tekijöihin.

Energiaa eniten säästävimpinä toimenpiteinä suositellaan seuraavia toimenpidevaihtoehtoja kohderakennukseen:

- Ulko-seinärakenteiden lisäeristämistä U-arvoltaan $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ seinärakenteeseen. Energiasäästö 14,8 % talon kokonaisostoenergiasta.

- Ilmanvaihtojärjestelmän muutosta LTO-järjestelmällä varustettuun koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään, jonka vuosihyötysuhde on välillä 45-75 %. Energiasäästö 16,8-27,2 % talon kokonaisostoenergiasta.

Toimenpidevaihtoehdot on tarkasteltu vain energiatehokkuuden näkökulmasta. Toimenpiteiden kannattavuutta sekä toteutuskelpoisuutta on arvioitava erikseen. On oleellista huomioda, että koneellisen ilmanvaihdon asentaminen rakennukseen on suuri toimenpide. Toimenpiteen soveltuvuus rakennukseen, esim. IV-järjestelmän tilantarve ja kanavien sijoitusmahdollisuudet on arvioitava tapauskohtaisesti.

4.4 Saneeraus- ja parannustoimenpide vaihtoehtojen kannattavuuden arviointi

Aikaisemmissa kappaleissa on selvitetty taloteknisten järjestelmien sekä rakenteiden lämpöenergiankulutusta energiamallinnetussa kohderakennuksessa. Laskelmilla on selvitetty kuinka paljon lämpöenergiaa voidaan kohderakennuksessa säästää erilaisilla muutosvaihtoehdoilla. Samalla selvitettiin missä vaihtoehdoissa on eniten energiansäästöpotentiaalia. Näiden rakennustoimenpide vaihtoehtojen taloudellista kannattavuutta havainnollistetaan tässä työn osassa. Tarkastelussa keskitytään niihin vaihtoehtoihin, joilla saadaan vaihtoehdoista eniten energian säästöä sekä taloudellista kannattavuutta. Vaihtoehdoista esitetään vaihtoehdot, jotka ovat teknisesti helposti toteutettavia olemassa olevaan asuintalokohteeseen. Toimenpidevaihtoehdoista esitetään säästölaskelmia.

4.4.1 Käyttötottumusten vaikutus kustannuksiin rakennuksen sisälämpötilaa laskemalla

Taulukossa 19 on esitetty rakennuksen lämpöenergiahäviöiden kustannukset eri sisälämpötiloilla sekä lämpötilaa muuttamalla saatavat säästöt. Vertailulämpötilana on 21 °C. Taulukon lämpöenergiahäviöt on laskettu säävyöhykkeen I säätiedoilla, joten todellisuudessa energiasäästöt ovat suuremmat, koska kohderakennus sijaitsee todellisuudessa säävyöhykkeellä II. Lisäksi hintoihin on lisättävä kaukolämmön vuotuinen perusmaksu 883 e/v.

TAULUKKO 19. Rakennuksen lämpöenergiahäviöiden kustannukset eri sisälämpötiloilla.

	Energiankulutus kWh/a	Energiasäästö kWh/a	Kaukolämpöenergia hinta e/MWh	Energiankulutus e/v	Energiasäästö e/v
T _s = 21	80859	0	60,38	4882	0
T _s = 20	75434	-5425	60,38	4555	-328
T _s = 22	86285	5426	60,38	5210	328
T _s = 23	91710	10851	60,38	5537	655
T _s = 24	97135	16276	60,38	5865	983

Taulukosta selviää kuinka paljon rahallista säästöä vuodessa saadaan laskemalla rakennuksen sisälämpötilaa. Asteella lämpötilan laskemisen säästö on n. 328 e vuodessa. Huonetiloista yllilämpötilat leikkaamalla saadaan rahallista säästöä huomattavasti. Lämpötilojen säätäminen toteutetaan patteriverkoston tasapainotuksella, käyttötottumuksilla sekä yllilämpötiloja leikkaavilla termostaattisilla patteriventtiileillä. Toimenpiteenä patteriverkoston tasapainotus on edullinen, lyhyen takaisinmaksuajan omaava sekä helposti toteutettavissa oleva toimenpide.

Lämmitysjärjestelmän tasapainossa olemiseen vaikuttavien osien keskimääräiset tekniset käyttöiät ovat linjasäätöventtiileillä 30 v, termostaattisilla patteriventtiileillä (venttiilirunko sekä termostaattiosa) 15-20 v [6]. Suositellaan huoltotoimenpiteenä termostaattiosien mekaanisen kunnan ja toiminnan tarkastusta ennen lämmityskauden alkua. 12 kk huoltoväli pidentää patteriventtiilien ikää ja lisää asumisviihtyvyyttä sekä energiatehokkuutta.

4.4.2 Rakenteiden vaikutus energiakustannuksiin ja investointivaihtoehdot

Kokonaiskustannuksia tarkastellessa energiakustannuksiin on lisättävä kaukolämmön vuotuinen perusmaksu 883 e/v. Seinärakenteen lämmöneristävyyden parantamisen rahallisia vaikutuksia on vertailtu taulukossa 20.

TAULUKKO 20. Taulukossa on esitetty seinärakenteen U-arvon parantamisen vaikutus energiakustannuksiin.

	U-arvo 0,17 W/m ² K uudisrakentamisvaat imus	U-arvo 0,27 W/m ² K 0,5 kertaa alkuperäisestä on korjausrakentamismä äräys	U-arvo 0,53 W/m ² K alkuperäin en
Todellinen kokonaisostoenergia yhteensä	115798	121388	135940
Sähköenergian hinta e/kWh	0,1199	0,1199	0,1199
Todellinen sähkölaitteet ostoenergia kWh/v	8477	8477	8477
Kaukolämpöenergian hinta e/MWh	60,38	60,38	60,38
Todellinen kaukolämpö ostoenergia kWh/v	107321	112911	127463
Kokonaisenergian kustannukset e/v	7496	7834	8713
Ostoenergian erotus vertailuratkaisuun kWh/v	20142	14552	0
%-osuus kokonaisostoenergiasta	14,8	10,7	
Säästö kustannuksissa e/v	1216	879	

Tuloksista havaitaan energiansäästöllä saatava rahallinen säästö vuodessa, kun U-arvoltaan 0,53 W/m²K seinän lämmöneristävyyttä parannetaan U-arvoihin 0,27 W/m²K (879 e) ja 0,17 W/m²K (1216 e). Vuotuinen rahallinen säästö seinärakenteen parantamisella on merkittävä. Kohderakennukseen esitetään toimenpiteenä ulkoseinärakenteen lämmöneristävyyden parantamista julkisivuremontin yhteydessä, kun nykyisen seinärakenteen pinta tulee teknisen käyttöikänsä päähän.

4.4.3 Ilmavaihtojärjestelmien vaikutus energiakustannuksiin ja investointivaihtoehdot

Erilaisten IV-järjestelmäratkaisujen energiakustannuksia vertailtiin taulukossa 21. Vertailuissa on huomioitu koneellisten IV-järjestelmien puhaltimien sähkökustannukset sekä kaukolämpöenergialla ilman lämmitysenergiakustannukset. Konaiskustannuksia tarkastellessa energiakustannuksiin on lisättävä kaukolämmön

vuotuinen perusmaksu 883 e/v sekä sähkösiirtomaksu 125,88 e/v. Tulokset on laskettu v. 2016 energianhinnoilla. Tulevaisuuden energianhinnan nousun vaikutusta voidaan arvioida erikseen herkkyytarkasteluilla.

