



Lamellikerrostalojen energiatehokkuuden parantaminen ja energiakustannusten pienentäminen

Saku Dahlqvist

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

DAHLQVIST, SAKU:

Lamellikerrostalojen energiatehokkuuden parantaminen ja energiakustannusten pienentäminen

Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 6 sivua

Huhtikuu 2021

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laskea erilaisten energiatehokkuutta parantavien menetelmien ja käyttäjätottumusten vaikutusta ostettavan lämmitysenergian määrään, sekä laskea näiden menetelmien taloudellista kannattavuutta. Työssä tehtiin tavoite-energialaskentaa As Oy Peltolamminkulman kolmikerroksiselle lamellikerrostalolle hyödyntäen IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmaa. Energialaskennan tuloksia hyödynnettiin elinkaarikustannusten ja käyttökustannussäästöjen laskennassa.

Laskelmien perusteella voitiin todeta, että pienimpiin elinkaarikustannuksiin päästiin erilaisilla lämpöpumppuratkaisuilla ja alkuperäisten ikkunoiden vaihdolla energiatehokkaampiin. Tuloksista voitiin huomata, että energiahintojen nousussa takaisinmaksuajat lyhenevät ja elinkaarikustannukset nousevat.

Asianmukaisesti toimivat järjestelmät ja tiedostavat tilankäyttäjät voivat pienentää energiankulutusta ja energiakustannuksia. Helpoimpana energiatoimenpiteenä voidaan pitää nykyisen lämmitysjärjestelmän toimivuuden seuraamista ja tilankäyttäjien opastamista vähäisempään energiankäyttöön.

Asianmukaisella mallinnuksella ja mahdollisimman tarkoilla alkulähtötiedoilla voidaan saavuttaa energia- ja kustannustehokkaampia ratkaisuja. Tavoite-energialaskennan avulla saadaan hankesuunnittelussa hyödynnettävää tietoa, jonka avulla voidaan edetä kohti haluttua ja onnistunutta lopputulosta.

Asiasanat: kerrostalo, energiatehokkuus, energialaskenta, elinkaarilaskenta

ABSTRACT

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

DAHLQVIST, SAKU:

Increasing Energy Efficiency and Reducing Energy Costs in the Apartment Buildings of the 1960's and the 1970's

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 6 pages
April 2021

The purpose of this thesis was to find out how different energy improvements affect energy efficiency in the apartment buildings of the 1960's and the 1970's. Since improvements in energy efficiency do not directly reduce energy costs, there was a need to calculate the Life-Cycle Costs (LCC) of different types of energy improvements.

The target energy calculations were made by IDA Indoor Climate and Energy software. The results of these calculations were used as the starting values in calculating the LCC.

As a result of this thesis, it appeared that using different heat pump systems and replacing windows with new ones are the best ways to reduce energy costs. As opposed to different heat pump systems, supplementary insulation is not cost effective as a method of energy improvement. However, supplementary insulation can be recommended during a refurbishment of the facade.

According to the results of this thesis, it could be stated that the most cost-effective way to increase energy efficiency and to reduce energy costs is to monitor the functioning of the existing heating systems and to guide users of the building towards more energy efficient living.

Key words: apartment building, energy efficiency, life-cycle cost, LCC

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYYPILLISET TEKNISET JÄRJESTELMÄT LAMELLITALOISSA	7
	2.1 Yleistä lamellitaloista	7
	2.2 Lämmitysjärjestelmä	8
	2.3 Ilmanvaihtojärjestelmät	9
3	ENERGIATEHOKKUUS	12
	3.1 Energian käyttö asuinrakennuksessa.....	12
	3.2 Energialaskenta	14
	3.2.1 Tavoite-energialaskenta	15
	3.2.2 E-lukulaskenta.....	16
	3.1 Energia-avustus taloyhtiöille	17
4	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN.....	18
	4.1 Energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät.....	18
	4.2 Energiatehokkuuden parantamisen hyödyt.....	19
	4.3 Käyttäjätottumusten vaikutus energiatehokkuuteen.....	20
5	ENERGIAKUSTANNUSTEN PIENENTÄMINEN	21
	5.1 Rakenteet ja ikkunat.....	21
	5.1.1 Rakenteiden ja ikkunoiden energiatehokkuus	21
	5.1.2 Rakenteiden ja ikkunoiden uusiminen energiatoimenpiteenä	22
	5.2 Lämpöpumppujen käyttö.....	23
	5.2.1 Maalämpöpumppu.....	24
	5.2.2 Vesi-ilmalämpöpumppu	25
	5.2.3 Poistoilmalämpöpumppu	26
	5.3 Patteriverkoston tasapainotus.....	28
	5.4 Tekniset haasteet energiaremontissa	29
	5.5 Haasteet lämmöntuotantotavan muutoksessa	29
6	ELINKAARILASKENTA ENERGIAREMONTISSA.....	31
	6.1 Elinkaarilaskenta ja elinkaarikustannukset.....	31
	6.1.1 Nykyarvomenetelmä.....	32
	6.2 Laskennan epävarmuudet.....	34
7	TALOYHTIÖ ENERGIAREMONTIN TILAAJANA	35
8	ERI MENETELMIEN VERTAILU.....	36
	8.1 Vertailutilanne	37
	8.2 Rakenteiden ja ikkunoiden muutokset.....	38
	8.3 Maalämpöpumpun käyttö.....	39

8.4	Vesi-ilmalämpöpumppu.....	40
8.5	Poistoilmalämpöpumppu.....	41
8.6	Yhteenveto.....	41
8.7	Tulosten vertailukelpoisuus eri kohteissa.....	42
8.7.1	Asukkaiden käyttötottumusten vaikutus.....	42
8.7.2	Rakennuksen sijainnin ja suuntauksen vaikutus	43
9	ERI MENETELMIEN KUSTANNUKSET	45
9.1	Rakenteiden ja ikkunoiden muutokset.....	46
9.2	Maalämpöpumppu	48
9.3	Vesi-ilmalämpöpumppu.....	48
9.4	Poistoilmalämpöpumppu.....	49
9.5	Tulosten yhteenveto.....	50
10	POHDINTA	52
	LÄHTEET.....	55
	LIITTEET	58
	Liite 1. Elinkaarilaskelmat - rakenteiden lisäeristys.....	58
	Liite 2. Elinkaarilaskelmat – ikkunoiden vaihto.....	59
	Liite 3. Elinkaarilaskelmat – lisäeristys ja ikkunoiden vaihto	60
	Liite 4. Elinkaarilaskelmat – maalämpöpumppu.....	61
	Liite 5. Elinkaarilaskelmat – vesi-ilmalämpöpumppu.....	62
	Liite 6. Elinkaarilaskelmat – poistoilmalämpöpumppu.....	63

1 JOHDANTO

Rakennusten lämmittämiseen käytetään yli neljännes Suomessa tuotetusta energiasta. 1960- ja 1970-luvuilla valmistuneiden asuinkerrostalojen lattiapinta-ala kattaa noin 40 prosenttia suomalaisten rakennusten lattiapinta-alasta. 1960- ja 1970-luvuilla valmistuneiden talojen lämmitysenergian ominaiskulutus on suurinta, joten rakennusten energiakulutuksen ja -kustannusten säästöpotentiaali on merkittävä. (Ympäristöhallinto 2016; Teknologian tutkimuskeskus VTT 2017)

Tavoitteena on laatia yleispätevä ja vertailukelpoinen laskelma jokaiselle lamellikerrostalolle sijainnista ja koosta riippumatta. Tällöin työ antaa riittävästi tietoa ja suuntaa taloyhtiöille energiaremontin hankesuunnitteluun.

Työssä kerrotaan aluksi asuinkerrostalojen energiankulutuksesta ja lamellitalojen perinteisistä LVI-taloteknisistä järjestelmistä, jonka jälkeen tarkastellaan keinoja vähentää energiankulutusta. Työssä vertaillaan dynaamista laskentamenetelmää hyödyntäen lamellikerrostalon ominaisuuksien ja taloyhtiön asukkaiden käyttäjätottumusten vaikutusta ostettavan lämmitysenergian määrään. Lopuksi lasketaan erilaisten energiatoimenpiteiden elinkaarikustannukset ja arvioidaan taloudellista kannattavuutta.

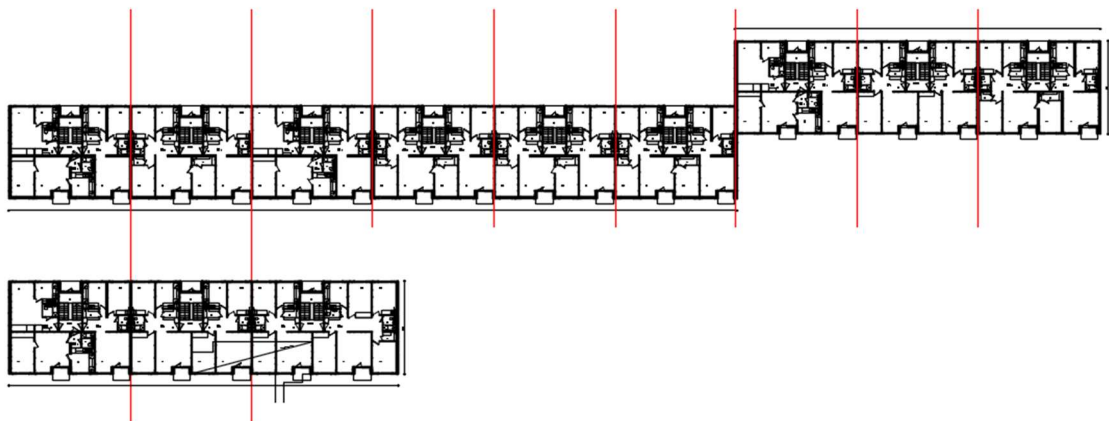
Laskennassa käytettävä kerrostalo on Tampereen Peltolammissa sijaitseva As Oy Peltolamminkulma. As Oy Peltolamminkulma on vuonna 1967 valmistunut, kahdesta kerrostalosta ja 84 asunnosta koostuva taloyhtiö. Taloyhtiön nykyisenä lämmitysmuotona on kaukolämpö ja lämpö jaetaan vesikiertoisella patteriverkostolla.

2 TYYPILLISET TEKNISET JÄRJESTELMÄT LAMELLITALOISSA

2.1 Yleistä lamellitaloista

Lamellitalo edustaa 1960- ja 1970-lukujen rakennustapaa. 1960- ja 1970-luvulla asuntotuotannossa tavoitteena oli teollinen sarjatuotanto, esivalmisteiset rakennusosat, moduulimitoitus ja standardointi. Tämän vuoksi kohdekohtaiselle suunnittelulle ja yksityiskohdille ei ollut tilaa. (Hietakangas 2020) Lähiörakentamisessa rakennukset sijaitsivat erillään toisista, eikä talojen ulkorakenteet olleet kytketty toisiin rakennuksiin.

Lamellikerrostalot ovat vähintään kaksirappuisia kerrostaloja, jossa talo on jakautunut samanlaisiin porraskaksoihin eli lamelleihin. Porraskaksojen lukumäärä määräytyi rakennusvaiheessa asemakaavan ja rakennusoikeuden mukaan. Lamellitalot voidaan jakaa kahteen eri osaan; mataliin ja korkeisiin taloihin. Matalissa lamellitaloissa on useimmiten kellarikerroksen lisäksi kolme asuinkerrosta. (Hietakangas 2020) Kuviossa 1 esitetään punaisella As Oy Peltolamminkulman molempien rakennusten porraskaksot eli lamellit.



KUVIO 1. Kahden eripituisen lamellikerrostalon porraskaksot (Badermann 2013, muokattu)

Lamellikerrostalojen ulkoseinät tehtiin betonisandwich-elementeistä. Betonisandwich-elementti muodostuu kahdesta betonikuoresta, joiden välissä on lämmöneriste. 1960-luvulla eristeenä käytettiin vuorivillaeristettä. Seuraavan vuosi-

kymmenen aikana eriste vaihdettiin paremmin eristävään, paksumpaan mineraalivillaan. (Ympäristöministeriö 2018) 1960-luvun lamellitaloissa oli usein loiva katonkulma ja joskus valetasakatto, jossa päätyseinä on nostettu räystäään yli. 1970-luvulla tasakatto alkoi yleistyä. (Hietakangas 2020)

Lamellikerrostalon tunnistaa julkisivun nauha- ja ruutuelementeistä. Nauhaelementit olivat yleisimpiä 1950-luvun lopulla ja 1960-luvun alussa. 1960-luvun myötä ruutuelementit yleistyivät ja vuosikymmenen loppuun mennessä ruutuelementtien suosio ohitti nauhaelementin. (Hytönen & Seppänen 2009, 49) Kuviossa 2 esitetään esimerkit nauhaelementin ja ruutuelementin yleisilmeestä. Nauhaelementti esitetään vasemmalla ja ruutuelementti esitetään oikealla puolella.



Kuvio 2. Nauha- ja ruutuelementtijulkisivut (Hietakangas 2020)

2.2 Lämmitysjärjestelmä

1960- ja 1970-luvulla oli tyypillistä, että kerrostalot lämmitetään talokohtaisesti, eikä esimerkiksi kaukolämpöverkostoa ollut yleisesti saatavilla. Yleisin lämmönlähde oli öljykattila ja usein kattilat varustettiin arinalla varapolttoainetta varten. Kiinteitä polttoaineita ei käytetty päälämmityksenä juurikaan ja kaukolämmön käyttökin oli vasta yleistymässä Suomessa. (Mäkiö ym. 1994, 214, 219.) Kaukolämpö yleistyi 1960- ja 1970-luvun vaihteessa. 2010-luvulla kaukolämpö oli jo yleisin lämmitysmuoto (Mäkelä & Tuunanen 2015).

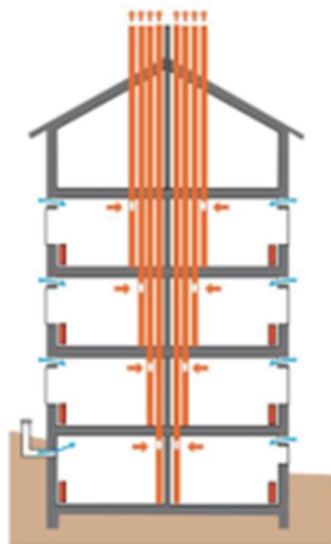
Lämpö luovutettiin 1960- ja 1970-luvun asuntoihin vesikiertoisilla pattereilla. Lämmitysjärjestelmä mitoitettiin muun muassa Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet -oppaan perusteella. Nämä ohjeet perustuivat taulukoihin tai lämpötekniisiin laskentayhtälöihin. (Mäkiö ym. 1994, 214–215, 220.) Normaaliohjeet eivät olleet kuitenkaan velvoittavia määräyksiä, vaan ohjeita ja

niiden ohjeiden lisäksi eri suunnittelutoimistoilla saattoi olla omia suunnitteluohjeita ja mitoituslaskelmia. Osana lämmitystä käytettiin käyttövesiverkostoon liitetyjä pattereita. Yleisimpiä käyttövesipattereita olivat kylpyhuoneisiin sijoitettuja pyyhekuivaimia sekä kylpyammeen yhteyteen liitetty levypatteri. (Koivula 2021)

2.3 Ilmanvaihtojärjestelmät

Asuinkerrostalojen tyypillisin ilmanvaihtojärjestelmä oli painovoimainen ilmanvaihto 1960-luvun alkuun asti. Painovoimainen ilmanvaihto toimii sisä- ja ulkolämpötilojen aiheuttaman paine-eron avulla. Tämän vuoksi kanavien tulee olla väljiä. Sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron ollessa pieni, haasteeksi muodostuu vähäinen ilmanvaihto ja hallitsematon ilman liike. (Mäkiö ym. 1994, 221.)

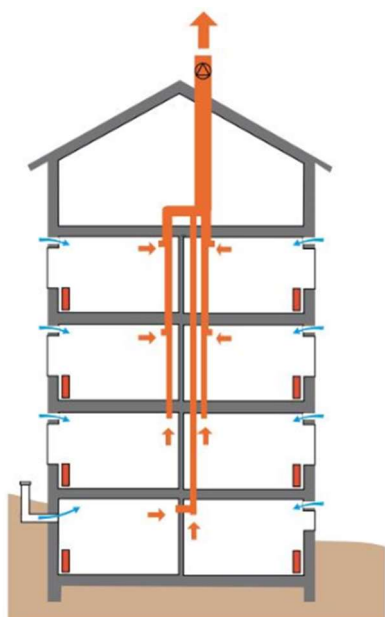
Huoneistojen tuloilma tuodaan seinärakenteen läpi huoneeseen venttiilien tai ikkunakarmin kautta makuu- ja oleskelutiloihin, joskus virheellisesti myös siirtoilmana rappukäytävästä. Poistoilma vietään huoneistosta pois niin sanottujen likaisten huoneiden kautta. Tällaisia ovat keittiö ja kylpyhuone. Muista huoneista poistoilma järjestetään siirtoilmana likaisiin huoneisiin. (Mäkiö ym. 1994, 220–222.) Kuviossa 3 esitetään painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate.



