



Rakennusten taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantaminen

Alexi Karvinen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2024

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

KARVINEN, ALEKSI:

Rakennusten taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantaminen

Opinnäytetyö 46 sivua
Kesäkuu 2024

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rakennuksen taloteknisten järjestelmien energiatehokkuutta ja niiden parantamismahdollisuuksia. Työ rajoittui koskemaan ainoastaan LVI-talotekniikkaa. Energiatehokkuutta tutkittiin lämmityksen, ilmanvaihdon ja viemäröinnin osalta. Työssä sovellettiin teoriaa case-kohteeseen, jossa vertailtiin energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksia. Työn toimeksiantaja oli Äyräväinen Tampere Oy.

Case-kohde oli Tampereella sijaitseva asuinkerrostalo, jossa on 42 asuntoa ja kauppatalo. Kohteessa on asuintiloissa koneellinen poistoilmanvaihto ja kauppatalossa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksia selvitettiin lämmitysjärjestelmissä ja ilmanvaihdossa. Työn tavoitteena oli myös tuottaa Äyräväinen Tampere Oy:lle Microsoft Excel -pohjainen työkalu, jolla tehdään kannattavuusvertailuja kohteisiin liittyviin taloteknisiin ratkaisuihin.

Tehdyn tutkimuksen perusteella voitiin todeta, että vertailussa olleilla ratkaisuilla saadaan aikaan merkittäviä energiasäästöjä. Parhaat energiansäästömahdollisuudet olivat ilmanvaihtokoneiden uusinnalla ja lämmitysjärjestelmän vaihtamisella energiatehokkaampaan.

Asiasanat: energiatehokkuus, lämmöntalteenotto, energia, lämpöpumppu

ABSTRACT

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

KARVINEN, ALEKSI:
Energy Efficiency Improvement of Technical Building Systems in Buildings

Bachelor's thesis 46 pages
June 2024

The purpose of this thesis was to investigate energy efficiency of technical building systems and potential improvements to the systems. The thesis was limited to concern only HVAC systems. Energy efficiency was studied in the context of heating, ventilation, and drainage. The theory was applied to an example site. The work was commissioned by Äyräväinen Tampere Oy.

The example site was a block of flats located in Tampere, consisting of 42 apartments and a commercial area. The building had mechanical exhaust ventilation in the residential areas and mechanical supply and exhaust ventilation in the commercial areas. The effects of improving energy efficiency were compared in different heating systems and ventilation. The aim of the work was also to produce a Microsoft Excel based tool for Äyräväinen Tampere Oy to conduct cost comparisons for building services solutions related to the case.

Based on the research conducted, it was concluded that the solutions compared achieved significant energy savings. The greatest energy-saving potential was found in the replacement of air handling units and the change of the heating system to a more energy-efficient one.

Key words: energy efficiency, heat recovery, energy, heat pump

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	ENERGIAN KÄYTTÖ JA ENERGIAEHOJKUUS	9
	2.1 Energian käyttö rakennuksissa Suomessa	9
	2.2 Energian käytön ohjaus.....	10
	2.3 Energiatehokkuus	10
	2.4 Ilmanvaihto.....	10
	2.4.1 Painovoimainen ilmanvaihto	11
	2.4.2 Koneellinen poistoilmanvaihto	12
	2.4.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	13
	2.5 Lämmitys.....	15
	2.5.1 Kaukolämpö	15
	2.5.2 Maalämpöpumppu.....	16
	2.5.3 Ilma-vesilämpöpumppu	18
	2.5.4 Poistoilmalämpöpumppu	20
	2.5.5 Öljylämmitys	21
	2.6 Jäteveden lämmöntalteenotto	22
3	ENERGIAEHOJKUUDEN TUTKIMINEN ESIMERKKIKOHTEESSA	24
	3.1 Esimerkkikohde.....	24
	3.1.1 Yleiset tiedot.....	24
	3.1.2 Lämmitysjärjestelmä	24
	3.1.3 Ilmanvaihto	24
	3.1.4 Käyttövesi.....	25
	3.2 Energiatehokkuuden parantaminen	25
4	EXCEL TYÖKALUN LUOMINEN JA TULOKSET	27
	4.1 Excel työkalu	27
	4.2 Lähtötiedot	27
	4.3 Ilmanvaihdon säästö	28
	4.3.1 Ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot	29
	4.3.2 Ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian nettotarpeen laskenta	30
	4.3.3 Ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutuksen laskenta ..	32
	4.3.4 Investoinnin kannattavuus	33
	4.3.5 Kustannussäästöt	34
	4.3.6 Kumulatiiviset elinkaarikustannukset	34
	4.4 Lämmitystapavertailu	35
	4.5 Kulutuksen normitus.....	36