TAULUKKO 21. Taulukossa havainnollistetaan IV-järjestelmäratkaisujen vaikutusta kustannuksiin.

	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=2	SFP=1	SFP=0
	LTO 75 % vuosih yötysu hde	LTO 65 % vuosih yötysu hde	LTO 55 % vuosih yötysu hde	LTO 45 % vuosih yötysu hde	Koneellinen tulo ja poisto, ilman LTO, kaukolämmön jätkilämmityspatteril la	Koneellinen tulo ja poisto, ilman LTO, ei kaukolämmön jätkilämmityspatteria	Koneel linen poisto ilman LTO	Painovo imainen, kohdera kennus
Todellinen kokonaisostoen ergia yhteensä kWh/v	98978	10370 9	10840 0	11309 2	134203	141161	138551	135940
Sähköenergian hintaa e/kWh	0,1199	0,1199	0,1199	0,1199	0,1199	0,1199	0,1199	0,1199
Todellinen sähkölaitteet ostoenergia kWh/v	13698	13698	13698	13698	13698	13698	11088	8477
Kaukolämpöen ergian hintaa e/MWh	60,38	60,38	60,38	60,38	60,38	60,38	60,38	60,38
Todellinen kaukolämpö ostoenergia kWh/v	85280	90011	94702	99394	120505	127463	127463	127463
Kokonaisenergi an kustannukset e/v	6792	7077	7360	7644	8918	9339	9026	8713
Lämpöenergian erotus vertailuratkaisu un kWh/v	42183	37452	32761	28069	6958	0	0	0
Sähköenergian erotus vertailuratkaisu un kWh/v	-5221	-5221	-5221	-5221	-5221	-5221	-2611	0
Säästö kustannuksissa e/v	1921	1635	1352	1069	-206	-626	-313	0
Säästö %	22	19	16	12	-2	-7	-4	0

Tuloksista selviää vertailtujen ilmanvaihtoratkaisujen tuottama rahallinen säästö vuodessa. Koneelliset ilmanvaihtoratkaisut osoittautuivat energiakustannuksiltaan

painovoimaista ilmanvaihtoa kalliimmiksi ratkaisuksi. Koneellisilla IV-järjestelmillä sähköenergiakustannukset lisääntyvät IV-puhaltimien vaikutuksesta. Esim. painovoimaisen IV-järjestelmän korvaaminen koneellisella tulo- ja poistojärjestelmällä lisää rakennuksen sähköenergiankulutusta n. 5221 kWh/v (626 e/v), jolloin talon kokonaissähköenergian kulutus kasvaa 1,6 kertaiseksi (60 %). LTO-järjestelmän lämpöenergiansäästöllä pystytään kattamaan monikertaisesti sähköenergiankulutuksen nouseminen. LTO-järjestelmä 45 % vuosihyötysuhteella laskee lämpöenergiankulutusta 28069 kWh/v ja nostaa sähköenergiankulutusta 5221 kWh/v. LTO:n lämpöenergialla saatu rahallinen kustannussäästö on n. 3-4 kertaa suurempi kuin koneellisen tulo- ja poisto-ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kustannus. Sähköenergia 119,90 e/MWh on n. 2 kertaa kaukolämpöenergiaa 60,38 e/MWh kalliimpaa. 45-75 % vuosihyötysuhteen omaavilla LTO-järjestelmillä voidaan säästää n. 1000-2000 e vuodessa. Rahallinen säästö on huomattava.

Investointikustannuksiltaan koneellinen ilmanvaihto on kallis järjestelmä, joka tarkoittaa pitkää arviolta 8-25 v. takaisinmaksuaikaa. Takaisinmaksuaika on riippuvainen investointikustannuksista. IV-järjestelmän investointikustannukset on määritettävä tapauskohtaisesti. Saneerausrakentamisessa investointikustannukset yleensä kasvavat. Saneerausrakentamisessa joudutaan purkamaan vanhaa IV-järjestelmää uuden tieltä pois, avaamaan rakenteita ja mahdollisesti tekemään pinta-asennuksia ja koteloiteja. Pinta-asennukset vaikuttavat huoneiden visuaaliseen ulkonäköön. Lasketun energiasäästön arvoilla 1000-2000 e/v on riskinä, ettei järjestelmällä saatu rahallinen säästö kata investointikustannuksia ennen teknisen käyttöiän loppumista. Keskimääräinen tekninen käyttöikä jatkuvatoimisen (24 h7d, 7 pv/vk) IV-järjestelmän kuluville osille, kuten puhaltimille, lämmityspattereille ja LTO-laitteille on n. 10-15 v. Vähemmän rasittavassa käytössä IV-järjestelmän teknistä käyttöikää voidaan pidentää 20-25 vuoteen. [6] LTO-järjestelmän hyötysuhdetta valittaessa on kannattavaa pyrkiä kustannusoptimaaliseen ratkaisuun, jossa energiasäästöllä saadaan katettua mahdollisimman lyhyessä ajassa investointikustannukset. Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä lisää asumisviihtyvyyttä sekä nostaa kiinteistön arvoa, joten hankintatarvetta voidaan myös perustella näillä arvoilla. Realistisesti kustannuksia ajatellen kohderakennukseen ei esitetä investointitoimenpiteenä koneellista ilmanvaihtoa. Nykyisen painovoimaisen IV-järjestelmän asuinviihtyvyys todetaan riittävän hyväksi sekä koneellisen LTO:lla

varustetun IV-järjestelmän takaisinmaksuaika arvioidaan pitkäksi verrattuna tekniseen käyttöikään.

4.4.4 Yhteenveto säästölaskelmista

Asuinrakennuksessa suurimmat rahalliset säästömahdollisuudet lueteltuna suurimmasta pienimpään ovat ilmanvaihtojärjestelmän LTO:lla, seinärakenteen lisäeristämällä ja huonelämpötilan laskulla. Kaikilla toimenpiteillä saatiin huomattavia rahallisia säästöjä. Kannattavimmaksi toimenpiteeksi todettiin huonelämpötilan lasku käyttötottumuksilla tai lämmitysverkoston ylläpötiloja rajaavalla tasapainotuksella

4.5 Toteutunut energiankulutus kohderakennuksessa 2010-2015

Rakennuksen todellinen mitattu vedenkulutus selvitettiin vesilaskuista. Vedenkulutuksen keskiarvoksi laskettiin $243 \text{ m}^3/\text{vuosi}$ viiden vuoden aikajaksolla 2010-2015. Mitattu todellinen vedenkulutus on lähellä aikaisemmin energiatodistuksessa laskettua laskennallista $223 \text{ m}^3/\text{vuosikulutusta}$.

Kohderakennuksen lämpöenergiamittari todettiin rikkiäiseksi, joten luotettavia lämpöenergian mittaustietoja ei ollut tutkimukseen käytettävissä.