KUVIO 3. Painovoimaisen toimintaperiaate (Virta & Pylsy 2011, 85, muokattu)

1960-luvun jälkeen koneellinen poistoilmanvaihto yleistyi ja oli yleinen ratkaisu 2000-luvun alkuun saakka (Virta & Pylsy 2011, 85). Koneellisen poiston koh-teissa ilmanvaihtoon luodaan puhaltimella suurempi paine-ero, jolloin kanavat voivat olla pienempiä. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilma poistetaan likai-
semmista huonetiloista ja tuloilma näihin tiloihin järjestetään siirtoilmana oleske-
luhuoneista. (Mäkiö ym. 1994, 221).

Koneellisen poistoilmanvaihdon tehostamiseen käytetään usein aikaohjausta, joka tehostaa ilmanvaihtoa, kun epäpuhtauskuormia on enemmän. Usein koneel-
linen poistoilmanvaihto toimii vain puoliteholla päiväaikaan, kun oletetaan asun-
tojen käytön olevan vähäinen. Aikaohjauksessa ilmanvaihto käy tyypillisesti täy-
dellä teholla vain muutaman tunnin vuorokaudessa. Aikaohjauksen lisäksi on
käytössä termostaattiohjaus, joka pitää ilmanvaihdon jatkuvasti puoliteholla, kun
ennalta asetettu lämpötilaraja alitetaan. (Motiva Oy. N.d. Ilmanvaihtojärjestelmä)
Kuviossa 4 esitetään koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate.



KUVIO 4. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Virta & Pylsy 2011, 85, muokattu)

Ilmanvaihdon mitoitukseen käytettiin 1960-luvun alussa muun muassa suunnitte-
lutoimiston ohjeita ja normaaliohjeita. Ennen ensimmäisiä rakennusmääräysko-
koelmia suoraa kansallista mitoitusääntöä ei ollut. Ohjeina saattoi olla painovoi-
maisen ilmanvaihdon mitoituksena vain hormin koko. Ilmavirtojen puute ohjeissa

saattoi johtua toteutuneen työn tulosten todentamisen hankaluudessa, eli ilmapintojen mittaamisissa. Lisää mitoitussuhteita ja velvoitteita sai kaupungin rakennusvalvonnalta. (Koivula 2021) Ensimmäisen rakennusmääräyskokoelman ilmanvaihtoa koskeva osuus astui voimaan vuonna 1976. Rakennusmääräyskokoelmassa oli määritetty vaadittavat vähimmäistulo- ja poistoilmavirrat huonetyypeittäin.

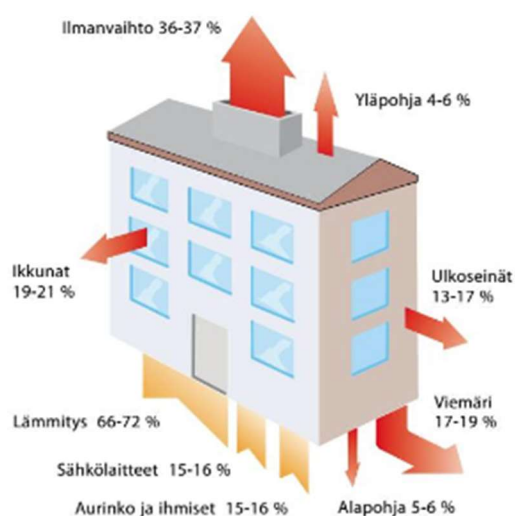
3 ENERGIATEHOKKUUS

3.1 Energian käyttö asuinrakennuksessa

Motivan (n.d.) mukaan Suomessa energian loppukäytöstä yli neljännes kului rakennuksien lämmittämiseen. Asuinkerrostaloista noin 40 prosenttia lattiapinta-alasta on 1960- ja 1970-lukujen kerrostaloja, joissa on suurin lämmitysenergian ominaiskulutus (Ympäristöhallinto 2016; Teknologian tutkimuskeskus VTT 2017).

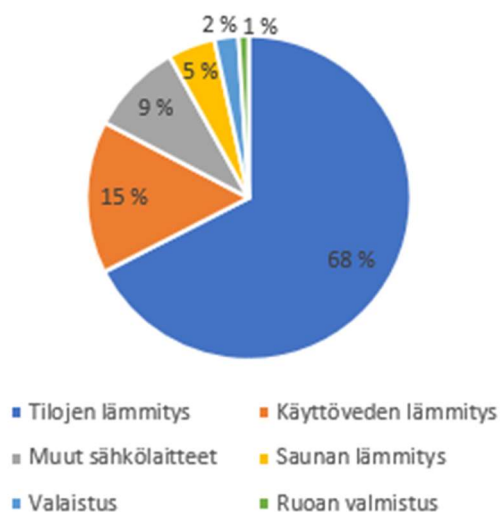
Asuinrakennuksissa energiaa tarvitaan tilojen ja käyttöveden lämmitykseen, valaistukseen, ruuanlaittoon ja muihin kodin sähkölaitteisiin. Rakennukseen käytetystä energiasta noin 68 prosenttia käytetään lämmitykseen ja 15 prosenttia käyttöveden lämmitykseen. Loput energiasta käytetään tilan käyttäjien eri sähkölaitteisiin ja valaistukseen. (Tilastokeskus 2019)

Asuinkerrostalon suurimmat lämpöhäviöiden aiheuttajat ovat ilmanvaihto ja lämmön johtuminen ikkunoiden läpi. Nämä kuluttavat rakennuksen kokonaisenergiasta yli puolet. Lämpöhäviöitä aiheuttaa myös ulkoseinien sekä lattia- ja kattorakenteiden kautta johtuva lämpö sekä viemärin kautta virtaava jätevesi. (Virta & Pylsy 2011, 18–20) Kuviossa 5 esitetään, miten lämpöhäviöt jakautuvat 1960-1980 valmistuneissa asuinkerrostaloissa.



KUVIO 5. Energiatase 1960–1980-luvun asuinkerrostaloissa (Virta & Pylsy 2011, 19)

Asunto-osakeyhtiössä sähkönkäyttö voidaan jakaa kahteen osaan. Kiinteistösähkään, jota käytetään taloteknisten laitteiden, kuten puhaltimien käyttöön. Toisena on huoneistosähkö, jota käytetään kotitalouksien sähkölaitteissa, kuten ruuan valmistuksessa ja viihde-elektronikassa. Kiinteistö- ja huoneistosähkön osuus asuinkerrostalossa on noin 15 prosenttia kerrostalon kokonaisenergiankulutuksesta (Virta & Pylsy 2011, 19, 22–25). Kiinteistösähkö laskutetaan pääosin taloyhtiöiltä ja osakkaat maksavat tämän vastikkeena. Huoneistosähkö laskutetaan yleisesti asukailta heidän oman sähkösopimuksensa mukaisesti. Kuviossa 6 esitetään asumiseen kulutettavan energian tarpeet jaoteltuina eri käyttötarkoituksiin.



KUVIO 6. Asumisen energiankulutus 2018 (Tilastokeskus 2019)

3.2 Energialaskenta

Energialaskennassa lasketaan rakennuksen kokonaisenergiakulutus ja ostoenergia. Ostoenergialla tarkoitetaan ostettavaa energiaa, kuten kaukolämpöä tai sähköenergiaa tai polttoainetta, jota käytetään tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Lisäksi ostoenergiaa on sähköenergia, jota käytetään valaistukseen ja muihin sähkölaitteisiin. Kokonaisenergiakulutuksessa erotellaan ostettavan energian määrä, oma energiatuotanto, ilmaisenergian määrä ja energian käyttö kulutuskohdekohtaisesti. Oma energiantuotanto on esimerkiksi aurinkolämpöä tai -sähköä. Ilmaisenergia on lämpöpumppujen tuottama lämpöenergia, jota kerätään eri lämmönlähteistä, kuten maaperästä. Lämpöpumppujen toiminnasta kerrotaan tarkemmin luvussa 5.2 Lämpöpumppujen käyttö.

Energialaskennassa päästään tarkkoihin tuloksiin käyttämällä dynaamista laskentaa. Dynaamisessa laskennassa lasketaan energiankulutus vähintään tunnin tarkkuudella yhden vuoden ajalta. Dynaamisessa laskennassa otetaan huomioon lämmön varastoitumisen rakenteisiin sekä rakennuksen sisäiset kuormat. (RT 10-11075, 6)

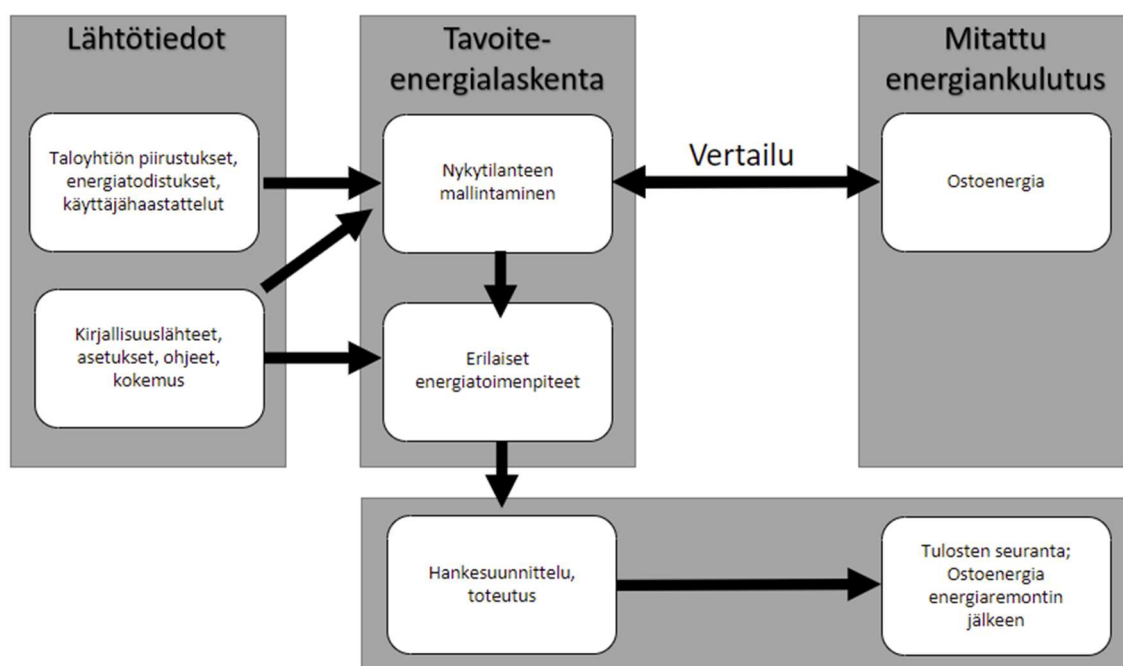
Tarkasteltaessa rakennuksen energiankulutusta todellisilla tiedoilla, pystytään luomaan tarkin mahdollinen kokonaiskuva siitä, mihin energiaa käytetään. Määriteltäessä rakennuksen todellisia energiankulutustietoja tulee käyttää paikallisia sääolosuhteita ja pyrkiä arvioimaan rakennuksen ominaisuudet sekä arvioimaan käyttäjätottumukset mahdollisimman tarkasti.

Suomen lainsäädäntö ohjaa rakennuksia energiatehokkaammaksi ja suosii uusiutuvan energian käyttöä. Energialaskennassa on siirrytty lämpöhäviölaskennan sijaan tarkastelemaan koko rakennuksen käyttämää energiaa kokonaisuutena. Energiakulutusta voidaan tarkastella kahdella eri menetelmällä. Ensimmäisenä tapana on tavoite-energialaskenta ja toisena on standardikäyttö, kuten E-lukulaskennassa käytetään. Näistä eri menetelmistä kerrotaan kahdessa seuraavassa osassa.

3.2.1 Tavoite-energiälaskenta

Tavoite-energiälaskennassa lasketaan sitä käytettävää energiaa, jota voidaan mitata joko rakennuksen tai remontin valmistuttua. Tavoite-energiälaskennassa pyritään mallintamaan rakennus ja sen toiminnot niin tarkasti, kuin se on mahdollista ja tarkoituksen mukaista. (Nykter 2016)

Tavoite-energiälaskennassa kerätään kohteesta mahdollisimman tarkat tiedot. Lähtötiedot syötetään laskentaohjelmaan, jonka jälkeen tuloksien tulisi olla yhtä suuria, kuin mitatut tulokset. Laskennan tulosten ollessa tarvittavan lähellä mitattuja tietoja, aletaan tekemään ehdotettuja energiatoimenpiteitä, kuten ikkunoiden vaihto tai tarkastella erilaisten lämmitysmuotojen vaikutusta energiankäyttöön ja ostoenergian määrään. Erilaisten toimenpiteiden vertailun pohjalta voidaan tehdä päätös, mihin suuntaan hanketta edistetään. Tavoite-energiälaskennan etenemistä kuvaillaan kuviossa 7.



Kuvio 7. Tavoite-energiälaskennan eteneminen

Koska rakennuksen talotekniset ominaisuudet ja käyttäjien vaikutus pyritään mallintamaan mahdollisimman tarkasti, tavoite-energiälaskennan tulokset eivät ole vertailukelpoisia erilaisissa kohteissa. Näitä muuttuvia ominaisuuksia on standardoitu E-lukulaskennassa.

3.2.2 E-lukulaskenta

Asuinkerrostalon energiatodistus perustuu E-lukuun eli laskennallisen energiatehokkuuden vertailulukuun ja luokittelee rakennuksen A-G -energiatehokkuusluokkaan. E-luku ilmaisee laskennallisen neliömetrikohtaisen ostoenergiakulutuksen. E-lukuun vaikuttaa rakenteesta sekä johtuvat lämpöhäviöt että ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien hyötysuhteet. (Ympäristöministeriön asetus... 2017)

E-luku on laskennallinen neliökohtainen ostoenergian tarve, joka kerrotaan energiamuotokertoimella. Energiamuotokertoimet suosivat uusiutuvaa energiaa, jonka takia energiamuotokertoimet ovat pienemmät uusiutuvilla energialähteillä ja ekologisemmilla ratkaisuilla. Fossiilisten polttoaineiden ja sähkölämmityksen energiamuotokertoimet ovat suuremmat. (Ympäristöhallinto 2017) Taulukossa 1 esitetään energiamuotokertoimet eri energian tuottotavoissa.

TAULUKKO 1. Rakennuksen lämmityksen energiamuotokertoimet (Ympäristöhallinto 2017)

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	1,2
Kaukolämpö	0,5
Fossiiliset polttoaineet	1
Uusiutuva energia	0,5

E-lukulaskennan tavoitteena on ilmaista rakennuksen ominaisuuksia ja luvanvaraisuutta. E-luvun laskennassa käytetään standardikäyttöä eli E-lukulaskennassa on vakioitu rakennuksen käyttöajat, ilmanvaihdon ilmavirrat, käyttöveden kulutus ja sisälämpötila. E-luku lasketaan Helsinki-Vantaan säätiedoilla riippumatta rakennuksen oikeasta sijainnista. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2017)

Vakioitujen arvojen vuoksi käyttäjätottumuksilla ei ole vaikutusta E-lukuun, eikä energiatodistuksen laskennallisia kulutuslukemia voi verrata toteutuneeseen kulutukseen. Laskennan standardikäytön ansiosta rakennusten energiatodistukset ja E-luvut ovat vertailukelpoisia riippumatta rakennuksen sijainnista ja käyttötottumuksista. E-luvun yksikkönä on kWh_E/(m²a).

