

Tero Ilvesluoto

Asuinkerrostalon energiainvestointiselvitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

13.12.2016

Tekijä Otsikko	Tero Ilvesluoto Asuinkerrostalon energiainvestointiselvitys
Sivumäärä Aika	52 sivua 13.12.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	DI Jani Hannén osaamisaluepäällikkö, lehtori Jorma Säteri
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia taloyhtiölle energiansäästömahdollisuuksia, jotka mahdollisesti voitaisiin toteuttaa kiinteistössä alkavan linjasaneerausurakan yhteydessä. Työ tehtiin osana Karves Suunnittelu Oy:n toimeksiannoksi saamaa energiainvestointiselvitystä.</p> <p>Teoriaosuudessa perehdyttiin kerrostalorakentamisen historiaan, kiinteistöjen energiankulutukseen, sekä korjausrakentamisen energiamääräyksiin, joiden ymmärtäminen tärkeää, kun mietitään kiinteistöjen energiatalouden parannuskeinoja. Työssä perehdyttiin myös tutkittavien laitteistojen toimintaperiaatteisiin ja niiden soveltuvuutta vanhojen kerrostalojen lämmitykseen.</p> <p>Tutkimusosuudessa tarkasteltiin laskelmien avulla, onko poistoilmalämpöpumpputjärjestelmän liittäminen kaukolämmön rinnakkaislämmöksi tai kiinteistön lämmön tuoton vaihtaminen kaukolämmöstä maalämmöksi kannattavaa. Työssä tarkasteltiin myös kylpyhuoneeseen asennettavan vesikiertoisien ja sähköisen lattialämmityksen kannattavuuden eroja.</p> <p>Työ toteutettiin laskentatyökalulla, jolla mallinnettiin esimerkki kiinteistön energiankulutuksen lähtötilanne ennen linjasaneerausta ja sen jälkeen. Saadut tulokset laskettiin rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 esittämää kuukausitason laskentamenetelmää soveltaen.</p> <p>Esimerkki kiinteistön energiakorjausinvestoinnin kannattavuuden tarkastelussa havaittiin, että linjasaneerauksen yhteydessä tehtävä vesikiertoinen lattialämmitys on taloudellisesti kannattava ratkaisu. Myös poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä todettiin kannattavaksi, mutta kannattavuus on hyvin herkkä ostoenergian hinnanmuutoksille. Kannattavuustarkasteluissa ainoastaan maalämpöjärjestelmä todettiin kannattamattomaksi investoinniksi.</p>	
Avainsanat	energiainvestointi, energiankulutus, korjausrakentaminen

Author Title	Tero Ilvesluoto Energy investment feasibility study for a multi-story residential building
Number of Pages Date	52 pages 22 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC planning
Instructors	Jani Hannén, MSc Energy Technology Jorma Säteri, Head of Department
<p>The purpose of this thesis was to study different energy renovation measures that could be done in conjunction with a pipeline renovation of a residential building.</p> <p>For the study, the energy consumption of buildings, building codes related to energy efficiency, as well as the functionality and suitability of different HVAC technologies used for heating large residential buildings were revised. Then feasibility studies of waste air heat recovery and geothermal energy as a secondary heating source were performed. Also the differences between the feasibility of floor heating with water circulation and electrical heating were examined.</p> <p>The calculation model used in the final year project, based on the National Building Code of Finland, parts D3 and D5, can be used to simulate the energy consumption of a residential building before and after a pipeline renovation or certain energy efficiency actions.</p> <p>In the energy investment feasibility study the water circulation floor heating system was found to be feasible when installed in a pipeline renovation. Also the waste air heat recovery was found to be feasible, but the feasibility was very sensitive to the variations in the prices of electricity and district heat. Only geothermal energy was found to be economically unfeasible.</p>	
Keywords	Energy investment, energy consumption, renovative construction

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kerrostalojen energiankulutus Suomessa	2
2.1	Lämmitysenergian kulutus	3
2.2	Veden kulutus	5
2.3	Sähkön kulutus	6
3	Korjausrakentamisen viranomaismääräykset	7
4	Kerrostalot Suomessa	9
4.1	Kerrostalot 1940–1960	9
4.2	Kerrostalot 1960–1975	11
4.3	Kerrostalot 1975–2000	12
5	Lämpöpumppujärjestelmät	15
5.1	Toimintaperiaate	15
5.2	Lämpökerroin	16
5.3	Lämpöpumppujärjestelmä kaukolämmön rinnakkaislämmönlähteenä	17
5.4	Poistoilmalämpöpumppu	21
5.5	Maalämpöpumppu	23
5.5.1	Maalämmön lämmönlähteet	23
5.5.2	Maalämpöjärjestelmää koskeva lainsäädäntö ja määräykset	24
6	Vesikiertoinen lattialämmitys	26
7	Rakennusten energiankulutuksen muutoksen mallintaminen	26
7.1	Rakennuksen energiankulutuksen määrittäminen	27
7.2	Energiataselaskennan kulku	28
7.3	Ostoenergian laskennan taserajat	29
7.4	Investoinnin vertailulaskelmat	30
7.4.1	Jäännösarvo	30
7.4.2	Sisäinen korko	31
7.4.3	Takaisinmaksuaika	31
8	Valitun esimerkkikohteen kuvaus	31
8.1	Laskennassa käytetyt lähtötiedot	33
8.2	Vaipan lämpöhäviöt	34

8.3	Vuotoilma ja ilmanvaihto	35
8.4	Käyttövesi ja lämmitys	36
8.5	Sisäiset lämpökuormat	37
8.6	Auringosta tuleva lämpökuorma	37
8.7	Lämpökuormien hyödyntäminen	38
9	Rakennusten lämpöhäviöt ja lämmönkulutus	39
10	Laitteistojen energiainvestointiselvitys	41
10.1	Vesikiertoinen lattialämmitys	41
10.2	Maalämpö	43
10.3	Poistoilmalämpöpumpputjärjestelmä	45
11	Yhteenveto ja loppupäätelmät	48
	Lähteet	51

1 Johdanto

Viime vuosina tarve energiatehokkuuden parantamiselle on kasvanut merkittävästi kansainvälisten sopimusten ja yhteisten tavoitteiden myötä. Suomen sitouduttua Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan sitoumuksiin kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi energiansäästötarve on kasvanut merkittävästi myös rakentamisessa. Nyt voimassa olevilla rakentamismääräyskokoelmilla ja ohjeistuksilla pyritään taloyhtiöitä kannustamaan tekemään energiansäästötoimenpiteitä.

Suomessa rakennuskannan energiatehokkuudella on suuri vaikutus yhteiskunnan energiankulutukseen. Täten rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on tärkeä tulevaisuuden kehitysalue ja erityinen haaste vanhoissa kerrostaloissa. Nyt peruskorjaushankkeita suunnitellaan ja toteutetaan 1960- ja 1970-luvulla rakennettuihin rakennuksiin. Juuri näiden vuosikymmenien aikana alkanut vilkas kaupungistuminen johti asuinkerrostalojen massatuotantoon ja monesti siihen, että rakennusten laatu kärsi. Myös koneellisen poistoilmanvaihdon tulo 1960- ja 1970-luvun rakennuksiin, on lisännyt merkittävästi Suomen asuinrakennusten energian kulutusta.

Julkisivu- ja linjasaneerausremontit ovat taloudellisesti haastavia monelle taloyhtiölle, ja siksi ne tehdään vasta kun siihen tulee pakottava syy. Kerrostalokohteissa remontit ovat usein laaja-alaisia, ja siksi energiakorjausten yhdistäminen suuremman peruskorjauksen yhteyteen on taloudellisesti kannattavin ratkaisu. Pelkästään talotekninen energiakorjaus on lähes järjestelmällisesti kannattamatonta, jos tarkastellaan investointia omana erillisurakkana.

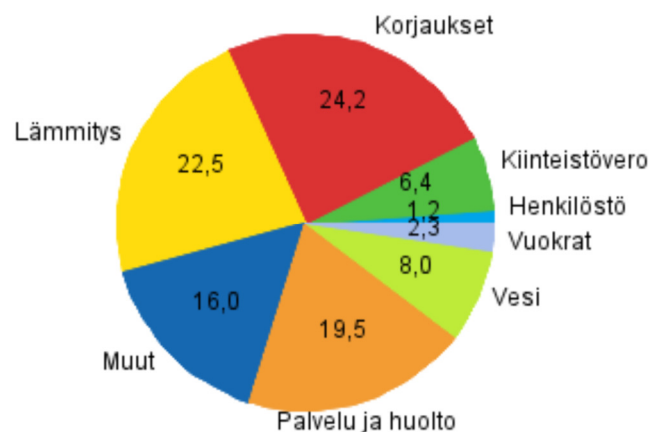
Vaikka rakentamismääräykset antavat ohjeistuksen energiansäästötoimenpiteisiin, on valittavat teknologia- ja energiainvestointiratkaisut kunkin taloyhtiön itse päätettävä. Haasteena on kiinteistöjen talotyypin, rakennuspaikan ja rakennusajankohdan erilaisuus, eikä täten yleispäteviä ohjeita ole olemassa. Tämä on merkittävä ongelma, sillä usein esimerkiksi valitaan energiainvestoinnin kannattavuuslaskennat, jotka edustavat optimaalista tapausta. Energiainvestoinnin kannattavuuslaskelmat perustuvat pääosin energiataselaskentaan, johon vaikuttavat useat kiinteistöön liittyvät tekijät.

Tässä työssä selvitetään energiataselaskentaan vaikuttavia tekijöitä mm. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeen mukaisesti. Erityisenä tavoitteena on peilata kohteen ominaisuuksien vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Teoreettisen tarkastelun lisäksi työssä hyödynnetään todellisen kohteen laskentatietoja. Valittu kohde edustaa rakennustyyppiä, joka on haastava energiainvestoinneille. Työssä tarkastelu on rajattu käsittelemään maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmiä. Nämä ovat tyypillisiä järjestelmiä energiatehokkuuden parantamiseen.

2 Kerrostalojen energiankulutus Suomessa

Kiinteistön energiankulutus näkyy suoraan yksittäisen asukkaan asumiskustannuksissa. Jotta kiinteistön energiatehokkuutta voidaan lähteä parantamaan, on taloyhtiöllä ja osakkailla oltava selkeä käsitys siitä, kuinka paljon kiinteistössä käytetään osakasta kohti energiaa ja vettä hoitokulun maksuun. Osakkailla tulisi olla yhteinen näkemys ja tavoite siitä, millaisessa asuinympäristössä he tulevaisuudessa haluavat asua. (1, s. 1.)

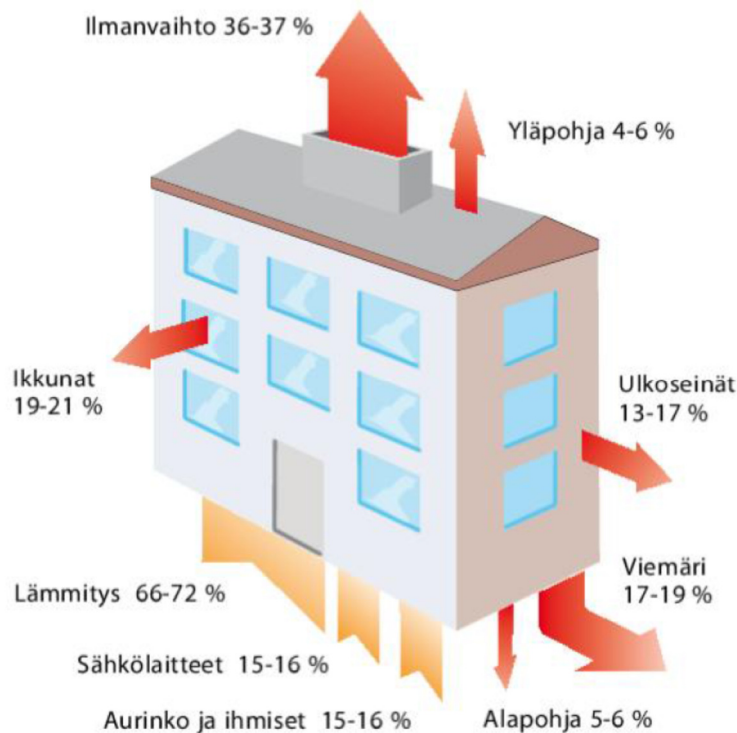
Tilastokeskuksen laskelmien mukaan vuonna 2014 kerrostaloasunto-osakeyhtiöiden hoitokulut olivat keskimäärin 4,87 euroa huoneistoneliötä kohti. Tästä asuinneliötä kohti lämmityksen osuus oli keskimäärin 22,5 % eli noin 1,17 €/m² ja käyttöveden 8 % eli noin 0,39 €/m². Sähkön osuus hoitokuluista oli laskelmien mukaan noin 4 %. Lämmityksen, käyttöveden ja sähkön osuus on keskimäärin 36 %. (Kuva 1.) Esimerkiksi 70 asuinneliömetrin kokoisen huoneiston lämmityksen, käyttöveden ja sähkö osuus hoitokuluista olisi noin $1,68 \text{ €/m}^2 * 70 \text{ m}^2 = 117,6 \text{ €/kk}$. (2)



Kuva 1. Kerrostaloyhtiöiden kulujen rakenne vuonna 2014, prosentteina kokonaiskuluista (2).

2.1 Lämmitysenergian kulutus

Kun kiinteistöön tehdään energiaselvitystä, on tärkeää, että kaikki osapuolet ymmärtävät, mitä kautta kiinteistöön saadaan lämpöenergiaa ja miten lämpö häviää rakennuksesta. Esimerkiksi rakennuksen energioiden jakautumista voidaan havainnollistaa ns. lämpöenergiataseella. Kerrostalopiirroksen kuvan 2 lämpöenergiatasepiirroksessa on havainnollistettu, kuinka monesta lähteestä lämpöenergia on peräisin ja kuinka se häviää 1960–1980-lukujen kerrostaloissa. (1, s. 18–22.)



Kuva 2. Lämpöenergiatase 1960- ja 1970-lukujen kerrostalossa (1).

Asuinkerrostalon suurin yksittäinen lämpöhäviöiden aiheuttaja on ilmanvaihto, jonka kautta häviää yli kolmannes taloon tulevasta energiasta. Myös ikkunat ja viemärit kuluttavat yksittäin paljon lämpöenergiälämpöenergiaa. Sen sijaan, päinvastoin kuin yleensä luullaan, ovat kerrostalon ylä- ja alapohjan lämpöhäviöt kokonaishäviöihin nähden pieniä. Ulkoseinien kautta poistuva energiakin rakennusmassaan nähden on vain noin 15 %. (1)

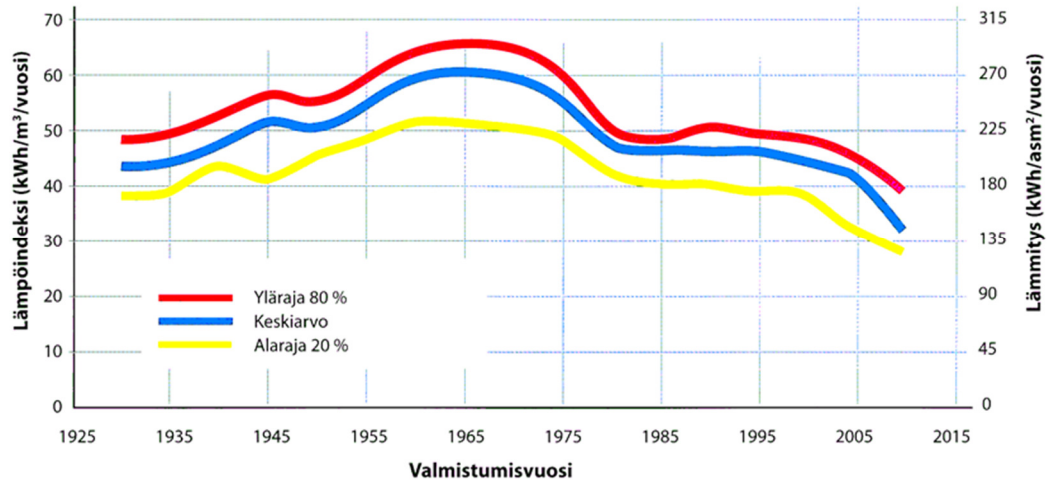
Rakennuksen tarvitsema kokonaislämmöntarve saadaan ostoenergiasta, ilmaisenergiasta ja omavaraisenergiasta. Ostoenergialla tarkoitetaan rakennuksen ulkopuolella tuotettavaa energiaa kuten kaukolämpöä, öljyä tai sähköä. Ilmaisenergian saanti voidaan jakaa kahteen osaan: rakennuksen ulkopuolelta tulevaan ilmaislämpöön, joka on pääosin auringosta saatavaa, ja sisäiseen ilmaislämpöön, jota saadaan mm. erilaisista sähkölaitteista, ihmistä ja käyttövedestä. Omavaraisenergiaa kiinteistö saa tuottamalla itse lämpöä esimerkiksi auringosta, tuulesta tai muista omista polttoaineista. (1)

Kiinteistön energiankulutusta seurataan yleensä vuotuisena ominaiskulutuksena. Ominaiskulutuksella tarkoitetaan, miten paljon lämpöenergiaa käytetään rakennuksen tilavuutta tai pinta-alaa kohti. Lämpöenergian kulutusta rakennuksen tilavuuteen kutsutaan lämpöindeksiksi. Lämpöindeksi kertoo, kuinka paljon rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen on käytetty lämpöenergiaa vuodessa rakennuskuutiometriä kohden. Lämpöindeksi ilmoitetaan normeerattuna eli vastaamaan kunkin vuoden niin sanotulla lämmitystarveluvulla vastaamaan vertailuvuotta. Normeerauksen avulla saadaan kiinteistön vuosittaiset energiankulutukset vertailukelpoiseksi. (1)

Etelä-Suomessa 1960–1980-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen kulutus lämpöindeksillä mitattuna vuodessa on yleensä 40–65 kWh rakennuskuutiometriä kohden. Kun muun Suomen lukuja verrataan Etelä-Suomeen, on energian kulutus kylmempien olosuhteiden takia Keski-Suomessa 10–15 prosenttia ja Pohjois-Suomessa 25–30 prosenttia Etelä-Suomea suurempi. (1)

Kun tarkastellaan lämpöindeksin kehitystä rakennusten valmistumisvuosien mukaan, nähdään kuvassa 3, kuinka rakentamismääräysten muutokset Suomessa ovat parantaneet rakennusten lämmön säästöä. Suomen kerrostalokannasta 1960- ja 1970-luvulla rakennetut talot kuluttavat eniten lämmitysenergiaa. Yhtenä merkittävänä tekijänä voidaan pitää koneellista poistoilmajärjestelmää. Poistoilmajärjestelmiä käytettiin varsin yleisesti vielä 2000-luvun alkuvuosiin asti, kunnes koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmön talteenotolla varustettuna tuli rakentamismääräysten kautta vaatimukseksi vuonna 2003. Määräys ilmanvaihdon osalta näkyy suoraan lämpöindeksin pienentymänä vuoden 2004 jälkeen. (1)

Rakennusten energiatehokkuutta alettiin määrätietoisesti parantamaan 1970-luvun alussa alkaneen energiakriisin jälkeen. Rakennusten rakenneosien ensimmäiset U-arvovaatimukset julkistettiin Suomessa vuonna 1976 (Lämmöneristysmääräykset). (3) Kun vuonna 1978 määräykset kiristyivät vielä lähes 30 % alkoi tämä näkyä 1970-luvun lopussa jo selvänä asuinkerrostalojen lämpöindeksien alenemisena. (2)



Kuva 3. Lämmitysenergian vuotuinen kulutus kaukolämmitteisissä kerrostaloissa valmistumisvuoden mukaan (1).