4.6 Käyttövesijärjestelmän kartoitus

4.6.1 Käyttövesijärjestelmän tilanne kohteessa

Seuraavassa tutkitaan kohderakennuksen taloteknisiä järjestelmiä. Tutkimuksen tässä osa-alueessa kerrotaan rakennuksessa olevasta talotekniikasta, sen toiminnasta sekä selvitetään uusia vaihtoehtoja talotekniikan päivittämiseen. Keskitytään käyttövesijärjestelmään. Tarkastellaan käyttövesijärjestelmän perussäädön tarvetta. Kohderakennuksessa tehdään mittauksia vesijärjestelmän toiminnasta. Mittauksien tulokset kirjattiin mittauspöytäkirjoihin. Oleellista vanhaa rakennusta saneerattaessa on suunnitelmallisuus sekä ennakointi. Vanhojen järjestelmien toimintaperiaatteet on taustatietona tiedettävä sekä uusien järjestelmien soveltuminen vanhaan toimintaympäristöön.

Uusien järjestelmien hankintaan vaikuttaa rakennus sekä sen talotekniset järjestelmät kokonaisuutena. Kokonaisuus huomioon ottaen on toimittava sen mukaisesti onko kohde uudisrakennus vai olemassa oleva saneerauskohte. Järjestelmiä suunniteltaessa on huomioitava vanhojen LVI-tekniisten järjestelmien vaikutus ja tilantarpeet järjestelmille sekä reitityksille. Järjestelmien on sovellettava ja mahduttava järkevästi rakennukseen. Lisäksi saneerausrakentamisessa ennen järjestelmien uusimista on oleellista tehdä kuntoarviot järjestelmistä selvityksesi uusien järjestelmien hankkimistarpeelle.

4.6.2 Käyttöveden virtaamatarkastelu mittauksin

Kiinteistössä tehtiin virtaamatarkastelu mittaamalla vesipisteiden virtaamia vesimukimittarilla. Mittaushetkellä talossa oli normaali vedenkäyttötilanne. Asuinrakennuksessa yhtä aikaa päällä olevien hanojen määrä vaikuttaa laskevasti vesipisteestä saatavaan virtaamaan. Lisäksi kunnallisen verkoston vedenpaineessa voi esiintyä heittoja, joka vaikuttaa kiinteistölle tulevaan vedenpaineeseen. Virtaamamittaukset ovat suuntaa antavia, ehdottomia totuuksia ne eivät ole. Taulukossa 22 on esitetty saadut tulokset ja viereisessä sarakkeessa on RakMk:n osan D1 mukainen vertailuarvo erilaisille vesipisteille.

TAULUKKO 22: Vesipisteiden virtaamien mittauspöytäkirja.

Vesipiste	0. kerros (kylmä- /lämminvesi)	1. kerros (kylmä- /lämminvesi)	2. kerros (kylmä- /lämminvesi)	D1 normivirtaama (kylmä- /lämminvesi)
astianpesuhana l/min	21 / 17	16 / 16	15,5/16	12 / 12
käsienpesuhana l/min	7 / 8	8,5 / 8	8,5/8	6 / 6
suihku l/min	15,5 / 14,5	17 / 14	17/14	12 / 12

Vesipisteiden normaalivirtaamat näyttävät olevan pohjakerroksessa ja ykköskerroksessa liian suuria. Käyttövesiverkostossa alemmissä kerroksissa on veden virtausreitillä ylempiä kerroksia pienempi painehäviö. Vesiverkosto aiheuttaa

suuremman painehäviön ylimmille vesipisteille vähentäen hanoista saatavaa veden virtaamaa. Alemmissa kerroksissa käyttövesiverkoston painetta voisi hieman kuristaa hanojen säädön avulla. Tässä tapauksessa hanojen virtaaman alentamisella on veden säästämässä säästöpotentiaalia noin 25 % hanojen kuluttamasta vesimäärästä. Todennäköisesti vettä säästetään potentiaalia vähemmän, koska hanoja ei käyttötilanteessa aina käytetä täydellä virtaamalla. Toimenpide- ja tehostamishdotuksena hanoja ei vaihdeta uusiin, vaan niitä säädetään kalustekohtaisella virtaaman säädöllä pienemmille virtaamille, esim. säästöporessuuttimen tai kalustekohtaisten virtaamien rajoituksen avulla. Virtaamien säästämässä pyritään säätämään hanojen virtaamat RakMk:n D1 normivirtaamien mukaisiksi. Mikäli hanoja vaihdetaan luonnollisen kulumisen takia tulevaisuudessa uusiksi hanoiksi, voidaan yhtenä vaihtoehtona valita painehäviöltään nykyistä suuremmat hanat vesipisteisiin, joissa painetta on käytettävissä liikaa. Vakiopaineenalennusventtiilille ei ole mittaustulosten perusteella tarvetta. Virtaamat eivät ole hälyttävän suuria, jotta vakiopaineventtiiliä kannattaisi asentaa.

4.6.3 Veden lämpötilamittaukset

Kuuman veden lämpötilamittauksilla tarkastettiin käyttövedenlämmönsiirtimen sekä termostaattihanojen toimintaa. Lämmönsiirtimeltä lähtevän kuuman veden tulee olla välillä 55-65 °C. RakMk:n osan D1 mukaan siirtimeltä lähtevän veden lämpötilan tulee olla vähintään 55 °C, jotta haitallinen mikrobikasvusto ei pystyisi kasvamaan tai aiheutuisi legionella-bakteeria. Maksimilämpötilan 65 °C määrittävänä tekijänä on, ettei vesi saa olla ihmiseen palovammoja aiheuttavan kuumaa. Mitattiin kylmän- ja lämpimänveden lämpötilat, joiden tulokset löytyvät taulukosta 23.

TAULUKKO 23. Käyttöveden lämpötilamittaukset.

Mittaukset 1 kerros, kauempana vesiliitäntää.

	astianpesuhana	käsienpesuallashana	suihku
kylmän veden lämpötila, °C	8,9	9,1	11,8
lämpimän veden lämpötila, °C	53,9	54	50,9

Mittaukset 0 kerros, lähempänä vesiliitäntää.

	autotallin	käsienpesuallashana	suihku
--	------------	---------------------	--------

	pesuallashana		
kylmän veden lämpötila, °C	8,8	9,2	9,5
lämpimän veden lämpötila, °C	52,6	52,8	54

Käyttöveden lämpötilamittauksien taulukosta havaitaan seuraavaa. Kylmä vesi on mitatuissa vesipisteissä raikkaan viileää. Ensimmäisen kerroksen suihkun lämpimän veden lämpötila oli alhaisin mitatuista eli 50,9 °C. Siirrin näyttää tuottavan lähelle 55 °C raja-arvoa olevan lämpötilan, koska vesipisteelle on etäisyyttä jolloin putkistossa tapahtuu lämpöhäviöitä. Lämmönsiirrin todettiin toimivaksi.

4.6.4 Veden virtausnopeuden tarkastelu käyttöpisteille ja LKV:n toiminnan tilanne kohderakennuksessa

Asumisviihtyvyyden kannalta lämpimän veden on saavutettava lopullinen lämpötila 10 sekunnissa hanasta vettä laskettaessa [20]. Tämä ei toteutunut ylimmän kerroksen ylimmässä vesipisteessä, jossa lämpimän veden vesipisteestä virtaamisen odotusajaksi mitattiin 18 s. Muissa vesipisteissä aikarajavaatimus täyttyi. Kappaleessa ”3.9 Lämminkierto-vesi” on havainnollistettu LKV:n virtaamisnopeutta ja putken pituuden määrittämistä.