3.1 Energia-avustus taloyhtiöille

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA myöntää rahoitusta taloyhtiöille energiatehokkuutta parantaviin korjaushankkeisiin vuosina 2020–2022. Rahoituksen suuruus riippuu parannustoimenpiteistä. Esimerkiksi lämpöpumpun, mukaan lukien poistoilmalämpöpumpun asentamisesta korvaussumma on maksimissaan 50 prosenttia remontin hinnasta ja E-lukua parantavista suunnittelukustannuksista maksimissaan 100 prosenttia. Tuen enimmäismäärä on kuitenkin 6000 euroa asuntoa kohden. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus 2019)

Edellytyksinä kerrostaloyhtiön ARAn avustuksille on joko E-luvun pienentäminen 68 prosenttia rakennusajankohdan E-luvusta tai saada E-lukuksi kiinteä arvo; alle 90 kWh/m² a. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus 2020)

4 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Energiatehokkuuden parantaminen tarkoittaa energian käytön vähentämistä. Tämän vuoksi tulee huomioida ero kiinteistössä käytettävällä kokonaisenergialla ja ostettavalla energialla. Energiakustannuksia saadaan pienennettyä vähentämällä joko käytettävää kokonaisenergiaa tai ostettavan energian määrää. Jos tarkastellaan lämmitykseen tarvittavaa energiaa, se on vakio riippumatta lämmön lähteestä. Ostettavan energian määrään voidaan vaikuttaa lämmönlähteellä, esimerkiksi erilaisilla lämpöpumpuilla. Ostettavan energian pienentämisen keinoista kerrotaan luvussa 5 Energiakustannusten pienentäminen.

Rakennukseen käytettävää kokonaisenergiaa pystytään myös vähentämään erilaisilla ratkaisuilla. Kokonaisenergian vähentämisestä kerrotaan luvussa 4.1 Energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät.

4.1 Energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Energiatehokkuuteen vaikuttaa rakennuksen rakenteiden ominaisuudet, kuten rakenteiden materiaalit ja tiiviys. Rakenteiden materiaali vaikuttaa rakenteen läpi johtuvaan lämpöhäviöön, mitä kuvataan lämmönläpäisykertoimella, eli U-arvolla. U-arvo kertoo neliökohtaisen lämmitystehon tarpeen tietyllä lämpötilaerolla.

Energiatehokkuuteen vaikuttavat talotekniset järjestelmät, kuten ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmä. Koneellisessa tai painovoimaisessa poistoilmanvaihdossa korvausilma otetaan seinissä tai ikkunoiden yhteydessä olevista aukotuksista ja korvausilma lämpenee huonetilan lämmityslaitteiden avulla. Ilmanvaihdon mukana kulkeutuu lämpöenergiaa pois rakennuksesta. Koneellisessa tai painovoimaisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä poistoilma puhalletaan suoraan ulos ilman lämpöenergian talteenottoa. Tämän takia ulospuhallusilman mukana kulkeutuu lämpöenergiaa pois rakennuksesta.

Nykyaikaisessa tulo-poistoilmanvaihtokoneessa on mahdollisuus lämmöntalteenottoon, joka kerää poistoilmasta lämpöenergiaa ja siirtää sen tuloilmaan tyyppillisesti levylämmönsiirtimellä tai pyörivällä lämmönsiirtimellä. Lämmön talteenoton ansiosta tuloilma on esilämmitetty, eikä huonelämmittämiä tarvitse käyttää ilmanvaihdosta aiheutuvan lämpöhäviön kattamiseen. (Energiatehokas koti 2020)

Koneellisen ja painovoimaisen poistoilmanvaihdon energiatehokkuuden parantamismenetelmästä on mahdollista ottaa lämpöenergiaa talteen poistoilmalämpöpumpulla. Poistoilmalämpöpumpusta kerrotaan tarkemmin luvussa 5.2.3 Poistoilmalämpöpumppu.

Lisäksi asukkaiden käyttötottumukset ja valinnat vaikuttavat energiatehokkuuteen. Asukkaiden käyttötottumusten vaikutuksista kerrotaan lisää luvussa 4.3 Käyttäjätottumusten vaikutus energiatehokkuuteen.

4.2 Energiatehokkuuden parantamisen hyödyt

Energiatehokkuutta parantamalla voidaan edistää asukasviihtyvyyttä, nostaa rakennuksen arvoa ja parantaa taloyhtiön imagoa sekä pienentää rakennuksen elinkaari- ja käyttökustannuksia.

Matti Remeksen (2020) kirjoittamassa Talotekniikka-lehden artikkelissa Harri Palosaari kertoi, että kiinteistön energiainvestoinneissa voidaan päästä jopa 30 prosentin vuosituottoihin. Tämä tarkoittaa käytännössä 30 prosentin vuosittaista energiakustannusten pienentymistä taloyhtiölle. Taloudellista hyötyä tuottaa myös kohteen houkuttelevuus markkinoilla. Paremman energialuokan kohteessa asuntojen pyyntihinnat ovat tutkitusti korkeammat (Pennanen 2015, 52).

Rahallisten hyötyjen lisäksi sisäilmaolosuhteet paranevat, kun tekniikkaa uudistetaan. 1960- ja 1970-lukujen kerrostaloissa ulkoilma-aukotuksia on tukittu energiakriisin aikana ja tukkimalla on estetty ulkoilman virtaaminen sisätiloihin (Mäkiö ym. 1994, 221). Aukotusten tahallinen tai tahaton tukkiminen johtaa ilman hallit-

semattomaan liikehdintään. Korvausilma voi jäädä joko olemattomaksi tai korvausilma tulee epäpuhtaista paikoista, kuten rakenteista. Puutteellinen ilmanvaihto voi aiheuttaa kosteusongelmia rakennukselle ja eri asteisia terveydellisiä haittoja asukkaille.

4.3 Käyttäjätottumusten vaikutus energiatehokkuuteen

Rakennuksen fyysisten ominaisuuksien lisäksi käyttäjätottumukset vaikuttavat energiankulutukseen. Vedenkulutus aiheuttaa merkittävän osan energiankulutuksesta. Vedenkulutuksessa tulee huomioida käyttäjätottumukset, vesilaitteet sekä vuotojen seuranta. Asukkaat pystyvät vähentämään veden käyttöä yksinkertaisilla toimenpiteillä, kuten välttämällä veden turhaa juoksutusta. (Virta & Pylsy 2011, 34–36)

Vedenkulutuksen asuntokohtainen mittaus ja laskutus on saanut käyttäjiä vähentämään vedenkulutusta. Motivan (2020) mukaan kiinteän vesimaksun asunnoissa kulutus oli 129 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa, kun taas asunto-kohtaisella mittauksella kulutettiin 119 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa.

Taloyhtiö pystyy myös mekaanisesti rajoittamaan asukkaiden vesivirtaamia asentamalla paineenalennusventtiilin käyttövesijärjestelmään. Pienentämällä rakennuksen käyttöveden painetasoa kalusteille tuleva virtaama pienenee. Näin saadaan säästettyä energiaa, kun lämpimän käyttöveden kulutus vähenee.

Lämmityksen energiatehokkuuteen asukas pystyy itse vaikuttamaan säätämällä patteritermostaatit tarpeen mukaiseksi. Liian kuuma sisälämpötila lämmityskaudella lisää tarvetta ilmanvaihdon tehostamiselle tai tuuletukselle, mikä lisää energiankulutusta (Virta & Pylsy 2011, 38). Yhden asteen lämpötilan pudotus säästää noin viisi prosenttia lämmityskustannuksista (Motiva 2019). Tämän vuoksi asukkaan tai tilan käyttäjän tulee ilmoittaa taloyhtiön edustajalle poikkeuksellisen kuumasta tai kylmästä sisäilmasta tai viallisista taloteknisistä laitteista.

5 ENERGIAKUSTANNUSTEN PIENENTÄMINEN

5.1 Rakenteet ja ikkunat

Talon julkisivun tehtävänä on suojata rakennusta ulkoisilta kuormituksilta, kuten sateelta ja auringolta. Julkisivun materiaaleja on useita. Yleisiä julkisivuratkaisuja on muun muassa rappaus, betonipintainen tai muurattua tiili. Julkisivun elinkaari vaihtelee materiaalista ja ulkoisesta kuormasta riippuen 20–50 vuoteen. Julkisivuremontin hyötynä saadaan rakennuksen arvon nousu ja asukasmukavuus paranee. Lisäksi oikeilla valinnoilla voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. (Kinnunen 2019)

Ikkunat tehtävä on tuoda luonnonvaloa sisätiloihin. Luonnonvalon hyödyntäminen vähentää valaistuksesta aiheutuvia energiakustannuksia. Ikkunat tuovat valon lisäksi lämpösäteilyä, josta on hyötyä lämmityskuukausina. Lämmityskauden ulkopuolella lämpösäteily aiheuttaa yllilämpenemistä.

Ikkunavalinnalla voidaan säästää energiaa ja pienentää rakennuksen elinkaari-kustannuksia. Ikkunoita valmistetaan sekä puu- että alumiinikarmeilla. Puukarmi-sien käyttöikä voi olla jopa 30 vuotta. Alumiinikarmisten ikkunoiden käyttöikä on noin 50 vuotta. (Suomela 2018)

5.1.1 Rakenteiden ja ikkunoiden energiatehokkuus

Rakenteiden lämmönläpäisykerrointa eli U-arvoa parantamalla saadaan säästettyä energiaa. Tietyn rakenteen lämpöhäviö Φ on U-arvon U , rakenteen pinta-alan A ja lämpötilaeron ΔT tulo (kaava 1). U-arvon yksikkö on W/m^2K . Näin ollen lämmönläpäisykerrointa pienentämällä, esimerkiksi eristeitä lisäämällä tai ikkunoiden vaihdolla, saadaan tarvittavaa lämmitystehoa pienennettyä ja energian kulu-tusta vähennettyä.

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Nykyiset määräykset vaativat, että energiaremontin myötä seinien ja yläpohjien U-arvot puolittuvat alkuperäisistä arvoista. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden... 2013) Taulukossa 2 esitetään eri rakenteiden U-arvot eri vuosina.

TAULUKKO 2. Rakenteiden U-arvojen suunnitteluarvojen vertailu (Ympäristöministeriö. 2018; Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen... 2017)

Rakennusvuosi	1960–1970	1971–1980	2018–
	U-arvo (W/m ² K)		
Ulkoseinä	0,48	0,32	0,17
Ikkunat, ovet	2,44–3,14	2,1–3,1	1,00
Yläpohja	0,44	0,19–0,36	0,09
Alapohja	0,3–0,53	0,3–0,53	0,16

5.1.2 Rakenteiden ja ikkunoiden uusiminen energiatoimenpiteenä

Julkisivu- ja ikkunaremontin hintaan vaikuttaa useampi tekijä. Seinien lisäeristäminen voidaan tehdä joko lisäämällä eristettä seinän ulkopuolelle tai purkamalla verhous tai ulommainen betonirakenne. Lisäeristämisen haasteena tulee seinien paksuuden kasvaminen, jolloin ikkunat saattavat jäädä seinäpintaa syvemmälle. (Hietakangas 2020)

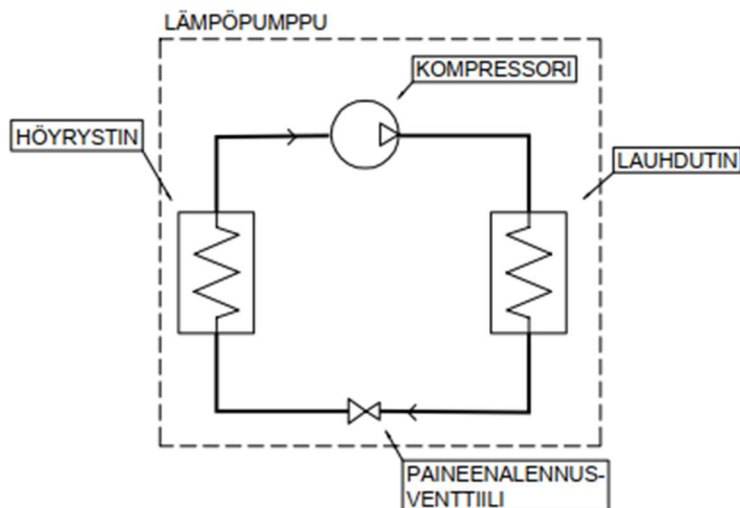
Purkamalla uloimman betonirakenteen ja eristeet vaihtamalla remontin kustannukset voivat nousta huomattavan suuriksi. Seinärakenteiden lisäeristäminen ei välttämättä ole energiaremonttina taloudellisesti kannattava suurien investointikustannusten takia. Seinärakenteiden eristyksen parantaminen kannattaa yhdistää laajempaan julkisivusaneerauksen yhteyteen, mikäli julkisivun paikkakorjaukset eivät enää riitä. Energiatehokkuuden näkökulmasta eristeiden vaihtaminen on järkevää vain, jos ulkokuori- ja eristekerros joudutaan vaihtamaan rakenneteknisistä syistä. (Väisälä 2020)

Ikkunaremontti voidaan sisällyttää julkisivuremonttiin tai tehdä omana projektina. Ikkunaremontin teettäminen julkisivuremontin yhteydessä voi pienentää suhteellisia kustannuksia verrattuna erilliseen ikkunaremonttiin.

5.2 Lämpöpumppujen käyttö

Asuinkerrostaloon sopivia lämpöpumppuratkaisuja ovat maalämpö-, ilma-vesi- ja poistoilmalämpöpumppu. Lämpöpumput koostuvat kompressorista, lauhduttimesta, paisuntaventtiilistä ja höyrystimestä. Toiminta perustuu kylmäaineen faasimuutokseen, jossa kylmäainetta lämpöisempi lämmönlähde, esimerkiksi maaperä, höyrystää kylmäaineen.

Kompressori puristaa kylmäainehöyryn korkeampaan paineeseen, jolloin lämpötila nousee fysiikan lakien mukaisesti. Tämän jälkeen kuuma höyry menee lauhduttimen läpi ja luovuttaa lämmön ja muuttua höyryn takaisin nestemäiseksi. Jäähdyntynyt, mutta korkeapaineinen neste ajetaan paineenalennusventtiilin kautta takaisin kompressorille, jolloin prosessi alkaa alusta. Kuviossa 8 esitetään lämpöpumpun toimintaperiaatteen yleispiirteet.



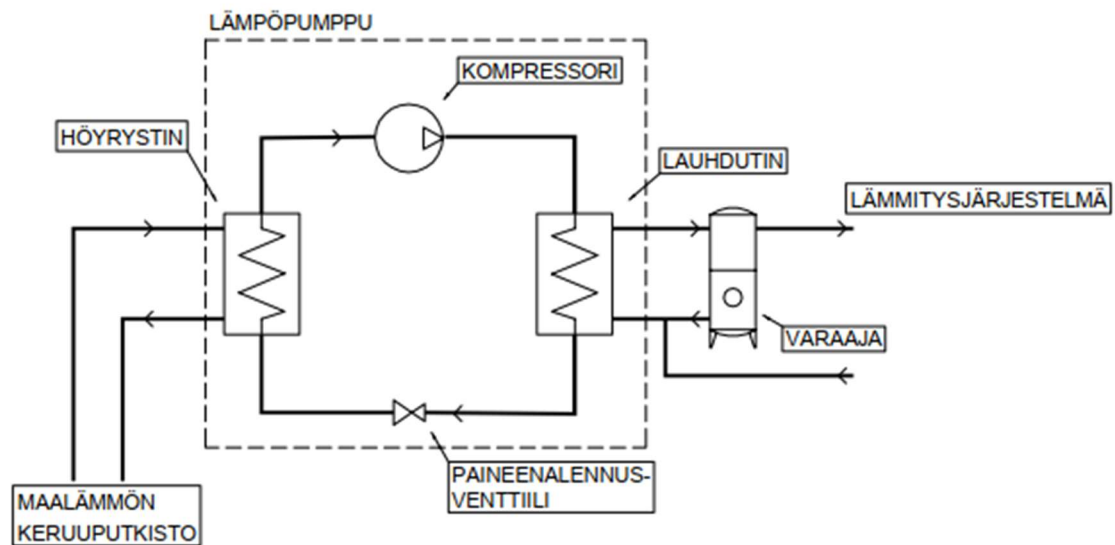
KUVIO 8. Lämpöpumppujen toimintaperiaate

Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella eli COP-luvulla. COP-luku kertoo, kuinka monta lämpötehoyksikköä Φ_L saadaan tuotettua yhdellä ostetulla sähkötehoyksiköllä P . COP-luvun laskenta esitetty alla olevassa kaavassa (2).

$$COP = \frac{\Phi_L}{P} \quad (2)$$

5.2.1 Maalämpöpumppu

Maalämmössä hyödynnetään aurinkoenergiaa, joka on varautunut maaperään. Maalämpöjärjestelmää varten porataan maahan lämpökaivo, johon asennetaan keruuputkisto. Keruuputkistossa virtaava neste lämpiää maaperässä, josta se pumpataan lämpöpumppuun ja luovutetaan lämmitysjärjestelmälle sekä lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. (Lämpöpumpun hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt 2018) Kuviossa 9 esitetään maalämpöpumpun toimintaperiaate.