4.6 Jäteveden LTO.....	37
5 TULOSTEN KÄSITTELY JA JOHTOPÄÄTÖKSET	39
5.1 Ilmanvaihto.....	39
5.2 Lämmitysjärjestelmät	41
6 POHDINTA	43
LÄHTEET.....	44

LYHENTEET JA TERMIT

CHP-laitos	Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos
COP	Lämpöpumpun lämpökerroin
EPBD	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi
EU	Euroopan unioni
LTO	Lämmöntalteenotto
LVI	Lämmitys, vesi/viemäri, ilmanvaihto
SCOP	Lämpöpumpun vuosihyötysuhde
SFP	Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho
SPF	Lämpöpumpun täydellinen vuosihyötysuhde

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus on noussut keskeiseksi teemaksi nykyaikaisessa rakentamisessa ja talotekniikassa. Energiakustannusten jatkaessa nousuaan on yhä tärkeämpää löytää ratkaisuja, jotka vähentävät energiankulutusta ja samalla ylläpitävät tai parantavat rakennusten mukavuutta ja toimivuutta.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään rakennuksen taloteknisten järjestelmien energiatehokkuutta ja sen parantamismahdollisuuksia. Opinnäytetyö käsittelee taloteknisistä järjestelmistä vain LVI- talotekniikan osuutta. Opinnäytetyön tavoitteena on käsitellä nykyaikaisia taloteknisiä järjestelmiä, sekä niihin liittyviä energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia. Tarkastelun kohteena ovat muun muassa lämmitys-, ilmanvaihto- ja käyttövesijärjestelmät, jotka vaikuttavat rakennusten energiatehokkuuteen. Opinnäytetyön tavoitteena on myös tuottaa laskentatyökalu tilaajalle, jolla vertaillaan erilaisia taloteknisiä ratkaisuja ja niiden kannattavuuksia.

Opinnäytetyön rakenne on jaettu osioihin, joissa käsitellään energiatehokkuutta ja energian käyttöä. Teoriaosuuden alussa esitellään energian käyttöä Suomessa. Tämän jälkeen tarkastellaan taloteknisiä järjestelmiä, sekä niiden energiatehokkuuksia ja energian käyttöä. Teoriaosuuden tarkoitus on tutkia energiatehokkuutta yleisellä tasolla. Työhön kuuluu osana esimerkkikohteen esittely ja erilaisten ratkaisujen vaikutuksen vertailu. Tutkimuksessa tarkoituksena on selvittää teoriaosuuden yleistä tietoa esimerkkikohteeseen. Lopuksi esitetään johdopäätökset, jotka perustuvat saatuun tietoon ja analyysiin.

Opinnäytetyön tilaajana toimi insinööritoimisto Äyräväinen Tampere Oy. Tilaajalla oli tarve työkalulle, jolla kohteeseen tehtäviä erilaisia ratkaisuja voidaan vertailla. Käytännön tarve tuotteesta on syntynyt tämänkaltaisen yhtenäisen työkalun puutteesta. Tilaajalle tuotettava työkalu tulee olemaan Microsoft Excel pohjainen vertailutyökalu. Työkalun avulla tilaaja voi selvittää erilaisia kustannuslaskelmia kohteisiinsa. Tuotteesta halutaan selkeää, jota pystytään jatkojalostamaan ja jaka-

maan yrityksen työntekijöiden käyttöön. Työkalulla laskettavia asioita ovat ilmanvaihdon säästöpotentiaali, lämmitysenergian kulutuksen normitus, jäteveden lämmöntalteenoton kannattavuus ja lämmitystapavertailu.