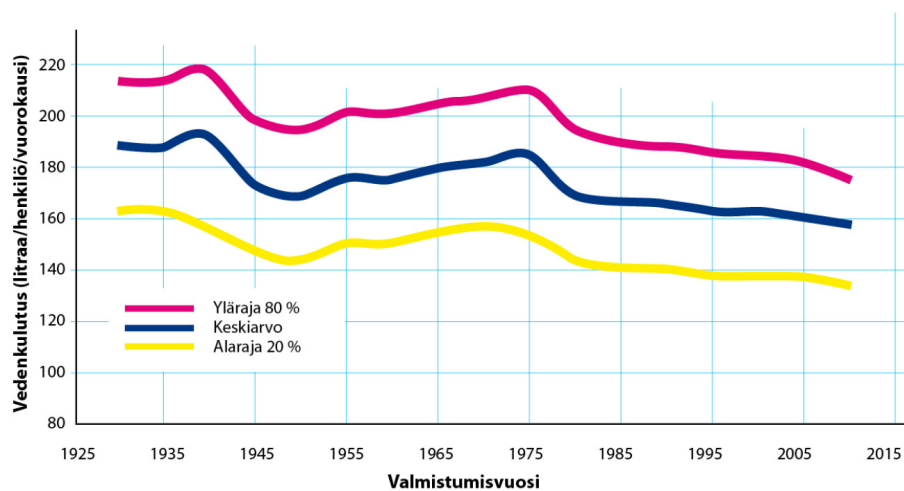
2.2 Veden kulutus

Suomessa käyttöveden kulutus oli huipussaan asukasta kohti 1970-luvun puoleenväliin asti. Kulutuksen kasvun katkaisi maailmanlaajuinen energiakriisi, joka moninkertaisti öljyn hinnan. Tämän jälkeen kulutus alkoi laskea tasaisesti aina näihin päiviin asti. (4) Nykyään asuinkerrostaloissa veden kokonaiskulutus asukasta kohti on noin 155 l/hlö/vrk, josta lämpimän veden osuus on noin 40 %. (Kuva 4.) (1, s. 26–28.)

Kiinteistöjen ominaiskulutuksia tarkasteltaessa, riippuu vedenkulutus hyvin pitkälti asukkaiden käyttötottumuksista. Ominaiskulutuksiin vaikuttavia seikkoja ovat asukkaiden veden käyttötottumukset, jotka voivat vaihdella jopa 60–270 l/hlö vuorokaudessa, vesikalusteiden varustelutaso, kulutusseuranta sekä laitteistojen hoito- ja ylläpitojärjestelmien organisointi. (1) Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan käyttöveden laskennallisena mitoituksena voidaan käyttää 60 l/hlö/vrk. Mikäli kiinteistössä on huoneistokohmainen vedenmittaus, voidaan arvona käyttää 50 l/hlö vuorokaudessa. (5, s. 27.)

Lämminvesijärjestelmän energiatehokkuus on riippuvainen laitteiston hyötysuhteesta. Lämminvesijärjestelmää varten käytetty lämpöenergia on yleensä selvästi suurempi kuin lämpimän käyttöveden kulutus antaisi ymmärtää. Tähän vaikuttavat lämminvesijärjestelmän lämpöhäviöt ja lämmityslaitteiston mitoitus. Esimerkiksi lämmintä vettä kulutetaan noin 64 prosenttia primäärienergiasta kaukolämpöjärjestelmässä.

Kylpyhuoneen käyttövesipatterin osuus lämpöenergian tarpeesta on noin 19 prosenttia. Muun energian tarve tulee vesijohtojen, venttiilien ja siirtimien lämpöhäviöistä. Osa lämpöhäviöistä tulee kuitenkin hyödynnettyä rakennuksen lämmityksessä. (4)

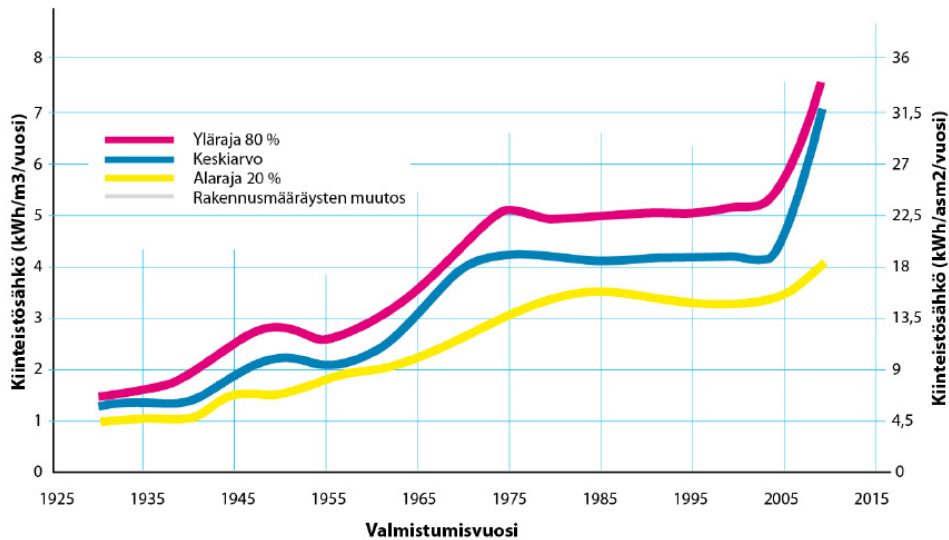


Kuva 4. Asuinkerrostalojen kokonaisvedenkulutus henkilöä kohti vuorokaudessa valmistumisvuoden mukaan (1).

2.3 Sähkön kulutus

Asuinkerrostalon kiinteistösähköllä tarkoitetaan yleisten tilojen, puhaltimien, pumppujen, autolämmitystolppien, talosaunan ym. tilojen ja koneiden sähkön kulutusta, joka veloitetaan asukkailta vastikkeen tai vuokran yhteydessä. Tämän lisäksi jokainen talous maksaa oman huoneistonsa käyttämän sähkön. Kuvasta 5 voidaan nähdä, että kiinteistösähkön kulutus on kasvanut tasaisesti vuosi vuodelta. Kulutuksessa on kaksi ajankohtaa, jolloin sähkönkulutukseen on tullut selkeitä nousuja. Ensimmäinen selkeä kulutuksen nousu on 1960-luvulla, jolloin uusissa kerrostaloissa siirryttiin käyttämään koneellista poistoilmanvaihtoa painovoimaisen ilmanvaihdon sijaan. Toinen merkittävä sähkön kulutuksen nousu tuli vuoden 2003 jälkeen.

Uusissa kiinteistöissä siirryttiin käyttämään koneellista tulo- poistoilmanvaihtojärjestelmää. Sähkön kulutusta ovat myös lisänneet muun muassa kiinteistösähköön asennetut lattialämmitykset ja sulatusjärjestelmät. (1, s. 22–24)



Kuva 5. Kerrostalojen kiinteistösähkön kulutus vuodessa valmistumisvuoden mukaan (1).

3 Korjausrakentamisen viranomaismääräykset

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan keskeisiä sitoumuksia ovat kasvihuonepäästöjen vähentäminen 20 prosentilla, uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta sekä energiatehokkuuden parantaminen 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. (6)

Uusiutuvan energian käytön osuus Suomessa vuonna 2005 oli 28,5 prosenttia. Nyt Suomelle uusiutuvaan energiaan käyttöön liittyvä tavoite on vuoteen 2020 mennessä asetettu 38 prosenttiin. Vuonna 2008 Valtioneuvoston ilmasto- ja energiastrategiassa Suomen tavoitteeksi asetettiin energian loppukulutuksen kääntäminen laskuun. Kun vuonna 2011 energian loppukulutus oli Suomessa noin 386 TWh, tavoitteena on saada vuoteen 2020 mennessä loppukulutus noin 310 TWh:n tasolle. (6)

Suomessa energiatehokkuuden parantamiseksi antoi ympäristöministeriö 27.2.2013 asetuksen ”rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä”. Asetusta tulee soveltaa rakennuksiin, joissa tehdään maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaan rakennus- tai toimenpideluvanvaraista korjaus- tai muutostöitä tai

joiden käyttötarkoitusta muutetaan. Ministeriön antama asetus koskee myös rakennuksia, joissa käytetään energiaa valaistukseen, tilojen- ja ilmanvaihdon lämmitykseen tai jäähdytykseen tarkoituksenmukaisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi. Energiatehokkuuden parantamisvelvollisuus ei koske Maankäyttö- ja rakennuslain 117 g §:n 2 momentin mukaisia rakennusluokkia ja rakennuksia. (7)

Suomessa kokonaisenergiankulutuksesta rakennusten osuus on noin 40 prosenttia. Ympäristöministeriön antamalla asetuksella on tavoitteena vähentää olemassa olevien rakennusten energiankulutusta noin 6 prosenttia rakennuskannassa vuoteen 2020 mennessä ja pitemmän aikavälin tavoitteena on vähentää rakennusten energiankulutusta noin 25 prosentilla ja hiilidioksidipäästöjä 45 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. Tavoitellut säästöt syntyvät esimerkiksi rakennusten lämpöhäviöiden vähentämisestä, tehokkaammista lämmöntalteenottojärjestelmistä, sähköjärjestelmien tehokkaammasta käytöstä, sekä uusiutuvien energialähteiden lisäämisestä. (6)

Alla olevassa listassa on esitetty ympäristöministeriön asetuksen pohjalta kolme eri vaihtoehtoa rakennuksen omistajalle, jolla energiatehokkuuden parantamisen taso tulee määritellä ja kuinka energiatehokkuuden parantuminen osoitetaan. (6, s. 22.)

- Ensimmäisenä vaihtoehtona on parantaa rakennusosien lämmönpitävyyttä vaatimusten mukaisiin arvoihin.
- Toisena vaihtoehtona on noudattaa asetettua rakennustyyppin mukaista vaatimusta. Vaatimus on lukuarvo kWh/m²/vuosi. Taserajana käytetään rakennusten energiankulutusta, joka lasketaan standardikäytöllä. Laskennassa voidaan soveltaa uudisrakentamisen laskentaan tarkoitettuja ohjeita.
- Kolmantena vaihtoehtona on laskea rakennukselle ominainen kokonaisenergiankulutus E-lukuna ja pidentää sitä vaatimusten mukaisella määrällä. Lasketaan standardikäytöllä. Laskennassa voidaan soveltaa samoja laskentavälineitä ja ohjeita kuin uudisrakentamisessa.
- Teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksia noudatetaan, valitusta vaihtoehdosta riippumasta, silloin kun niitä parannetaan, uusitaan tai asennetaan kokonaan uusia. (6, s. 22.)

4 Kerrostalot Suomessa

4.1 Kerrostalot 1940–1960

Sodan jälkeen Suomessa vallitsi vaikea asuntopula. Sodan ja siitä johtuvien alueluovutusten seurauksena Suomessa oli menetetty yli 125 000 asuntoa. 1940-luvulla suuri väestönkasvu ja siirtolaisväestön asuttamiset uusille asuinalueille, laajensivat asuntopulan niin pahaksi, että yksityisten rakennuttajien rinnalle tuli kunnat ja aatteelliset tahot kuten Sosiaalinen Asuntotuotanto Oy (1940), joka laajeni Helsingistä myöhäisemmässä vaiheessa maanlaajuiseksi SATO -järjestöksi, Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (1948) ja Asuntosäätiö (1951). Valtion Asuntotuotantotoimikunta eli Arava perustettiin vuonna 1949. Suomessa 1950-luvun loppupuolella suuri muuttoaalto maaseudulta kaupunkeihin ja kauppaloihin alkoi näkyä rakentamisessa. Vuonna 1960 niiden vuotuinen asuntotuotanto rikkoi jo 20 000 asunnon rajan. (8, s. 84.)

Vuoteen 1952 asti elettiin Suomessa pulan ja säännöstelyn aikaan. Rakentamisen ongelmia ratkottiin minimimitoituksilla, sekä käytettiin paljon kierrätys- ja korvikemateriaaleja. Asuinrakennuksiin ensimmäiset elementtirakenteet kuten portaat, ilmanvaihtokanavat ja parvekkeet tulivat 1950-luvulla. (8, s. 84.)

Aikakauden yleisin talotyyppi oli avoimeen korttelirakenteeseen rakennettu suorakaitteenmuotoinen hissitön 3–4-kerroksinen lamellitalo, jossa oli kahdesta kolmeen asuntoa porrastasannetta kohti. Myös tornitaloja, eli pistetaloja, joiden korkeus vaihteli kolmesta kahdeksaan kerrokseen rakennettiin runsaasti. Pistetaloille oli tyypillistä, että kullekin porrastasolle pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman monta asuntoa. Kerroksessa asuntoja oli jopa kahdeksan ja pohjamuodoissa saattoi olla suuriakin vaihteluja. (8, s. 87.)

Vaikka aikakauden kiinteistöissä taloryhmä- tai aluekohtaiset lämmitysratkaisut olivat yleistymässä, huolehtivat taloyhtiöt lämmityksen yleensä omalla lämpölaitoksella. 1950-luvulla rakennusten lämmityksessä alettiin käyttää öljyä. Vuonna 1940 ensimmäinen alueellinen lämpökeskus aloitti toimintansa Helsingin Olympiakylässä. Yleisin lämmitysjärjestelmä oli vesikeskuslämmitys, jonka toiminta perustui aluksi painovoimaiseen kiertoon, mutta 1950-luvun puolenvälin jälkeen yleistyi pumppukiertoinen vesikeskusjärjestelmä. (8, s. 113.)

1950-luvulla kerrostaloihin rakennettiin jonkin verran myös lattialämmitysjärjestelmiä, jolloin pattereista päästiin kokonaan eroon. Tällaisia järjestelmiä tehtiin esimerkiksi Espoon Tapiolassa ja Helsingin Haagassa sekä Munkkivuossa. (8, s. 113.)

Painovoimainen ilmanvaihtoratkaisu oli yleisin aina 1950-luvun puoliväliin asti. Ilmanvaihtojärjestelmiä rakennettiin 1960-luvulle asti lähinnä 3–4-kerroksisiin taloihin. Ilmanvaihdon ns. rakennusaineiset erilliskanavat rakennettiin tiilestä, kipsiharkoista, betoni-hormielementeistä tai valetuista betonihormeista, jotka valettiin asbestisementtiputkien tai pahvitorvimuottien avulla. Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmana oli riippuvuus sääoloista, poistoilmaventtiilien huono säädettävyys sekä ilmanvaihdon riittävyys varsinkin kerrostalojen ylimmissä kerroksissa. (8, s. 115.)

Vuonna 1953 rakennushallituksen hyväksyttyä Suomen Puhallintehdas Oy:n SP-yhteiskanavajärjestelmän, alkoi koneellisen poiston käyttö rakennuksissa. Samoin kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa, poistoilmaventtiilit sijoitettiin keittiöihin, WC- ja /kylpyhuone-tiloihin sekä vaatehuoneisiin. Painovoimaisen ilmanvaihdon erilliskanavajärjestelmästä poiketen koneellisessa ilmanvaihdossa eri kerroksissa päällekkäiset tilat yhdistettiin samaan pystysuoraan poistokanavaan. Lopuksi eri tilojen yhteiskanavat yhdistettiin ullakolla olevaan puhallinkomeroon, jonka poistopuhallin poisti ilmaa koko rakennuksesta tai sen osasta. (8, s. 115.)

Koneellisen poistoilmajärjestelmän etuina oli säästä riippumaton ja tasainen ilmanvaihdon toiminta, sekä pienempi lattiapinta-alan tarve poistoilmakanavistoille, jolloin myytävien asuinneliöiden määrä kasvoi. Koneellinen poisto mahdollisti myös ilmanvaihdon tehostamisen. Ongelmana taas olivat sen aiheuttamat melu- ja hajuhaitat sekä paloturvallisuuden heikkeneminen. Myös järjestelmän ongelmana oli hallitsematon ulkoilman sisäänotto, sillä ulkoilmaventtiilien rakentamisesta asunteluihin luovuttiin yhteiskanavajärjestelmään siirryttäessä. Tämä johti siihen, että ilmanvaihdon tarvitsema ulkoilma imettiin hallitsemattomasti esimerkiksi tiivistämättömäksi jääneiden rakenteiden, ikkunoiden ja ovien raoista. Koneelliseen poistoon perustuvia erilliskanavajärjestelmiä, joissa kaikilla tiloilla oli oma pystysuora poistoilmakanava katolle, rakennettiin jonkin verran vielä 1950-luvulla. (8, s. 115–117.)

4.2 Kerrostalot 1960–1975

1960–1970-luvulla suomessa alkanut suuri yhteiskunnan rakennemuutos synnytti lähiöiden sarjatuotannon. Väestön muutto maaseudulta kaupunkeihin pakotti rakennuttajat kehittämään uusia menetelmiä asuntotuotantoon. Pankkien ja rakennusliikkeiden johdolla alkoi suurien kerrostalovaltaisten aluerakentamiskokonaisuuksien rakennuttaminen. Vilkkaimmillaan kerrostalorakentaminen oli 1970-luvun alkupuoliskolla. Vuonna 1974 rakentamisessa saavutettiin kaikkien aikojen ennätys, jolloin Suomeen valmistui 46 200 kerrostaloasuntoa. (8, s. 142.)

Kauas kaupunkien keskustoista rakennettujen suurien aluekokonaisuuksien painopiste oli asuntojen määrällisten tavoitteiden saavuttamisessa. Asuntotuotannon tarkoituksena oli tehokkuus ja yhdenmukaistaminen. Rakentamista alettiin toteuttaa Arava-ohjeistuksen mukaan. Ohjeistuksella pyrittiin saamaan rakennukset ja osat mahdollisimman hyvin sarjatuotantoon soveltuviksi. Tämä tarkoitti sitä, että keskenään erilaisten osien ja asuntojen lukumäärää pyrittiin rajoittamaan, jotta saavutettaisiin sarjatuotannon edut. Rakennusten kohdekohtainen suunnittelu muuttui teolliseksi sarjatuotantosuunnitteluksi, jossa rakennusosat pyrittiin esivalmistelemaan mahdollisimman pitkälle. Ennen käsityönä toteutettu yksilökohtainen rakentaminen sai väistyä teollisen sarjatuotannon tieltä. (8, s.142-143.)

Arava-ohjeistuksen mukaisista talotyypeistä varsinkin hissitön 4-kerroksinen lamellitalo maanpäällisellä kellarikerroksella oli suosittu 1960- ja 1970-luvuilla. Hissillisten 5–8-kerroksisten talojen ohella rakennettiin yli kymmenkerroksisia talokolossiryhmiä. 1970-luvulla rakennettiin myös jonkin verran luhtikäytäväataloja. (8, s. 143.)

Rakennusten lämmitysmuotona käytettiin pääsääntöisesti alue- tai kaukolämpöverkkoon kytkettyä pumppukiertoista vesikeskuslämmitystä. Lämmitysverkoston pattereiden yleisin kytkentätapa oli ns. kaksiputkijärjestelmä, jossa meno- ja paluuedellä oli omat kerrosten läpi kulkevat nousulinjastot. Myös elementtitaloissa nousulinjastot sijoitettiin aluksi seinärakenteiden sisään, mutta 1970-luvulla tämän ei katsottu soveltuvan enää teolliseen rakentamistapaan. 1970-luvulla lämpöjohtojen nousulinjat ryhdyttiin sijoittamaan näkyville huoneiden ulkoseinien nurkkiin. Patterit kytkettiin nousulinjoihin näkyvissä olevilla vaakavedoilla. Patterit olivat yksi- tai useampilevyisiä teräslevypattereita

sekä matalia konvektoreita. Kylpyhuoneiden lämmityspatteri ja kupariputkinen lattialämmitys liitettiin käyttöveden lämminvesiverkostoon. Lämmityspatteri sijoitettiin kylpyammeen etulevyksi tai seinälle. (8, s. 181.)

Pääsääntöisesti 1960–1975-luvun taloissa ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, mutta 3–4-kerroksisissa taloissa käytettiin vielä jonkin verran myös painovoimaista ilmanvaihtoa. Aikakauden taloihin rakennettiin myös koneelliseen poistoilmanvaihtoon perustuvia erilliskanavajärjestelmiä, jossa jokaiselle poistoilmaa vaativalle tilalle kuten keittiölle, kylpyhuoneelle ja WC-tilalle rakennettiin oma nousukanava. Kierresaumatut peltikanavat syrjäyttivät 1970-luvulla betoniset hormielementit, joita oli alettu käyttämään 1950-luvulta lähtien. Rakennusten vaakakokoojakanavat sijoitettiin yläpohjaan tai jopa kattopinnan yläpuolelle. Poistoilmapuhaltimina käytettiin kaksinopeuspuhaltimia, jotka toimivat vain osan vuorokautta täydellä teholla. (8, s. 188.)