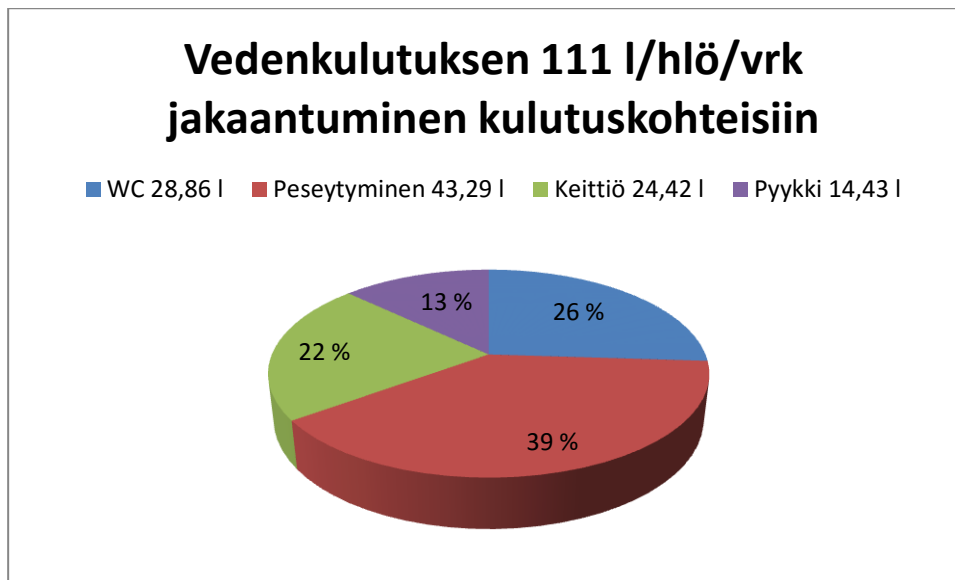
Rakennuksessa todettiin kaksi tyypillistä virhevaihtoehtoa LVK:n toiminnassa. Ensimmäinen vaihtoehto on suunnittelussa tapahtunut suunnitteluvirhe ja mitoitettu LVK-johto liian lyhyeksi. Toinen mahdollisuus, ettei LVK-johdon pumppu toimi kunnolla tai ole säädetty sopivalle virtaamalle. Johtopäätöksenä huomataan suunnitteluosaamistaidon korostumisen merkitys. LVI-suunnittelijan on oleellista olla järjestelmien toiminta- sekä mitoitusperiaatteet tietävä alansa ammattilainen. Toimenpiteenä suositellaan ensisijaisesti LVK-pumpun toiminnan sekä virtaaman sopivuuden tarkastamista. Toisena toimenpiteenä on järkevää pidentää johdon pituutta seuraavan saneerauksen yhteydessä, kun johtoverkoston tekninen käyttöikä tulee ajallisesti määrän päähänsä. Samalla suositellaan toteuttamaan saneeraus nyky määräysten mukaisesti avattavin seinärakentein putkiin pääsemisen helpottamiseksi. Jälkikäteen on haasteellista tehdä muutoksia verkostoon, jos putket ovat asennettu suljetun rakenteen sisään. Kohteessa tämä osoittautui ongelmaksi.

4.6.5 Veden kulutuksen vaikutus energiankulutukseen

Suomen asuinrakennuksissa käyttöveden lämmittämiseen käytettävä lämpöenergia on n. 5 % Suomen kokonaisenergiankäytöstä. Tästä melkein puolet menee hukkaan viemäriin, veden kulutuksesta riippumattoman käytön vaikutuksesta [19, s.6]. Yleisellä tasolla Suomessa veden lämmitysenergian kulutuksessa on huomattavasti säästöpotentiaalia. Rakennuskohtaisella tasolla sama huomataan kohdekiinteistön energiataseesta sekä lämpimän käyttöveden ostoenergian kulutuksesta (kappale ”4.1.10 Energiatase rakennuksessa”).

4.6.6 Todellisen käyttöveden kulutuksen tilanne kohteessa

Vesilaitoksen laskutuksen mukaan kiinteistössä vuotuinen vedenkulutus on 243 m³. Vedenkulutuksen rahallinen kustannus on $243 \text{ m}^3 * 4,94 \text{ e/m}^3 = 1200 \text{ e}$. Hintaan on lisättävä vesilaitoksen perusmaksu 85 e/v. Lämpimän käyttöveden osuudeksi tästä arvioitiin 40 % eli 97,2 m³. Lämpimän käyttöveden energiantarve vuotta kohden oli 14973 kWh. Kokonaisenergia muodostuu lämpimän käyttöveden kiertojohdon aiheuttamasta lämpöhäviöstä ja itse lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuluva energia nettotarpeesta. Kiinteistössä asui vakituisesti vuonna 2015 kuusi henkilöä, jolloin vedenkulutus yhtä henkilöä kohden vuorokaudessa oli noin 111 l/vrk. Vedenkäytön kustannus henkilölle päivässä on $111 \text{ l/vrk} * 0,00494 \text{ e/l} = 0,55 \text{ e}$. Motivan tiedon mukaan suomalaisten keskimääräinen vedenkulutus on 155 l/hlö/vrk [1]. Motiva on tutkinut suomalaisten keskimääräistä vedenkäyttöä eri kulutuskohteisiin [1]. Tutkimuksessa esitettyjä prosenttilukuja soveltaen kuvassa 20 on jaettu kohdekiinteistön vedenkulutus eri osa-alueisiin.



KUVA 20. Kiinteistön vedenkulutuksen jakaantuminen eri kulutuskohteisiin vuorokausitasolla.

Rakennusten energiansäästämisessä ja energiatehokkuudessa on lämpimällä käyttövedellä merkitystä. Käyttöveden lämmittämiseen tarvittavassa energiassa on vähentämismahdollisuuksia monenlaisilla potentiaalisilla taloteknisillä ratkaisuilla. Vedenkulutuksen vähentämiseen vaikuttaa se mihin käyttötarkoituksiin vedenkulutus jakaantuu, vesimittarit, vakiopaineventtiilin käyttäminen ja vesikalusteet. Ympäristöministeriön laajassa raportissa ”Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen, julkaisuvuosi 2009” [19] huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttöä sekä vaikutuksia rakennusten energiankulutukseen on seurattu toimeksiantona erilaisissa kerros- ja rivitaloissa. Tutkimuksen lopputuloksena huomataan huoneistokohtaisilla vesimittareilla pystyttävän vaikuttamaan käyttötottumuksiin merkittävästi, jolloin saadaan merkittävää vedenkulutuksen laskua sekä säästöä energiankulutuksissa. Ympäristöministeriön selvityksessä huoneistokohtaisella mittaukseen perustuvalla laskutuksella vedenkulutus on vähentynyt tutkituissa rakennuksissa 10 % ja lämmitysenergiankulutus 3-9 %. Muilla vettä säästävillä toimenpiteillä, kuten vesiverkostojen paineen sekä virtaaman säätämällä on ollut 10-20 % vaikutus vedenkulutukseen. Lisäksi tutkimuksessa eri talouksien vedenkulutuserot ovat olleet suuria ollen välillä 60-270 l/asukas/vrk. [19] Uudisrakentamisessa huoneistokohtaiset vesimittarien asentaminen on Suomen rakennusmääräyskokoelman osan D1 mukaan pakollista, mikä on vedenkulutuksen vähentämisen kannalta perusteltua rakentamista. Maltillisen vedenkulutuksen takia kohdekiinteistössä ei päästä yhtä suuriin

säästöpotentiaaleihin. Takaisinmaksuaika vesimittarien vedensäästöllä venyisi pitkäksi. Huoneistokohtaisten vesimittarien asentaminen ei ole kohdekiinteistössä kannattavaa, koska vedenkulutuksessa ei ole juuri vähentämistarvetta.