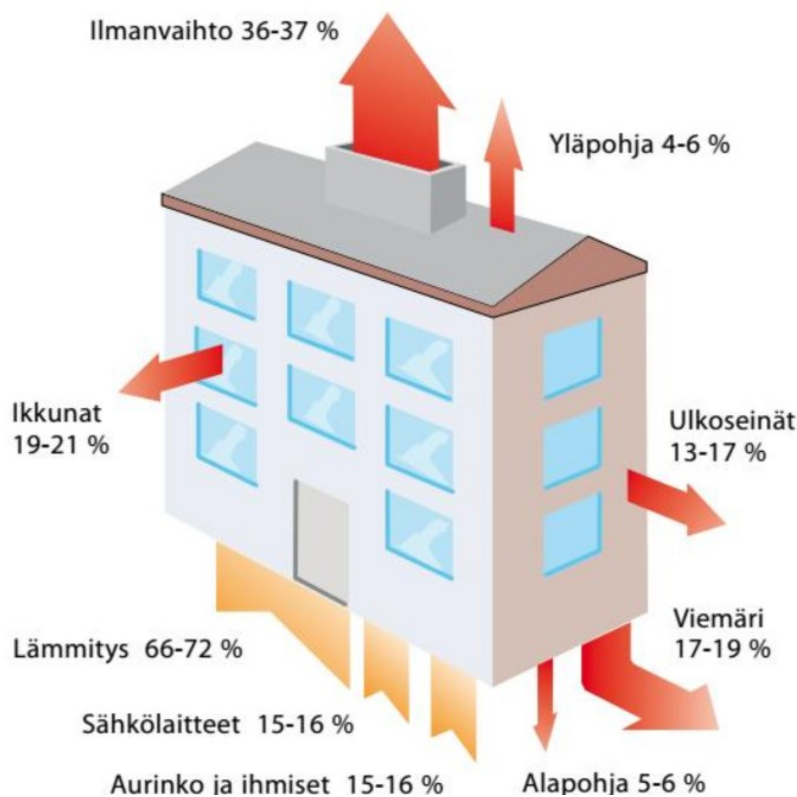
Esimerkkikohteena opinnäytetyössä käytetään 1992 vuonna rakennettua kerrostaloa, joka sijaitsee Tampereella. Kohdetta käsitellään tarkemmin luvussa 3.

2 ENERGIAN KÄYTTÖ JA ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Energian käyttö rakennuksissa Suomessa

Rakennukset käyttävät ison osan Suomen energian loppukäytöstä. Motivan tilastojen mukaan rakennusten käyttämä osuus kaikesta energiasta on noin 40 prosenttia. Olemassa olevien rakennusten korjausrakentaminen on suuressa merkityksessä energian käytön hillitsemisessä. Rakennuskannan energiatehokkuuteen kohdistuvat vaikutukset uudisrakentamisen myötä paljastuvat vasta pidemmällä aikavälillä. (Motiva 2022.)

LVI-talotekniikan puolesta energian kulutus rakennuksissa muodostuu muun muassa lämmityksestä, jäähdytyksestä, ilmanvaihdosta ja vedenkulutuksesta. (Ympäristöministeriö n.d). Kuvassa 1 esitetään asuinkerrostalon lämpöenergiataseeseen vaikuttavia tekijöitä.



KUVA 1. Lämpöenergiatase 1960–1980-lukujen asuinkerrostaloissa (Virta & Pylsy 2011, 19)

2.2 Energian käytön ohjaus

EU:n alueella energian käyttöä ja energiatehokkuuteen liittyviä asioita rakennuksissa ohjataan rakennusten energiatehokkuusdirektiivillä (EPBD). EPBD:n historia saa alkunsa vuodelta 2003, jolloin astui voimaan ensimmäinen versio direktiivistä. Direktiivistä on tullut tämän jälkeen neljä versiota mukaan lukien uusin versio. Uusimman version direktiivistä on tarkoitus vähentää energian loppukulutusta ja kasvihuonepäästöjä rakennuksissa vuoteen 2030 mennessä. Direktiivillä haetaan myös pitkän aikavälin tavoitetta rakennuksille, mikä on EU:n ilmastoneutraalius vuoteen 2050 mennessä. (Ympäristöministeriö 2023.)

Uuden EPBD:n vaikutus Suomen lainsäädäntöön on merkittävä. Se aiheuttaa muutoksia muun muassa rakentamislakiin, rakennusten energiatodistuslakiin, rakennusten energiatodistustietojärjestelmälakiin, automaatio- ja ohjausjärjestelmälakiin sekä erilaisiin uudis- ja korjausrakentamista sekä energiatehokkuutta koskeviin rakentamismääräyksiin. (Ympäristöministeriö n.d.)