Koneellisen poistoilmanvaihdon tyypillinen ongelma oli puutteellinen ulkoilman saanti. Erillisiä raitisilmaventtiilejä ei yleensä rakennuksissa ollut, lukuun ottamatta keittiön ruokakomeroa ja mahdollista löylyhuonetta. Eteenkin makuuhuoneiden ilmanvaihto oli heikko. Asunnot olivat vetoisia, koska niissä ei ollut keskitettyä raitisilman ottoa. Yksi varsin tavallinen tapa saada huoneisiin ulkoilmaa, oli poistaa ikkunoiden yläosasta tiivistettä. Ulkoilmaventtiilejä ryhdyttiin asentamaan asuntoihin vasta 1980-luvun lopulla. Myös asuntojen päällekkäisten tilojen yhdistäminen samaan pystysuoraan poistokanavaan toi usein myös ääni- ja hajuhaittoja. (8, s. 188.)

4.3 Kerrostalot 1975–2000

Kerrostaloasuntojen rakentaminen väheni 1970-luvun jälkipuoliskolla jyrkästi. Rakentamisen vähenemiseen vaikutti asuntotuotannon kokonaismäärän lasku sekä painopisteen siirtyminen yksilöllisempään rakentamiseen kuten omakotitaloihin, rivi- ja paritaloihin. Kun vuonna 1974 rakennetuista asuinnoista kaksi kolmasosaa sijaitsi kerrostaloissa, niin alimmillaan 1980-luvulla niitä rakennettiin enää kolmasosa. Rahoitusmarkkinoiden vapautumisen myötä rakentamisen vauhti kiihtyi vuosikymmenen loppua kohden. Seuraavan rakentamisen korkeasuhdanteen huippuvuonna 1990 kerrostaloja rakennettiin enää reilut 21 000. Vaikka 1990-luvulla alkoi uusi suurempi muuttoliike maalta kaupunkiin, kerrostalorakentaminen oli alimmillaan vuonna 1996, jolloin kerrostaloasuntoja valmistui alle 10 000 kappaletta. (8, s. 210.)

1960-luvulla alkaneen aluerakentamisen ja teollisen asuntotuotannon vastustus ja ihmisten kyllästyminen betonilaatikkorakentamiseen saavutti sellaiset mittasuhteet, että esimerkiksi Arava muutti ohjeistustaan. Vuoden 1979 Arava-ohjeissa arkkitehtuurilta vaadittiin enemmän ihmisläheisyyttä ja rakennusten sopeutumista ympäristöön. Suunnittelun ohjauksella pyrittiin nostamaan myös asuntojen laatutasoa. Vaikka aluksi rakentaminen jatkui lähiökauden resepteillä, 1980-luvulla luvulla rakentamisen laadulliset tavoitteet alkoivat näkyä. Vuosikymmenen loppupuolella aravarahoitteisten asuntojen laatu- ja varustetaso oli monelta osin samaa tasoa kuin vapaarahoitteisten asuntojen. (8, s. 210.)

Vuosina 1962-1993 Arava-ohjeilla oli keskeinen merkitys myös vapaarahoitteisten kerrostalojen rakentamiseen, vaikka ohjeet eivät niitä suoranaisesti koskeneet. Arava-ohjeissa määritellyistä vähimmäisvaatimuksista muodostui usein myös vapaarahoitteisten asuntojen ylin mahdollinen laatutaso. Kun vuonna 1993 asuntohallitus lakkautettiin, siirtyi suunnittelunohjauksen päävastuu valtiolta kunnille sekä rakennuttajille. Asuntohallituksen tilalle perustettiin uusi virasto, Valtion asuntorahasto ARA. (8, s. 210.)

1970-luvun jälkipuoliskolla asuinaluesuunnittelussa oli selvä pyrkimys selvästi hahmotuviin korttelikokonaisuuksiin ja liikenteen järjestämiseen perinteistä umpikorttelirakennetta muistuttavasti. Rakentamisessa ryhdyttiin kiinnittämään entistä enemmän huomiota asuinympäristöjen virikkeellisyyteen sijoittamalla esimerkiksi asuntojen lomaan työpaikkoja. Myös aluerakentamisessa ympäristön suunnitteluun ryhdyttiin kiinnittämään uudelleen enemmän huomiota. 1980-luvulla kaavoittamalla ja tuotantotapasuunnittelulla pyrittiin kaupunkikuvaan tuomaan vaihtelevuutta, jolloin asuinalueille saatiin aiempaa vaihtelevampi massoittelu ja pienempi koko. Perinteisten lamelli- ja pistetalojen lisäksi rakennettiin esimerkiksi luhtikäytävä- ja pienkerrostaloja. 1990-luvun taloudellisen taantumana aikana kerrostaloja rakennettiin taas lähelle keskusta-alueita ja niiden keskimääräinen koko sekä kerrosluvut alkoivat jälleen kasvaa. Muutoksen taustalla oli yleinen rakentamisen tehokkuusajattelu. Uudet voimaan tulleet hissimääräykset edellyttivät tietyn rajoituksen hissien rakentamista myös kolmikerroksisiin rakennuksiin. Tämä johti siihen, että hissien ja porrashuoneiden määrää pyrittiin vähentämään rakentamalla korkeita taloja, joissa on mahdollisimman monta asuntoa saman porrastason yhteydessä. (8, s. 212–213.)

Aikakauden rakennuksissa lämmitysmuotona käytettiin yleisimmin kaukolämpöön liitettyä vesikeskuslämmitysjärjestelmää, jossa asuntojen lämmitys toteutettiin yleisimmin patterilämmitteisellä kaksiputkijärjestelmällä. Järjestelmässä meno- ja paluuedellä on

omat runkolinjat, jotka kulkevat rinnakkain kerrosten läpi. Putket sijoitettiin yleensä näkyville asuntojen ulkoseinien nurkkiin ja patterit liitettiin niihin vaakavedoin. 1990-luvulla rakennettiin huoneistokohtaisia jakotukkipöytäjärjestelmiä. Jakotukit sijoitettiin yleensä porraskäytäviin, josta jokaiselle patterille tuotiin lattiarakenteissa omat muoviset kytkentäjohdot. Tällä pyrittiin hillitsemään äänen kulkeutumista huoneistojen välillä. Tämä mahdollisti myös huoneistokohtaisen energiamittauksen. (8, s. 230.)

1970-luvulla kupariputkea käytettiin yleisesti vesijohtojen materiaalina. Viemäriputkina käytettiin joko muhvitonta valurauta- tai muoviputkea. Vuonna 1975 muoviviemäreiden käyttö lisääntyi huomattavasti muhvilisten putkien tullessa markkinoille. Energiakriisin jälkeen rakentamisessa alettiin miettiä myös vettä säästäviä toimenpiteitä. Esimerkiksi suihkujen käyttöä alettiin suosia runsaasti vettä kuluttavien ammeiden sijaan. Vedenkulutuksen vähenemiseen vaikuttivat myös yksiotehanat, jotka 1970-luvun jälkipuoliskolla alkoivat yleistyä. 1990-luvulla rakennuksiin asennettiin jonkin verran huoneistokohtaisia vedenkulutusmittareita. (8, s. 230.)

1970- ja 1980-luvun kerrostaloissa koneellinen poistoilmanvaihto on yleisin ilmanvaihtojärjestelmä. Poistoilmaverkostona ryhdyttiin käyttämään yhteiskanavajärjestelmää, jossa eri asuntojen päällekkäisillä tiloilla on yhteinen poistoilmakanavisto. Peltiset kierresaumakanavat yleistyivät, kun kanavistoa ryhdyttiin sijoittamaan kylpyhuone-elementtien yhteyteen. Järjestelmän nousukanavat yhdistettiin ullakolla tai yläkatolla sijaitseviin eristettyihin kokoojakanaviin. Yhteiskanavajärjestelmän tyypillisiä ongelmia on puutteellinen ulkoilman saanti, haju- ja ääniongelmia sekä suuri energiankulutus. 1980-luvun loppupuolelle asti oli tavallista, ettei asuntoihin rakennettu raitisilmalle erillisiä venttiilejä vaan luotettiin talojen hataruuteen tai poistettiin ikkunoiden yläosasta tiivistettä. Vuonna 1988 voimaan tulivat määräykset, jotka velvoittivat raitisilmareittien huomioon ottamista ilmanvaihtosuunnittelussa. Tällöin raitisilman alettiin toteuttaa ikkunoihin asennetuilla karmiventtiileillä tai seinään asennetulla venttiilillä. 1970- ja 1980-luvulla rakennettiin joitain tulo- ja poistoilmanvaihtoja, mutta laajemmassa mittakaavassa ne yleistyivät uudisrakennuksissa 1990-luvun alussa. Vuoden 2003 voimaan tulleiden määräysten jälkeen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on ollut suosituin kerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmä. (8, s. 232–233.)

5 Lämpöpumppujärjestelmät

Erityyppisten lämpöpumppujen määrä rakennusten lämmöntuottamiseen on nopeassa kasvussa. Vuonna 2014 lämpöpumppuja myytiin Suomessa 70 000 kappaletta ja vuoden 2014 lopussa asennettuja lämpöpumppuja oli yli 700 000. (9) Vuonna 2020 ennustetaan Suomessa lämpöpumppujen määrän olevan miljoona (10).

Lämpöpumppujen tuottama lämmitysenergia on halpaa ostoenergioihin verrattuna. Pumpuista riippuen tuotettu energia maksaa 3–6 snt/kWh, kun taas suoraan sähköllä tai öljyllä tuotetun lämmityksen hinta maksaa 12–18 snt/kWh. Huoli ilmastomuutoksesta ja Suomen uusiutuvan energian käyttöön liittyvät tavoitteet vuoteen 2020 mennessä ovat saattaneet lisätä lämpöpumppujen suosiota. (11)

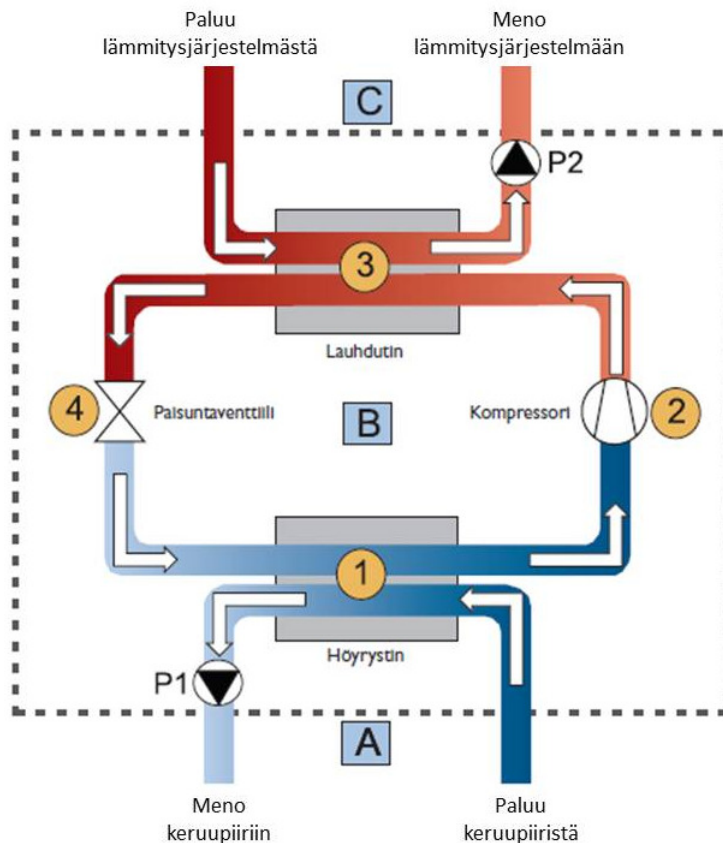
Kiinteistöjen omistajien kasvanut mielenkiinto lämpöpumppujärjestelmiä kohtaan on huomattu myös suunnittelutoimistoissa. Yhä enemmän suunnittelutoimistoissa tehdään kiinteistöille energiainvestointiselvityksiä lämpöpumppujärjestelmien kannattavuuksista ja tuotetun lämmön käyttökohteista. Yleinen selvityksen aihe kiinteistön omistajille on ollut selvittää poistoilmalämpöpumppujärjestelmän soveltuvuus kaukolämmön rinnakkaislämmöksi. On myös tapauksia, joissa asuinkerrostalon lämmitysenergian tuottaminen lämpöpumpuilla on todettu niin kannattavaksi, että nykyisestä lämmitysenergian ostosta on voitu luopua kokonaan.

5.1 Toimintaperiaate

Lämpöpumpputyypistä riippuen, joko maahan, kallioon, veteen tai ilmaan auringosta varastoitunutta ilmaista lämpöenergiaa voidaan siirtää rakennusten lämmitys- ja käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumpun toimintaperiaate on samanlainen kuin jääkaapissa, jossa ruokatavaroista saatu lämpö siirretään jääkaapin ulkopuolelle huonetilaan. (9)

Kuvassa 6 esitetään toimintaperiaate, kuinka prosessista sitoutunut ilmainen lämpöenergia otetaan talteen höyrystimen (1) avulla ja siirretään lämpöpumpun kylmäainekierto. Tämän jälkeen talteen saatu lämpöenergia siirtyy lämmönvaihtimelta höyrystyneen kylmäaineen mukana kompressorille (2), joka puristaa kylmäainehöyryä suuressa paineessa. Puristusvaiheessa höyry muuttuu korkeapaineiseksi kaasuksi, jolloin lämpötila nousee korkeaksi.

Kompressorilta kuuma kaasu johdetaan lauhduttimelle (3), jossa se muutetaan taas nestemäiseksi, kun siitä vapautuva lämpö hyödynnetään esimerkiksi rakennuksen lämmityspiirissä. Lämpöpumpun paisuntaventtiin (4) avulla kylmäaineen painetta lasketaan, jolloin lauhduttimelta tuleva nestemäinen kylmäaine muuttuu höyryksi ja sen lämpötila laskee. (12, s. 11.)



Kuva 6. Lämpöpumpun toimintaperiaate ja sen osat (12, s. 11).

5.2 Lämpökerroin

Lämpöpumpun hetkellistä tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella COP (Coefficient of Performance). Lämpökerroin kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa lämpöpumppu pystyy tuottamaan käytettyä sähköenergiayksikköä kohden. Esimerkiksi kun lämpöpumpun COP-luku on 3, pystyy lämpöpumppu 1 000 W:n sähkön kulutuksella tuottamaan 3 000 W:a lämpöenergiaa. COP-luku on teoreettinen luku, joka ilmaisee ainoastaan järjestelmän ideaalisen hyötysuhteen. Luvussa ei ole huomioitu järjestelmän kompressorin, lauhdutin- ja höyrystinpiirin pumppujen ja apulaitteiden omaa kulutusta, jotka kaikki heikentävät lämpökertoimen arvoa. (13)

Lämpöpumpputermostukset toimivat sitä paremmalla hyötysuhteella mitä pienempi on lämmönlähteen ja lämmitystermostuksen välinen lämpötilaero. Esimerkiksi maalämmön lämmönlähteen ollessa 0–5 astetta on lattialämmitystermostuksen lämpöeroin parempi – sen menoveden lämpötilan ollessa vain 30–35 astetta – kuin patterilämmityksen lämpöeroin, menoveden lämpötilan ollessa kovimmilla pakkasilla jopa 80 °C. (18, s. 29.)

Lämpöpumpun SPF -luku (Seasonal Performance Factor) kertoo vuoden keskimääräisen hyötysuhteen. Luku kertoo mikä on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen lämpöenergian ja siihen käytetyn sähköenergian kulutuksen suhde. SPF-lukua käytetään vain silloin kun energiankulutus lasketaan koko vuoden lämmöntarpeesta. (5, s. 4.)

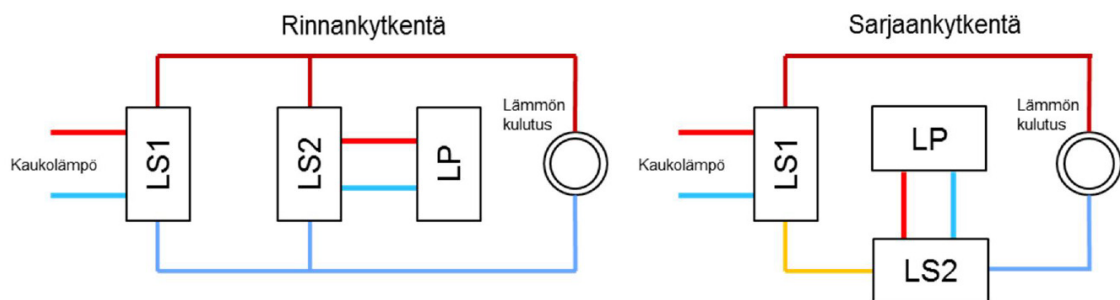
5.3 Lämpöpumpputermostus kaukolämmön rinnakkaislämmönlähteenä

Kiinteistön omistajien kiinnostus hajautettujen termostusten teknologioihin ovat johtaneet kaukolämmön vähentyneeseen kulutukseen. Tämä on myös aiheuttanut ristiriitoja asiakkaana olevan kiinteistön omistajan ja kaukolämmöntuottajan välillä. Kiinteistön omistajat haluaisivat hajautettujen lämmöntuottojärjestelmien kautta mahdollisimman suuren hyödyn käyttäen kaukolämpöä vain lisälämpönä tasaamaan kulutushuippuja. Lämmöntuottajan näkökulmasta kaukolämpöjärjestelmä tulee olla suunniteltu ja rakennettu kattamaan kiinteistön koko lämmitystarve kaikissa olosuhteissa. (14, s. 6.)

Lämmöntuottajan mukaan nyt kiinteistöihin rakennettavat rinnakkaislämmönlähteet tulevat muuttamaan kaukolämmön tuottajan kannattavuutta huomattavaan suuntaan, koska kiinteistöt tarvitsevat kaukolämpöä edelleen täydentävänä lämmönlähteenä, mutta lasuttava kulutus alenee. Kulutuksen vähentyminen lisää kustannuspaineita kaukolämpöyhtiöille, sillä jakelusta syntyvät lämpöhäviöt sekä verkon ylläpito säilyvät käytännössä entisellään lämpöhäviöiden ja tuotannon välisen suhteen jopa kasvaessa. Kaukolämmön kulutuksen laskun lisäksi, kytkentätavasta riippuen, mahdollisesti kiinteistöstä lähtevän paluuv veden lämpötilan nousu vaikuttaa negatiivisesti tuottajan muihin prosesseihin. Nykyisten yhteistuotantolaitosten kannattavuus saattaa huonontua niin paljon, ettei niitä kannata pitää yhteistuotannossa. Silloin kiinteistöjen lämmitys tapahtuisi kokonaan erillistuotannolla, jossa tarvittava sähkö ja lämpö tuotettaisiin eri voimalaitoksilla. Paluuv veden lämpenemisestä johtuvat ongelmat yhteistuotantolaitoksissa ovat kuitenkin järjestelmäkohtaisia, eikä niitä voida yleistää. (14, s. 6–7.)

Rinnakkaislämmönkytkennällä kaukolämpöön on kaksi päätyyppiä: rinnankytkentä ja sarjaankytkentä. (Kuva 7.) Rinnankytkennässä rinnakkaislämmönlähde ja kaukolämpö lämmittävät rakennuksen lämmityspiiristä palaavaa vettä. Tällöin leikataan kaukolämmön kulutusta, mutta paluueden jäähtymä pysyy samana. Vaikka kaukolämmön lämmönsiirrin joutuu tuottamaan korkeammilla lämmityskierron säätölämpötiloilla sen mitoitustilämpötiloja kuumempaa vettä, ylimitoituksen ansiosta tämä ei vaikuta paluulämpötilaan vaan sen määrittää käytännössä edelleen lämmityskierron palaavan veden lämpötila. Mikäli kaukolämmön lämmönsiirrin on mitoitettu osalle tehosta, kaukolämmön paluulämpötila nousee myös rinnankytkennässä. (14)

Rinnankytkennässä kaukolämmön paluuedellä esilämmitetään käyttövettä, jolloin paluueden lämpötila pysyy todennäköisesti hyvällä tasolla, riippuen siirtimen mitoituksesta. Tällöin käyttöveden lämmittäminen rinnakkaislämmöllä ei ole kaikissa kiinteistöissä välttämättä kannattavaa, koska kaukolämpöä tarvitaan edelleen lämmittämään käyttövesi vaadittuun 58 asteen menolämpöön. Lämpöpumppujärjestelmissä lämpöenergia siirtyy aina lähtötasosta toiseen sitä tehokkaammin, mitä pienempi lämpötilaero lämmönlähteen ja lämmitysjärjestelmän välillä on. Tämä on mahdollista sarjaankytkennällä kaukolämmön kanssa, jossa rinnakkaislämmönsiirtimillä esilämmitetään käyttöveden ja lämmitysjärjestelmän paluuvettä jo mahdollisimman alhaisissa lämpötiloissa ennen kuin se menee kaukolämmön siirtimille läpi. Tämä nostaa lämpöpumppujen tehokkuutta ja laskee kaukolämmön tarvetta, mutta mahdollisesti nostaa kaukolämmön paluueden lämpötilaa. (14, s. 5.)