KUVIO 9. Maalämpöpumppujärjestelmän toimintaperiaate

Keruuputkisto voidaan asentaa maahan pystyyn tai vaakaan. Vaakaputkistossa vaaditaan suuria pinta-aloja, koska noin metrin syvyyteen asennettavaa putkea tarvitaan jopa 500 metriä. Etäisyyttä viereiseen putkilenkkiin tulee olla vähintään 1,5 metriä. Pystyputkisto tai -putkistot porataan maahan yleensä 200–300 metrin syvyyteen. Putkistojen lukumäärät tulee optimoida tarvittavan energian, maaperän laadun sekä käyttö- ja investointikustannusten mukaan. Maalämpökaivo kannattaa mitoittaa hieman suuremmaksi laskennallisesta minimitarpeesta. Tällöin vältetään lämmönkeruunesteen lämpötilan liikalaskulta ja pienennetään kaivon jäätyminen riskiä. (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 23–26)

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa joko täysitehoiseksi tai osatehoiseksi. Täysitehoinen maalämpöpumppu kattaa koko rakennuksen lämmityksen ja käyttöveden lämmöntarpeen. Osatehomitoituksessa lämpöpumppu kattaa normaalisti 60–80 prosenttia huipputehon tarpeesta. Osatehomitoituksella saadaan katettua 95–99 prosenttia vuosittaisesta energiatarpeesta. Tämä johtuu siitä, että rakennuksen lämmityksen huipputehon tarvitaan vain korkeilla pakkasilla. (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 23) Osatehomitoituksella vaaditaan aina lisälämmönlähde. Lisälämmönlähteenä voi käyttää esimerkiksi olemassa öljykattilaa tai kaukolämpöä.

Maalämpöpumpun asentamista varten tarvitaan toimenpidelupa kaupungin tai kunnan rakennusvalvonnasta. Luvan saantia saattaa rajoittaa maanalaiset rakenteet sekä vaaditut suojaetäisyydet muihin rakennelmiin ja kaivoihin. Luvan saannin rajoitteena voi olla rakennuksen sijainti pohjavesialueella. (Energiatehokas koti n.d.)

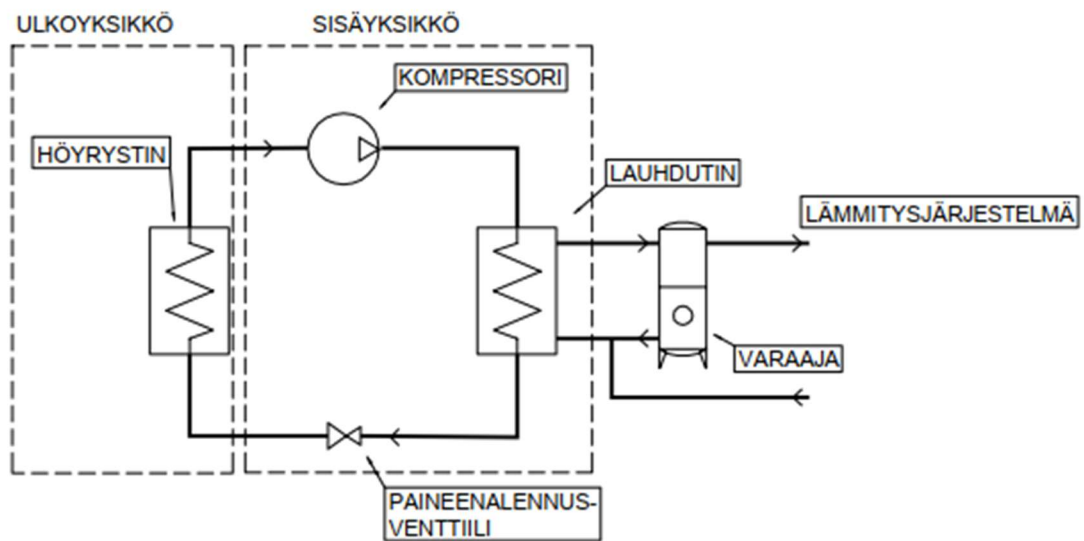
5.2.2 Vesi-ilmalämpöpumppu

Vesi-ilmalämpöpumppu (VILP tai IVLP) perustuu ulkoilmasta otettavaan lämpöenergiaan. Toisin kuin maalämpö- ja poistoilmalämpöpumpussa, vesi-ilmalämpöpumpun antama lämmitysteho putoaa kylmissä olosuhteissa, jolloin COP-luku laskee. Korkean lämmitysjärjestelmälämpötilan kohteissa menoveden lämmittäminen heikentää lämpöpumpun hyötysuhdetta. Tämän vuoksi vesi-ilmalämpöpumput eivät toimi vanhoissa patterilämmitteisissä taloissa niin hyvin, kuin lattialämmitteisissä taloissa, joiden lämmitysjärjestelmä lämpötilat ovat matalammat. (Motiva Oy n.d, vesi-ilmalämpöpumppu)

Vesi-ilmalämpöpumppu saattaa sammuttaa itsensä automaattisesti kovilla pakkasilla. Tämän vuoksi vesi-ilmalämpöpumppu soveltuu parhaiten toimimaan rinnakkain toisen lämmityksen, esimerkiksi öljylämmityksen, rinnalle. Lämpöpumppu kannattaa mitoittaa osatehomitoituksella riittävän suureksi, koska lämmityskausi on pitkä myös Etelä-Suomessa. (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 20–21) Osatehomitoituksella pyritään kattamaan usein 60–80 prosenttia rakennuksen lämmitysenergiatarpeesta.

Vesi-ilmalämpöpumpun käyttö kerrostaloissa perustuu useiden pumppujen sarjaankytkentään. Näin vesi-ilmalämpöpumppujen tuottama lämpöenergia saadaan tarvittaessa kattamaan suurenkin rakennuksen lämmöntarpeen. (Scanoffice Oy n.d)

Vesi-ilmalämpöpumpun etuna on sen edullinen investointihinta maalämpöpumpuun verrattuna. Edullisen hinnan lisäksi vesi-ilmalämpöpumpun asennusaika on lyhyempi, jolloin asukkaille koitua haitta on pienempi. (Scanoffice Oy n.d) Kuviossa 10 esitetään vesi-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate.



KUVIO 10. Vesi-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate

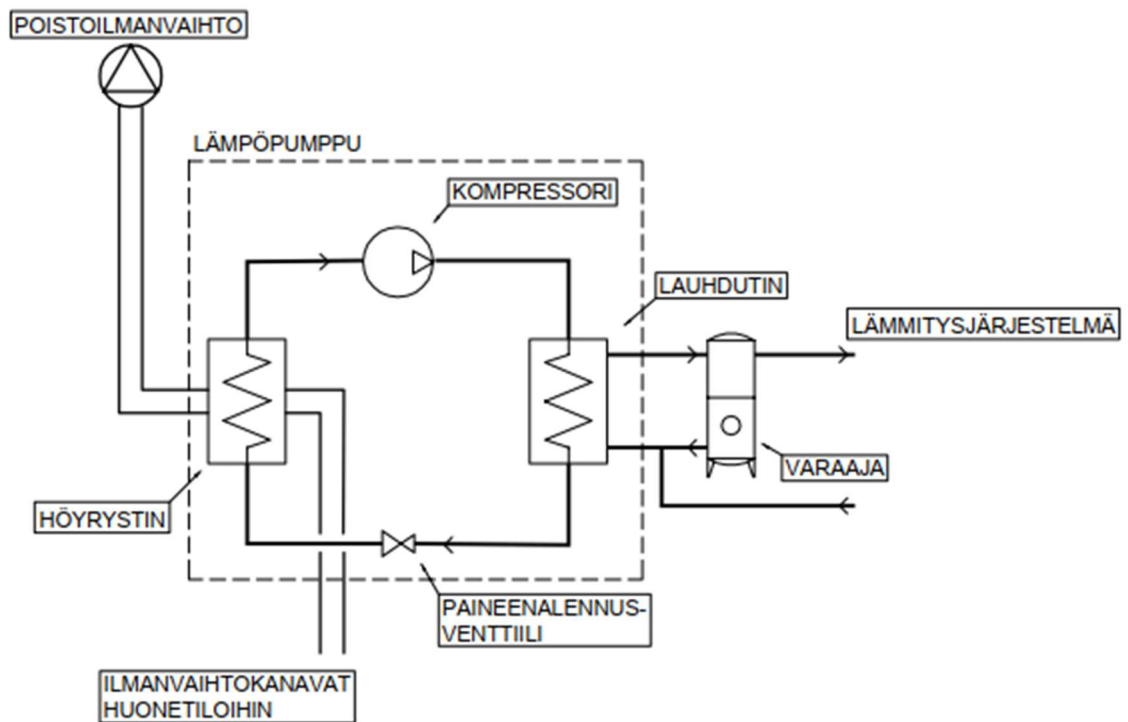
5.2.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) ottaa energian asunnon ulospuhallusilmasta. Poistoilmalämpöpumppu voidaan kuvailla enemmän lämmön talteenottona, kuin lämmöntuottona. Tämä johtuu siitä, ettei sillä voida tuottaa koko talon energiantarvetta (Energiatehokas koti n.d.)

Poistoilmalämpöpumpussa höyrystimenä toimii ulospuhallusyksikössä oleva lämmönsiirrin, jonka läpi huoneistosta poistuva ulospuhallusilma virtaa. Lauhdutinyksikkö on lämmönjakohuoneessa tai teknisessä tilassa ja käyttää lämpöener-

gian esimerkiksi käyttöveden esilämmitykseen tai vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän veden lämmittämiseen. Poistoilmalämpöpumppu tuottaa energiaa va-kioteholla vuodenajasta riippumatta, koska ulospuhallusilma pysyy tasaisena vuoden ympäri (Alm 2020).

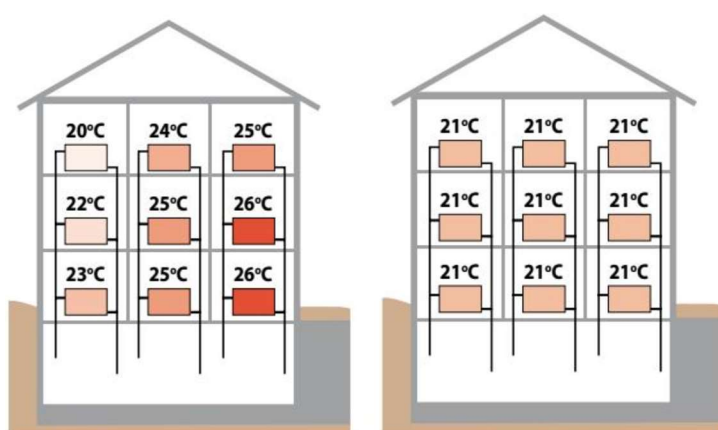
Poistoilmalämpöpumppu voi tulla vaihtoehdoksi rakennukseen, jossa on vähintään kolme kerrosta, jolloin pumpun vaatima 250–500 litraa sekunnissa lämmintä poistoilmaa saavutetaan. Matalissa ja pitkissä taloissa voi olla käytössä useampi poistopuhallin, jolloin riittävää ilmavirtaa ei saada. Lämmönjakohuoneen ei tarvitse sijaita samassa rakennuksessa, jossa poistopuhaltimet sijaitsevat, mikäli taloyhtiössä on useampi rakennus. (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 20) Kuviossa 11 esitetään poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate.



KUVIO 11. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate

5.3 Patteriverkoston tasapainotus

Patteriverkoston tasapainotuksella, eli perussäädöllä, tarkoitetaan prosessia, jossa vesikiertoisien patteriverkoston vesivirrat säädetään suunnitelmien mukaiseksi. Patteriverkoston epätasapaino aiheuttaa lämmön epätasaista jakautumista kerrostalon huoneistoissa. Osa tiloista voi yllämmetä ja osa tiloista saattaa jäädä liian viileäksi. Molemmissa tapauksissa asukasmukavuus kärsii. (Motiva 2019) Kuvio 12 kuvastaa rakennuksen patteriverkoston toimivuutta.



KUVIO 12. Patteriverkosto epätasapainossa ja tasapainossa (Virta & Pylsy 2011)

Patteriverkoston epätasapainoa voi aiheuttaa epäpuhtaudet, kuten kertynyt sakka patteriverkoston putkistossa. Järjestelmän epäpuhtauksien lisäksi patteriverkosto voi olla säädetty väärin tai voi olla kokonaan säätämättä. Lisäksi ulko- ja sisäilman voimakas vaihtelu voi vaikuttaa säätölaitteisiin välinpitämättömyyden tai tietämättömyyden vuoksi ja näin aiheuttaa järjestelmissä epätasapainoista veden virtausta ja toimivuutta.

Patteriverkoston tasapainotuksella voidaan säästää lämmitysenergiaa jopa 10–15 prosenttia (Motiva 2019). Merkkejä epätasapainoisesta lämmitysjärjestelmästä on yli kolmen lämpöasteen erot asuntojen välillä, tuuletuksen tarve ja yli 23 asteen lämpötila lämmityskaudella. (Virta & Pylsy 2011, 15.) Patteriverkosto tulee tasapainottaa ja patteriverkoston termostaatit ja patteriventtiilit tulee vaihtaa muutostöiden, kuten lämpöpumpun asennuksen yhteydessä (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 10).

5.4 Tekniset haasteet energiaremontissa

Energiaremontissa rakennusta ja rakennuksen taloteknisiä järjestelmiä tulee tarkastella useasta osasta kasautuvana kokonaisuutena. Päivitettäessä yhtä osaa kokonaisuudesta tulee tarkastella sen sopivuutta ja vaikutusta muihin rakennuksen tai taloteknisten järjestelmien osiin.

Koska rakenteen läpi kulkevan lämmön mukana kulkee myös aina kosteutta, tulee kiinnittää huomiota kosteusteknisiin asioihin. Lämmön mukana kulkevan kosteuden lisälämmöneristys tulee asettaa rakennuksen nykyisen seinän ulkopuolelle, jotta nykyiset rakenteet eivät jää entistä kylmemmäksi ja kastepiste ei siirry uusiin eristyksiin. Lisäksi rakenteiden tiiveyttä parantaessa tulee kiinnittää korvausilma-aukotusten toimivuuteen. (Hietakangas 2020)

5.5 Haasteet lämmöntuotantotavan muutoksessa

Lämpöpumpun lämmönluovutus kohdistuu usein olemassa olevaan verkostoon, joten lämpöpumpun hankinnassa tulee ottaa huomioon rakennuksen tekniikan ikä ja kunto. Järjestelmien ikääntymisestä aiheutuvien ongelmien lisäksi lämmityspatterit saattavat olla mitoitettu eri käyttölämpötilalle, yleensä korkeammalle, joka on epäsuotuisa lämpöpumpun hyötysuhteelle. Korkeampien lämpötilojen pattereiden lämmönluovutusteho ei välttämättä riitä, mikäli järjestelmälämpötilat vaihdetaan matalammaksi. Lämpöpumppulämmitteisten talojen lämmitysjärjestelmän menoveden suositellaan asettavaksi 45–50 asteeseen. (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 10)

Muutettaessa rakennuksen kauko- tai öljylämmityksen lämpöpumppulämmitykseen, sähköliittymän pieni koko voi olla haasteena. Tämän vuoksi sähköliittymän koko tulee tarkastaa ja tarvittaessa kasvattaa suuremmaksi ennen lämmitysjärjestelmän muuttamista. Sähköliittymän koko tulee tarkistaa myös, jos asentaa poistoilmalämpöpumpun kaukolämmön tai öljyn rinnalle. (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 32)

Poistoilmalämpöpumpun toiminta edellyttää koneellisen poistoilmanvaihdon. Muutettaessa painovoimaisen ilmanvaihdon koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi, on tärkeää ottaa huomioon korvausilman saanti. Korvausilma-aukon ollessa liian vajaa tai olematon, korvausilma tulee rakenteiden epätiiveyskohdista, jolloin sisäilmastoon pääsee rakenteista epäpuhtauksia, jotka voivat aiheuttaa terveydellisiä ongelmia rakennuksen käyttäjille. (Hietakangas 2020)

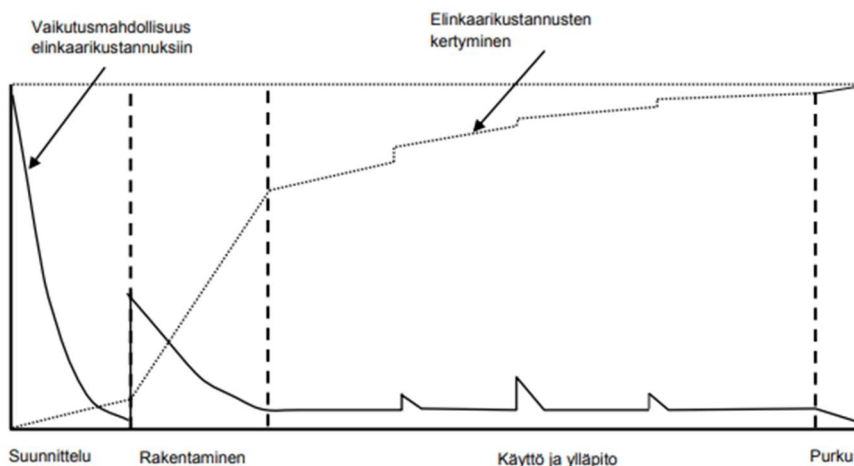
Kaukolämmön vaihtamisessa lämpöpumppuihin tulee huomioida myös tilavauokset lämpöpumpulle lämpövaraajineen ja mahdollisille ulkoyksiköille. Lisäksi taloyhtiö saattaa sijaita porauskieltoalueella, johon maalämpöpumpun asentaminen ei ole mahdollista.