2.3 Energiatehokkuus

Energiatehokkuudella tarkoitetaan energiankulutuksen pienentämistä ja kustannussäästöjen tuottamista. Energiatehokkuudella tavoitellaan näiden lisäksi hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Energiatehokkuudella on yleensä myös positiivinen vaikutus asuinmukavuuteen. (Energiavirasto n.d.)

Talotekniikassa energiatehokkuuteen vaikuttaa suuresti järjestelmien säätö- ja huoltotoimenpiteet sekä käyttötottumus. Energian säästön kannalta merkittävää on järjestelmien toiminta suunnitellulla tavalla. (Kiinteistölehti 2023.)

2.4 Ilmanvaihto

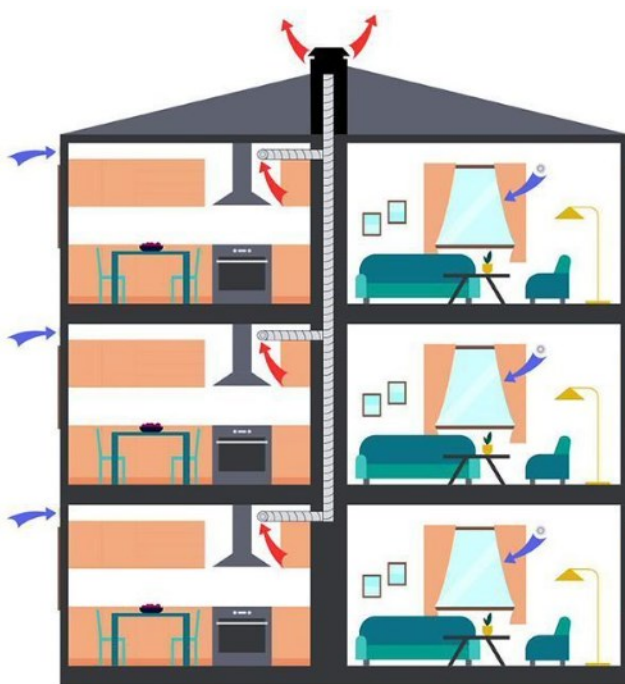
Ilmanvaihdon tarkoituksena rakennuksissa on varmistaa terveellinen ja viihtyisä sisäilma. Ilmanvaihdon merkitys energiankulutukseen on huomattava, mutta ku-

lutusta pystytään säätämään varmistamalla ilmanvaihdon energiatehokas toimiminen. Ilmanvaihdon energiankulutukseen vaikuttavat tekijät riippuvat ilmanvaihtojärjestelmästä. (Motiva 2012, 5.)

2.4.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto toimii siten, että lämpimämpi ilma virtaa ylöspäin, koska se on kevyempää kuin kylmä ilma. Tämä syntyy ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen aiheuttamasta paine-erosta. Painovoimainen ilmanvaihto toimii tehokkaimmillaan kylminä vuodenaikoina, jolloin lämpötilaerojen vaikutus on suurimmillaan, kun taas lämpiminä vuodenaikoina sen toiminta on heikompaa.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa menee hukkaan energiaa poistoilman mukana, koska lämmöntalteenottoa ei ole. Asunnon ilmaa poistetaan poistoilmaventtiileillä keittiöstä, kylpyhuoneesta, WC:stä ja vaatehuoneesta, joita kutsutaan myös likaisiksi tiloiksi. Oleskelutiloihin tuodaan ilma korvausilmaventtiilien kautta ikkunoiden yhteydestä tai seinästä. Ilmaa voidaan tuoda myös ikkunoiden tiivisteisiin jätettyjen rakojen kautta. (Motiva 2023.) Toimintaperiaate painovoimaisesta ilmanvaihdosta esitetty kuvassa 2.