Kuva 7. Kaukolämmön ja rinnakkaislämmönlähteen kytkennät periaatetasolla (14, s. 4).

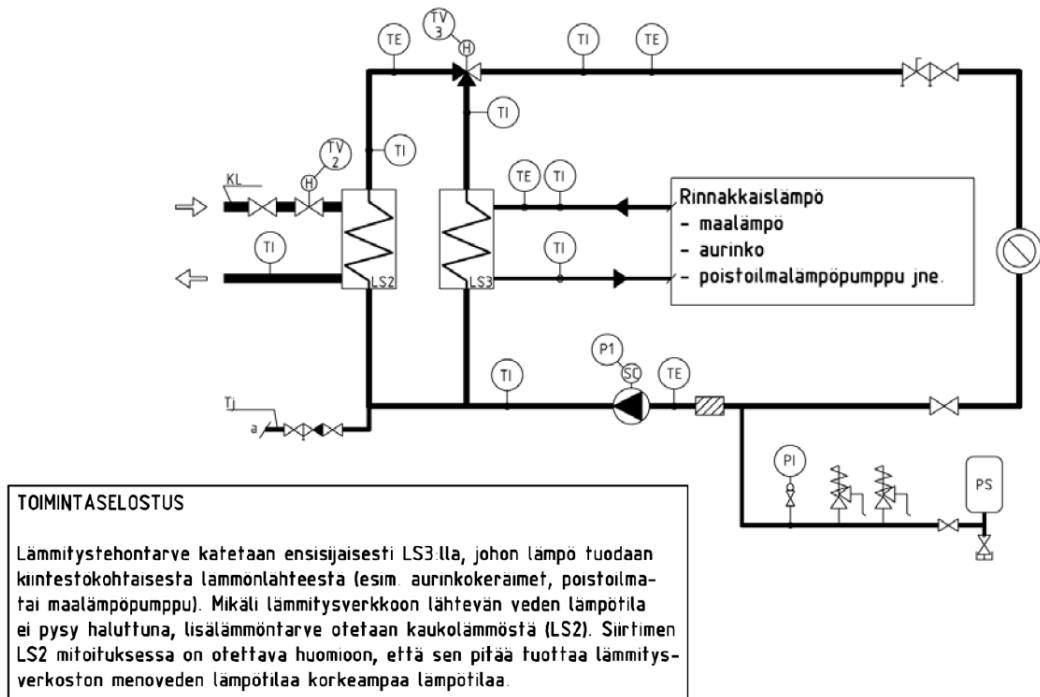
Energiateollisuuden ry:n julkaisun K1/2013 ”Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet” mukaan rinnakkaislämmitysjärjestelmä tulee suunnitella ja toteuttaa siten, ettei kaukolämpöveden jäähtymä huonone tarpeettomasti. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty K1:n esimerkkikytkennän numero 7 periaatteelliset kytkentämallit sille, miten kiinteistön omat lämmönlähteet voidaan liittää lämmitysverkkoon ja käyttöveden lämmittämiseen. (15)

Pääkaupunkiseudulla Helenin ja Fortumin suunnitteluohjeissa lämpimän käyttöveden lämmityslaitteistossa rinnakkaislämmönlähteen siirrin LS 1.2, joka on esitetty kuvassa 9, ei saa olla käyttöveden esilämmitysosana vaan ns. välilämmityssiirtimenä. Siirtimen LS 1.3:n tulee jäähdyttää kaukolämpövesi 20 °C:seen sen kaikissa käyttötilanteissa käyttöveden mitoitusvirtaamalla kylmän veden ollessa 10 °C. Kytkentätapa voi huonontaa rinnakkaislämmönlähteen hyötysuhdetta käyttöveden lämmityksessä, siten että sen hyödyntäminen ei ole aina kannattavaa. Tämä tulee tarkastella aina kiinteistökohtaisesti. (16; 17.)

Helenin ohjeistuksessa lämmitysverkoston lämmönsiirrin tulee mitoittaa aina kiinteistön tarvitsemalle täydelle lämmitysteholle. Ohjeistus perustuu ympäristöministeriön antamaan asetukseen 4/13, jossa rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä määritetään kiinteistön päälämmitysmuodoksi se lämmitysmuoto, joka kattaa kiinteistön tarvitseman lämmitystehon kokonaan (100 %). (16)

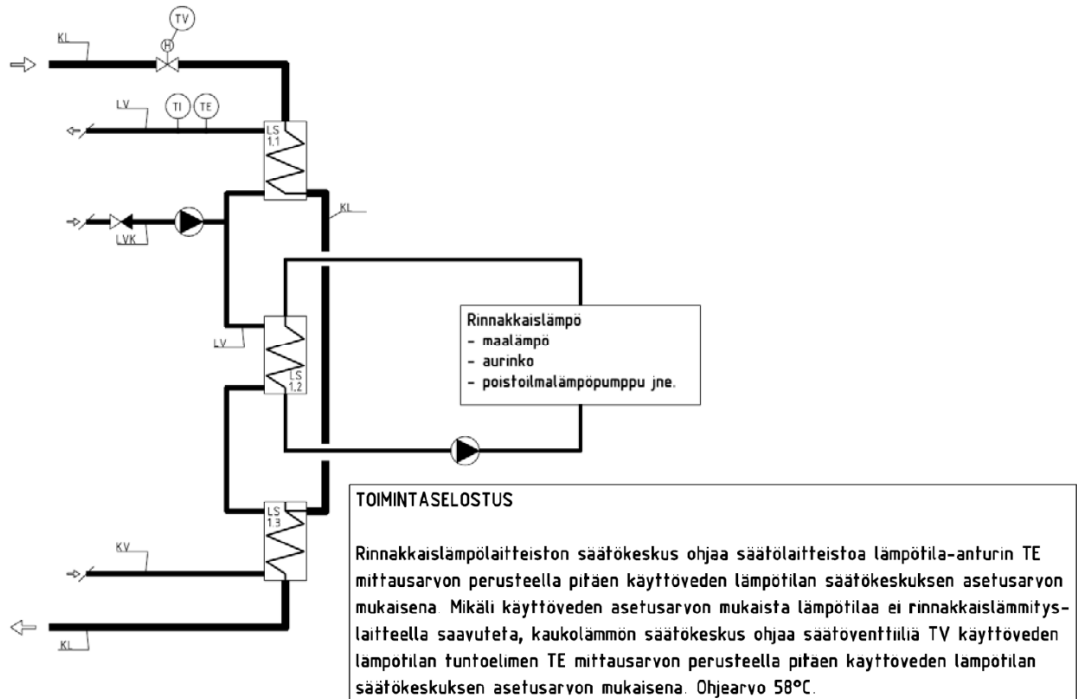
Helenin ja Fortumin ohjeistuksessa sarjaankytkentää, jossa lämmitysverkon paluuvettä esilämmitetään rinnakkaislämmöllä ei enää sallita. Rinnakkaislämmönlähteet tulee kytkeä aina kaukolämpölaitteiston rinnalle rinnankytkennällä siten, että lämmitysverkoston paluuvettä ei lämmitetä rinnakkaislämmönsiirtimellä ennen kuin vesi on mennyt kaukolämpösiirtimen läpi. Tämä kytkentätapa laskee rinnakkaislämmön hyötysuhdetta, koska lämpöenergian siirto paluuveteen on kannattavampaa pienemmän lämpötilaeron takia kuin kaukolämmön jo lämmittämään menoveteen. (16; 17.)

Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



Kuva 8. Rinnakkaislämmön kytkentäperiaate lämmitysverkkoon (15, s. 89).

Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



Kuva 9. Rinnakkaislämmön kytkentäperiaate käyttövesiverkkoon (15, s. 89).

5.4 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu, eli PILP, on järjestelmä, jonka tarkoituksena on ottaa koneellisesti rakennuksesta ulos puhallettavan jäteilman mukana siirtyvästä lämpöenergiasta mahdollisimman paljon energiaa talteen. Lämpöenergia kerätään talteen erityyppisiä lämmön keräimiä hyväksi käyttäen. Tämä talteen saatu lämpöenergia käytetään uudestaan kiinteistön lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tekemiseen. Toimiakseen lämpöpumppu tarvitsee jatkuvan poistoilmavirran. (19)

Kerrostaloissa poistoilmalämpöpumpun etuna on se, että järjestelmä voidaan liittää suhteellisen pienillä muutostöillä rakennuksen vanhaan ilmanpoistojärjestelmään. PILP-järjestelmät soveltuvat erityisesti rakennuksiin, joissa ei ole koneellista tuloilmajärjestelmää. Poistoilmalämpöpumpuille ja muille lämmöntalteenottolaitteistoille on edullisinta, että rakennusten kanavisto on tehty niin, että jäteilma poistuu mahdollisimman keskiteysti. Järjestelmässä jokaiseen jäteilma-aukkoon asennetaan jäähdytyspatteri, joka ottaa talteen jäteilmasta saatavan lämmön ja siirtää sen pattereissa kiertävän nesteen kautta lämpöpumpulle. (4)

PILP-järjestelmän soveltuvuuteen ja kannattavuuteen vaikuttavat merkittävästi muun muassa rakennuksen muoto, korkeus, huoneistojen lukumäärä, huippuimureiden määrä sekä huippuimureille tulevan poistoilman määrä ja laatu. Suurin energiansäästöpotentiaali on 1950-luvun lopun ja 1970-luvun alun kerrostaloissa, joissa on poistoilmavaihdolla toimiva yhteiskanavajärjestelmä. Aikakauden kerrostalorakentamista tehtiin yleisesti Arava-ohjeistuksen mukaisesti, ajatuksena tehokkuus ja yhdenmukaistaminen. Tarkoituksena oli rakentaa edullisesti mahdollisimman paljon saman tyyppisiä asuntoja sarjatuotannolla. Kulutustilastojen mukaan juuri näissä rakennuksissa on suurin energiansäästön mahdollisuus ilmanvaihtoon tehtävillä korjaustoimenpiteillä. (8; 18.)

Yleisesti voidaan sanoa, että PILP-järjestelmä on rakennuksissa sitä kannattavampi, mitä useampaa asuntoa yksi huippuimuri palvelee. Tästä johtuen korkeisiin kerrostaloihin, eli pistetaloihin on siis lähtökohtaisesti kannattavinta rakentaa PILP-järjestelmä, koska näissä talomalleissa yleensä yksi huippuimuri palvelee yhtä rappua ja montaa huoneistoa.

Lamellitaloissa, eli matalammissa ja useamman rapun taloissa, on yleensä useampia huippuimureita. Lamellitaloissa PILP-järjestelmä ei lähtökohtaisesti muodostu yhtä kannattavaksi, mutta näissäkin voidaan järjestelmän avulla päästä huomattaviin säästöihin lämmityskustannuksissa takaisinmaksuajan pysyessä vielä kohtuullisena. (18, s. 36.)

PILP-järjestelmän investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa myös asennusten vaatimat rakennetekniset työt. Myös mahdollisesti rakennettavan järjestelmän asentamisajankohdalla ja viranomaisen antamalla määräyksillä ja ohjeistuksilla on merkitystä kannattavuuteen. Viranomaisilta tulisi suunnittelun alkuvaiheessa selvittää, onko PILP-järjestelmä ja sen putkistojen vaatimat tilavaraukset mahdollista asentaa rakennuksen ulkopuolelle. Joissain talotyypeissä LTO-huippuimurit voidaan asentaa vain suoraan vesikatolle jäteilma-aukkojen päähän. Osaan rakennuksia ullakoille ja vesikatoille on tehty erillisiä puhallinkammioita, joihin on myös mahdollista sijoittaa LTO-huippuimuri.

Vesikaton, hormien ja kammioiden rakenteellinen kestävyys täytyy tarkistaa ja tarvittaessa korjata koneiden tuoman painon takia. Putkistojen ja kanavien uudet tilavaraukset ja muutostyöt tulee huomioida kannattavuuslaskelmissa. Joskus voi olla kannattavampaa yhdistää esimerkiksi kahden portaan ilmanvaihto yhdelle LTO-huippuimurille, jolloin kanavamuutoksia tehdään ullakolla tai vesikatolla. Kylmässä tilassa sijaitsevien vanhojen vaakakanavien poistoilman lämpötila tulisi mitata ennen toteutusta, koska on mahdollista, että poistoilma jäähtyy merkittävästi vaakasiirroissa. Tällöin myös vaakasiirroissa on huomioitava riittävä lämpöeristys. LTO-laitteistoilta lämpöpumpulle lähtevät kylmäaineputket on kannattavaa yhdistää vesikatolla tai ullakolla yhdeksi runkoputkeksi tilansäästön vuoksi. (18, s. 36.)

Myös painovoimainen ilmanvaihto on mahdollista muuttaa koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi kerrostaloissa, koska koneellinen poistoilmanvaihto ei tarvitse kuin osan vanhoista hormeista käyttöön. Koneellistaminen vaatisi kuitenkin kaikkien asuntojen poistoilmanvaihtoon tarvittavien hormien putkitusta ullakolle, jossa asuntojen jäteilmat kootaan yhteen ja viedään kokoojakanavia pitkin huippuimureille. Jos painovoimaiset ilmanvaihtohormit putkitettaisiin koneellisen ilmanvaihdon vaatimalle tasolle, olisi myös PILP-järjestelmä mahdollista toteuttaa. Kun painovoimaisen järjestelmän koneellistamista suunnitellaan, on monesti kannattavin ratkaisu siirtyä suoraan lämmöntalteenotolla varustettuun tulo-poisto-ilmanvaihtojärjestelmään, johon myös nykyiset rakentamismääräyksetkin ohjaavat.

Tulo-poisto-ilmanvaihtojärjestelmä on mahdollista toteuttaa asentamalla jokaiseen huoneistoon omat ilmanvaihtokoneet tai asentamalla yksi koko taloa palveleva ilmanvaihtokone. (18, s. 30.)

Suorahöyrysteisen PILP-järjestelmän lämpöpumppulaitteistot ja lämmöntalteenottopatterit sijaitsevat yleensä vesikatolla. Järjestelmässä poistoilma kulkeutuu höyrystinpatterin läpi, jossa kylmäaine höyrystyy. Höyry paineistetaan kompressorilla ja siitä saatu lämpö siirretään levylämmönvaihtimen kautta veteen. Lämmitetty vesi siirretään eristettyjä putkia pitkin lämmönjakohuoneeseen tai vastaavaan tilaan, jossa vedellä lämmitetään patteriverkostoa tai käyttövettä. (18)

Epäsuorassa höyrystysjärjestelmässä lämmöntalteenottopatterit sijoitetaan vesikatolle tai rakennuksen kammio puhallinhuoneisiin, poistoilmapuhaltimien yhteyteen. Lämmöntalteenottopattereilla talteen saatu lämpö siirretään kylmäaineputkia pitkin lämpöpumpun höyrystimelle, joka yleensä sijaitsee lämmönjakohuoneessa lähellä päälämmönlähdettä. Varsinkin rakennuksissa, joiden katolla on useita jäteilma-aukkoja, epäsuoran höyrystysjärjestelmän etuna on keskitetty lämmöntuotto suorahöyrystysjärjestelmään verrattuna. (4)

5.5 Maalämpöpumppu

5.5.1 Maalämmön lämmönlähteet

Lämpöpumppujärjestelmistä maalämpöpumppujen lämmönlähteenä on vesistöön, sekä maa- ja kallioperään varastoitunut lämpöenergia, joka on pääosin peräisin auringosta. Noin kaksi kolmasosaa maalämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta on uusiutuvaa ilmaisenergiaa, joka ei aiheuta kasvihuonepäästöjä. Koko järjestelmän hiilijalanjälki riippuu lämpöpumppujen käyttämän sähkön tuotantotavasta. (22)

Maalämmöllä tuotettava energia otetaan talteen yleensä pintamaahan upotettavalla tai porakaivoon eli energiakaivoon asennettavalla muoviputkella, jossa kiertää maasta lämpöä itseensä siirtävä jäätymätön vesiglykoli- tai vesietanoliseos. Maahan upotettavan putken asennussyvyys on noin metri ja putkien tarvitsema pinta-ala metriä kohden noin 1,5 m² riippuen siitä, kuinka kostea maaperä on. Kuivasta maasta talteen saatavan ener-

gian määrä voi olla huomattavastikin pienempi neliometriä kohti kuin kosteasta savi-
maasta. Energiakaivon porausvyvyys on yleensä alle 300 metriä. Rakennuksen ener-
gian tarpeesta ja käytöstä riippuen joudutaan usein poraamaan useampia kaivoja. Maa-
lämpöjärjestelmällä voidaan lämpöä ottaa talteen myös vesistöistä. Vesistöasennus on
vesitaloushanke, jossa vesilain (587/2011) mukaan asennukset on toteutettava siten,
ettei siitä aiheudu vältettävissä olevaa yleisen ja yksityisen edun loukkausta, jos hank-
keen tai käytön tarkoitus voidaan saavuttaa ilman kustannusten kohtuutonta lisäänty-
misiä kokonaiskustannuksiin ja aiheutettavaan vahingolliseen seuraukseen verrattuna
(VL2 luku 7§). (20, s. 8–9.)

5.5.2 Maalämpöjärjestelmää koskeva lainsäädäntö ja määräykset

Maalämmön hyödyntämiseen tarkoitetun lämpökaivon tai maahan asennettavan keruu-
putkiston asentaminen vaatii yleensä 21.12.2012 voimaan tulleen maankäyttö- ja raken-
nuslain (132/1999) 126a §:n mukaan toimenpideluvan. Vesistöön rakennettavan maa-
lämpöjärjestelmän tulee olla myös vesilain mukainen. Maankäyttö- ja rakennuslain
125 §:n mukainen rakennuslupa tarvitaan uudisrakentamisen lisäksi sellaisiin rakennuk-
sen korjaus- ja muutostöihin, jossa korjaus kohdistuu vaipan tai teknisen järjestelmän
muutostyöhön ja vaikutetaan merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Mikäli ra-
kennuksen olemassa oleva lämmitysjärjestelmä halutaan vaihtaa kokonaan maaläm-
moksi tai käyttää sitä rinnakkaislämmönlähteenä, tarvitaan toimenpidelupa (132/1999,
126a §), ellei kunta ole rakennusjärjestyksessään toisin määrännyt. (20, s. 15.)