6 ELINKAARILASKENTA ENERGIAREMONTISSA

6.1 Elinkaarilaskenta ja elinkaarikustannukset

Energiaremontin kannattavuutta ja kokonaiskustannuksia voidaan laskea elinkaarilaskennalla. Elinkaarilaskennassa lasketaan energiaremontin elinkaarikustannukset, joilla tarkoitetaan rakennuksesta aiheutuvia kustannuksia energiaremontin seurauksena. Elinkaarikustannukset alkavat energiaremontin suunnittelu- ja investointikustannuksista ja kustannuksia tarkastellaan ennalta määritellyn tarkastelujakson ajan.

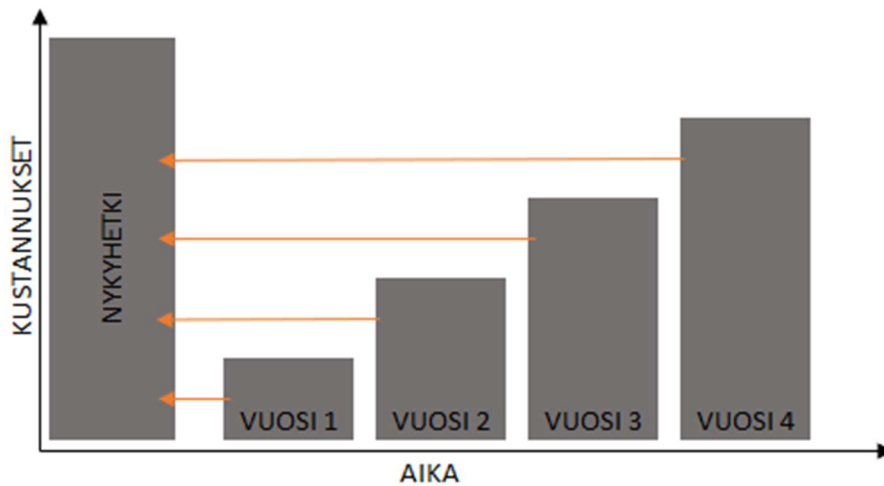
Elinkaarilaskennassa otetaan huomioon suunnittelu- ja muutostöiden kustannukset sekä mahdolliset käyttö- ja ylläpitokustannukset. Suunnitteluvaiheessa vertaillaan eri energiansäästövaihtoehtojen kokonaiskustannuksia, minkä vuoksi suunnitteluvaiheen merkitys korostuu koko elinkaarilaskennassa. Suunnitteluvaiheessa pystytään arvioimaan esimerkiksi käytönaikaiset vuosittaiset ylläpito- ja energiakustannukset. (Juvela 2020) Kuviossa 13 esitetään elinkaarikustannusten muodostuminen.



KUVIO 13. Elinkaarikustannusten muodostuminen (Kosonen, Laitinen, Laine, Martiskainen 1999)

6.1.1 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä lasketaan vuosikustannukset ja -tuotot ennalta määritetyltä tarkasteluajanjaksolta ja muutetaan ne nykyarvoiseksi diskonttaamalla. Diskonttaamalla nykyarvoiksi kustannuksista tulee vertailukelpoisia nykyhetkenä tehtyyn investointiin. Nykyarvomenetelmää käytettäessä pystytään huomiomaan epäsäännölliset huoltokustannukset, kuten esimerkiksi lämpöpumpun kompressorin vaihto. Diskonttaus ottaa huomioon tarkasteluajanjaksolla tapahtuvan rahan arvon laskemisen eli inflaation. (Juvela 2020) Kuviossa 14 esitetään nykyarvomenetelmän periaate.



KUVIO 14. Nykyarvomenetelmän periaate

Kustannukset K kattavat energia- ja huoltokustannukset. Korkokannassa r käytetään inflaatio- tai eskalaatiokorjattua korkoa. Inflaatiokorjattua korkoa r_f käytetään, kun investointi- ja huoltokustannuksissa huomioidaan rahan arvon lasku. Tällaisia lukuja ovat muun muassa huoltokustannukset. Eskalaatiokorjattua korkoa r_e käytetään, kun tulee huomioida energian hinnan nousu. Eskalaatiokorjattua korkoa käytetään, kun lasketaan vuosittaisia ostoenergiakustannuksia. Inflaatio f ja eskalaatio e huomioidaan laskentakorkokantaan r samalla periaatteella. Inflaation vaikutus lasketaan alla olevalla kaavalla (3). (Juvela 2020)

$$r_f = \frac{r - f}{(1 + f)} \quad (3)$$

Eskalaation vaikutus lasketaan alla olevalla kaavalla (4). (Juvela 2020)

$$r_e = \frac{r - e}{(1 + e)} \quad (4)$$

Kustannus K voi olla energiakustannus K_E tai huoltokustannus K_H . Eri korkoa käyttävät kustannukset tulee laskea eri aikaan ja lopuksi lasketaan eri kustannusten nykyarvojen summat yhteen. Nykyarvomenetelmä vuosittaisille kustannuksille lasketaan alla olevalla kaavalla (5), jossa;

- K_{NA} on toistuvien kustannuksen nykyarvo,
- K on toistuva vuosittainen kustannus,
- dis on diskonttaustekijä
- r on korkokanta, joka on eskalaatio- r_e tai inflaatiokorjattu r_f ,
- ja i on tarkasteluajanjakso. (Juvela 2020)

$$K_{NA} = K \cdot dis = K \cdot \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i - 1}{\frac{r}{100} \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} \quad (5)$$

Yksittäisten, ei jatkuvien kustannusten diskonttaaminen nykyarvoiksi täytyy laskea rahan arvon laskun takia erikseen (Juvela 2020). Tällaisia kustannuksia ovat esimerkiksi suuremmat yksittäiset huoltokustannukset tai lisäinvestoinnit. Yksittäisen kustannuksen nykyarvoon vaikuttaa kustannuksen suuruus K inflaatiokorjattu korko r_f ja aika nykyhetkestä i , jolloin kustannus syntyy. Yksittäiset kustannukset saadaan laskettua alla olevalla kaavalla (6).

$$K_{NA} = K \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{r_f}{100}\right)^i} \quad (6)$$

Koko elinkaaren kaikki kustannukset saadaan laskemalla alkuinvestointi sekä huoltokustannusten ja energiakustannusten nykyarvot yhteen.

Takaisinmaksuaika saadaan laskettua, kun löydetään tarkasteluajanjaksolta i aika, jolloin investointikustannuksen K_{INV} ja käyttökustannusten K erotus on nolla. Toisin sanoen diskonttaustekijän dis tarkasteluaikaa i iteroidaan, kunnes alla olevan kaavan (7) tulos on nolla. Kaavan saavutettua arvon 0, kyseinen aika i on takaisinmaksuaika.

$$K_{INV} - K \cdot dis = K_{INV} - K \cdot \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i - 1}{\frac{r}{100} \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} = 0 \quad (7)$$

6.2 Laskennan epävarmuudet

Elinkaaritarkasteluun liittyy epävarmuuksia, koska niissä arvioidaan, millaisia muutoksia energian hinnassa tapahtuu tulevaisuudessa. Tulevaisuuden epävarmuuden lisäksi merkittävänä tekijänä on investointikustannus. Investointikustannuksien arvioon voidaan käyttää kustannusarviotaulukoita, tai kysyä hinta-arvioita suoraan urakoitsijoilta tai laitetoimittajilta. Lopullinen hinta määrittyy, kun investointi kilpailutetaan. Lopullisiin energiainvestoinnin kustannuksiin vaikuttaa myös mahdollisesti saatavat avustukset.

Toinen tapa on tehdä herkkyystarkastelu eri alkuinvestointihinnoilla. Tehtäessä herkkyystarkastelun eri alkuinvestoinneilla saadaan ne raja-arvot, milloin investointi on kannattava. (Juvela 2020) Herkkyystarkastelussa luodaan useita eri tarkasteluja, joissa muuttuvat tekijät pidetään tarkastelun ajan vakiona. Eri tarkasteluissa jotain tiettyä arvoa muutetaan ja katsotaan kyseisen muuttujan merkitys lopputulokseen. Kuviossa 15 esitetään esimerkki tarkastelumäärien muodostumisesta.



KUVIO 15. Esimerkki tarkastelumäärien muodostumisesta

7 TALOYHTIÖ ENERGIAREMONTIN TILAAJANA

Energiaremontti, kuten muutkin korjaushankkeet, ovat suuria investointeja. Ennen energiahankkeeseen ryhtymistä on hankkeelle asetettava tavoitteet ja tuotto-odotukset. Taloyhtiön tulee palkata asiantunteva ammattilainen, sillä hankesuunnittelun kustannukset ovat maksimissaan muutaman prosentin hankkeen kokonaisuudesta ja asiantuntijan palkkaamisen hyödyt voivat olla taloudellisesti merkittäviä. Rakennuksia tulee tarkastella kokonaisuutena, jossa useat tekijät vaikuttavat eri järjestelmien toimintaan. Energiaremontin yhteydessä tulee tarkastella muidenkin järjestelmien muutoksia, vaikka niillä olisikin käyttövuosia jäljellä. (Virta & Pylsy 2011, 141–143)

Hankesuunnitteluvaiheen lopputuloksena on saada hyvät lähtötiedot toteutus-suunnitteluvaiheeseen. Hankesuunnittelun alkuvaiheessa tulee asettaa tavoitteet vähintään sisäilmasto-olosuhteille, kuten lämpötiloille, ääniolosuhteille ja ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirroille. Hankesuunnittelun tavoitteena ja toivottuna tuloksena on saada järjestelmän toteutustapa ja tekniset tiedot konseptitasolla sekä huolto- ja kunnossapitotarpeet. Hankesuunnitteluvaiheessa tulee saada tietää järjestelmämuutosten vaikutus energiankulutukseen ja taloudelliset vaikutukset, eli kokonaisvaltainen tieto hankkeen kannattavuudesta ja mahdollisista riskeistä. (Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja... 2018, 5–7)

On osoittautunut hyväksi tavaksi asunto-osakeyhtiöissä, että taloyhtiön hallitus pitää osakkaille tiedotustilaisuuden, jossa kerrotaan, mitä hallitus aikoo esittää yhtiökokouksessa. Yhtiökokouksessa olisi hyvä esittää ainakin elinkaarikustannukset, riskialttius, toteutustapa, vaikutus asumiseen ja asumiskustannuksiin. (Virta & Pylsy 2011, 152)

8 ERI MENETELMIEN VERTAILU

Energiatehokkuuden eri menetelmiä vertaillaan IDA Indoor Climate and Energy 4.8 -ohjelmalla. IDA Indoor Climate and Energy on energiasimulointiohjelma, jolla voidaan mallintaa rakennuksen tekniset järjestelmät ja laskea rakennusten energiakulutus eri paikkakuntien säädatalla (Equa n.d).

Tässä työssä käytetään Tampereen säädataa, koska mallinnettava kohde sijaitsee Tampereella. Ohjelman antamista laskutoimitusten tuloksista käytetään rakennuksen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen vaaditun ostoenergian määrää. Laskennan lähtötiedot ja oletukset kerrotaan seuraavissa luvuissa aiheittain. Vähentyneet ostettavan energian määrät eivät ole suoraan verrannollisia kustannussäästöihin, koska eri energiamuodot ovat eri hintaisia. Kustannuksia vertaillaan luvussa 9 Eri menetelmien kustannukset.

Laskennan tulokset ilmoitetaan kilowattitunteina neliötä kohden (kWh/m^2), jotta se olisi vertailukelpoinen eri kokoisissa lamellikerrostaloissa. Laskennan vertailukohteena on käytetty As Oy Peltolamminkulman, osoitteessa Peltolamminkatu 2 sijaitsevan lamellikerrostalon arkkitehtipohjia. Rakennuksen bruttoala on noin 1910 m^2 .

8.1 Vertailutilanne

Arkkitehtipohjien mukaan tehtiin Magicad Room -ohjelmalla yksinkertainen IFC-tietomalli, jota käytettiin dynaamisessa laskennassa. Rakenteiden ja järjestelmien tiedot syötettiin IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmistoon alla kerrotuilla tavoilla. Luotu laskentamalli esitetään kuviossa 16.



KUVIO 16. Laskentaa varten luotu tietomalli

Nykytilanteen rakenteelliset ominaisuudet määriteltiin Ympäristöministeriön asiakirjan Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunniteluarvoja (2018) -dokumentin mukaisia oletusarvoja käyttäen. Kyseisessä dokumentissa on kerrottu oletusarvot ulkoseinien, ylä- ja alapohjarakenteille sekä ikkunoille ja oville. Taulukossa 3 esitetään oletusarvoina käytetyt vaipan rakenteiden U-arvot.

Taulukko 3. Alkutietoina käytetyt rakenteiden U-arvot

Rakenne	U-arvo (W/m ² , K)
Seinät	0,48
Yläpohja	0,44
Alapohja	0,47
Ikkunat	2,8
Ovet	2,8

Rakennuksen ilmanvaihdon määräksi käytettiin ilmanvaihtokerrointa 0,5, eli oletettiin ilman vaihtuvan rakennuksessa kerran kahdessa tunnissa. Tällä oletuksella kokonaisilmanvaihdoksi saatiin 0,35 litraa sekunnissa lattianeliötä kohden.

Lämpimän käyttöveden kulutuksen määräksi määriteltiin 35 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa. Asukkaiden lukumääräksi 21 asunnossa arvioitiin olevan yhteensä 40 asukasta.

Alkutilanteen ostettavan kaukolämmön määräksi saatiin simuloimalla noin 300 MWh vuodessa, joka vastaa 1910 m² rakennuksessa 160 kWh/m². Tästä tilalämmityksen osuus oli noin 240 MWh, eli noin 80 prosenttia. Taloyhtiöltä saadun tiedon mukaan toteutunut ostettu kaukolämpöenergia on ollut noin 130–140 kWh/m² vuodesta riippuen (Leino 2020).

8.2 Rakenteiden ja ikkunoiden muutokset

Rakenteiden ja ikkunoiden parannuksilla estetään lämpöä johtumasta seinärakenteiden ja ikkunoiden kautta rakennuksesta ulos. Rakenteiden U-arvot ovat parantuneet ja vaatimukset tiukentuneet jokaisena vuosikymmenenä. Vertailukohdina käytettiin 1960-luvun betonisandwich-elementtejä ja ikkunoita sekä nykyaikaisen seinien ja ikkunoiden U-arvoja. Taulukossa 4 esitetään tarkemmat ominaisarvot.

Taulukko 4. Laskennan lähtötietoina käytetyt rakenteiden U-arvot

	U-arvo (W/m ² , K)	
	1960-luvulla (vertailuarvo) (Ympäristöministeriö 2018)	Nykyaikainen (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen... 2017)
Ikkunat	2,8	0,7
Seinärakenne	0,48	0,17

Rakenteellisten muutosten ja ikkunoiden vaihtamisella energiatehokkaampiin ostettavan kaukolämmön tarve tippui noin 15 prosenttia kummassakin tilanteessa. Näiden toimenpiteiden yhteisvaikutuksesta ostettavan kaukolämpöenergian tarve laski noin 28 prosenttia. Tilalämmitykseen vaadittu lämmitysenergia väheni lähes 40 prosenttia. Ikkunoiden vaihtamisen energiatehokkaampiin ja seinien lisäeristyksien energialaskennan tarkemmat tulokset esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Eri rakenteellisten muutosten vaikutus energiankulutukseen ja huippu-tehoon

	Ostettu kaukolämpö			Tilalämmitykseen käytetty energia		
	kWh/m ²	MWh	Muutos	kWh/m ²	MWh	Muutos
Vertailu-tilanne	160	300	-	130	240	-
Ikkunan vaihto	140	260	-15 %	100	200	-23 %
Seinien lisäeristys	140	260	-15 %	105	200	-19 %
Ikkunoiden vaihto ja seinien eristys	110	220	-28 %	80	160	-38 %

8.3 Maalämpöpumpun käyttö

Maalämpöpumpun energialaskennassa käytettiin täystehomitoitusta kustannustehokkaampaa osatehomitoitus ratkaisua. Osatehomitoituksessa käytettiin 100 kW:n maalämpöpumppua ja lisälämmönlähteenä nykyistä kaukolämpöjärjestelmää. Lämpöpumppujärjestelmään liitettiin vesitilavuudeltaan yhden kuutiometrin lämpövaraaja. Lämpöpumpun COP-luvuksi oletettiin neljä.