4.6.7 Toimenpide- ja tehostamishdotukset

Vedenkulutusta arvioidessa nousee esille käyttötottumusten vaikutus. Mikäli vettä käytettäisiin huomattavan paljon kiinteistössä, tulee käyttötottumusten tarkastelu ajankohtaiseksi. Veden käytön lisääntyessä voidaan asukastiedotuksella sekä huoneistokohtaisilla mittauksilla laskutuksineen vaikuttaa vedenkulutukseen. Kiinteistössä veden kulutuksen käyttötottumukset näyttävät olevan säästäväistä linjaa, joten suuria investointeja ei käyttövesiverkoston kannata tehdä.

Kiinteistön vesilaitteiston huolto sekä vuotoseuranta on kannattavaa vedenkulutuksen säästämisen näkökulmasta. Vedenkulutustiedot kohteessa ovat suhteessa suomalaiseen yleiseen vedenkäyttöön, joten vesivuotojakaan ei ole syytä epäillä. Rakennuksessa on tehty vesimittarille tarkastus, ettei mittari pyöri vesivuodon aiheuttamana yöaikaan milloin vedenkäyttöä ei esiinny. Vuotavilla vesikalusteilla on mahdollista lisätä vedenkulutusta merkittävästi. Erityistä huomiota on syytä kiinnittää ns. piilovuotoihin, esim. wc-istuimien pohjaventtiileihin, joiden kautta on mahdollista tapahtua vuotoa. Rakennuksen wc-istuimien pohjaventtiilit vaihdettiin ennen tutkimusta ennakoivana kiinteistön huollon toimenpiteenä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET TUTKIMUKSESTA

Tarkasteltavan kohderakennuksen tekninen käyttöikä on n. 100 vuotta [6]. Rakennus on elinkaarensa puolessa välissä. Käyttöikää on jäljellä vähintään n. 50 v, joten rakennuksen energiatehokkuuteen kannattaa panostaa resursseja. Taloteknisillä parannustoimenpiteillä voidaan parantaa rakennuksen asumisviihtyvyyttä sekä energiatehokkuutta lähemmäs uudempia rakennuksia. Tutkimuksen perusteella rakenteiden lämmöneristävyuden merkitys korostuu vanhan rakennuksen energiankulutuksessa. Erityisesti ulkoseinärakenteet, painovoimainen ilmanvaihto ilman LTO-järjestelmää sekä vuotoilma aiheuttavat suurimman osuuden lämpöhäviöistä. Energian säästön kannalta rakennusten suunnitteluvaiheessa on

järkevää suunnitella tiiviitä rakennuksia sekä rakentaa rakennuksen vaippa huolellisesti. Jälkikäteen ilmatiiviyteen on vaikea vaikuttaa. Taloteknisistä järjestelmistä huomattavin merkitys energiatehokkuuteen oli ilmanvaihtojärjestelmällä. Lisäksi lämmitysjärjestelmän tuottamalla rakennuksen sisälämpötilalla oli suuri merkitys energiankulutukseen. Taloudellisesti kannattavin toimenpide energiankulutuksen laskemiseksi oli huonelämpötilan alentaminen sekä yllälämpenemisen estäminen patteriverkoston tasapainotuksella sekä termostaattisilla patteriventtiileillä. Mallinnettaessa kohteessa ilmanvaihtojärjestelmän LTO:lla saatavia energiasäästöjä olivat säästöt huomattavia (järjestelmän vuosihyötysuhde välillä 45-75 %). LTO-järjestelmällä päästiin rahallisesti n. 1000-2000 e vuotuisen säästöön. Erilaisilla energiamuutostöillä saatiin parannettua kohteen energiatodistuksen energialuokkaa E:stä D:n. Yksittäisten energiansäästötoimenpiteiden vaikutus energialuokkaan oli pienekkö. E-lukua saatiin monella eri toimenpiteellä laskettua, mutta C-luokkaan jäi paljon matkaa. Energialuokissa energiankulutukselle määritelty luokkakohtainen väli on laaja, joten energialuokan nostamiseen lähelle C-luokkaa tarvittaisiin useampia energiansäästötoimenpiteitä energiankulutuksen vähentämiseksi. Kohderakennuksen energiankulutus oli n. 180 % (1,8 kertaa) suurempi mitä pinta-alaltaan vastaavan uudisrakennuksen, joka mallinnettiin uudisrakennuksia koskevien energiatehokkuusmääräysten minimivaatimusten mukaan. Asuinrakennuksessa oli paljon energiansäästöpotentiaalia. Ikäisiinsä rakennuksiin verrattaessa huomattiin kohderakennuksen olevan rakennettu ikäistänsä rakennuskantaa energiatehokkaammaksi.

LÄHTEET

1. Motiva. Vedenkulutus WWW-dokumentti, internetlähde.
http://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus.
Päivytystietoja ei saatavilla. Luettu 1.10.2016.
2. Nyman Mikko, Saari Mikko ja Vuolle Mika. Ympäristöministeriön moniste 122, Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Päivitetty 2003 Helsinki. Luettu 25.10.2016.
3. Pyly Petri. Taloyhtiön energiatodistus mitä, miten, milloin. Kiinteistöalan kustannus Oy. 2013. Luettu 25.10.2016.
4. Pyly Petri. Uudet energiatehokkuusmääräykset korjausrakentamisessa – Opas taloyhtiöille. Kiinteistöalan kustannus Oy. 2014. Luettu 25.10.2016.
5. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto 2001. Rakennustietokortti LVI 20-10328. Vesi- ja viemärlaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus. Päivitetty 2001. Luettu 1.10.2016.
6. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto 2008. Rakennustietokortti LVI 01-10424. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitokaksot. Päivitetty 2008. Luettu 25.10.2016.
7. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto 2005. Rakennustietokortti LVI 20-10384. Investointilaskelmamenetelmät sekä Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto 2005. Rakennustietokortti LVI 20-10383. Investointilaskelmat ja laskelmataulukot. Päivitetty 2005. Luettu 1.10.2016.
8. Sandberg Esa. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1.2014. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014. Luettu 1.10.2016.
9. Saari Arto. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU) 5 artiklan mukainen ilmoitus Euroopan komissiolle raportti. Energiatehokkuutta koskevien vähimmäisvaatimusten kustannusoptimaalisten tasojen laskenta. Suomi 20.5.2012. Luettu 1.10.2016.
10. Sisäilmayhdistys ry. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tavoitevaatimukset. Päivitetty 12.2008. Helsinki. Luettu 1.10.2016.
11. Teknillinen korkeakoulu. Oras vesiopas. Päivitetty 10.2012. Luettu 1.10.2016.
12. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3 (2012). Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet.
http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Luettu 1.10.2016.
13. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5 (2012). Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta.
http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D5-2012_Suomi.pdf. Luettu 1.10.2016.