Kerrostaloalueilla tontin riittävyys ja maanalainen asemakaava voivat rajoittaa lämpökai-
vojen ja maahan asennettavien keruuputkistojen toteutusmahdollisuuksia. Esimerkiksi
Helsingissä tarvitaan toimenpidelupa, kun lämmitysjärjestelmää uusitaan maalämpöä
hyödyntäväksi järjestelmäksi. Toimenpideluvassa rakennuttaja esittää toimenpiteet joilla
varmistetaan työn riskittömyys, haittojen estäminen ja energiakaivojen sijaintitietojen päi-
vittyminen kaupungin ylläpitämiin karttatietoihin. Sijaintitietojen esittämisellä varmisteta-
aan, ettei energiakaivoa porattaessa vahingoiteta maanalaisia johtoja tai kaapeleita.
Helsingin alueella maaperässä on myös lukuisia maanalaisia tiloja, kuten johtotunne-
leita, väestönsuojia ja pysäköintilaitoksia, joiden kohdalla tai suojaetäisyysalueella po-
raaminen on kiellettyä. (21)

Maalämmön kannattavuutta mietittäessä on ensin huomioitava, onko kiinteistö ja suunnitellut energiakaivojen sijainnit porauskaluston saavutettavissa. Esimerkiksi helsinkiläisessä kerrostalolähiössä saattaa olla niukasti tilaa tiiviin rakennustavan vuoksi. Lisäksi on huomioitava, onko lämpökaivojen asentaminen teknisesti mahdollista, kun otetaan huomioon kiinteistön raja, rakennusten sijoittuminen toisiinsa nähden ja muiden jo rakennettujen kaivojen etäisyys energiakaivojen ja niiden keruuputkistojen tarvitsemiin tilavarauksiin. Herkillä pohjavesialueilla syvien reikien poraaminen saattaa huonontaa pohjaveden laatua niin paljon, ettei energiakaivojen toteutus ole mahdollista. Suositeltavia minimietäisyyksiä on listattu kuvaan 10. Kuvan taulukon minimietäisyydet ovat ohjeellisia. Taulukko antaa hankkeeseen ryhtyvälle ja suunnittelijalle tietoa energiakaivojen sijoittamiseen liittyvistä tilavarauksista, jotta voidaan ehkäistä mahdollisia riskejä ja ongelmatilanteita. (20)

Helsingin kaupungin toimenpideluvassa kahden keskinäisen energiakaivon vähimmäisetäisyys toisistaan on 15 metriä. Myöskään energiakaivoa ei tulisi porata 7,5 metriä lähemmäs tontin rajasta. Mikäli energiakaivo halutaan saada lähemmäksi tontin rajaa tai reikä porataan vinoon, niin että se on joiltain osin lähempänä naapuritontin rajaa, tulee siihen saada naapurin suostumus. Tässä tilanteessa kaupunki edellyttää myös rasiitteen perustamista. (21)

Kohde	Suositteltu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m ⁽¹⁴⁾
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porareian ollessa pystysuora

** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Kuva 10. Energiakaivojen ohjeellisia minimietäisyyksiä (20, s. 25).

6 Vesikiertoinen lattialämmitys

Linjasaneerauskohteissa joissa kylpyhuone kunnostetaan, on sähköisen mukavuuslattialämmityksen asentaminen ollut suositumpaa kuin vesikiertoisen lattialämmityksen.

Sähköisen lattialämmityksen vaatimat rakennustekniset työt jäävät varsin pieniksi vesikiertoiseen lattialämmitykseen verrattuna. Sähköinen lattialämmitys voidaan asentaa yksittäiseen kylpyhuoneeseen ilman, että sillä on rakennusteknisiä vaikutuksia muihin rakennuksen tiloihin.

Mukavuuslattialämmityksestä aiheutuneet käyttökustannukset laskutetaan yleensä huoneistokohtaisen kulutuksen mukaan. Sähköisen lattialämmityksen selkeimmät edut ovat järjestelmän hankintahinta, asennuksen helppous ja tilakohtainen asennustapa.

Vesikiertoinen lattialämmitys vaatii oman matalalämpöverkon rakentamisen, joka on erillään olemassa olevasta patteriverkostosta. Matalalämpöverkoston runko- ja nousuputkien ja lämmönsiirtimeen vaatimat tilavaraukset ja rakennustekniset työt ovat yleensä niin vaativia, että verkoston rakentaminen on käytännössä mahdollista vain koko talon peruskorjausrakassa. Vesikiertoisen lattialämmityksen etu sähköiseen lattialämmitykseen perustuu tuotettavan lämmön halpuuteen. Silloin kun asennetaan vesikiertoinen lattialämmitys, investointikustannuseroa voidaan pienentää jättämällä vesikiertoinen pyyhekuivain pois, jota yleensä käytetään sähköisen lattialämmityksen yhteydessä kylpyhuoneen lämmityksessä. Vesikiertoinen lattialämmitys mahdollistaa myös mahdolliset lämmönlähteiden vaihdot tulevaisuudessa. Hybridijärjestelmien yleistyminen kaukolämmön rinnalla on lisännyt taloyhtiöissä kiinnostusta rakentaa vesikiertoinen matalalämpöverkosto, jolla voidaan paremmin hyödyntää hybridijärjestelmien tuottama energia esimerkiksi lämmittämällä kylpyhuoneiden vesikiertoisia lattialämmityksiä. Vesikiertoiseen lattialämmitysverkostoon on mahdollista lisätä myös rakennusten yleisiä tiloja kuten talosaunat.

7 Rakennusten energiankulutuksen muutoksen mallintaminen

Energiakorjauksella tarkoitetaan rakennukseen tehtävää korjausta, jolla pyritään vähentämään energiankulutusta ja -kustannuksia. Korjaus voi olla jonkin rakennuksen vaipan osan tai taloteknisen järjestelmän perusparannus tai kokonaan uuden rakentaminen. (24) Yksittäisenä korjauksena pelkkä energiakorjaus ei ole juuri koskaan taloudellisesti

kannattava vaan siihen tulisi olla jokin pakottava syy. Kun julkisivuun joudutaan tekemään pakottava korjaus tietyllä perushankintakustannuksella, samalla voidaan investointilaskelmilla tarkastella, kuinka paljon lisäarvoa saavutetaan esimerkiksi eri eriste-paksuuksilla. (23, s. 27.)

Energiakorjauksen sisällyttäminen laajempaan korjausurakkaan on taloudellisesti kannattavampaa kuin yksittäisenä korjauksena. Urakan kilpailuttaminen suurempana kokonaisuutena tuo synergiaetua varsinkin pienemmälle urakalle.

Työmaan perustaminen, valvonta, rakenteiden avaus, asumisen haitta-aikojen lyheneminen, taloteknisten järjestelmien yhteensovittaminen, sekä muiden rakentamiseen liittyvien töiden sisällyttäminen laajempaan korjausurakkaan parantaa yksittäisen energiakorjauksen kannattavuutta ja lisää taloyhtiön investointihalukkuutta. (23, s. 16.)

Kun kiinteistön korjaustoimenpiteitä ruvetaan kartoittamaan, olisi hyvä tehdä hankesuunnitelma, johon on sisällytetty myös energiainvestointiin liittyvät korjaukset. Hankesuunnitelmassa selvitetään kiinteistön nykytila ja määritellään tavoitteet, jonka pohjalta luodaan korjausvaihtoehtoja ja niiden kustannusarviot. Koska suurin osa korjausrakentamisen suuntaviivoista päätetään hankesuunnitelman jälkeen, on energiainvestointikorjauksen tutkiminen tässä yhteydessä järkevä tehdä. (23, s. 15.)

7.1 Rakennuksen energiankulutuksen määrittäminen

Energiankulutuksen laskennassa on energiansäästön määrittelemiseksi ensin mallinnettava rakennuksen lämpöhäviöiden jakautuminen ja lämmitystehontarve. Mallintamiseen käytetään Jouni Sillmanin Karves Suunnittelu Oy:lle tekemää laskentatyökalua. Laskentatyökalu perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman vuonna 2012 julkaistuun osaan D5. Jäähdytyksen laskenta jätetään pois laskelmista. Laskelmissa käytetty menetelmä on energiatasemenetelmä, jossa energiankulutus lasketaan kuukausittain. Menetelmässä saman kuukauden aikana rakennukseen sisään tulevan energian määrä vastaa rakennuksesta poistuvaa energiamäärää. Vuosikulutus on kuukausikulutusten summa. (5)

Laskennassa huomioidaan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien tuotot, varastoinnin, jakelun ja luovutuksen lämpöhäviöt, kuten lämmityspotkistosta ja pattereista johtuvat hä-

viöt sekä kattilan hyötysuhde. (5) Rakennusta käsitellään yhtenä yhtenä laskentavyöhykkeenä, mutta jako eri vyöhykkeisiin on mahdollista, mikäli mietitään esimerkiksi lisärakentamisen kuten ullakkorakentamisen vaikutusta taloyhtiön energiankulutukseen. (23)

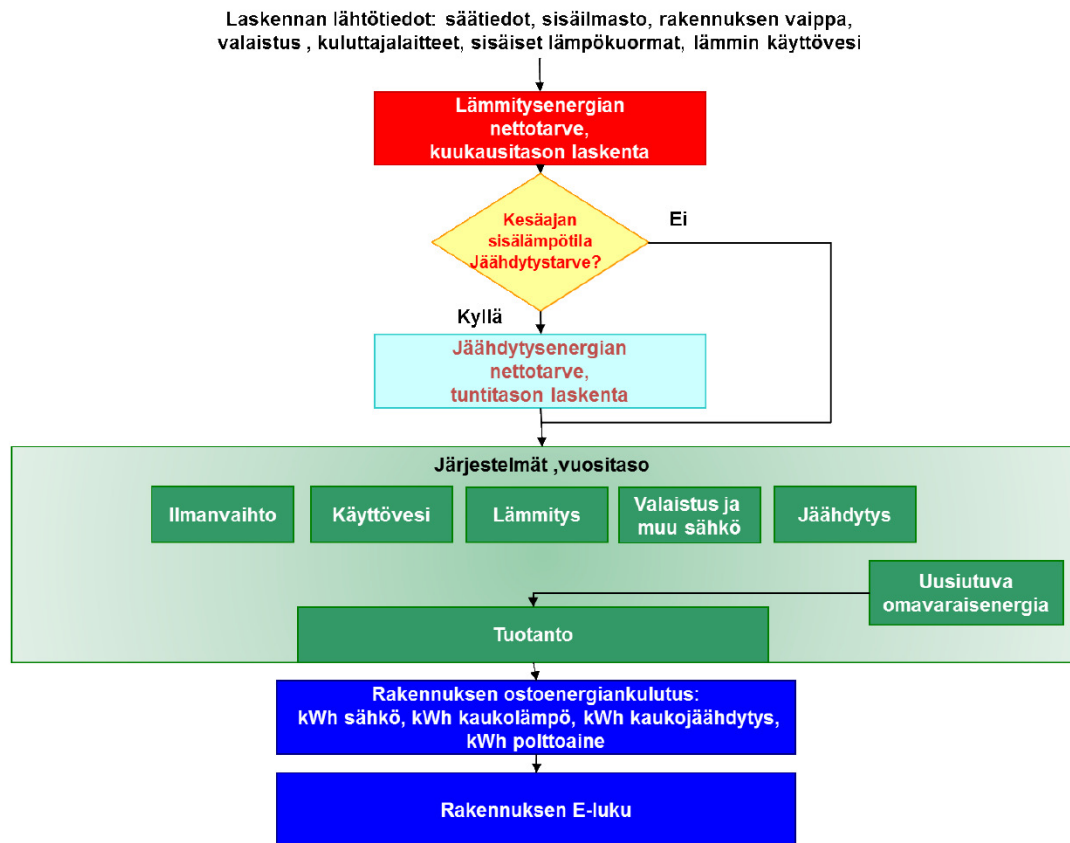
7.2 Energiataselaskennan kulku

Laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaista energiatasemenetelmää. Laskentaan tarvitaan rakennuksen käyttöön liittyvät tiedot sekä rakennuksen olemassa olevien järjestelmien ja rakenteiden tiedot. Näiden selvittämiseen voidaan hyödyntää vanhoja suunnitelmia. Mikäli lähtötietoja ei pystytä selvittämään tai niitä ei ole saatavilla, käytetään D5:n tilastoihin perustuvia ohjearvoja.

Säätiötietoina laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3 vuonna 2012 antaman testivuoden arvoja, jotka ovat kuukausikeskiarvoja. Testivuosi perustuu säähavaintoasemien mittauksiin vuosilta 1980–2009, joissa Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen Vantaalla, Jokioisissa, Jyväskylässä ja Sodankylässä tehtyjen säähavaintojen perusteella. Tässä työssä käytetään Vantaan säävyöhykkeen arvoja. (5)

Selvitettyjen lähtötietojen perusteella lasketaan rakennuksen lämmitysenergian nettotarve kuukausitasolla. Lämmitysenergian nettotarve saadaan johtumishäviöiden, vuotoilman lämpöhäviöiden, poistoilmasta talteen otetun lämmön, sekä rakennukseen tulevan auringon säteilyn, energian ja sisäisten lämpökuormien erotuksesta. Tämän jälkeen saatu nettotarve jaetaan järjestelmittäin vuositasolla. Seuraavaksi lasketaan energian tuotto ja otetaan huomioon järjestelmien lämmönluovutuksiin liittyvät hyötysuhteet, sekä rakennuksen omatuotanto. Laskennan kulku on esitetty kuvassa 11. (5)

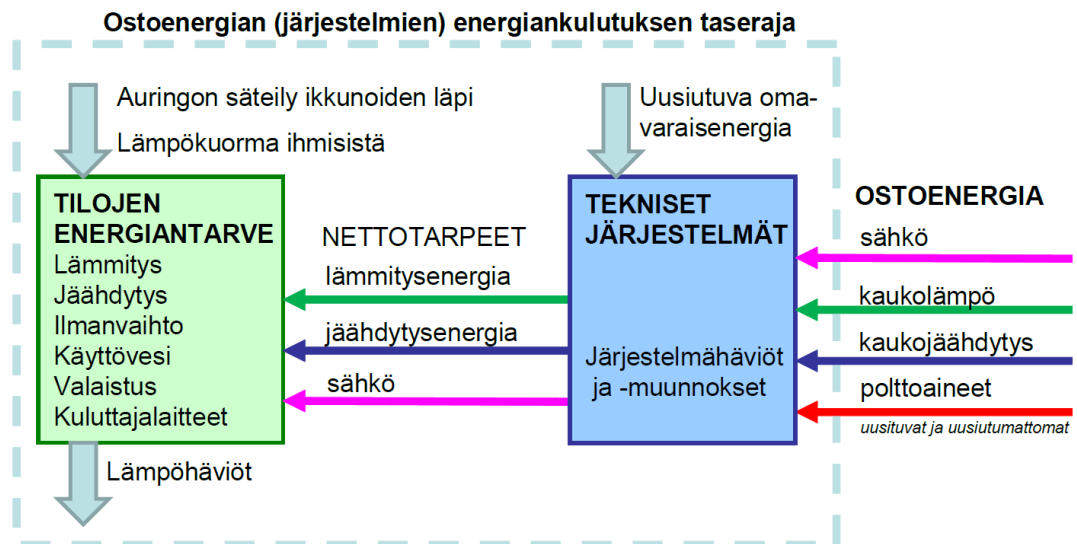
Energiakorjausten muutosten mallintaminen perustuu alkuperäisten lähtötietojen muuttamiseen. Ensin menetelmällä mallinnetaan olemassa olevan rakennuksen nykytilanne ja nykytilanteen kuukausitason kulutukset järjestelmittäin tallennetaan. Tämän jälkeen tehdään muutos nykytilanteen lähtötietoihin muuttamalla esimerkiksi rakennuksen vaiipan U-arvoa. Muutoksen jälkeistä energiankulutustietoa verrataan kuukausitasolla lähtötilanteeseen ja lasketaan energiankulutuksen ja energiakustannusten muutokset. (23, s. 33.)



Kuva 11. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet (5, s. 13).

7.3 Ostoenergian laskennan taserajat

Rakennuksen energiankulutuksen taserajat on esitetty kuvassa 12. Energiantarve muodostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys- sekä jäähdytystarpeesta, käyttöveden lämmitystarpeesta, valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkön tarpeesta. Lämmitysenergian tarvitsema nettotarve saadaan lämmitysenergian tarpeen sekä rakennukseen tulevan aurion säteilyn, poistoilmasta talteen otetun energian ja sisäisten lämpökuormien erotuksena. Sisäiset lämpökuormat käsittävät esimerkiksi valaistuksen kuluttajalaitteiden tuottaman lämpöenergian. Nettotarvetta vastaava lämmitysenergia tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan nettotarpeesta huomioimalla järjestelmähäviöt, jotka muodostuvat lämmitysenergian luovutuksen, jakelun ja varastoinnin häviöistä, sekä ottamalla huomioon lämmön tuoton hyötysuhteet. (5, s. 12.)



Kuva 12. Rakennuksen ostoenergian kulutuksen taserajat (5, s. 14).

7.4 Investoinnin vertailulaskelmat

Investointilaskelmalla tarkoitetaan laskelmaa, jonka tarkoituksena on selvittää investoinnin edullisuus sen pitoaikana (24). Tämän työn vertailulaskelmassa käytetään sisäisen koron ja korollisen takaisinmaksuajan laskentamenetelmää, jotka ovat yleisesti käytössä olevia menetelmiä ja käsitteenä havainnollisia. Laskenta tehdään kahta menetelmää käyttäen, koska ne täydentävät toisiaan ilmaisten hieman toisistaan poikkeavia näkökulmia investoinnin kannattavuudesta.

7.4.1 Jäännösarvo

Jäännösarvolla tarkoitetaan myyntituottoa, joka on saatavissa perushankintakustannuksesta, kun järjestelmä taloudellisen pitoajan jälkeen poistetaan käytöstä. Pitkäikäisten investointien kuten taloteknisten laitteistojen jäännösarvo on perusteltua pitää nollassa, koska kiinteistöjen laitteistoja käytetään pääsääntöisesti niin kauan kuin ne ovat teknisesti toimivat. Myöskään vanhojen laitteistojen myynti tai siirto ei ole taloudellisessa mielessä kannattavaa, minkä takia investointilaskelmissa jäännösarvo onärkevä pitää nollassa. (24, s. 23.)

7.4.2 Sisäinen korko

Investoinnin sisäinen korko on korkokantamenetelmä, jolla laskettuna taloudellisen pitäjän lopuksi investoinnin nykyarvo tulee nolaksi. Tämä tarkoittaa, että korkokannan mukaisella diskonttaustekijällä diskontattaessa investoinnin nykyarvo on tulojen ja menojen jälkeen sama kuin sen perushankintakustannus. Investointia voidaan siis pitää kannattavana, jos sisäinen korko on vähintään yhtä suuri kuin tuottotavoitteeksi asetettu korkokanta. Investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa myös se, että investoija on valinnut hänelle tarkoituksenmukaisen korkokannan. Sisäisen koron laskelmilla investointeja voidaan verrata toisiinsa siten, että kannattavimmalla investoinnilla on suurin sisäinen korko. (24, s. 24.)

7.4.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmä kertoo, minkä ajan kuluttua investoinnin perushankintakustannus on maksanut itsensä takaisin, siitä saatujen nettotuottojen avulla. Yksinkertaisella mallilla takaisinmaksuaika on vakio ja se lasketaan ilman korkoa. Korollisessa takaisinmaksuajassa, jota käytetään tässä työssä, huomioidaan korkokanta diskonttaamalla. Pitkiä investointeja laskettaessa koron huomioon ottaminen voi muuttaa investointien kannattavuuden päätelmiä pelkän takaisinmaksuajan sijaan, kun vertaillaan useammalla laskentamenetelmällä. (24) Menetelmä ei ilmaise takaisinmaksuajan jälkeisiä tapahtumia, vaan suosii investointeja, joista sidottu pääoma saadaan nopeasti kerättyä takaisin. Menetelmä siis tarkastelee enemmän investoinnin rahoitusvaikutuksia kuin kannattavuusvaikutuksia. Näin ollen menetelmää on hyvä käyttää lähinnä muiden menetelmien rinnalla arvioimassa investoinnin rahoitusvaikutuksia. (24, s. 25.)

8 Valitun esimerkkikohteen kuvaus

Tässä opinnäytetyössä esimerkkituotteenä on Helsingin Roihuvuoressa sijaitseva As Oy Lumikintie 3. Kiinteistö koostuu neljästä vuonna 1960 valmistuneesta asuinkerrostalosta. Lähtötietoina käytettiin kiinteistön alkuperäisiä lähtötietomateriaaleja. Selvitys tehtiin Karves Suunnittelu Oy:n asunto-osakeyhtiölle tekemän linjasaneerauksen toteutussuunnittelun yhteydessä.

Kiinteistön rakennukset ovat suorakaiteenmuotoisia hissittömiä neljäkerroksisia lamellitaloja, joissa on kahdesta kolmeen asuntoa porrastasannetta kohti. Kellarit on rakennettu

maatason alapuolelle. Rakennuksissa on yhteensä 176 asuntoa ja 19 kappaletta porrashuoneita. Rakennusten yhteenlaskettu huoneistoala on 10 368 m² ja tilavuus 43 812 m³ alkuperäisistä kuvista laskettuna. (Taulukko 1.)

Kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmä on koneelliseen poistoilmanvaihtoon perustuva yhteiskanavajärjestelmä, jossa eri kerroksien saman tyyppisille poistoilmaa vaativille tiloille kuten keittiölle, kylpyhuoneelle ja WC-tilalle on rakennettu oma yhteinen betoninen nousuhormi. Eri tilojen poistoilmakanavat yhdistyvät vaakakokoojakanaviin, jotka on sijoitettu yläpohjan ja kattopinnan väliseen ns. ryömintätilaan. Rakennusten poistoilmapuhaltimet ovat kaksinopeuspuhaltimia, jotka toimivat täydellä teholla vain osan vuorokautta. Puhaltimet sijaitsevat katoille rakennetuissa puhallinkammiohuoneissa, joita on aina kaksi kappaletta taloa kohti.