Tässä energialaskennassa rakennuksen ominaisuudet, kuten ikkunat ja seinät olivat samat kuin vertailutilanteessa. Myöskään muihin taloteknisiin järjestelmiin ei tehty muutoksia lämmöntuottoa lukuun ottamatta.

Maalämpöpumpun käyttöönoton jälkeen energiaa käytettiin 50 kWh/m². Kaukolämmön osuus lämmityksestä putosi lähes olemattomiin. Tämä johtuu siitä, että kaukolämpöä tarvitaan vain, kun lämpötilat laskevat tarpeeksi alas. Sen sijaan sähköenergian tarve kasvoi reilusti lämmitykseen. Maalämpöpumppu ei kuitenkaan vähennä lämmitysenergian kokonaistarvetta, vaan hyödyntää maaperään varastoitunutta aurinkoenergiaa, jolloin ostoenergian tarve pienenee. Taulukossa 6 esitetään maalämpöpumpun vaikutus lämmitysenergian tarpeeseen.

TAULUKKO 6. Maalämpöpumpun vaikutus ostettavaan lämmitysenergiaan

	Ostoenergia (tilalämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytetty energia)				
	Vertailutilanne		Toimenpiteen jälkeen		Muutos
	kWh/m²	MWh	kWh/m²	MWh	
Kaukolämpö	160	300	0	0	-
Sähköenergia	-	-	50	100	-
Yhteensä	160	300	50	100	-67 %

8.4 Vesi-ilmalämpöpumppu

Vesi-ilmalämpöpumpun simuloinnissa käytettiin maalämpöpumpun tapaan osatehomitoitusta. Osatehomitoituksessa käytettiin 100 kW:n vesi-ilmalämpöpumpua ja lisälämmönlähteenä nykyistä kaukolämpöjärjestelmää. Lämpöpumppujärjestelmään liitettiin vesitilavuudeltaan yhden kuutiometrin lämpövaraaja. Tässä laskelmassa rakennuksen muihin järjestelmiin tai rakenteisiin ei tehty muutoksia vertailutilanteeseen verrattuna.

Vesi-ilmalämpöpumpun käyttö vähensi ostettavan energian määrän 60 kWh/m². Osatehomitoitettu vesi-ilmalämpöpumppu vaatii maalämpöpumpun tavoin vuoden kylmimmillä lämpötiloilla lisäenergiaa lämmitykseen, jota tuotettiin kaukolämmöllä. Toimenpiteen jälkeen kaukolämpöä kuluu noin 10 kWh/m². Tarkemmat tulokset esitetään taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Maalämpöpumpun vaikutus ostettavaan lämmitysenergiaan

	Ostoenergia (tilalämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytetty energia)				
	Vertailutilanne		Toimenpiteen jälkeen		Muutos
	kWh/m²	MWh	kWh/m²	MWh	
Kaukolämpö	160	300	10	20	-
Sähköenergia	-	-	50	100	-
Yhteensä	160	300	60	120	-62 %

8.5 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpun laskennassa käytettiin 60 kW:n lämpöpumppua ja yhden kuutiometrin lämpövaraajaa. Rakennuksen muihin järjestelmiin tai rakenteisiin ei tehty muutoksia vertailutilanteeseen verrattuna. Poistoilmalämpöpumpun talteen ottama energia ohjattiin lämmityskaudella sekä patteriverkoston, että lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Lämmityskauden ulkopuolella lämpö ohjattiin lämpimän käyttöveden lämmittämiseen.

Poistoilmalämpöpumpun myötä ostettavan energian tarve laski noin 34 prosenttia. Poistoilmalämpöpumpun käyttö vaatii kuitenkin sähköenergiaa pumpun käyttöön. Taulukossa 8 esitetään poistoilmalämpöpumpun vaikutus ostettavaan lämmitysenergiaan.

TAULUKKO 8. Poistoilmalämpöpumpun vaikutus ostettavaan lämmitysenergiaan

	Ostettu lämmitysenergia (tilalämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytetty energia)				
	Vertailutilanne		Toimenpiteen jälkeen		Muutos
	kWh/m ²	MWh	kWh/m ²	MWh	
Kaukolämpö	160	300	90	170	-
Sähköenergia	-	-	20	30	-
Yhteensä	160	300	110	200	-34%

8.6 Yhteenveto

Eniten lämmitysenergian ostotarvetta vähensi eri lämpöpumppujen käyttö. Maalämpöpumppu osoittautui tehokkaimmaksi. Maalämpöpumppua käytettäessä ostotoenergian tarve vähentyi 67 prosenttia. Heikoimmat vaikutukset olivat rakennuksen fyysisten ominaisuuksien muokkaaminen. Seinien lisäeristäminen ja ikkunoiden vaihto energiatehokkaampiin vähensivät molemmat energiankäyttöä noin 15 prosenttia. Eri menetelmien tarkemmat tulokset ostettavan lämmitysenergian määrään esitetään taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Simulointitulosten yhteenveto

	Ostettu lämmitysenergia (sisältää kaukolämmön ja sähkön)		
	kWh/m ²	MWh	Muutos
Alkutilanne	160	300	-
Alla ostoenergian määrät eri toimenpiteiden jälkeen			
Seinien lisäeristys	140	260	-15%
Ikkunoiden vaihto	140	260	-15%
Lisäeristyksen ja ikkunoiden vaihdon yhteisvaikutus	110	170	-28%
Maalämpöpumppu	50	100	-67%
Vesi-ilmalämpöpumppu	60	120	-62%
Poistoilmalämpöpumppu	110	200	-34%

8.7 Tulosten vertailukelpoisuus eri kohteissa

8.7.1 Asukkaiden käyttötottumusten vaikutus

Asukkaiden lämpimän käyttöveden kulutuksen vaikutusta ostettavan energian määrään vertailtiin muuttamalla käytettävän kuuman veden määrää. Tarkastelu tehtiin nostamalla kuuman vedenkulutusta portaittain viidellä litralla vuorokaudessa henkilöä kohden. Tarkasteluja tehtiin välillä 30–50 litraa vuorokaudessa asukasta kohden. Tarkemmat tulokset esitetään taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Lämpimän käyttöveden kulutuksen vaikutus

Lämpimän käyttöveden kulutus (litraa/hlö, vrk)	Ostettu lämmitysenergia			Kaukolämmön huipputeho
	kWh/m ²	MWh	Erotus	kW
30	155	296	-2%	146
35 (vertailuarvo)	158	302	-	152
40	159	305	+1%	158
45	162	309	+2%	164
50	164	313	+4%	170

Asuntojen huonelämpötilan vaikutusta ostoenergian määrään vertailtiin laske-
malla huonelämpötila 19, 21 ja 23 asteessa celsiusta. Vuosittaisen lämmitysener-
gian määrä tippui noin yhdeksän prosenttia, kun huonelämpötilaa laski kahdella
asteella. Lämmitysenergian käyttö vaikuttaa myös kaukolämmityksestä ostetta-
vaan huipputehoon. Huipputehon tarve ei kuitenkaan muutu lineaarisesti, koska

käyttöveden kulutus määrää osan tarvittavasta huipputehosta. Tarkemmat tulokset esitetään taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Huonelämpötilan vaikutus ostettavaan lämmitysenergiaan

Huonelämpötila (°C)	Ostettava lämmitysenergia			Lämmityksen huipputeho
	kWh/m ²	MWh	Muutos	kW
19	140	270	-9%	148
21 (vertailulämpötila)	158	300	-	152
23	169	320	+7%	154

8.7.2 Rakennuksen sijainnin ja suuntauksen vaikutus

Rakennuksen sijainnin vaikutusta ostoenergian määrään vertailtiin säädäviä muokkaamalla eri paikkakunnille sopiviksi. Rakennuksen fyysisinä ja teknisinä ominaisuuksina käytettiin vertailutilanteessa käytettyjä arvoja. Paikkakuntavertailussa olivat Tampere, Helsinki, Jyväskylä ja Sodankylä. Vertailu esitetään taulukossa 12. Taulukossa on käytetty Tamperetta vertailukohtana muutoksissa.

Taulukko 12. Sijainnin vaikutus ostettavan lämmitysenergian määrään

	Ostettu lämmitysenergia (MWh)	Muutos ostettavassa kaukolämmössä	Huipputeho (kW)
Tampere (vertailupaikkakunta)	300	-	152
Helsinki	280	-7 %	135
Jyväskylä	320	+7 %	151
Sodankylä	410	+34 %	164

Eri toimenpiteiden jälkeisiä tuloksia ei voida suoraan verrata muutosprosenttiin, koska muutos kattaa kokonaisenergian kulutuksen. Kokonaisenergiankulutus sisältää tilalämmityksen lisäksi lämpimänveden kulutuksen, jonka tulee olettaa pysyvän vakiona paikasta riippumatta.

Rakennuksen suuntauksen vaikutusta vertailtiin kääntämällä rakennusta kokonaan akselinsa ympäri. Nolla astetta on referenssiluku, jossa rakennus on tällä hetkellä.

Tuloksista huomataan, että rakennuksen suuntauksen vaikutus ostettavan lämmitysenergian määrään on mitätön. Taulukossa 13 esitetään laskennan tulokset.

TAULUKKO 13. Rakennuksen suuntauksen vaikutus ostettavan lämmitysenergian määrään

	Ostettu lämmitysenergia		Erotus
	kWh/m ²	MWh	
0°	158	302	-
45°	158	302	0,03%
90°	158	302	0,07%
135°	158	302	0,13%
180°	158	302	0,20%
225°	158	302	0,17%
270°	157	302	-0,03%
315°	157	301	-0,23%

9 ERI MENETELMIEN KUSTANNUKSET

Tilalämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavaa ostoenergiaa saatiin pienennettyä usein eri menetelmin. Ostettavan lämpöenergian pienentyminen ei ole kuitenkaan suoraan verrannollinen energiakustannusten pienentymiseen, koska eri energiamuotojen hinnat poikkeavat toisistaan.

Tässä luvussa lasketaan nykyarvomenetelmällä eri menetelmien kustannukset ja takaisinmaksuajat. Laskennassa esitetään jokaiselle toimenpiteelle kuusi eri tarkastelua, jotka vaikuttavat elinkaarikustannuksiin ja investoinnin kannattavuuteen. Muuttujina käytetään eskalaatiota ja alkuinvestointia. Eskalaationa käytettiin yhden ja kuuden prosentin energian hinnan korotusta. Alkuinvestointina käytettiin kolmea eri arvoa tapauskohtaisesti.

Kaikissa laskennoissa käytetty laskentakorko r , inflaatio f , sähkön ja kaukolämmön energian hinnat sekä tarkastelu-aika i pidettiin vakiona. Taulukossa 14 esitetään vakioidut arvot.

Taulukko 14. Vakioidut arvot

Kaukolämmön hinta	75 €/MWh (sis. tehomaksun)
Sähkön hinta	0,14 €/kWh
Laskentakorko	4 %
Inflaatio	1 %
Tarkastelu-aika	20 vuotta

Taulukoissa takaisinmaksuajan ollessa yli 20 vuotta, se on jätetty merkitsemättä. Tämä johtuu siitä, ettei tarkasteluajan jälkeisiä kustannuksia ole huomioitu. Laskennassa käytetyn vertailukohteen elinkaarikustannukset 20 vuoden tarkastelujaksolla oli 180 euroa neliöltä ja vuosisäästöt laskettiin tämän luvun mukaan. Tarkemmat laskelmat ovat liitteissä 1–6.

9.1 Rakenteiden ja ikkunoiden muutokset

Rakenteellisten muutosten hinnaksi arvioitiin noin 150–500 euroa lattianeliötä kohden. Näin ollen tarkasteluarvoiksi valittiin 200 000, 500 000 ja 700 000 euroa. Näillä lähtötiedoilla neliökohtaiset elinkaarikustannukset vaihtelivat 260–620 euron välillä. Takaisinmaksuaika parhaassa tapauksessa oli yhdeksän vuotta. Kaikissa tarkasteluissa takaisinmaksuaika ei ollut 20 vuoden tarkasteluajanjakson aikana. Keskimääräiset neliökohtaiset vuosisäästöt vaihtelivat yhden-kahden euron suuruusluokkaa. Taulukossa 15 on esitetty eri tarkastelulähtökohdat ja elinkaarikustannukset. Tarkemmat laskelmat ja laskelmien tulokset esitetään liitteessä 1.

Taulukko 15. Rakenteiden lisäeristämisen laskennan tulokset

	Tarkastelu					
	1	2	3	4	5	6
Investointikustannus €	200 000	500 000	700 000	200 000	500 000	700 000
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %
Elinkaarikustannukset						
€	491 000	791 000	991 000	679 000	979 000	1 179 000
€/ m ²	260	410	520	360	510	620
Vuosittainen kustannussäästö						
€	2400	2400	2400	3900	3900	3900
€/ m ²	1	1	1	2	2	2
Takaisinmaksuaika						
vuotta	12	-	-	9	-	-

Ikkunoiden vaihdon hinnaksi käytettiin noin 50–120 euroa lattianeliötä kohden. Näin ollen tarkasteluarvoiksi valittiin 100 000, 150 000 ja 200 000 euroa. Näillä lähtötiedoilla elinkaarikustannukset vaihtelivat välillä 200–360 euroa neliöltä. Takaisinmaksuaika vaihteli eri investointikustannusten ja eskalaatioiden variaatioilla 5–13 vuoden välillä. Vuosisäästöt olivat samaa luokkaa, kuin rakenteiden lisäeristyksissä. Taulukossa 16 on esitetty eri tarkastelulähtökohdat ja elinkaarikustannukset. Tarkemmat laskelmat ovat liitteessä 2.

Taulukko 16. Ikkunoiden muutosten laskennan tulokset

	Tarkastelu					
	1	2	3	4	5	6
Investointikustannus €	100 000	150 000	200 000	100 000	150 000	200 000
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %
Elinkaarikustannukset						
€	390 000	440 000	490 000	577 000	627 000	677 000
€/m ²	200	230	260	300	330	360
Vuosittainen kustannussäästö						
€	2400	2400	2400	4000	4000	4000
€/m ²	1	1	1	2	2	2
Takaisinmaksuaika						
vuotta	6	9	13	5	7	9

Yhdistetyn ikkuna- ja julkisivuremontin tarkasteluarvoiksi valittiin 300 000, 550 000 ja 700 000 euroa. Näillä lähtötiedoilla elinkaarikustannukset vaihtelivat 280–580 euron neliöhinnan välillä. Takaisinmaksuaika oli parhaassa tapauksessa 16 vuotta, muissa tarkasteluissa takaisinmaksuaika ei ole 20 vuoden tarkastelujaksolla. Keskimääräiset neliökohtaiset vuosisäästöt olivat kolmesta neljään euroa. Taulukossa 17 on esitetty eri tarkastelulähtökohdat ja elinkaarikustannukset. Tarkemmat laskennan tulokset ovat liitteessä 3.

Taulukko 17. Rakenteiden ja ikkunoiden muutosten yhteisvaikutuksen tarkastelujen tulokset

	Tarkastelu					
	1	2	3	4	5	6
Investointikustannus €	300 000	550 000	700 000	300 000	550 000	700 000
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %
Elinkaarikustannukset						
€	542 000	792 000	942 000	698 000	948 000	1 098 000
€/m ²	280	410	490	340	500	580
Vuosittainen kustannussäästö						
€	4800	4800	4800	7900	7900	7900
€/m ²	3	3	3	4	4	4
Takaisinmaksuaika						
vuotta	-	-	-	16	-	-

9.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpun elinkaarikustannuksia tarkasteltiin 100 000, 200 000 ja 300 000 euron investointihinnoilla. Järjestelmämuutoksen elinkaarikustannukset vaihtelivat välillä 140–290 euroa neliöltä ja takaisinmaksuaika oli parhaimmassa tapauksessa kahdeksan vuotta. Maalämpöpumpulla saavutetut vuosisäästöt olivat korkeat, viidestä kahdeksaan euroon riippuen tarkastelusta. Kaikkien tarkastelujen takaisinmaksuajat eivät mahtuneet 20 vuoden tarkasteluajalle. Kaikkien tarkasteluiden tulokset on esitetty taulukossa 18. Kaikki maalämpöpumpun elinkaarilaskennan laskennat ja tulokset esitetään liitteessä 4.