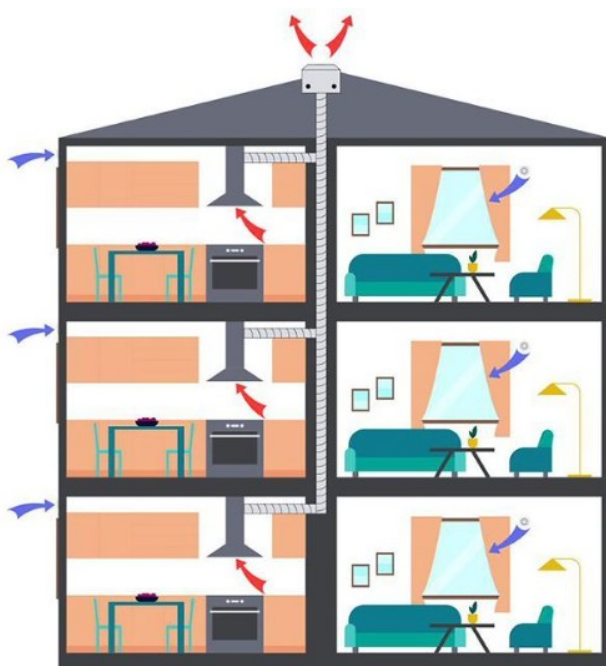
KUVA 2. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Motiva 2023.)

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa energiankulutus muodostuu lämmitysenergian tarpeesta. Huonetilaan johdettava ilma täytyy lämmittää, joten varsinkin talvikuukausina energiankulutukseen voidaan vaikuttaa. Talvella painovoimainen ilmanvaihto toimii jopa liian tehokkaasti johtuen isosta lämpötilaerosta ulko- ja sisäilman kanssa. Jos käytettävät venttiilit ovat liian auki, tulee venttiileistä tarpeeseen nähden liikaa ilmaa. Säättämällä venttiileitä tiukemmalle talvikuukausina, voidaan säästää lämmitysenergiaa n.1000 kWh/vuosi. Lämmitysenergian säästö perustuu 160 mm ilmanvaihtokanavassa olevaan venttiiliin, jota tiukennettaisiin 30 mm:stä 10 mm:iin. (Motiva 2012, 2.)

2.4.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa puhaltimet poistavat ilmaa poistoilmaventtiilien kautta. Poistoilmaventtiileillä ilmaa poistetaan likaisista tiloista.

Korvausilma asuntoon tuodaan korvausilmaventtiileistä ikkunoiden yhteydessä tai seinästä. Myös ikkunan tiivisteisiin voidaan jättää korvausilmarakoja. Korvausilma tulisi tuoda makuuhuoneisiin ja olohuoneeseen, mistä se pääsee virtaamaan tiloihin, joissa on poistoilmaventtiilit. (Motiva 2023.) Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Motiva 2023.)

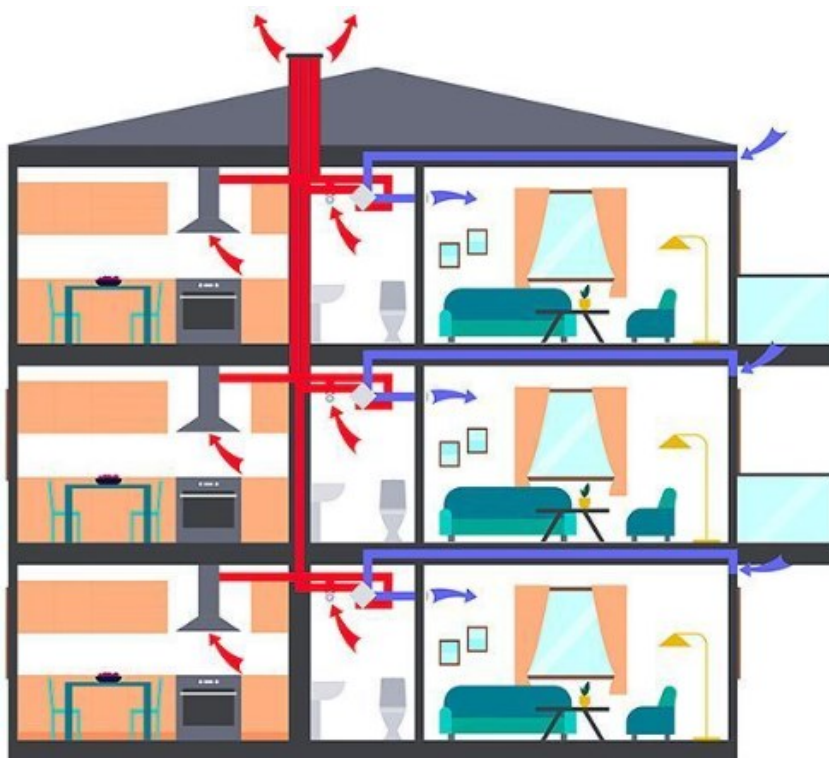
Koneellinen poistoilmanvaihto on toteutettu asuinkerrostaloissa usein keskitetynä. Tämä tarkoittaa, että yksi puhallin poistaa ilmaa esimerkiksi koko talosta tai rapusta. Tyypillisesti asuinkerrostaloissa koneellisen poistoilmanvaihdon tehoa ohjataan kello-ohjauksella. Tyypillisesti kello-ohjauksessa ilmanvaihto toimii osittaisella teholla suurimman osan päivästä, ja täysi teho otetaan käyttöön vain muutaman tunnin ajan aamulla, päivällä ja illalla. Tämä voi johtaa ongelmiin esimerkiksi makuuhuoneiden ilmanlaadussa yöllä sekä ruoanvalmistuksen aiheuttamien hajujen poistamisessa, mikäli ruoanlaittoaika ei osu yhteen ilmanvaihdon tehostettujen jaksojen kanssa. Ilmanvaihdon ohjaus voidaan toteuttaa myös siten, että tehoa voidaan säätää liesikuvussa olevasta ohjauskytkimestä.