Kiinteistö on liitetty Helsingin Energian kaukolämpöverkkoon ja lämmönjakokeskuksia kiinteistöllä on kolme kappaletta. Talolla A ja B on yhteinen lämmönjakokeskus ja taloilla C ja D on omat. Rakennukset lämpenevät vesikiertoisella patterilämmityksellä jonka lämpötilamitoitus on 80/60 °C. Kaikki lämmönjakokeskukset on uusittu vuonna 2000.

Taulukko 1. Rakennusten tiedot.

Rakennusten tiedot	
Rakennuksia	4
Valmistunut	1960
Kerroksia	4+kellari
Tilavuus	43 812 m ³
Ilmatilavuus	39 129 m ³
Huoneala	10 368 m ²
Lämmitetty nettoala	14 385 m ²
Ulkoseinä ilmaa vasten	6303 m ²
Ulkoseinä maata vasten	892 m ²
Yläpohja	2877 m ²
Alapohja	2877 m ²
Ikkunat	1751 m ²
Ovet	382 m ²

8.1 Laskennassa käytetyt lähtötiedot

Energian arvolisäverolliset hinnat ovat laskentahetkellä energiayhtiöiden voimassa olevilla hinnoilla seuraavat:

- Helenin kaukolämmön kokonaishinta sisältää energiamaksun ja tehomaksun 61,33 €/MWh, Energiamaksu 49,56 €/MWh
- Sähkön siirtomaksu 3,51 c/kWh, vero 2,36 c/kWh, energiamaksu 6,2 c/kWh, perusmaksu 4,5 €/kk

Laskelmissa energian hinnan nousu on eriytetty, koska historiallisesti se on huomattavasti inflaatiota suurempi. Keskiarvot on otettu edelliseltä 10 vuodelta. Sähkö ja kaukolämpö ovat nousseet pitkältä samaa tahtia:

- Energian hinnan nousu 4,0 %
- Inflaatio 1,6 %

Todelliset arvolisäverolliset energianhinnat voivat poiketa esitetyistä taloyhtiön voimassa olevien sopimusten ja tarjouksien takia. Selvityksessä on huomionarvoisinta vuosikustannusten muutokset verrattuna laitteistojen uusimisen jälkeiseen tilanteeseen. Yleisesti voidaan todeta, että eri paikkakunnilla kannattavuuden tulokset voivat olla hyvin erilaiset, kun sähkön hintaero kaukolämpöön on merkittävästi erilainen.

Laskennassa ei huomioida tilausvesivirran muutoksia tai sähköliittymien vahvistamista, vaikka ne vaikuttavat kuukausittaisiin kustannuksiin. Muutokset eivät ole muihin lähtötietojen epävarmuuksiin verrattuna kuitenkaan niin suuria, että ne muuttaisivat olennaisesti kannattavuuden tulosta.

Huoneistosähkön kulutus sisäisiä lämpökuormia varten on arvioitu koko Suomen kuluskeskiarvosta (D3 2012 RakMK). Laskennassa on oletettu, että laajemmissa muutoksissa viranomaisten vaatima lämpöverkoston perussäätö toteutetaan linjasaneerauksen yhteydessä joka tapauksessa, eli sen hintaa ei ole lisätty investointikustannuksiin. Investointikustannuksissa ei ole mukana suunnittelun ja valvonnan vaatimia lisäkustannuksia.

8.2 Vaipan lämpöhäviöt

Rakennusten energiankulutuksen mallintaminen ja vertaaminen todellisiin kulutustietoihin on tärkeässä osassa, kun mietitään rakennusten energiakorjauksia. Tämän takia olisi tärkeää saada tehtyä mallinnus mahdollisimman todenmukaisilla tiedoilla. Esimerkkirakennuksien osalta seinien, ylä- ja alapohjien tiedot saatiin alkuperäisistä tiedoista. Ikkunoiden ja ovien U-arvot ovat arvioita, jotka perustuvat saman aikakauden rakennuksista saatuihin tietoihin.

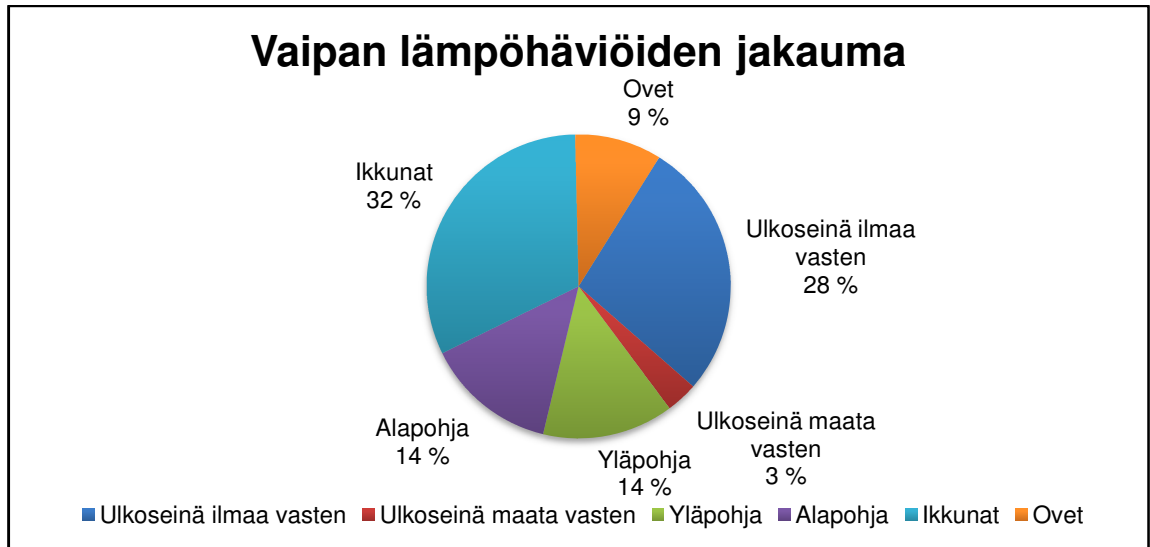
Kiinteistön neljä rakennusta on rakennettu samankaltaisiksi. Laskelmissa rakennusten tietoja käsitellään yhtenä kokonaisuutena. Vaipan johtumisesta aiheutuneen lämmitysenergian laskennassa käytettiin rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavaan (3.5) pohjautuvaa laskentaa ja sen liitteen 2 taulukon L2.2 kuukausittaisia säätietoja.

Rakennuksien väliseinät ja ulkoseinät on valettu betonista. Ulkoseinän betonirungon paksuus on 150 mm ja seinä on eristetty ulkopuolelta noin 200 mm kevytbetonieristeellä. Talojen alkuperäinen ulkorappaus on tehty noin 20 mm kalkkisementtillaastilla. Alkuperäisen ulkoseinän U-arvo on noin $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$, ja ulkoseinien yhteenlasketut lämpöhäviöt ovat noin 469 MWh. Vuonna 1985 ja 2008 on rakennusten julkisivuihin tehty lämpörappauskorjauksia. Alkuperäiseen ulkopintaan on lisätty 50 mm paksu mineraalivilla ja 10 mm:n ohutrappaus. Korjausten jälkeen seinien lämmöneristys parani siten, että nykyinen lämmönläpäisykerron, eli U-arvo on noin $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja yhteenlaskettu lämpöhäviö noin 290 MWh. Julkisivukorjauksen jälkeen taloyhtiö on saanut noin 180 MWh:n säästöt vuodessa.

Alkuperäisten ikkunoiden ja ovien U-arvon oletettiin olevan 1960-luvulla yleisesti käytetty $3,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä on vähintään RIL-1969:n suositus kun ikkunoiden ja ovien suhde ulkoseinäpinta-alaan on $<0,3$. (25) Vuonna 2007 ja 2009 rakennusten ikkunat ja ovet on uusittu. Uusittujen Fenestra-merkkisten ikkunoiden ja ovien uudeksi U-arvoksi arvioitiin $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on sen ajan rakentamismääräyskokoelman enimmäisarvo. Laskelmissa todettiin, että ikkunoiden ja ovien uusimisen jälkeen taloyhtiö on saavuttanut jopa 436 MWh:n säästöt vuodessa.

Rakennusten yläpohjan kattorakenne on samanlainen kuin seinärakenteen, eli 150 mm:n massiivibetonilaatta ja lämmöneristeenä 200 mm:n kevytbetonilaatta. Yläpoh-

jan U-arvoksi saatiin $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja kokonaislämpöhäviöksi noin 200 MWh. Mikäli rakennusten yläpohjien lämpöeristystä parannettaisiin 200 mm:n paksulla puhallusvillaeristeellä, uusi U-arvo olisi noin $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, jolloin lämpöhäviöt olisivat noin 55 MWh. Laskelmissa yläpohjan lisälämmöneristämisen todettiin olevan taloyhtiölle todennäköisesti taloudellisesti kannattava ratkaisu ja lisätutkimisen arvoinen. Alapohjan rakenteesta ei vanhoista suunnitelmista saatu täyttä varmuutta ja U-arvo oletettiin RIL-1962:n mukaiseksi. (25) Alapohjan lämpöhäviöksi saatiin 147 MWh. (Kuva 13.)



Kuva 13. Rakennusten vaippojen yhteenlasketut lämpöhäviöjakaumat.

8.3 Vuotoilma ja ilmanvaihto

Rakennusten vuotoilmasta ei ollut mittaustietoja saatavilla. Korvausilmaa vaativien tilojen ikkunoihin on ikkunaremontin yhteydessä asennettu korvausilmaventtiilit. Vuotoilma ja siitä aiheutuvat lämpöhäviöt laskettiin rakentamismääräyskokoelman osan D5 kaavan (3.8) mukaisesti. Rakennusten kunto ja peruskorjaukset huomioiden, laskennassa oletetaan ilmanpitävyyden olevan keskimääräinen. Ilmanvuotolukuna käytettiin D5:n taulukon 3.5 lukua $n_{50} = 1,5 \text{ 1/h}$ asuinkerrostalolle ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytettiin lukua $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Vuotoilmavirran laskenta perustuu D5:n kaavaan (3.9). Rakennusten vuotoilman lämpöhäviöksi saatiin 132 MWh.

Korvausilman lämmittämiseen tarvittava lämmitysenergian määrä on suurin yksittäinen häviö esimerkkirakennuksissa. Rakennusten todellisia poistoilmamääriä ei ollut saata-

villa, eikä ilmamäärän puolittamista huomioitu laskelmissa, koska poistoilmavirtoja ei mitattu selvitystä varten. Laskennassa poistoilman lämpöhäviöksi saatiin 1 107 MWh, joka on rakennuksen kokonaiskulutukseen verrattuna korkea, noin 48 %. Tämä on johdonmukaista, sillä vaipan lämpöhäviöitä on saatu pienennettyä merkittävästi ikkunoiden uusimisella ja ulkoseinien lisäeristyksellä. Linjasaneerausurakan yhteydessä tehtävä ilmanvaihdon säätötyö sekä poistoilmakoneiden uusiminen mahdollistavat sen, että korvausilman lämmitysenergian tarvetta on mahdollista hallita paremmin ja säädettävyyttä parantaa. Esimerkiksi ilmamääriä voidaan säätää portaattomasti ulkoilman mukaan ja lisäämällä tehostusjaksoja.

Ilmamäärälaskelmissa käytettiin vanhojen suunnitelmien mukaisia ilmamääriä. Energiankulutusta mallinnettiin ilmanvaihtuvuusluvulla 0,62 kertaa tunnissa. Nykymääräysten mukaan rakennuksen ilmanvaihtuvuuden tulisi olla vähintään 0,5 kertaa tunnissa. VTT:n tutkimustietojen mukaan ennen vuotta 1960 rakennettujen rakennusten keskimääräinen ilmanvaihtokerroin oli 0,68 kertaa tunnissa. Tutkimustietojen perusteella koneellisen poistoilmanvaihdon kerrostalossa ilma vaihtuu keskimäärin 0,55 kertaa tunnissa. (26)

Poistoilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutuksen SFP-arvona käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaista arvoa 1,0 kW/(m³/s). Korvausilman lämmitysenergian tarve laskettiin D5:n mukaisella kaavalla (3.15) ja sen liitteen 2 taulukon L2.2 kuukausittaisilla säätiedoilla.

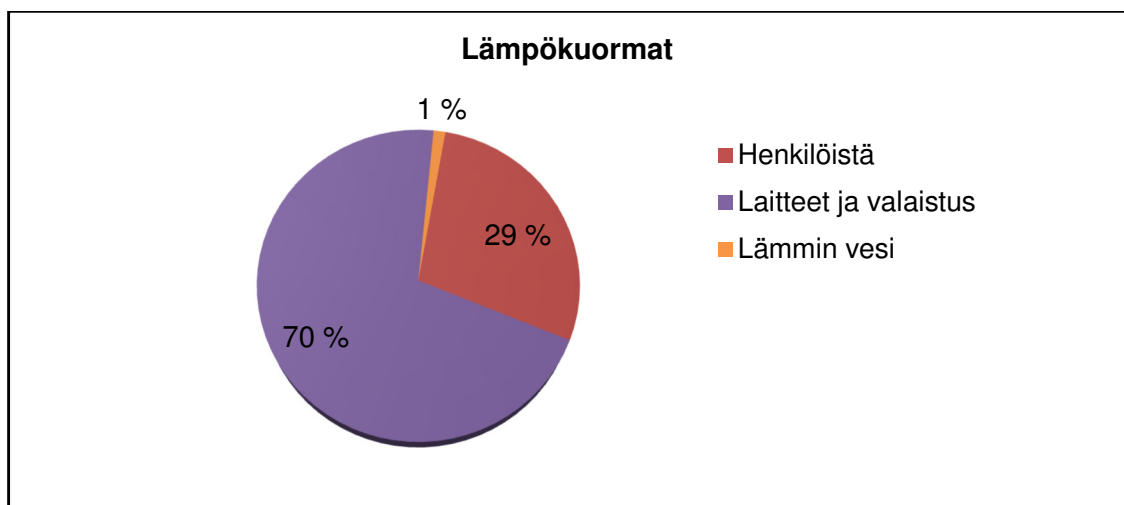
8.4 Käyttövesi ja lämmitys

Lämpimän käyttöveden kulutus on laskettu D5:n ohjeen mukaan olettaen sen olevan kokonaisvedenkulutuksesta 40 %. Lämpimän käyttöveden lämpötilana käytetään 60 °C:ta ja kylmän käyttöveden lämpötilana 5 °C:ta.

Laskennassa käytetään lämmönjaon hyötysuhteen määrittämiseen rakentamismääräyskokoelman osan D5 antamaa lämpötilaa 70/40 °C, jolla päästään lähimmäksi rakennuksessa käytettävää patteriverkoston lämpötilaa 80/60 °C. Sisälämpötilana käytettiin 21 °C:ta. Jakojohdot on eristetty, jolloin lämmönjakohyötysuhteeksi saadaan 0,9.

8.5 Sisäiset lämpökuormat

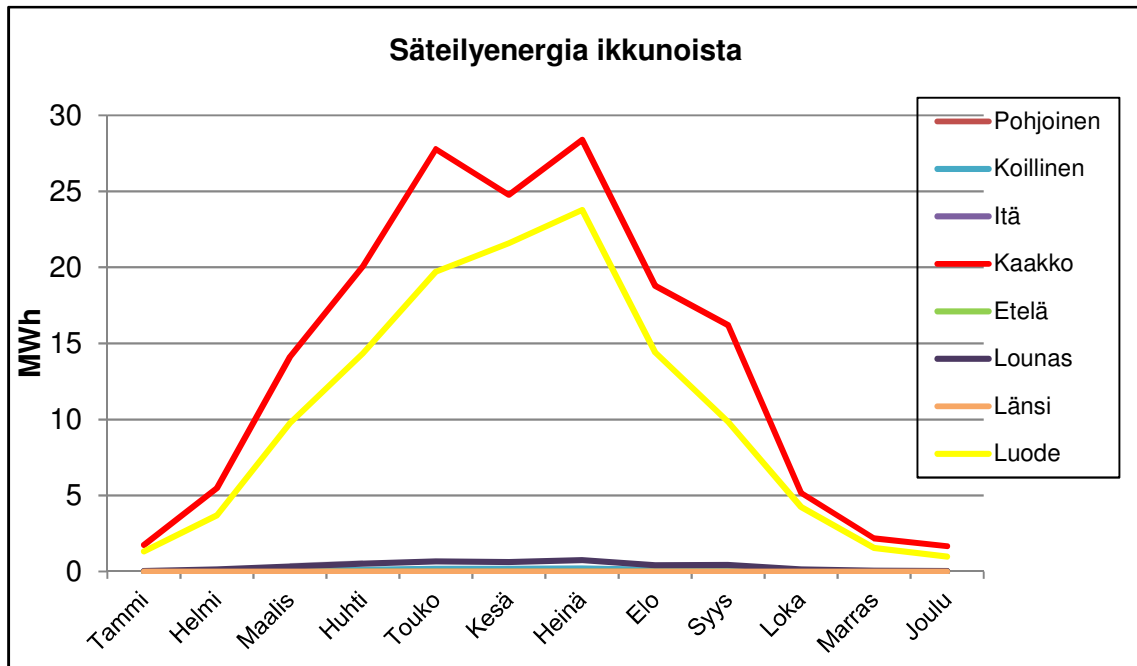
Kiinteistön sisäiset lämpökuormat, on laskettu rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti lämmitettyä nettoalaa kohti. Kuluttajalaitteiden tuomana lämpökuormana käytettiin lukemaa 4 W/m^2 ja ihmisten tuomana lukemaa 3 W/m^2 . Henkilöistä, valaistuksesta ja laitteista tuleva lämpökuorma on ilmaisenergiaa, ja se kattaa osan rakennuksen lämmöntarpeesta. Kaikkiaan lämpökuormaa tulee yhteensä 576 MWh, ja se jakautuu kuvan 14 mukaisesti.



Kuva 14. Rakennusten sisäisten lämpökuormien jakauma.