TAULUKKO 18. Maalämpöpumpun tarkastelujen tulokset

	Tarkastelu					
	1	2	3	4	5	6
Investointikustannus €	100 000	200 000	300 000	100 000	200 000	300 000
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %
Elinkaarikustannukset						
€	265 000	365 000	465 000	359 000	459 000	559 000
€/ m ²	140	190	240	190	240	290
Vuosittainen kustannussäästö						
€	8600	8600	8600	14900	14900	14900
€/ m ²	5	5	5	8	8	8
Takaisinmaksuaika						
vuotta	10	-	-	8	16	-

9.3 Vesi-ilmaalämpöpumppu

Vesi-ilmaalämpöpumpun elinkaarikustannuksia tarkasteltiin 80 000, 120 000 ja 160 000 euron investointihinnoilla. Järjestelmämuutoksen elinkaarikustannukset vaihtelivat välillä 170–300 euroa neliöltä ja takaisinmaksuaika vaihteli 5–14 vuoden välillä. Vuosisäästöt olivat tarkastelusta riippuen kolmesta viiteen euroa neliöltä. Vesi-ilmaalämpöpumpun eri tarkastelut ja elinkaarilaskentojen tulokset on esitetty taulukossa 19. Vesi-ilmaalämpöpumpun kaikki laskennat ja tulokset esitetään liitteessä 5.

TAULUKKO 19. Vesi-ilmalämpöpumpun tarkastelujen tulokset

	Tarkastelu					
	1	2	3	4	5	6
Investointikustannus €	80 000	130 000	180 000	80 000	130 000	180 000
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %
Elinkaarikustannukset						
€	317 000	367 000	417 000	463 000	513 000	563 000
€/m ²	170	190	220	240	270	300
Vuosittainen kustannussäästö						
€	5000	5000	5000	8700	8700	8700
€/m ²	3	3	3	5	5	5
Takaisinmaksuaika						
vuotta	5	9	14	5	8	10

9.4 Poistoilmalämpöpumppu

Vesi-ilmalämpöpumpun elinkaarilaskentaa tarkasteltiin 50 000, 90 000 ja 130 000 euron investointihinnoilla. Järjestelmämuutoksen elinkaarikustannukset vaihtelivat välillä 160–280 euroa neliöltä ja takaisinmaksuaika vaihteli investointikustannuksista riippuen kolmen ja kahdeksan vuoden välillä. Tarkemmat tulokset esitetty taulukossa 20. Poistoilmalämpöpumpun laskelmat esitetään liitteessä 6.

TAULUKKO 20. Poistoilmalämpöpumpun tarkastelujen tulokset

	Tarkastelu					
	1	2	3	4	5	6
Investointikustannus €	50 000	90 000	130 000	50 000	90 000	130 000
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %
Elinkaarikustannukset						
€	300 000	340 000	380 000	454 000	494 000	534 000
€/m ²	160	180	200	240	260	280
Vuosittainen kustannussäästö						
€	4400	4400	4400	7700	7700	7700
€/m ²	2	2	2	4	4	4
Takaisinmaksuaika						
vuotta	3	5	8	3	5	7

9.5 Tulosten yhteenveto

Rakennusten elinkaarikustannuksia saatiin pienennettyä monin keinoin. Aiemmissa taulukoissa ilmoitetut arvot kertovat, etteivät kaikki toimenpiteet olleet taloudellisesti kannattavia 20 vuoden tarkasteluajanjaksolla. Elinkaarikustannuksissa vaikuttavassa asemassa oli alkuinvestointi, joten alkuinvestoinnin suuruutta arvioitiin kolmella eri tarkastelulla. Keskenään vertailukelpoisia tuloksia olivat tarkastelut 1–3 ja 4–6, joissa energian hinnan muutokset olivat keskenään yhtä suuret.

Pienillä investointikustannuksilla kaikki toimenpiteet olivat taloudellisesti kannattavat, mutta eri lämpöpumppujen käyttö voitiin todeta kaikista parhaimmiksi vaihtoehdoiksi. Maalämpöpumpun pitkään takaisinmaksuaikaan vaikutti kalleimmaksi arvioitu alkuinvestointi. Rakenteellisissa muutoksissa takaisinmaksuajat olivat pidemmät suurten alkukustannusten vuoksi. Toimenpiteistä suurimmat säästöt saatiin maalämpöpumpulla. Taulukossa 21 esitetään yhteenveto elinkaarilaskennan tuloksista pienimmällä investointikustannuksella ja yhden prosentin eskalaatiolla, eli kaikkien toimenpiteiden tarkastelulla yksi.

TAULUKKO 21. Tulosten yhteenveto elinkaarilaskennan tuloksista pienimmällä investointikustannuksella ja 1 % eskalaatiolla.

	Elinkaari-kustannukset		Keskimääräiset säästöt vuosikustannuksista		Takaisinmaksuaika
	€/m ²	€	€/m ²	€	vuotta
Vertailutilanne	180	338 000	-	-	-
Seinien lisäeristys	260	491 000	1	2400	12
Ikkunoiden vaihto	200	390 000	1	2400	6
Lisäeristuksen ja ikkunoiden vaihdon yhteisvaikutus	280	542 000	3	4800	-
Maalämpöpumppu	140	265 000	5	8600	10
Vesi-ilmalämpöpumppu	170	317 000	3	5000	5
Poistoilmalämpöpumppu	160	300 000	2	4400	3

Samoilla investointihinnoilla, mutta korkeammalla eskalaatiolla takaisinmaksuajat lyhenivät ja keskimääräiset vuosisäästöt kasvoivat. Myös elinkaarikustannukset olivat korkeamman eskalaation takia suuremmat. Parhaimpiin lopputulok-

siin päästiin ikkunoiden vaihdolla ja eri lämpöpumppuratkaisuilla. Maalämpöpumpulla saatiin suurimmat keskimääräiset vuosisäästöt. Taulukossa 22 esitetään yhteenveto elinkaarilaskennan tuloksista pienimmällä investointikustannuksella ja kuuden prosentin eskalaatiolla, eli tarkastelulla neljä.

Taulukko 22. Tulosten yhteenveto elinkaarilaskennan tuloksista pienimmällä investointikustannuksella ja kuuden prosentin eskalaatiolla

	Elinkaari-kustannukset		Keskimääräiset säästöt vuosikustannuksista		Takaisinmaksuaika
	€/m ²	€	€/m ²	€	vuotta
Vertailutilanne	290	557 000	-	-	-
Seinien lisäeristys	360	679 000	2	3900	9
Ikkunoiden vaihto	300	577 000	2	4000	5
Lisäeristyksen ja ikkunoiden vaihdon yhteisvaikutus	340	699 000	4	7900	16
Maalämpöpumppu	190	359 000	8	14900	8
Vesi-ilmalämpöpumppu	240	463 000	5	8700	5
Poistoilmalämpöpumppu	240	454 000	4	7700	3

10 POHDINTA

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttaa oleellisesti ilmanvaihtolaitoksen tyyppi, rakenteet ja käyttäjien tottumukset. Energiakustannusten ja energiankulutuksen syy–seuraussuhdetta tulee pohtia taloyhtiöissä. Rakennuksen energiankäytön vähentäminen pienentää energiakustannuksia, mutta kustannustehokkaan lämpöpumpun käyttö ei pienennä kokonaisenergiankulutusta. Tässä opinäytetyössä esitettyjä ja laskettuja energiankäyttöä pienentäviä toimenpiteitä oli rakenteiden ja ikkunoiden muutokset sekä poistoilmalämpöpumpun käyttöönotto. Rakenteiden lisäeristykset osoittautuivat kuitenkin energiaremonttina taloudellisesti kannattamattomiksi. Julkisivremontin yhteydessä tulisi ottaa huomioon energiatekniset näkökulmat, eli suuremman julkisivremontin aikana kannattaa laskea paremman eristeen vaikutukset rakennuksen elinkaarikustannuksiin.

Ilmanvaihtolaitoksen tyypin lisäksi ilmanvaihdon tilavuusvirta vaikuttaa energiatehokkuuteen. Rakennuksen ilmavirrat suunniteltiin useamman vuoden ajan Rakennusmääräyskokoelman D2-osan mukaisesti, joten voidaan olettaa, että oikein suunniteltujen ja toteutettujen kohteiden ilmavirrat ovat samaa suuruusluokkaa. Tarkasteltavan asuinkerrostalon ja muiden kohteiden energiaremonttihankeissa tulisi tehdä tarkempia tavoite-energiälaskelmia, joissa ennen laskelmia mitataan ilmanvaihdon toimivuus, sisälämpötilat ja kerätään huoneistokohtaista dataa asukkaiden käyttötottumuksista. Tavoite-energiälaskentaa kuitenkin hankaloittaa tulevaisuuden ennustamisen mahdottomuus. Asuinkerrostaloissa sekä asukkaat että heidän elintapansa eivät pysy samanlaisina koko tarkasteluajanjakson aikana.

Asukkaiden käyttäjätottumusten vaikutusta arvioitiin simuloimalla erilaisia käyttäjä- ja aikatauluprofiileja. Näiden simulointien aikana käytettiin rakennuksen nykyisiä rakennus- ja taloteknisiä järjestelmiä. Näiden tulosten pohjalta voidaan osoittaa, että huonetilojen yllämmittäminen aiheuttaa ylimääräisiä energiakustannuksia. Vaikutus on sama riippumatta siitä, onko kyseessä epätasapainoinen lämmitysjärjestelmä vai johtuuko se asukkaan tarpeesta lämmittää asuntoa. Vaikutus ei ole kuitenkaan niin suuri, jos vain osa asunnoista on tarpeettoman läm-

pimiä. Käyttöveden virtaamaa rajoittamalla sekä opastamalla asukkaita vähemmän veden käyttöön voidaan pienentää energiakustannuksia. Näin ollen tilojen käyttäjiä ohjeistamalla ja järjestelmien toiminnan seurantaan voidaan pitää ensimmäisenä energiatoimenpiteenä.

Ensimmäisenä energiatoimenpiteenä voidaan suositella jatkuvaa järjestelmien toiminnan seurantaan ja asuntojen huonelämpötilojen seurantaan. Jo pelkällä yllämmön välttämällä voidaan säästää energiakustannuksissa huomattavia summia.

Koska tavoite-energiälaskenta sekä elinkaarilaskenta tehdään aina rakennus- ja tilannekohtaisesti, ne eivät toimi suoraan vertailukelpoisina ohjeina energiaremontin hankesuunnitteluun. Energiasäästöjen suuruus riippuu paljon rakennuksen nykysuunnitelmasta. 1960- ja 1970-luvuilla valmistuneet rakennukset alkavat olla jo perusparanneltuja. Tekniikaltaan alkuperäiskuntoisia tai alkuperäiskuntoa vastaavassa tilanteessa työn laskelmista voidaan löytää rajakustannukset, jolloin investointi on kannattava. Perusparannetusta rakennuksesta voidaan pitää esimerkiksi tilannetta, jossa rakennuksen ikkunat on jo paranneltu, tällöin prosentuaalinen säästöpotentiaali on pienempi.

Tavoite-energiälaskennan lisäksi E-lukulaskenta hyödyttää energiaremontin hankesuunnitelmaa, koska sen avulla voidaan ennakoita mahdollisia energia-avustuksia investointikulujen minimoimiseksi. Siirryttäessä kaukolämmöstä muihin lämmitysmuotoihin avustuksien saanti voi olla hankalaa, ellei jopa mahdotonta. Tämä johtuu siitä, että lämmöntuotantokerroin on kaukolämmön ja lämpöpumpujen kanssa yhtä suuri.

Työn tavoitteena oli laatia yleispätevä ja vertailukelpoinen laskelma jokaiselle lammikerrostalolle sijainnista ja koosta riippumatta. Elinkaarilaskennan tuloksista huomattiin, että investointikustannus ja energiakustannusten muuttuminen on suuressa roolissa elinkaarikustannusten syntyemisessä. Näin ollen energiaremontin alkuihminen investointikustannus on löydettävä rajakustannus, jolloin energiaremontti on taloudellisesti järkevä toteuttaa. Suoraa vastausta kustannustehokkaimmasta ratkaisusta ei voida antaa, ennen kuin investointikustannus on tiedossa. Keskenään

vertailukelpoisia tuloksia ovat tarkastelut 1–3 ja 4–6, koska näissä oletukset tulevaisuuden energian hinnoista ovat samat.

Kuten laskennasta huomattiin, energiakulutusten ja vuosisäästöjen seuraaminen eivät ole automaattisesti tae pienistä kokonaiskustannuksista. Tämän vuoksi on syytä tarkastella kriittisesti eri vaihtoehtoja ja vaihtoehtoisia laskelmia ennen suurempaa energiainvestointia.

Tarkastelujen lähtötiedot ovat osittain arvioita, osittain tilastoihin perustuvia ja osittain laskennallisia. Lähtötietojen vaikutus lopputulokseen on suuressa roolissa. Johtopäätöksenä voidaan todeta, ettei elinkaarilaskelmat ole absoluuttisia totuuksia, mutta laskelmien tulokset antavat hyvin suuntaa investointi- ja elinkaarikustannuksille sekä järjestelmien takaisinmaksuajoille ja vuosisäästöille. Energialaskennan tulokset ovat vertailukelpoisia, koska niissä on huomioitu rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien ominaisuudet, sekä rakennuksen fyysinen sijainti. Näin ollen tämän opinnäytetyön tulokset auttavat taloyhtiöitä eri puolilla Suomea tekemään ratkaisuja, joilla voidaan edetä kohti onnistunutta energiaremonttia.

LÄHTEET

Alm, M. 2020. Uusiutuva energia – kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Toimialara-portit. Työ- ja elinkeinoministeriö.

Asumisen energiankulutus. Asumisen energiankulutus laski edelleen vuonna 2018. 2019. Tilastokeskus. Luettu 28.9.2020.
https://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_tie_001_fi.html

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. 2019. Avustettavat korjaukset. Julkaistu 31.12.2019. Päivitetty 14.2.2020. Luettu 14.10.2020.
[https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Taloyhtiot/Avustettavat_korjaukset\(53755\)](https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Taloyhtiot/Avustettavat_korjaukset(53755))

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. 2020. Energia-avustus taloyhtiöille. Julkaistu 19.8.2020. Päivitetty 24.9.2020. Luettu 14.10.2020.
https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Taloyhtiot

Badermann, P. 2013. As Oy Peltolamminkulman selvitystyön tasopiirustukset. 29.4.2013. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Energiatehokas koti. 2020. Ilmanvaihto. Päivitetty 21.7.2020. Luettu 7.12.2020.
https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto

Energiatehokas koti. n.d. Poistoilmalämpöpumppu. Päivitetty 21.7.2020. Luettu 6.11.2020.
https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo_ja_maalampopumput/poistoilmalampopumppu

Equa Simulation AB. n.d. IDA Indoor Climate and Energy. Luettu 19.1.2021
<https://www.equa.se/fi/ida-ice>

Hietakangas, J. 2020. lehtori. Kysymyksiä lamellitaloista. Sähköpostiviesti. Luettu 11.12.2020.

Hytönen, Y. & Seppänen, M. 2009. Tehdään elementeistä. Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Helsinki: Betonitieto Oy

Juvela, J. lehtori. 2020. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja elinkaaritalous. Luento. 28.10.2020. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Kinnunen, S. 2019. Julkisivuremontti – miksi, milloin ja miten. Suomen Talokeskus Oy. Luettu 24.2.2021
<https://www.talokummi.fi/julkisivuremontti-miksi-milloin-ja-miten/>

Koivula, U. erityisasiantuntija. 2021. Haastattelu 9.3.2021. Haastattelija Dahlqvist, S. Tampere.

Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. 2013. Tutkimusraportti. Adato Energia Oy.

Kosonen, R. Laitinen, A. Laine, T. Martiskainen, V. 1999. Huoneistokohtaisten talotekniikkajärjestelmien elinkaarikustannukset. VTT. Tiedote. Espoo: VTT.

Leino, M. 2020. Isännöitsijäntodistus. 27.11. Julkaisematon. Kiinteistöpalvelu Leino Oy. Lempäälä.