Alkuperäisesti koneellisessa poistoilmanvaihdossa ei ole ollut lämmöntalteenottoa. Lämmöntalteenoton puuttuminen johtaa poistoilmassa olevan energian hukkaan menemisen poistoilman mukana. (Motiva 2023.)

2.4.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

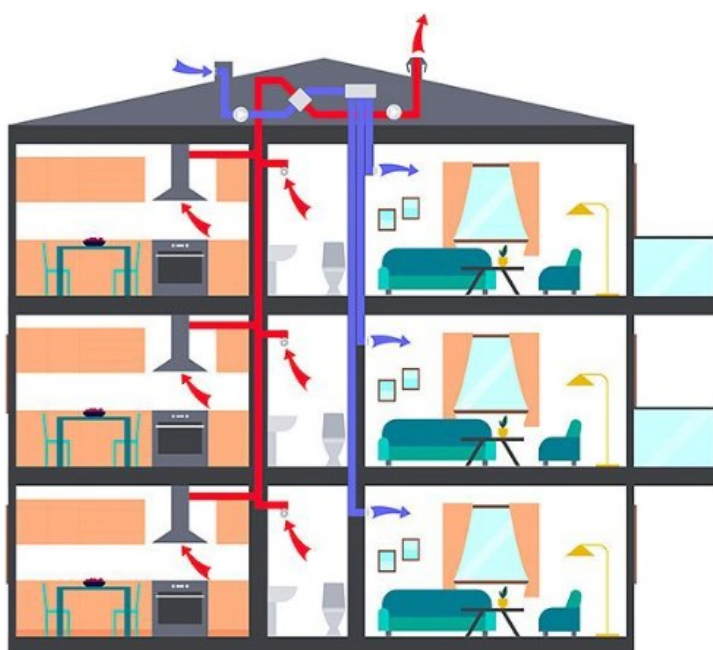
Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilman poisto ja tuonti tehdään puhalltimilla, eli käytännössä ilmanvaihtokoneella. Tuloilma johdetaan asuintiloihin, kuten olohuoneeseen ja makuuhuoneisiin, kun taas poistoilma poistetaan likaisista tiloista.

Asuinkerrostalossa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voidaan toteuttaa joko keskitetysti tai huoneistokohtaisesti. Huoneistokohtaisessa järjestelmässä ilmanvaihtokone yleensä sijaitsee kunkin asunnon pesutilassa ja palvelee vain kyseistä asuntoa. Tällöin ilmanvaihdon määrää voi säätää joko suoraan ilmanvaihtokoneen tai liesikuvun yhteydessä olevalta tai erilliseltä ohjauspaneelilta. Ilmanvaihdon määrää säädetään tyypillisesti tarpeen mukaan. Ilmanvaihdon tehokkuudesta käytetään esimerkiksi kosteuden poistamiseen tai asunnon viilentämiseen yöaikaan (Motiva 2023.). Periaatekuva huoneistokohtaisesta koneellisesta tulo- ja poistoilmanvaihdosta esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Huoneistokohtainen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (Motiva 2023.)