14. Ympäristöministeriön asetus 4/13. Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. Luettu 1.10.2016.
15. Ympäristöministeriö. Liite 176/2013, Energiatodistuksen kokonaisenergiankulutuksen E-luvun) määrittäminen, Energiatodistusoppaan 2013 liite 13.11. 2013. Luettu 1.10.2016.
16. Ympäristöministeriö. Energiatodistusopas 2013, Rakennuksen energiatodistus ja kokonaisenergiankulutuksen määrittäminen. Päivitetty 27.9.2013. Luettu 25.10.2016.
17. Ympäristöministeriö. Energiatodistuksen laadintaesimerkki 1970 rakennettu kerrostalo, Energiatodistusoppaan 2013 liite 13.11. 2013. Päivitetty 2013. Luettu 25.10.2016.
18. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2 (2012). Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Päivitetty 2012. Luettu 26.10.2016.
19. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf. Päivitetty 15.6.2009. Luettu 25.10.2016.
20. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D1, Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot 2007. Päivitetty 2007. Luettu 1.10.2016.
21. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti, internetlähde. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto/Rakennusten_energiatehokkuutta_koskeva_l\(3664\).Ei_päivitystietoa](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto/Rakennusten_energiatehokkuutta_koskeva_l(3664).Ei_päivitystietoa). Luettu 1.10.2016.
22. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti, internetlähde. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakennusten_energiatodistus_uudistuu_16_\(3872\).Ei_päivitystietoa](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakennusten_energiatodistus_uudistuu_16_(3872).Ei_päivitystietoa). Luettu 1.10.2016.
23. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto 2006. Rakennustietokortti LVI 19-10400. Kaukolämpölaitteiden hoito ja huolto. Päivitetty 2006. Luettu 1.10.2016.
24. Energiateollisuuden julkaisema kuva kaukolämmön hinnan kehityksestä. WWW-dokumentti, internetlähde. http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/diaesitys_kaukolämmön_hinnan_kehityksesta.html#material-view. Päivitetty 15.9.2016. Luettu 3.12.2016.

Asuinrakennuskohteen energiatodistuksen laskennan lähtöarvot

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT	
Pää tiedot	
Rakennuskohde:	Asuinrakennus
Osoite 1:	Ahonkatu 9
Osoite 2:	50130
Todistustunnus:	
Kiinteistötunnus:	
Rakennustunnus:	
Rakennusluvan hakemisvuosi:	1951
Valmistumisvuosi:	1951
Rakennuksen käyttötarkoitus:	Pientalo vuokra-asutokäytössä
Pääsuunnittelija:	
Laskelman tekijä:	Lasse Huurinainen
Yritys:	
Tilaaaja:	
Päiväys:	01.11.2016
Sijainti/paikkakunta:	Vyöhyke II=2
Rakennusluokka:	1 Pientalo
Kerroslukumäärä:	3
Rakennustilavuus (m ³):	1224.1
Rakennuksen ilmatilavuus (m ³):	967.8
Maanpäällinen kerrostasoala (m ²):	277.2
Lämmitetty nettoala Anetto (m ²):	372.2
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m ² K):	70
Ulkopuolisen tilan lämpötila:	17.0 astetta
Asuntojen lukumäärä:	5
Laskentamallin tila:	Lupa haettu
Rakennuslupa hyväksytty (pvm):	-
Käyttöönottotarkastus suoritettu (pvm):	-
Rakenneosat	

Rakenneosat				
rakenneosa:	Pinta-ala: m ²	U-arvo: W/m ² K	g-arvo:	Fverho * Fkehä:
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	333.6	0.53		
Yläpohja ulkoilmaa vasten	124.1	0.31		
Alapohja (maanvastainen)	124.1	0.47		
Ikkunat pohjoiseen	11.7	1.00	0.50	0.75
Ikkunat itään	2.8	1.00	0.50	0.75
Ikkunat etelään	6.8	1.00	0.50	0.75
Ikkunat länteen	2.9	1.00	0.50	0.75
Ulko-ovet	12.8	1.4		
Kylmäsiillat				
Kylmäsiillat:	Pituus: m	Lisäkonduktanssi: W/mK		
US-US (ulkonurkka)	24	0.04		
US-YP	47.6	0.05		
US-VP	90.4	0.05		
US-AP	47.6	0.34		
US-ikkunat	78	0.04		
US-ovet	28.3	0.04		
Ilmanvaihto				
Vaipan ilmanvuodot:				
Ilmanvuotoluku q50:		9.38		
Ilmanvaihto:				

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Kuvaus	Painovoimainen ilmanvaihto											
LTO %:	0.0											
Ominais sähköteho/SFP-luku (kW/m³/s):	0.0											
Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho (W):	0.0											
Tuloilman lämpötilan asetusarvo:	18 astetta											
Jäteilman lämpötila mitoitusilanteessa:	0 astetta											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo (L/s):	149											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo ilman LTO-vaatimusta (L/s):	149											
Tuloilman suhde poistoilmavirtaan:	0.0											
Lämpötilan nousu puhaltimessa:	0.0 astetta											
Esilämmityspiirin vuosituotto:	0 kWh											
IV-laitteessa automaattinen LTO:n poiskytkentä asetuslämpötilan ylityyessä:	Ei											
LTO:n ja jälkilämmityspatterin kuukausipäälläolo:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	x	x	x	x	x				x	x	x	x

Lämmitysjärjestelmä

Käyttöveden lämmitys:

Kuvaus	Kaukolämmitysjärjestelmä lämmönsiirtimellä											
Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Käyttöveden kiertojohdon häviöt (kWh/vuosi):	1402											
Käyttöveden siirron hyötysuhde:	0.96											
Käyttöveden mitoitusvirtaama (litra/s):	0.42											
Käyttöveden kiertojohdon ominaisteho (W/m²):	2											
Käyttöveden kiertojohdon pumpun ottoteho:	84 W											
Jäteveden LTO:stä hyödynnetty energia:	0 kWh/vuosi											

Tilojen lämmitys:

Kuvaus	Kaukolämmitysjärjestelmä lämmönsiirtimellä ja vesikiertoisilla radiaattoreilla											
Lämmityksen varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Häviöt lämmittämättömään tilaan (kWh/vuosi):	0											
Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde:	0.85											
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteet (kWh/m²):	2											
Varaavien tulisijojen lukumäärä:	0											
Ilmalämpöpumppujen lukumäärä:	0 kpl (SPF-luku=2.8)											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (tilojen lämmitys):	1.0											
Märkätilojen sähköisen lattialämmityksen osuus tilojen lämmityksestä:	0											

Laskenta ja tulokset

Tilojen lämmitystapa:	Kaukolämpö
Käyttöveden lämmitystapa:	Kaukolämpö
Jälkilämmityspatteri:	Ei jälkilämmityspatteria
Oma sähköntuotanto (kWh/a):	0

Asuinrakennuskohteen energiatodistus

ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite: **Asuinrakennus
Ahonkatu 9
50130**

Rakennustunnus:
Rakennuksen valmistumisvuosi: **1951**

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka: **Pientalo vuokra-asutokäytössä**

Todistustunnus:

	Energiatodistusluokka
A	
B	
C	
D	
E	E
F	
G	

Uudisrakennusten
määräystaso 2012

Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku) **227**
kWh_E/m²vuosi

Todistuksen laatija:
Lasse Huurinainen

Yritys:

Allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:
01.11.2016

Viimeinen voimassaolopäivä:
01.11.2026

LIITE 2(2).