8.6 Auringosta tuleva lämpökuorma

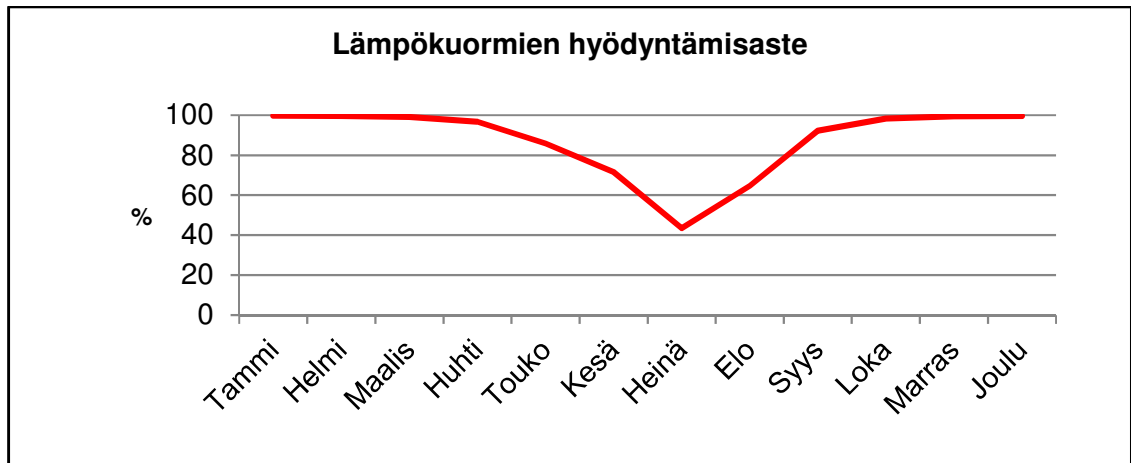
Rakennuksiin saadaan myös ikkunoiden kautta auringonvalon tuomaa ilmaisenergiaa. Laskennassa käytettiin rakentamismääräyskokoelman D3 taulukon L2.2 mukaisia kokonais säteilyarvoja pysty- ja vaakasuunnille. Kuvassa 15 on esitetty auringon säteily ilmansuunnittain. Talojen pitkien sivujen ilmansuunnat, jossa ikkunat pääosin sijaitsevat, ovat luode ja kaakko. Kiinteiden varjostusten lisäksi esimerkiksi puusto voi vaikuttaa varjostukseen tulevaisuudessa. Auringosta saadun ilmaisenergian määräksi vuodessa saatiin 297 MWh, kun pysyvien varjostusten kuten parvekkeiden vaikutus otetaan huomioon. (D3 liite 2 ja D5 5.3)



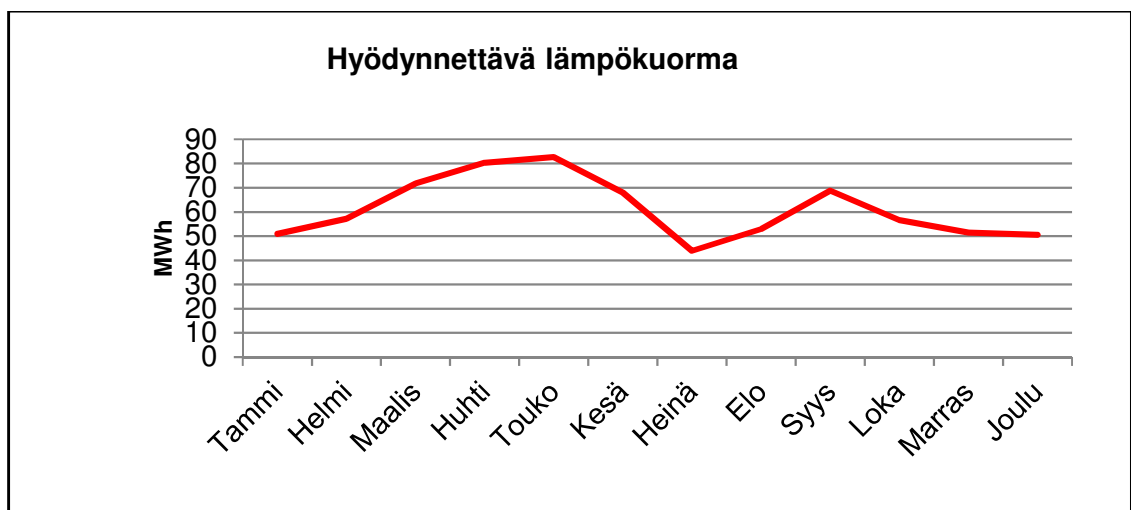
Kuva 15. Auringosta saatu säteilyenergia määrä vuodessa ilmansuunnittain.

8.7 Lämpökuormien hyödyntäminen

Kaikkea lämpökuormista saatua ”ilmaista” energiaa ei voida käyttää hyödyksi. Varsinkin kesällä lämpökuormien hyödyntäminen jää pieneksi, ja ylimääräinen energia muuttuu huoneistoissa helposti liialliseksi lämmöksi, jota pyritään tuulettamaan pois. Energian tehokkaampi hyödyntäminen vaatii esimerkiksi rakennuksien lämpöverkostojen tasapainotusta, asuntoihin termostaattisia patteriventtiileitä tai muita älykkäitä talotekniikan ohjausjärjestelmiä. Kuvassa 16 on esitetty lämpökuormien hyödyntämisaste kuukausittain prosentteina. Kuvassa 17 taas on esitetty, kuinka paljon lämpökuormaa saadaan hyödynnettyä eri kuukausien aikana. Rakennusten lämpökuormitus on vuodessa 873 MWh. Kun lämpökuormat kerrotaan kuukausittaisella hyödyntämisasteella, saadaan nettolämmöntarpeesta hyödynnettyä 735 MWh, joka on tilojen 2 297 MWh:n lämpöhäviöön nähden merkittävä.



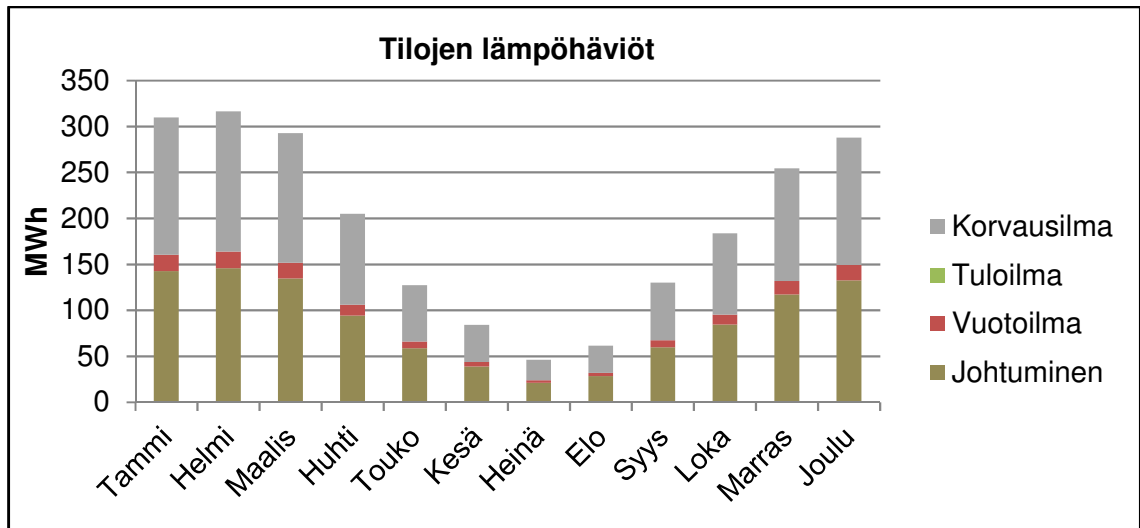
Kuva 16. Lämpökuormien hyödyntämisaste kuukausittain.



Kuva 17. Rakennusten lämmityksessä hyödynnettävän energian määrä kuukausittain.

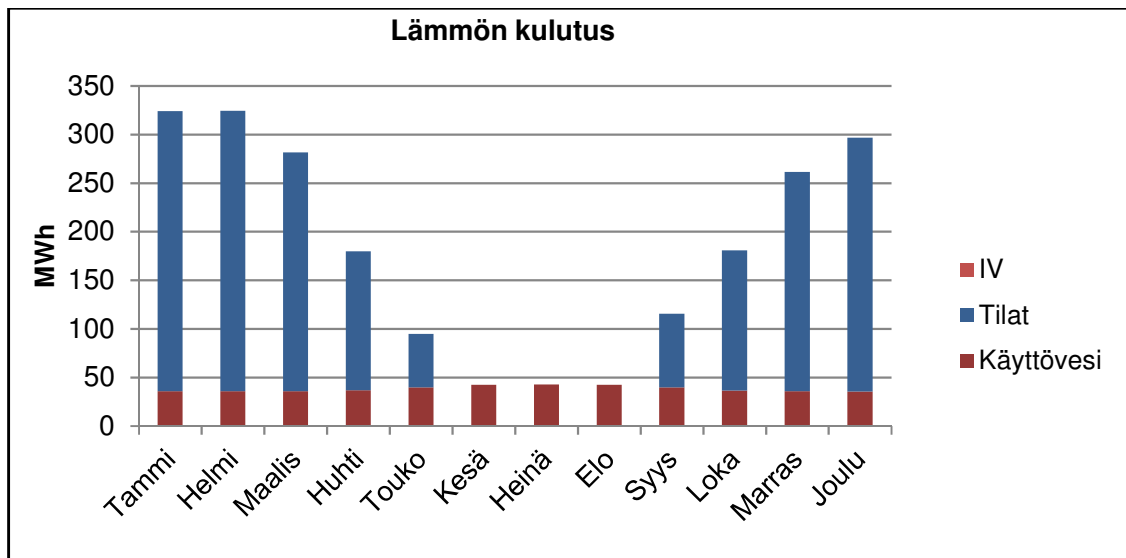
9 Rakennusten lämpöhäviöt ja lämmönkulutus

Lämpöhäviöt tarkoittavat energiamäärää, joka tulee kattaa, jotta rakennusten tilojen suunniteltu sisälämpötila täyttyy. Suurimmat lämpöhäviöt muodostuvat ilmanvaihdon lämpöhäviöistä ja vaipan läpi johtuvista lämpöhäviöistä. Lämpöhäviöt katetaan ostoenergialla ja ilmaisenergialla. Kuvasta 18 voidaan nähdä, että rakennusten suurin yksittäinen lämpöhäviö on korvausilma. Kuvassa on myös esitetty lämpöhäviöiden jakautuminen kuukausitasolla. Rakennusten lämpöhäviöt ovat yhteensä 2 297 MWh vuodessa.



Kuva 18. Tilojen lämpöhäviöiden kuukausijakauma.

Lämmönkulutuslaskelmissa on huomioitu tilojen lämmönkulutuksen lisäksi käyttöveden ja tuloilman lämmönkulutus. Kuitenkaan tuloilman lämpöhäviöitä ei rakennuksissa ole, koska kohteessa ei ole tulo-poisto-ilmavaihtojärjestelmää. Kiinteistön lämmönkulutus on 2 186 MWh vuodessa. Kuva 19 havainnollistaa hyvin, kuinka epätasaisesti lämmönkulutus jakautuu kuukausittain. Kesäkuukausina jolloin hyödynnettävää ilmaisenergiaa on paljon tarjolla, kulutus on niin pientä, ettei kaikkea ilmaisenergiaa saada käytettyä hyödyksi.



Kuva 19. Lämmönkulutuksen kuukausijakauma.

Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, korvausilman lämmittämiseen tarvittava lämpömäärä on suurin yksittäinen häviö. Tämä on johdonmukaista, sillä rakennusten vaipan lämmöneristystä on saatu parannettua aikojen saatossa uusimalla ikkunat, sekä lisäeristämällä ulkoseiniä. Vaikka ikkunat ja ovet aiheuttavat yli puolet vaipan häviöistä, johtuu tämä enimmäkseen ikkunoiden suurista pinta-aloista, eikä huonoista U-arvoista.

Taulukko 2. Rakennusten lämpöhäviöiden ja lämmön kulutuksen jakauma.

Tilojen lämpöhäviöt [MWh]			Lämmön kulutus [MWh]		
Johtuminen	1057,7	46,0 %	Tilat	1727,5	79,0 %
Vuotoilma	132,2	5,8 %	IV	0,0	0,0 %
Tuloilma	0,0	0,0 %	Käyttövesi	458,6	21,0 %
Korv. Ilma	1107,4	48,2 %	Yht.	2186,1	
Yht.	2297,3				

10 Laitteistojen energiainvestointiselvitys

10.1 Vesikiertoinen lattialämmitys

Vesikiertoinen lattialämmitys on vaihtoehto yleisesti käytettävälle sähköiselle mukavuuslattialämmitykselle. Selvityksessä lattialämmityksen asennusraja rajoittuu kylpyhuoneen alueelle. Vesikiertoisen lattialämmityksen investointikustannukset ovat sähköistä kalliimmat, ja vesikiertoinen lattialämmitys tarvitsee oman matalalämpöverkoston. Järjestelmälle rakennetaan talon pohjakerrokseen koko talon läpi kulkeva putkisto sekä kerrosnousulinjat, joihin liitetään asuntojen kylpyhuoneiden lattialämmityspiirit. Lattialämmitysverkosto tarvitsee myös oman lämmönvaihtimen.

Vesikiertoisen lattialämmityksen etu perustuu kuitenkin käytettävän lämmön halpuuteen verrattuna sähköenergiaan. Vesikiertoisuus mahdollistaa lämmönlähteen vaihdon tulevaisuudessa. Investointikustannuseroa pienentää myös se, että räppipatteri voidaan jättää pois kylpyhuoneesta.

Taulukossa 3 nähdään, miten vesikiertoinen lattialämmitys muuttaa energiankulutusta sähköiseen verrattuna. Kiinteistön ostolämmönkulutus nousee 66 MWh, koska kaukolämmöllä katettavien lämpöhäviöiden osuus nousee sähkölämmityksen ja käyttövesiverkostoon liitettyjen pyyhekuivaimien jäädessä pois. Sähkönkulutus taas pienenee enemmän, 71 MWh, koska sähköisen lattialämmityksen yhteydessä käytetään käyttövesiverkostoon liitettyjä pyyhekuivaimia. Erillinen lattialämmitysjärjestelmä on energiatehokkaampi kuin käyttövesiverkostoon liitetyt lämmityslaitteet. Kiinteistön vuotuiset energiakustannukset pienevät noin 4 %.

Taulukko 3. Vesikiertoisen lattialämmityksen vaikutus kiinteistönomistajan energiakustannuksiin verrattuna sähköiseen lattialämmitykseen.

Vuosittaiset kustannukset		Muutos		
Lämpö:	111 593 €	3 249 €	3 %	+66 MWh
Kiinteistösähkö:	32 173 €	-8 584 €	-21 %	-71 MWh
Yht.	143 767 €	-5 335 €	-4 %	

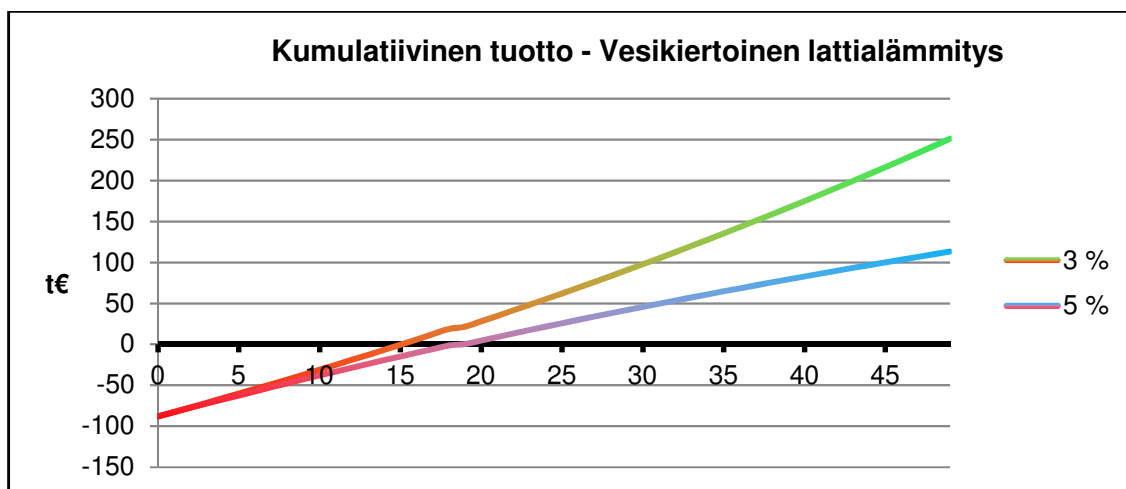
Vesikiertoisen lattialämmityksen investointikustannus on arvioitu sähköiseen lattialämmitykseen verrattuna 88 000 € (ALV 24%) kalliimmaksi ja tekniseksi pitoajaksi 50 vuotta. Investointiarvio perustuu samantyyppisten rakennusten toteutuneisiin hintoihin. Laskelmissa on huomioitu, että 20 vuoden kohdalla uusitaan lämmönsiirrin 6 000 € (ALV 24%).

Kuten taulukosta 4 voidaan nähdä, vesikiertoinen lattialämmitys on kannattava tässä kohteessa kaikilla alle 10 %:n tuottovaatimuksilla. Investointia voidaan siis pitää kannattavana, jos sisäinen korko on vähintään yhtä suuri kuin tuottotavoitteeksi asetettu korkokanta. Usein taloyhtiöiden tapauksessa nimelliskorkona on käytetty 3 % tai 5 %. Nimelliskorkoa voidaan pitää kannattavuuden rajana, koska jos investoinnin tuotto menee alle vaaditun rajan, on taloyhtiölle kannattavampaa sijoittaa rahat riskittömästi pankkiin korkoa kasvamaan.

Taulukko 4. Vesikiertoisen lattialämmityksen kannattavuus eri tuottovaatimuksilla.

Vesikiertoinen lattialämmitys	Tuottovaatimus			
	0 %	3 %	5 %	10 %
Korollinen takaisinmaksuaika [v]	14	17	20	yli 50
Sisäinen korko [%]	10 %	10 %	10 %	10 %

Vesikiertoisen lattialämmityksen kumulatiivinen tuotto on kuvattu kuvassa 20, jossa pysty-akseli kertoo investoinnin ja tuoton euroina, vaaka-akseli elinkaaren vuosina. Vaaka-akselin leikkauspiste kertoo vuosissa takaisinmaksuajan ja jolloin vesikiertoinen lattialämmitys on saavuttanut sähköisen lattialämmityksen investointikustannuksessa saavuttaman edun. Noin 20 vuoden kohdalla näkyy vaikutus, että elinkaaren aikana lämmönsiirrin vaihdetaan. Takaisinmaksuaika kasvaa herkästi nimelliskoron noustessa. Nimelliskorko 3 % ja 5 % kuvaa haluttua tuottovaatimusta. Kuvassa nähdään, kuinka tuottovaatimuksen muutoksilla voidaan vaikuttaa merkittävästi investoinnin kannattavuuteen.



Kuva 20. Vesikiertoisen lattialämmityksen kumulatiivinen tuotto eri tuottovaatimuksilla.

10.2 Maalämpö

Kerrostalokohteissa vapaan tontin riittävyys maalämpökaivoille rajoittaa maalämmön toteutusmahdollisuuksia. Myös rakennusten lämmitysjärjestelmän laitteille ja putkistoille joudutaan tekemään päivityksiä matalalämpöpiirille soveltuvaksi. Seuraavassa tarkastellaan miten maalämpö muuttaa energiankulutusta linjasaneerauksen jälkeiseen tilanteeseen verrattuna. Taulukosta 5 voidaan nähdä, kuinka lämmön ja kiinteistösähkön

energiankulutukset muuttuvat, jos kaukolämmöstä luovutaan. Kaukolämmön eli ostolämmönkulutus loppuu kokonaan, koska kaukolämpöliittymästä luovutaan. Kiinteistö säästää 108 345 €, koska kaukolämpöä ei tarvita. Toisaalta kiinteistösähkön kulutus nousee paljon. Maalämmön hyödyntäminen kasvattaa sähkönkulutusta 108 966 €:n edestä. Kokonaisuutena kustannukset nousevat noin 622 € vuodessa, kun huomioidaan sekä lämmitys- että sähkökustannukset.

Lämpöpumpun mitoituksessa nyrkkisääntönä voidaan pitää, että 100 %:n energiaperito ei ole järkevä, koska Helsingin seudulla tarvitaan vain muutamia prosentteja vuodesta lisälämmitystehoa, joka kannattaa tehdä sähkövastuksilla. Esimerkkikohteessa käytettiin 80 %:n mitoitusta. Laskenta olettaa, että tiloja ja käyttöväettä lämmitetään vuorotellen niin että käyttöväettä lämmitetään ensisijaisesti.

Taulukko 5. Maalämmön 80 %:n mitoituksen energiakustannusten ja kulutusten muutokset.