Keskitettyssä koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilmanvaihtokone on sijoitettu rakennuksen katolle tai ullakkotilaan. Ilmanvaihtokone palvelee kaikkia huoneistoa yhteisesti (Motiva 2023). Periaatekuva keskitetystä koneellisesta tulo- ja poistoilmanvaihdosta esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Keskitetty koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (Motiva 2023.)

Energiatehokkuuden kannalta hyödyllistä koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa on lämmöntalteenotto, jonka avulla saadaan esilämmitettyä tuloilmaa poistoilman sisältämän lämpöenergian avulla (Motiva 2023.). Energian kulutusta pienentäessä merkittäviä asioita ovat tarpeen mukainen käyttö, lämmöntalteenoton kesä- ja talviasento, tuloilman lämpötila ja kunnossapito.

Koneellisen ilmanvaihdon energiankulutus muodostuu tuloilman lämmittämiseen tarvittavasta lämmitysenergiasta ja ilmanvaihtokoneen vaatimasta sähköenergiasta, joka kuluu puhaltimen käyttöön. (Motiva 2012, 2, 3, 4.)

2.5 Lämmitys

2.5.1 Kaukolämpö

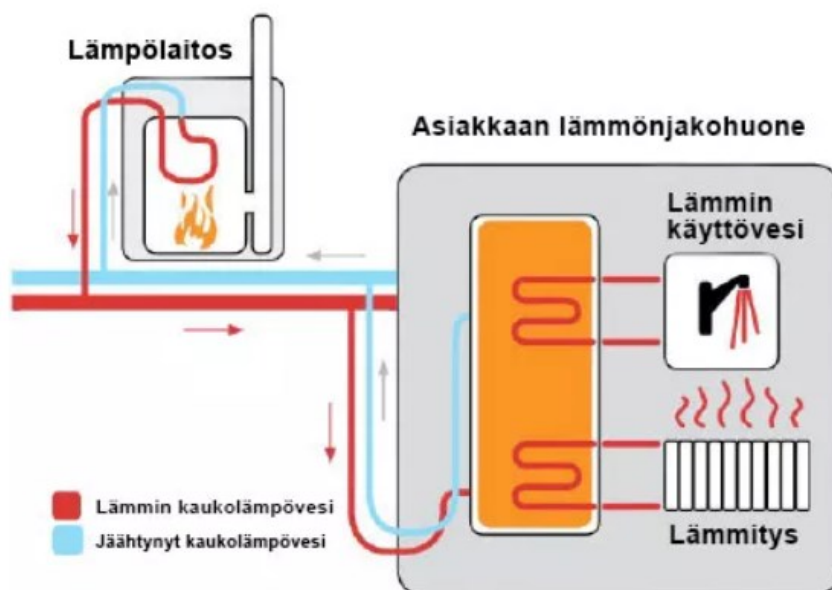
Suomessa yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Suomi on kaukolämmön tuotannossa edelläkävijä ja myös väkilukuun suhteutettuna kaukolämmön tuotanto on Pohjoismaiden suurin. (Energiateollisuus n.d.)

Kaukolämpöä tuotetaan erilaisissa tuotantolaitoksissa. Tuotantolaitoksissa kaukolämpö tuotetaan joko yhdessä sähkönsä kanssa tai pelkästään lämpönä (Energiateollisuus n.d.). Tuotantolaitosta, jossa tuotetaan lämpöä sekä sähköä kutsutaan nimellä CHP-laitos. CHP-lyhenne tulee englannin kielestä sanoista combined heat and power, mikä tarkoittaa yhdistettyä lämpöä ja sähköä (Biovoima n.d.). CHP-laitoksen yhteistuotannolla saavutetaan korkeammat hyötysuhteet kuin erillistuotannolla, mikä tarkoittaa energiatehokkaampaa järjestelmää. (Motiva 2012, 6.)

Tuotannon toimintaa varmistetaan useammalla kaukolämmön tuotantolaitoksella kaukolämpöverkkoa kohden. Tällä voidaan varmistua kaukolämmön lämmöntuotannosta vuodenajasta sekä huolto- ja häiriötilanteista riippumatta.

Kaukolämmön tuotantolaitoksissa polttoaineina käytetään yleisesti puu- tai biomassaa, kivihiiltä, maakaasua, turvetta, jätettä tai öljyä. Käytettävä polttoaine riippuu paikkakunnasta ja tuotantolaitoksesta. Tuotantotapoina ovat yleistymässä myös lämpöpumput ja hybridiratkaisut. Hybridiratkaisu tarkoittaa käytännössä, että vähintään osa kaukolämmöstä tuotetaan muulla tavalla kuin polttamalla. Esimerkiksi erilaisia ylijäämälämpöjä voidaan käyttää kaukolämpönä lämpöpumppujen avulla. (Energiateollisuus n.d.)