Asuinrakennuskohteen energiatodistus

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAEHTOKKUUDESTA				
Laskettu kokonaisenergiakulutus ja ostoenergiakulutus				
Lämmitetty nettoala, m ²	372.2			
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Kaukolämmitysjärjestelmä lämmönsiirtimellä ja vesikiertoisilla radiaattoreilla / Kaukolämmitys			
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Painovoimainen ilmanvaihto			
Käytettävä energiamuoto	Laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)		
Sähkö	10180	27	1.70	46.5
Kaukolämpö	95767	257	0.70	180.1
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	8479	22.8		
Kokonaisenergiakulutus (E-luku)				227
Rakennuksen energiatehokkuusluokka				
Käytetty E-luvun luokittelusta	Erilliset pientalot			
Luokkien rajat asteikolla	A: ...75	B: 76 ... 116	C: 117 ... 146	
	D: 147 ... 226	E: 227 ... 356	F: 357 ... 426	
	G: 427 ...			
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	E			
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohti, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiakulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>				

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohte				
Rakennuksen käyttötarkoituusluokka	Pientalo vuokra-asuntokäytössä (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	1951	Lämmitetty nettoala	372.2	m ²
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q50	9.38	m ³ /(h m ²)		
	A	U	UxA	Osuus lämpöhäviöstä
	m ²	W/(m ² K)	W/K	%
Ulkoseinät	333.60	0.53	176.81	51.39
Yläpohja	124.10	0.31	38.47	11.18
Alapohja	124.10	0.47	58.33	16.95
Ikkunat	24.20	1.00	24.20	7.03
Ulko-ovet	12.80	1.40	17.92	5.21
Kylmäsiilat	-	-	28.30	8.23
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A	U	g kohtisuora-arvo	
	m ²	W/(m ² K)	-	
Pohjoinen	11.70	1.00	0.56	
Itä	2.80	1.00	0.56	
Etelä	6.80	1.00	0.56	
Länsi	2.90	1.00	0.56	
Koillinen	-	-	-	
Kaakko	-	-	-	
Lounas				
Luode				
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	Painovoimainen ilmanvaihto			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto
Pääilmanvaihtokoneet	0.000 / 0.149	0.0	0.0	C
Erillispoistot			-	
Ilmanvaihtojärjestelmä	0.000 / 0.149	0.0	-	
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosiyötysuhde:		0.0 %		

LIITE 2(3).

Asuinrakennuskohteen energiatodistus

Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Kaukolämmitysjärjestelmä lämmönsiirtimellä ja vesikiertoisilla radiaattoreilla / Kaukolämpö			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin (1)	Apulaitteiden sähkönkäyttö (2) kWh/(m ² vuosi)
	-	-		
Tilojen ja iv:n lämmitys	0.94	85 %		2.60
LKV:n valmistus	0.94	96 %		1.98
(1) vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
(2) lämpöpumpujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija				
Ilmalämpöpumppu				
Jäähdytysjärjestelmä				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä	-			
Lämmin käyttövesi				
	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
Lämmin käyttövesi	600.00	35		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
Henkilöt ja kuluttajalaitteet	-	2.00	3.00	
Valaistus	60 % 10 %			8.00

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohte

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Pientalo vuokra-asutokäytössä (Erilliset pientalot)
Rakennuksen valmistumisvuosi	1951
Lämmitetty nettoala, m ²	372.2
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	227

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWhE/vuosi	kWhE/(m ² vuosi)
Sähkö	10180	1.70	17305	46.5
Kaukolämpö	95767	0.70	67037	180.1
YHTEENSÄ	105947		84342	226.6
Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	

LIITE 2(4).

Asuinrakennuskohteen energiatodistus

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiakulutus			
	Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä			
Tilojen lämmitys (1)	2.6	201.6	
Tuloilman lämmitys			
Lämpimän käyttöveden valmistus	2.0	40.2	
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiakulutus			
Jäähdytysjärjestelmä			
Kuluttajalaitteet ja valaistus	22.8		
YHTEENSÄ	27.4	241.8	0
<small>(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen</small>			
Energian nettotarve			
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)	63793	171	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	0	0	
Lämpimän käyttöveden valmistus	13027	35	
Jäähdytys	0	0	
<small>(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa</small>			
<small>(3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa</small>			
Lämpökuormat			
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko	4656	12.51	
Ihmiset	3913	10.51	
Kuluttajalaitteet	5869	15.77	
Valaistus	2608	7.01	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä	701	1.88	
Laskentatyökalun nimi ja versionumero			
Laskentatyökalun nimi ja versionumero	www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (14.6.2016)		

LIITE 2(5).

Asuinrakennuksen energialaskennan tulokset ja ostoenergia säävyöhykkeellä II

E-luku	E-luokka	Ostoenergia	Tasauslaskenta	Tehontarve
(Säävyöhyke I)		Ostoenergia:		E-luku:
Tilojen lämmitys (kWh/m ²):		217.11		154.58
Jälkilämmityspatteri (kWh/m ²):		0.00		0.00
Lämmin käyttövesi (kWh/m ²):		44.77		33.32
Sähkölaitteet (kWh/m ²):		22.78		38.72
Jäähdytys (kWh/m ²):		0.00		0.00
Kaikki yhteensä (kWh/m ²):		284.66		226.61
		E-luku:		Raja-arvo:
E-luku ja sen raja-arvo:		227		147

E-luku	E-luokka	Ostoenergia	Tasauslaskenta	Tehontarve
Todellinen ostoenergia sijaintipaikkakunnan mukaisella säävyöhykkeellä.				
Säävyöhyke II		Ostoenergia/m ² :		Ostoenergia:
(Vyöhyke II)		(kWh/m ²)		(kWh)
Tilojen lämmitys:		297.69		110800
Jälkilämmityspatteri:		0.00		0
Lämmin käyttövesi:		44.77		16663
Sähkölaitteet:		22.78		8477
Jäähdytys:		0.00		0
Kaikki yhteensä:		365.23		135940

E-luku	E-luokka	Ostoenergia	Tasauslaskenta	Tehontarve
Säävyöhyke II		Tehontarve/m ² :		Tehontarve:
(Vyöhyke II)		(W/m ²)		(kW)
Tilojen lämmitys:		102		37.84
Jälkilämmityspatteri:		0		0.00
Lämmin käyttövesi:		239		88.94
Rakennuksen lämmitystehontarve:		378		140.87