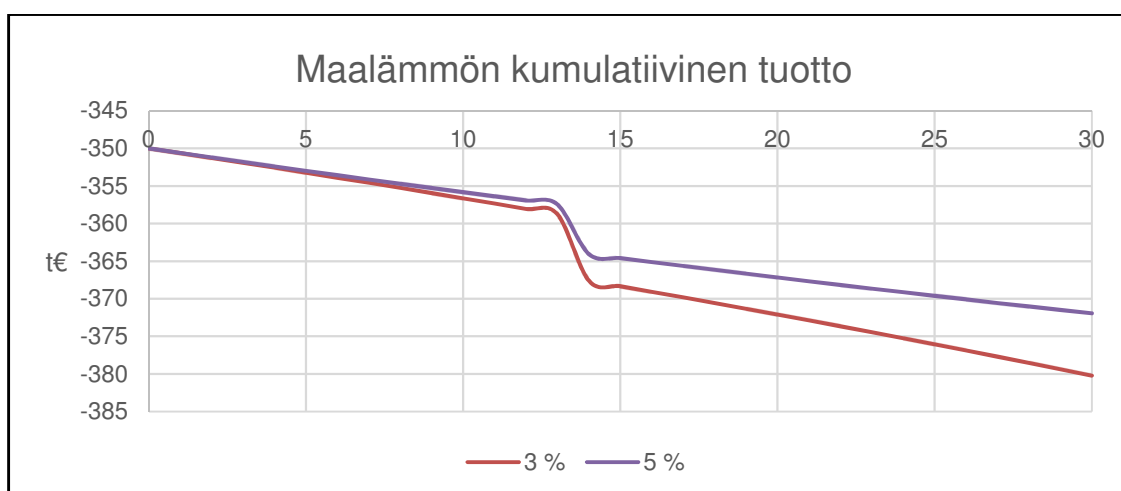
Vuositteiset kustannukset		Muutos		
Lämpö	0 €	-108 345 €	-100 %	-2102 MWh
Kiinteistösähkö	149 724 €	108 966 €	267 %	+903 MWh
Yht.	149 724 €	622 €	0 %	

Investointikustannuksiksi on arvioitu 350 000 € (ALV 24 %) ja tekniseksi pitoajaksi 30 vuotta. 15 vuoden kohdalla uusitaan kompressoreita 10 000 €:n arvosta (ALV 24 %). Huoltokustannuksille ei ole arviota. Lisäksi investointikustannuksia nostavat lämpöverkoston ja lämmönjakohuoneen muutokset sekä varaajien tarve. Kuten taulukosta 6 voidaan nähdä, rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisilla arvoilla laskettuna kiinteistön lämmitysjärjestelmän muuttaminen maalämmöksi ei ole millään tuottovaatimuksella kannattava investointi. Maalämmön ongelmana on suuri sähkön kulutus, kun käytetään D5:n mukaisia arvoja.

Taulukko 6. Maalämmön kannattavuus eri tuottovaatimuksilla.

Maalämpö	Tuottovaatimus			
	0 %	3 %	5 %	10 %
Korollinen takaisinmaksuaika [v]	yli 50	yli 50	yli 50	yli 50
Sisäinen korko [%]	Ei mahd.	Ei mahd.	Ei mahd.	Ei mahd.

Maalämmön korollisen takaisinmaksuajan kumulatiivinen tuotto on esitetty kuvassa 21, jossa pystyakseli kertoo investoinnin ja tuoton euroina, vaaka-akseli elinkaaren vuosina. Vaaka-akselin leikkauspiste kertoo vuosissa takaisinmaksuajan. Kuvasta voidaan nähdä, että kumulatiivinen tuotto on negatiivinen, koska lämmityksen kustannukset nousevat noin 622 euroa vuodessa ostolämpöön verrattuna. Noin 15 vuoden kohdalla on huomioitu kompressoreiden uusimisen vaikutus.



Kuva 21. Maalämmön korollisen takaisinmaksuajan kumulatiivinen tuotto eri tuottovaatimuksilla.

10.3 Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän, eli PILP:n kannattavuus on sitä parempi, mitä enemmän ilmaa pystytään tuomaan yhden poistoilmayksikön läpi, mikä käytännössä tarkoittaa mahdollisimman korkeaa taloa. Esimerkkikiinteistön talomallit ovat suorakaiteen muotoisia 4-kerroksisia lamellitaloja. PILP:n kannattavuutta vähentää talojen pitkä malli, sekä useampi katolla sijaitseva ilmanpoistoyksikkö. Pitkän talomallin takia keruuputkistolle tulee pitkiä vaakaputkistoja, joille täytyy tehdä tilavaraus ullakotilaan ja kellariin. Varsinkin korjausrakentamisessa putkistojen tilavaraukset aiheuttavat haasteita, koska

jo olemassa olevien tilavarausten yhteyteen täytyy tehdä uusia tilavarauksia, jolloin rakennustekniset työt lisääntyvät merkittävästi. Kustannuslaskennassa on oletettu, että kiinteistön neljän rakennuksen lämpö tuotetaan kahden lämmönjakokeskuksen kautta sekä lämmönjakohuoneiden läheisyyteen asennetaan tarvittavat lämpöpumput, varaajat ja uudet hybridi-lämmönsiirrin-paketit. Yhdelle lämpöpumppujärjestelmälle kerättäisiin talteen saatu lämpö kahden talon poistoilmasta.

Taulukosta 7 nähdään, kuinka PILP muuttaa energiankulutusta esimerkkikohteessa linjasaneerauksen jälkeiseen tilanteeseen verrattuna. Kaukolämmön ostolämmönkulutus pienenee merkittävästi, jolloin kiinteistö säästää 68 619 € ostolämpöä. Toisaalta kiinteistösähkön kulutus nousee, koska PILP tarvitsee lisää sähköä 46 027 €:n verran. Kokonaisuuutena energian ostokustannukset vähenevät noin 22 600 € vuodessa, mikä vastaa 15 %:n säästöä vuotuisissa kustannuksissa.

Taulukko 7. PILP:n energiakustannusten ja kulutusten muutokset.

Vuosittaiset kustannukset		Muutos		
Lämpö:	39 725 €	-68 619 €	-63 %	-1385 MWh
Kiinteistösähkö:	86 784 €	46 027 €	113 %	+381 MWh
Yht.	126 510 €	-22 592 €	-15 %	

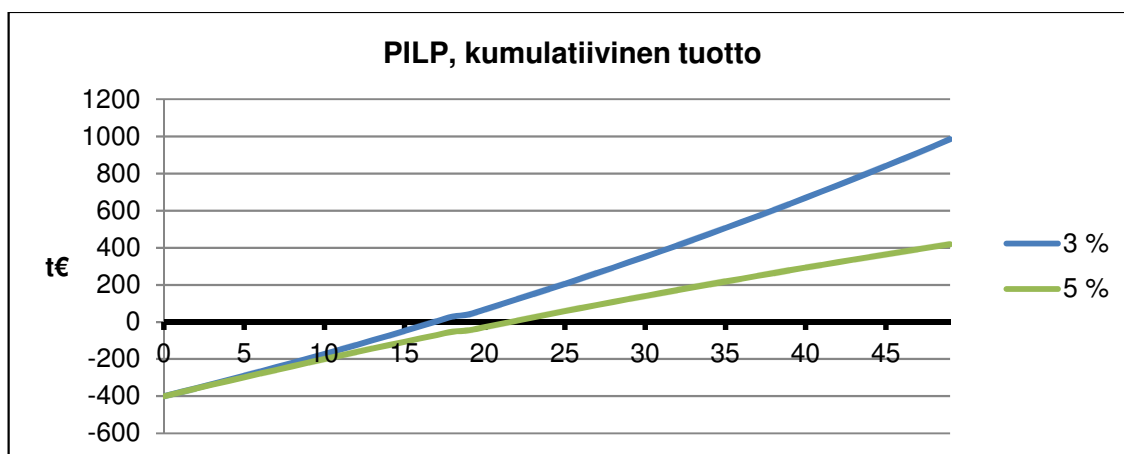
PILP:n investointikustannuksiksi on arvioitu 400 000 € (ALV 24%) ja tekniseksi pitoajaksi 50 vuotta. 25 vuoden kohdalla arvioitiin tapahtuvan korjausinvestointi, jolloin laitteistoja uusitaan 20 000:n edestä € (ALV 24%). Huolto- ja ylläpito/etävalvontakustannuksille on arvioitu 1500 €:n vuosikustannukset. Lisäksi tilojen muokkaus laitteistolle sopivavaksi ja talojen välille rakennettavat lämmönkeruuputkistot nostavat investointikustannuksia. Laskennat on tehty olettaen, että jäteilma rajoitetaan yhteen asteeseen ja että SPF (Vuosihyötysuhde) on 3 ja poistoilman lämpötila on 21 °C. Todellinen poistoilman lämpötila tulisi mitata lämmityskaudella nykyisen poistoilmapuhaltimen kohdalta ennen lopullisen investointipäätöksen tekemistä. Yläpohjassa kulkevien pitkät vaakasiirtymät ja huono eristys voivat alentaa poistoilman lämpötilaa ja talteen otettavan lämmön määrää merkittävästi.

Tuottovaatimusten perusteella PILP vaikuttaa kannattavalta, mutta järjestelmän takaisinmaksuaika on hyvin herkkä energiakustannusten muutoksille. Taulukossa 8 esitetyt tiedot ja kuvan 22 takaisinmaksuajat on laskettu käyttäen oletusarvoisesti sähkön ja kaukolämmön hinnan vuosinousuina 4 %:a sähkölle ja 4 %:a kaukolämmölle. Esimerkiksi jos kaukolämmön ja sähkön hinnan nousuksi asetetaan 0 %, tulee sisäiseksi korkokannaksi 4,5 %. Jos taas sähkön hinnannousu on 2 % ja kaukolämmön 1 %, ei investointi maksa itseään takaisin teknisen käyttöikänsä aikana.

Taulukko 8. PILP-järjestelmän kannattavuus eri tuottovaatimuksilla.

PILP	Tuottovaatimus			
	0 %	3 %	5 %	10 %
Korollinen takaisinmaksuaika [v]	15	18	23	yli 50
Sisäinen korko [%]	9 %	9 %	9 %	9 %

Kun PILP:n kumulatiivista tuottoa tarkastellaan 3 %:n ja 5%:n nimelliskorolla, huomataan nimelliskoron vaikuttavan tarkastelujaksolla takaisinmaksu-aikaan ja investoinnin tuottoon. Kuvasta 22 voidaan huomata nimelliskoron muutoksella syntyvän jopa viiden vuoden ero takaisinmaksuajassa.



Kuva 22. PILP:n korollisen takaisinmaksuajan kumulatiivinen tuotto eri tuottovaatimuksilla. Pystyakseli esittää tuhatta euroa, vaak akseli vuosia. Vaaka-akselin leikkauspiste kertoo vuosissa takaisinmaksuajan.

11 Yhteenveto ja loppupäätelmät

Tässä työssä selvitettiin Helsingissä sijaitsevan taloyhtiön neljän kerrostalon energiansäästömahdollisuuksia keväällä 2016 alkaneen linjasaneerauksen suunnittelun yhteydessä. Tarkoituksena oli tuottaa taloyhtiölle tietoa energiainvestointien kannattavuuksista päätöksenteon tueksi. Mikäli tarkastellut energiainvestoinnit olisivat kannattavia ja järkevästi toteutettavissa, voisi taloyhtiö toteuttaa ne linjasaneerauksen yhteydessä. Näin energiainvestointiremontti saisi synergiaedun suuremmasta urakasta. Työssä erityisenä tavoitteena oli selvittää investoinnin kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ja peilata niitä kohteen ominaisuuksiin.

Työn tutkimusosuudessa selvitettiin investointilaskelmien avulla, miten rakennusten poistoilmasta saataisiin otettua energiaa talteen poistoilmalämpöpumppujärjestelmän avulla liittämällä se kaukolämmön rinnakkaislämmöksi. Tarkastelun kohteena oli myös kiinteistön rakennusten lämmön tuoton vaihtaminen kaukolämmöstä maalämmöksi siten, että kaukolämpöverkostosta irtaudutaan kokonaan. Työssä selvitettiin myös vesikiertoisen ja sähköisen lattialämmityksen kannattavuuksien eroja. Järjestelmien kannattavuuksia tarkasteltiin näkökulmasta, jossa tavoitteena oli lämpöenergiakustannuksien minimointi. Tutkittavien toimenpiteiden investointikustannukset perustuvat vastaavien todellisten kohteiden tietoihin.

Työ toteutettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 kuukausitason laskentamenetelmän mukaisesti selvittämällä ensin rakennusten vaipan aiheuttamat lämpöhäviöt U-arvolaskelmalla. Lämpöhäviölaskenta on tärkeässä osassa, jotta sitä voidaan verrata kiinteistön todelliseen energian kulutukseen. Samalla voitiin arvioida rakennusten vaipan nykyinen tiiveys. Laskelmissa käytettiin apuna alkuperäisiä rakennesuunnitelmia. Lämpöhäviölaskelmia vertailtiin kiinteistön kolmen edellisvuoden energiankulutustietoihin. Kaukolämmön hinta oletettiin pysyvän ympäri vuoden samana. Helenin käyttämä kausihinnointelu, jossa kaukolämmön kesäkauden hinta on noin puolet talvikauden hinnasta voi johtaa siihen, ettei lämpöpumpun käyttö ole kesäaikana kannattavaa.

Työn tuloksena saadut kannattavuuslaskelmat on esitetty taulukossa 9. Kuten taulukosta voidaan havaita, vesikiertoisen lattialämmityksen todettiin olevan kannattavin investointi, vaikka vesikiertoinen lattialämmitys on noin 88 000 € kalliimpi kuin sähköinen lattialämmitys. Laskelmien perusteella sisäinen korko lämmityksen elinkaaren aikana oli 10 %,

joka on yleisesti käytettyyn 3 % tuottovaatimukseen nähden korkea. Vesikiertoisien lattialämmityksen 17 vuoden takaisinmaksuaika on kannattava myös, kun tarkastellaan investointia korollisen takaisinmaksuajan laskelmilla. Vesikiertoisien lattialämmityksen kannattavuusetu perustuu käytettävän lämpöenergian halpuuteen, ja siten sen voidaan ajatella olevan talotyypistä ja mallista riippumaton. Toki lattia- ja elementtirakenne on merkittävä tekijä asennustavalle ja siten vaikuttaa märkätilan käyttömukavuuteen. Toiseksi kannattavin investointi on poistoilman lämmöntalteenotto, eli PILP. Lämmöntalteenotto on investoinneiltaan suurin toimenpide. Tarkastelujen osalta todettiin kuitenkin, että säästöjen suuruus on muita toimenpiteitä herkempi, koska säästöt riippuvat sekä sähkön että kaukolämmön hintojen muutoksista. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että PILP:n kannattavuus on talomallin lisäksi paikkasidonnainen. Ainoastaan maalämpö ei ollut kummallakaan laskentatavalla kannattava investointi esimerkkikiinteistön ainoaksi lämmitysmuodoksi. Maalämmön ongelmana on sen käyttöön liittyvä suuri sähkön kulutus, vaikka maasta saatava lämpöenergia on ilmaista. Vaikka maalämmön herkkyyserkastelussa sähkön hintaa laskettiin 10 %, jäi takaisinmaksuaika noin 41 vuoteen. Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisilla arvoilla maalämmöllä tuotetun energian vuotuinen suhde laitteiston sähkönkulutukseen jäi pieneksi. Tämä johtuu suureksi osaksi D5:n taulukkoarvoista, joiden mukaan korkeille patteriverkoston menoveden lämpötiloille (60 °C) tulee käyttää järjestelmän SPF-lukuna 2,5:tä. Toisaalta D5 antaa mahdollisuuden laskea lämpöpumpun SPF-luku tarkemmilla laskentamenetelmillä, mikäli tiedetään laitteiston tarkemmat tiedot. Lisäksi maalämpöenergiaan vaikuttaa kohteen koko, sillä pienemmissä kohteissa se on helpommin toteuttavissa.

Taulukko 9. Yhteenveto esimerkkikohteen energiakorjausten kannattavuudesta 3% tuottovaatimuksella.

	Kustannus	Kannattavuus 3 % tuottovaatimuksella	Vuotuiset energia- kustannukset	Muutos
Vesikiertoinen lattialämmitys	88 000 €	Kannattava 10 % 17 v	143 767 €	-5 335 €
Maalämpö	350 000 €	Ei kannattava - -	149 724 €	622 €
PILP	400 000 €	Kannattava 9 % 18 v	126 510 €	-22 592 €

Energiakorjausinvestointien kannattavuutta taloyhtiön näkökulmasta on vaikea arvioida, koska eri yhtiöiden tuottovaatimukset ja tavoitteet vaihtelevat huomattavasti. Taloyhti-

öissä osakkaiden näkemykset saattavat erota toisistaan. Tämän takia taloyhtiön on arvioitava investointien kannattavuus omien periaatteidensa pohjalta. Esimerkiksi kiinteistösijoittajien ja sijoitusasuntojen omistajien tuottoon ja rakennuksen kuntoon liittyvät vaatimukset saattavat olla erilaiset kuin kiinteistössä asuvien osakkaiden, jotka mahdollisesti arvostavat enemmän asumismukavuutta ja -laatua. Myös vihreiden arvojen merkitys vaikuttaa kannattavuuden käsitteeseen merkittävästi, erityisesti energiakorjauksissa.

Vaikka lämpöpumppujen määrä lisääntyy kovaa vauhtia, on niiden hyödyntämisessä vielä kehitettävää. Esimerkiksi aurinkolämmön ja -sähkön liittäminen lämpöpumppujen yhteyteen, toisi lisäarvoa koko hankkeen kannattavuuteen. Myös lämpöpumppujen sähkönkulutuksen minimointi energiatehokkuutta parantavilla toimenpiteillä antaisi lisäarvoa energiainvestointipäätöksille.

Lähteet

- 1 Virta Juha ja Pylsy Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki. Kiinteistöalan Kustannus Oy.
- 2 Suomen virallinen tilasto (SVT): Asunto-osakeyhtiöiden talous. Verkkajulkaisu. 2014. Helsinki: Tilastokeskus <<http://www.stat.fi/til/asyta/index.html>>. Luettu 10.12.2015
- 3 Julkisten että yksityisten asuin- ja kaupallisten rakennusten perusparannuksia koskeva pitkän aikavälin strategia. 2014. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/8928/NEEAP-3_LIITE_5.pdf>. Luettu 8.1.2016
- 4 Seppänen Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Espoo, Suomen LVI-liitto ry.
- 5 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 6 Kauppinen Jyrki. 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Perustelumustio. Verkkodokumentti Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B68E47600-2557-4AB7-BA69-8344D9D742CA%7D/31397>>. Luettu 25.1.2016
- 7 Kauppinen Jyrki. 4/2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B924394EF-BED0-42F2-9AD2-5BE3036A6EAD%7D/31396>>. Luettu 26.1.2016
- 8 Neuvonen Petri toim. 2006. Kerrostalot 1880–2000. Tampere: Rakennustietosäätiö.
- 9 Lämpöpumput. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/toimi-alueet/uusiutuva_energia/lampopumput>. Luettu 26.1.2016
- 10 Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus. 2016. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. <<http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumppujen-merkitys-ja-tulevaisuus-SULPU.pdf>>. Luettu 26.1.2016
- 11 Lämpöpumput. 2016. Verkkodokumentti. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. <<http://www.sulpu.fi/lampopumput>>. Luettu 26.1.2016
- 12 Juvonen Janne (toim.). 2009. Lämpökaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas. Suomen Ympäristökeskus.
- 13 Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf>. Luettu 26.1.2016

- 14 Rämä Miika, Niemi Rami ja Similä Lassi. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Asiakasraportti VTT-CR-00564-15. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-00564-15.pdf>>
- 15 Rakennusten kaukolämmitys. 2014. Päivitetty 9.5.2014. Määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2013. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf>.
- 16 Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle. 10.4.2015. Verkkodokumentti. Helen Oy. <https://www.helen.fi/globalassets/suunnittelijat-ja-urakoitsijat/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnallepdf>. Luettu 26.1.2016
- 17 Lämmön talteenotto kaukolämpökiinteistöissä. 2016. Verkkodokumentti. Fortum Oy. <<https://www.fortum.fi/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Kaukolampo/L%C3%A4mm%C3%B6n%20talteenotto%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6kiinteist%C3%B6iss%C3%A42.pdf>>. Luettu 26.1.2016
- 18 Vuorinen Markus. 2015. Laskentamalli poistoilman lämmöntalteenoton kannattavuuden määrittämiseksi asuinkerrostaloissa. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto.
- 19 Lämpöä ilmassa. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <<http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>>. Luettu 9.2.2016
- 20 Juvonen Janne. Lapinlampi Toivo. 2013. Ympäristöopas. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Energiakaivo. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf>.
- 21 Lämpökaivo, toimenpideluvan hakeminen. 2014. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki. <http://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Lampokaivo_toimenpide-lupa_2014.pdf>. Luettu 12.2.2016
- 22 Maalämpöpumppu, MLP. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp>. Luettu 12.2.2016
- 23 Sillman Jouni. 2013. Betonielementtikerrostalojen linjasaneerauksen hankesuunnitelman energiansäästölaskennan ja raportin kehittäminen. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto.
- 24 Kurvinen Antti, 2010. Korjaustoiminnan energiataloudellisten valintojen systematiikka. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 25 Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. 2016. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058>>. Luettu 9.3.2016
- 26 Säteri Jorma. Kovanen Keijo. Pallari Marja-Liisa. 1999. Kerrostalojen sisäilman ja energiatalouden parantaminen. Tiedote. Espoo: VTT. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf>>. Luettu 9.3.2016