Leiwo, K. 2014. Tiedätkö mikä on yhtiöjärjestys? TS Blogi. Julkaistu 18.8.2014. Luettu 14.10.2020.
<https://blogit.ts.fi/kerrostalokyttaajan-muistiinpanot/tiedatko-mika-on-yhtiojarjestys/>

Lämpöpumpun hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. 2018. Motiva Oy. Luettu 6.11.2020.
https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf

Motiva Oy. 2019. Patteriverkoston perussäätö. Päivitetty 2.8.2019. Luettu 15.10.2020.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato

Motiva Oy. 2020. Vedenkulutus taloyhtiössä. Päivitetty 10.8.2020. Luettu 15.10.2020
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tieto_energian-ja_vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiossa

Motiva Oy. N.d. Energian loppukäyttö. Päivitetty 21.9.2021. Luettu 3.2.2021
https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/energian_loppukaytto

Motiva Oy. N.d. Ilma-vesilämpöpumppu. Päivitetty 30.10.2020. Luettu 7.12.2020
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu

Motiva Oy. N.d. Ilmanvaihtojärjestelmä. Päivitetty 4.9.2018. Luettu 14.12.2020
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/ilmanvaihtojarjestelma

Mäkelä, V. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Luettu 9.3.2021.

Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Vikström, K., Mäenpää, R., Saarenpää, J., Tähti, E. 1994. Kerrostalot 1960–1975. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Nykter, U. 2016. E-luvusta todelliseen kulutukseen. Blogi-kirjoitus. Luettu 2.3.2021.
<https://www.granlund.fi/uutiset/blogi/e-luvusta-todelliseen-kulutukseen/>

Pennanen, T. 2015. Energialuokan vaikutus asunto-osakkeen markkina-arvoon. Maankäyttötieteiden laitos. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Rakentaminen ja rakennukset. Rakentamisella on keskeinen merkitys energian käytön ja päästöjen vähentämisessä. 2020. Motiva Oy. Luettu 28.9.2020.

Remes, M. 2020. Energiaremontista iso parannus kiinteistösiijoituksen tuottoon. Talotekniikkalehti 7/2020. 20–22.

RT 10-11075. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. Luettu 2.3.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

Scanoffice Oy. n.d. Ilma-vesilämpöpumput suuriin kiinteistöihin. Luettu 3.2.2021. <https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/ilma-vesilampopumput-kiinteistoihin/>

Suomela, J. 2018. Taloyhtiön yleisimmät remontit. Suomen Talokeskus Oy. Luettu 24.2.2021
<https://www.talokummi.fi/taloyhtion-yleisimmat-remontit/>

Tampereen vesi. 2017. Vuotavat vesihanat kannattaa korjata heti. Julkaistu 1.3.2017. Luettu 15.10.2020.
https://www.tampere.fi/material/attachments/vesi/vesi/gcFINt2x9/Mita_vuoto-vesi_maksaa_vuodessa.pdf

Teknologian tutkimuskeskus VTT. 2017. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen hyödyt ja haasteet. Julkaistu 22.8.2017. Luettu 2.11.2020
<https://sykli.fi/wp-content/uploads/2018/04/sykliEaamupala-r-holopainen.pdf>

Väisälä, P. lehtori. 2020. Kysymyksiä lamellitaloista. Sähköpostiviesti. Luettu 14.12.2020

Ympäristöministeriö. 2018. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Energiatodistusoppaan 2018 liite. Julkaistu 1.11.2018.

Virta, J. & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. 1. painos. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Ympäristöhallinto. 2016. Energiatehokkuus eri aikakausien rakennuksissa. Julkaistu 30.6.2016. Päivitetty 19.3.2019. Luettu 19.1.2021.
https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/Energiatehokkuus/Energiankulutus/Talon_ian_vaikutus

Ympäristöhallinto. 2017. Rakennusten energiamuotokertoimet uudistettu. Tiedote. Julkaistu 30.11.2017. Luettu 9.11.2020.
[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennusten_energiamuotokertoimet_uudist\(45276\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennusten_energiamuotokertoimet_uudist(45276))

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 20.12.2017/1048.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 20.12.2017/1010

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 27.2.2013/4

LIITTEET

Liite 1. Elinkaarilaskelmat - rakenteiden lisäeristys

Rakennuksen bruttopinta-ala	1910	m ²					
Energiankulutukset							
Kaukolämpö	260	MWh					
Sähkö	0	kWh					
Energian hinnat							
Kaukolämpö	75	€/MWh					
Sähkö	0,14	€/kWh					
Laskentakorkokanta	4	%					
Inflaatio	1	%					
Inflaatiokorjattu korko	3	%					
Tarkastelu-aika	20	Vuotta					
Huoltokustannukset							
Vuosittain toistuvat	-	€					
Muut							
Aika nykyhetkestä	0	Vuotta					
Diskonttaustekijä F	1,000						
Kustannus toimenpidevuonna	-	€					
Tarkastelu							
	1	2	3	4	5	6	
Alkuinvestointi	200 000 €	500 000 €	700 000 €	200 000 €	500 000 €	700 000 €	
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %	
Eskalaatiokorjattu korko	3 %	3 %	3 %	-2 %	-2 %	-2 %	
Diskonttaustekijä F	14,9	14,9	14,9	24,6	24,6	24,6	
Energiakustannusten nykyarvo							
Kaukolämpö	290 909 €	290 909 €	290 909 €	479 229 €	479 229 €	479 229 €	
Sähkö	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Huoltokustannusten nykyarvo							
Vuosittain toistuvat	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Muut (yhteensä)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Elinkaarikustannukset							
Yhteensä	490 909 €	790 909 €	990 909 €	679 229 €	979 229 €	1 179 229 €	
Per bruttoneliö	257 €	414 €	519 €	356 €	513 €	617 €	
Nykyhetki							
Vertailukustannukset	337 902 €	337 902 €	337 902 €	556 642 €	556 642 €	556 642 €	
Keskimääräinen vuosisäästö							
Yhteensä	2 350 €	2 350 €	2 350 €	3 871 €	3 871 €	3 871 €	
Per neliö	1 €	1 €	1 €	2 €	2 €	2 €	
Takaisinmaksuaika	12	-	-	9	-	-	

Liite 2. Elinkaarilaskelmat – ikkunoiden vaihto

Rakennuksen bruttopinta-ala	1910	m ²					
Energiankulutukset							
Kaukolämpö	259	MWh					
Sähkö	0	kWh					
Energian hinnat							
Kaukolämpö	75	€/MWh					
Sähkö	0,14	€/kWh					
Laskentakorkokanta							
	4	%					
Inflaatio							
Inflaatiokorjattu korko	3	%					
Tarkastelu							
	20	Vuotta					
Huoltokustannukset							
Vuosittain toistuvat	-	€					
Muut							
Aika nykyhetkestä	0	Vuotta					
Diskonttaustekijä F	1,000						
Kustannus toimenpidevuonna	-	€					
Tarkastelu							
	1	2	3	4	5	6	
Alkuinvestointi	100 000 €	150 000 €	200 000 €	100 000 €	150 000 €	200 000 €	
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %	
Eskalaatiokorjattu korko	3 %	3 %	3 %	-2 %	-2 %	-2 %	
Diskonttaustekijä F	14,9	14,9	14,9	24,6	24,6	24,6	
Energiakustannusten nykyarvo							
Kaukolämpö	289 790 €	289 790 €	289 790 €	477 385 €	477 385 €	477 385 €	
Sähkö	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Huoltokustannusten nykyarvo							
Vuosittain toistuvat	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Muut (yhteensä)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Elinkaarikustannukset							
Yhteensä	389 790 €	439 790 €	489 790 €	577 385 €	627 385 €	677 385 €	
Per bruttoneliö	204 €	230 €	256 €	302 €	328 €	355 €	
Nykyhetki							
Vertailukustannukset	337 902 €	337 902 €	337 902 €	556 642 €	556 642 €	556 642 €	
Keskimääräinen vuosisäästö							
Yhteensä	2 406 €	2 406 €	2 406 €	3 963 €	3 963 €	3 963 €	
Per neliö	1 €	1 €	1 €	2 €	2 €	2 €	
Takaisinmaksuaika	6	9	13	5	7	9	

Liite 3. Elinkaarilaskelmat – lisäeristys ja ikkunoiden vaihto

Rakennuksen bruttopinta-ala	1910	m ²					
Energiankulutukset							
Kaukolämpö	216	MWh					
Sähkö	0	kWh					
Energian hinnat							
Kaukolämpö	75	€/MWh					
Sähkö	0,14	€/kWh					
Laskentakorkokanta							
	4	%					
Inflaatio							
	1	%					
Inflaatiokorjattu korko	3	%					
Tarkasteluaika							
	20	Vuotta					
Huoltokustannukset							
Vuosittain toistuvat	-	€					
Muut							
Aika nykyhetkestä	0	Vuotta					
Diskonttaustekijä F	1,00%						
Kustannus toimenpidevuonna	-	€					
Tarkastelu							
	1	2	3	4	5	6	
Alkuinvestointi	300 000 €	550 000 €	700 000 €	300 000 €	550 000 €	700 000 €	
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %	
Eskalaatiokorjattu korko	3 %	3 %	3 %	-2 %	-2 %	-2 %	
Diskonttaustekijä E	14,9	14,9	14,9	24,6	24,6	24,6	
Energiakustannusten nykyarvo							
Kaukolämpö	241 678 €	241 678 €	241 678 €	398 128 €	398 128 €	398 128 €	
Sähkö	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Huoltokustannusten nykyarvo							
Vuosittain toistuvat	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Muut (yhteensä)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Elinkaarikustannukset							
Yhteensä	541 678 €	791 678 €	941 678 €	698 128 €	948 128 €	1 098 128 €	
Per bruttoneliö	284 €	414 €	493 €	366 €	496 €	575 €	
Nykyhetki							
Vertailukustannukset	337 902 €	337 902 €	337 902 €	556 642 €	556 642 €	556 642 €	
Keskimääräinen vuosisäästö							
Yhteensä	4 811 €	4 811 €	4 811 €	7 926 €	7 926 €	7 926 €	
Per neliö	3 €	3 €	3 €	4 €	4 €	4 €	
Takaisinmaksuaika				16			

Liite 4. Elinkaarilaskelmat – maalämpöpumppu

Rakennuksen bruttopinta-ala	1910	m ²					
Energiankulutukset							
Kaukolämpö	8	MWh					
Sähkö	65000	kWh					
Energian hinnat							
Kaukolämpö	75	€/MWh					
Sähkö	0,14	€/kWh					
Laskentakorkokanta							
	4	%					
Inflaatio							
	1	%					
Inflaatiokorjattu korko	3	%					
Tarkasteluaika							
	20	Vuotta					
Huoltokustannukset							
Vuosittain toistuvat	1 000	€					
Muut							
Aika nykyhetkestä	20	Vuotta					
Diskonttaustekijä F	0,546						
Kustannus toimenpidevuonna	10 000	€					
Tarkastelu							
	1	2	3	4	5	6	
Alkuinvestointi	100 000 €	200 000 €	300 000 €	100 000 €	200 000 €	300 000 €	
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %	
Eskalaatiokorjattu korko	3 %	3 %	3 %	-2 %	-2 %	-2 %	
Diskonttaustekijä E	14,9	14,9	14,9	24,6	24,6	24,6	
Energiakustannusten nykyarvo							
Kaukolämpö	8 951 €	8 951 €	8 951 €	14 745 €	14 745 €	14 745 €	
Sähkö	135 758 €	135 758 €	135 758 €	223 640 €	223 640 €	223 640 €	
Huoltokustannusten nykyarvo							
Vuosittain toistuvat	15 037 €	15 037 €	15 037 €	15 037 €	15 037 €	15 037 €	
Muut (yhteensä)	5 662 €	5 662 €	5 662 €	5 662 €	5 662 €	5 662 €	
Elinkaarikustannukset							
Yhteensä	265 408 €	365 408 €	465 408 €	359 085 €	459 085 €	559 085 €	
Per bruttoneliö	139 €	191 €	244 €	188 €	240 €	293 €	
Nykyhetki							
Vertailukustannukset	337 902 €	337 902 €	337 902 €	556 642 €	556 642 €	556 642 €	
Keskimääräinen vuosisäästö							
Yhteensä	8 625 €	8 625 €	8 625 €	14 878 €	14 878 €	14 878 €	
Per neliö	5 €	5 €	5 €	8 €	8 €	8 €	
Takaisinmaksuaika	10	-	-	8	16	-	

Liite 5. Elinkaarilaskelmat – vesi-ilmalämpöpumppu

Rakennuksen bruttopinta-ala	1910	m ²					
Energiankulutukset							
Kaukolämpö	18	MWh					
Sähkö	98000	kWh					
Energian hinnat							
Kaukolämpö	75	€/MWh					
Sähkö	0,14	€/kWh					
Laskentakorkokanta							
	4 %						
Inflaatio							
	1 %						
Inflaatiokorjattu korko	3 %						
Tarkasteluaika							
	20	Vuotta					
Huoltokustannukset							
Vuosittain toistuvat	500	€					
Muut							
Aika nykyhetkestä	1	Vuotta					
Diskonttaustekijä F	0,972						
Kustannus toimenpidevuonna	5 000	€					
Tarkastelu							
	1	2	3	4	5	6	
Alkuinvestointi							
Eskalaatio	80 000 €	130 000 €	180 000 €	80 000 €	130 000 €	180 000 €	
	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %	
Eskalaatiokorjattu korko	3 %	3 %	3 %	-2 %	-2 %	-2 %	
Diskonttaustekijä E	14,9	14,9	14,9	24,6	24,6	24,6	
Energiakustannusten nykyarvo							
Kaukolämpö	20 140 €	20 140 €	20 140 €	33 177 €	33 177 €	33 177 €	
Sähkö	204 681 €	204 681 €	204 681 €	337 180 €	337 180 €	337 180 €	
Huoltokustannusten nykyarvo							
Vuosittain toistuvat	7 519 €	7 519 €	7 519 €	7 519 €	7 519 €	7 519 €	
Muut (yhteensä)	4 860 €	4 860 €	4 860 €	4 860 €	4 860 €	4 860 €	
Elinkaarikustannukset							
Yhteensä	317 199 €	367 199 €	417 199 €	462 736 €	512 736 €	562 736 €	
Per bruttoneliö	166 €	192 €	218 €	242 €	268 €	295 €	
Nykyhetki							
Vertailukustannukset	337 902 €	337 902 €	337 902 €	556 642 €	556 642 €	556 642 €	
Keskimääräinen vuosisäästö							
Yhteensä	5 035 €	5 035 €	5 035 €	8 695 €	8 695 €	8 695 €	
Per neliö	3 €	3 €	3 €	5 €	5 €	5 €	
Takaisinmaksuaika							
	5	9	14	5	8	10	

Liite 6. Elinkaarilaskelmat – poistoilmalämpöpumppu

Rakennuksen bruttopinta-ala	1910	m ²				
Energiankulutukset						
Kaukolämpö	74	MWh				
Sähkö	74000	kWh				
Energian hinnat						
Kaukolämpö	75	€/MWh				
Sähkö	0,14	€/kWh				
Laskentakorkokanta						
	4	%				
Inflaatio						
Inflaatiokorjattu korko	1	%				
	3	%				
Tarkastelu aika						
	20	Vuotta				
Huoltokustannukset						
Vuosittain toistuvat	500	€				
Muut						
Aika nykyhetkestä	0	Vuotta				
Diskonttaustekijä F	1,000					
Kustannus toimenpidevuonna	5 000	€				
Tarkastelu						
	1	2	3	4	5	6
Alkuinvestointi	50 000 €	90 000 €	130 000 €	50 000 €	90 000 €	130 000 €
Eskalaatio	1 %	1 %	1 %	6 %	6 %	6 %
Eskalaatiokorjattu korko	3 %	3 %	3 %	-2 %	-2 %	-2 %
Diskonttaustekijä F	14,9	14,9	14,9	24,6	24,6	24,6
Energiakustannusten nykyarvo						
Kaukolämpö	82 797 €	82 797 €	82 797 €	136 396 €	136 396 €	136 396 €
Sähkö	154 555 €	154 555 €	154 555 €	254 606 €	254 606 €	254 606 €
Huoltokustannusten nykyarvo						
Vuosittain toistuvat	7 519 €	7 519 €	7 519 €	7 519 €	7 519 €	7 519 €
Muut (yhteensä)	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €
Elinkaarikustannukset						
Yhteensä	299 871 €	339 871 €	379 871 €	453 520 €	493 520 €	533 520 €
Per bruttoneliö	157 €	178 €	199 €	237 €	258 €	279 €
Nykyhetki						
Vertailukustannukset	337 902 €	337 902 €	337 902 €	556 642 €	556 642 €	556 642 €
Keskimääräinen vuosisäästö						
Yhteensä	4 402 €	4 402 €	4 402 €	7 656 €	7 656 €	7 656 €
Per neliö	2 €	2 €	2 €	4 €	4 €	4 €
Takaisinmaksuaika	3	5	8	3	5	7