Energialaskennan tiedot kohderakennus mallinnettuna uudisrakentamisvaatimuksilla

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Päätiedot				
Rakennuskohde:	Asuinrakennus			
Osoite 1:	Ahonkatu 9			
Osoite 2:	50130			
Todistustunnus:				
Kiinteistötunnus:				
Rakennustunnus:				
Rakennusluvan hakemisvuosi:	1951			
Valmistumisvuosi:	1951			
Rakennuksen käyttötarkoitus:	Pientalo vuokra-asuntokäytössä			
Pääsuunnittelija:				
Laskelman tekijä:	Lasse Huurinainen			
Yritys:				
Tilaaaja:				
Päiväys:	01.11.2016			
Sijainti/paikkakunta:	Vyöhyke II=2			
Rakennusluokka:	1 Pientalo			
Kerroslukumäärä:	3			
Rakennustilavuus (m ³):	1224.1			
Rakennuksen ilmatilavuus (m ³):	967.8			
Maanpäällinen kerrostasoala (m ²):	277.2			
Lämmitetty nettoala Anetto (m ²):	372.2			
Lämpökapasiteetti Crak omin (Wh/m ² K):	70			
Ulkopuolisen tilan lämpötila:	17.0 astetta			
Asuntojen lukumäärä:	5			
Laskentamallin tila:	Lupa haettu			
Rakennuslupa hyväksytty (pvm):	-			
Käyttöönottotarkastus suoritettu (pvm):	-			
Rakenneosat				
rakenneosa:	Pinta-ala:	U-arvo:	g-arvo:	Fverho [*] Fkehä:
	m ²	W/m ² K		
Ulkoseinä ulkoilmaa vasten	333.6	0.17		
Yläpohja ulkoilmaa vasten	124.1	0.09		
Alapohja (maanvastainen)	124.1	0.16		
Ikkunat pohjoiseen	11.7	1.00	0.540	0.75
Ikkunat itään	2.8	1.00	0.540	0.75
Ikkunat etelään	6.8	1.00	0.540	0.75
Ikkunat länteen	2.9	1.00	0.540	0.75
Ulko-ovet	12.8	1.00		
Kylmäsiilat				
Kylmäsiilat:	Pituus:	Lisäkonduktanssi:		
	m	W/mK		
US-US (ulkonurkka)	24	0.04		
US-YP	47.6	0.05		
US-VP	90.4	0.05		
US-AP	47.6	0.34		

Energialaskennan tiedot kohderakennus mallinnettuna
uudisrakentamisvaatimuksilla

US-AP	47.6	0.34
US-ikkunat	78	0.04
US-ovet	28.3	0.04
Ilmanvaihto		
Vaipan ilmanvuodot: Ilmanvuotoluku q50:		4
Ilmanvaihto:		

LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT												
Kuvaus	IV-kone RakMk D5 oletusarvoilla, LTO=45, SFP=2.0											
LTO %:	45											
Ominais sähköteho/SFP-luku (kW/m ² /s):	2.0											
Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho (W):	0.0											
Tuloilman lämpötilan asetusarvo:	18 astetta											
Jäteilman lämpötila mitoitusilanteessa:	5 astetta											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo (L/s):	149											
Poistoilmamäärän suunnitteluarvo ilman LTO-vaatimusta (L/s):	149											
Tuloilman suhde poistoilmavirtaan:	1											
Lämpötilan nousu puhallimessa:	0.0 astetta											
Esilämmityspiirin vuosituotto:	0 kWh											
IV-laitteessa automaattinen LTO:n poiskytkentä asetustilanteesta ylityessä:	Ei											
LTO:n ja jälkilämmityspatterin kuukausipäälläolo:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	x	x	x	x	x				x	x	x	x
Lämmitysjärjestelmä												
Käyttöveden lämmitys:												
Kuvaus	Kaukolämmitysjärjestelmä lämmönsiirtimellä											
Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0											
Käyttöveden kiertojohdon häviöt (kWh/vuosi):	841											
Käyttöveden siirron hyötysuhde:	0.96											
Käyttöveden mitoitusvirtaama (litra/s):	0.42											
Käyttöveden kiertojohdon ominaisteho (W/m ²):	2											
Käyttöveden kiertojohdon pumpun ottoteho:	84 W											
Jäteveden LTO:stä hyödynnetty energia:	0 kWh/vuosi											
Sähkölämmityksen hyötysuhde (käyttövesi):	1.0											

Energialaskennan tiedot kohderakennus mallinnettuna uudisrakentamisvaatimuksilla

Lämmitysjärjestelmä	
Käyttöveden lämmitys:	
Kuvaus	Kaukolämmitysjärjestelmä lämmönsiirtimellä
Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0
Käyttöveden kiertojohdon häviöt (kWh/vuosi):	841
Käyttöveden siirron hyötysuhde:	0.96
Käyttöveden mitoitusvirtaama (litra/s):	0.42
Käyttöveden kiertojohdon ominaisteho (W/m ²):	2
Käyttöveden kiertojohdon pumpun ottoteho:	84 W
Jäteveden LTO:stä hyödynnetty energia:	0 kWh/vuosi
Sähkölämmityksen hyötysuhde (käyttövesi):	1.0
Tilojen lämmitys:	
Kuvaus	Kaukolämmitysjärjestelmä lämmönsiirtimellä ja radiaattoreilla
Lämmityksen varaajahäviöt (kWh/vuosi):	0
Häviöt lämmitettömään tilaan (kWh/vuosi):	0
Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde:	0.85
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteet (kWh/m ²):	2
Varaavien tulisijojen lukumäärä:	0
Ilmalämpöpumppujen lukumäärä:	0 kpl (SPF-luku=2.8)
Sähkölämmityksen hyötysuhde (tilojen lämmitys):	1.0
Märkätilojen sähköisen lattialämmityksen osuus tilojen lämmityksestä:	0
Laskenta ja tulokset	
Tilojen lämmitystapa:	Kaukolämpö
Käyttöveden lämmitystapa:	Kaukolämpö
Jälkilämmityspatteri:	Ei jälkilämmityspatteria
Oma sähköntuotanto (kWh/a):	0

Energialaskennan tulokset kohderakennus mallinnettuna uudisrakentamisvaatimuksilla

E-luku	E-luokka	Ostoenergia	Tasauslaskenta	Tehontarve
(Säävyöhyke I)		Ostoenergia:	E-luku:	
Tilojen lämmitys (kWh/m ²):		80.51	58.96	
Jälkilämmityspatteri (kWh/m ²):		0.00	0.00	
Lämmin käyttövesi (kWh/m ²):		43.17	32.19	
Sähkölaitteet (kWh/m ²):		29.78	50.63	
Jäähdytys (kWh/m ²):		0.00	0.00	
Kaikki yhteensä (kWh/m ²):		153.46	141.78	
		E-luku:	Raja-arvo:	
E-luku ja sen raja-arvo:		142		147

E-luku	E-luokka	Ostoenergia	Tasauslaskenta	Tehontarve
Todellinen ostoenergia sijaintipaikkakunnan mukaisella säävyöhykkeellä.				
Säävyöhyke II		Ostoenergia/m ² :	Ostoenergia:	
(Vyöhyke II)		(kWh/m ²)	(kWh)	
Tilojen lämmitys:		125.92	46866	
Jälkilämmityspatteri:		0.00	0	
Lämmin käyttövesi:		43.17	16066	
Sähkölaitteet:		36.80	13698	
Jäähdytys:		0.00	0	
Kaikki yhteensä:		205.89	76631	