Kaukolämmön toiminta perustuu kaukolämpöverkossa kiertävään veteen. Veden mukana siirretään asiakkaalle lämpöenergiaa, joka siirretään kaukolämpöverkosta lämmönsiirtimien avulla käyttöön. Kaukolämpövesi jäähtyy asiakkaan lämmönsiirtimissä, joista se siirtyy uudelleen lämmitettäväksi kaukolämmön tuotantolaitokseen (Motiva 2012, 5). Kuvassa 6 on esitetty kaukolämmön toimintaperiaate.

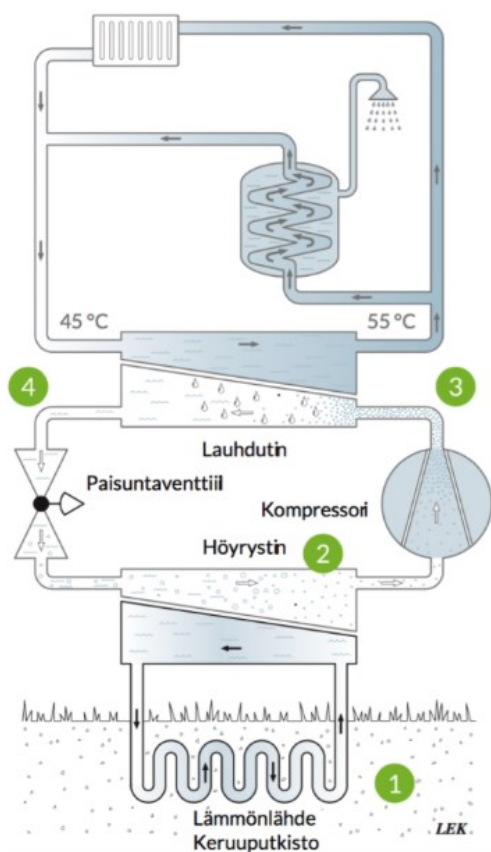


KUVA 6. Kaukolämmön toimintaperiaate (Kangasalan Lämpö n.d.)

2.5.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpun avulla kerätään lämpöenergiaa, joka on varastoitunut maaperään, kallioon tai veteen. Lämpöenergia varastoituu joko auringosta tai geotermisenä. (Motiva 2022.). Maalämpö on uusiutuvaa energiaa.

Maalämpöä hyödynnetään lämmönkeräyspiireillä, jotka ovat yleensä maahan porattavia lämpökaivoja. Lämmönkeräyspiiri voidaan toteuttaa myös vaaka-asenuksena maaperään noin metrin syvyyteen tai upottamalla vesistön pohjaan painojen avulla. Lämpökaivon syvyys on yleensä noin 100–350 metriä syvä. Lämmönkeräyspiirissä kiertää lämmönkeruuneste, joka on yleensä 70 % vettä ja 30 % bioetanolia. Seoksella saadaan aikaan alhaisempi jäätymispiste kuin pelkällä vedellä. Lämmönkeräyspiirissä neste lämpiää maaperään varastoituneesta lämpöenergiasta, josta se kierrätetään maalämpöpumpulle. Maalämpöpumpussa keruuneste tuodaan höyrystimelle, jonka avulla kerätty lämpöenergia saadaan siirrettyä kylmäaineeseen. Höyrystimessä oleva kylmäaine kaasuuntuu ja lämpiää. Höyrystimeltä kylmäaine vietään kompressorille, jossa sen paine ja lämpötila nousee. Tämän jälkeen kylmäaine siirtyy lauhduttimelle, jossa lämpöenergia siirretään lämmönjakojärjestelmään. Lauhduttimessa kylmäaine muuttuu takaisin nestemäiseksi ja siirtyy paisuntaventtiin kautta takaisin höyrystimelle, josta kiertäminen alkaa uudelleen. Tämän tuloksena saadaan maalämpöä käytettäväksi talon lämmitysjärjestelmään. (Thermia n.d.) Kuvassa 7 on esitetty havainnekuva maalämmön toiminnasta.



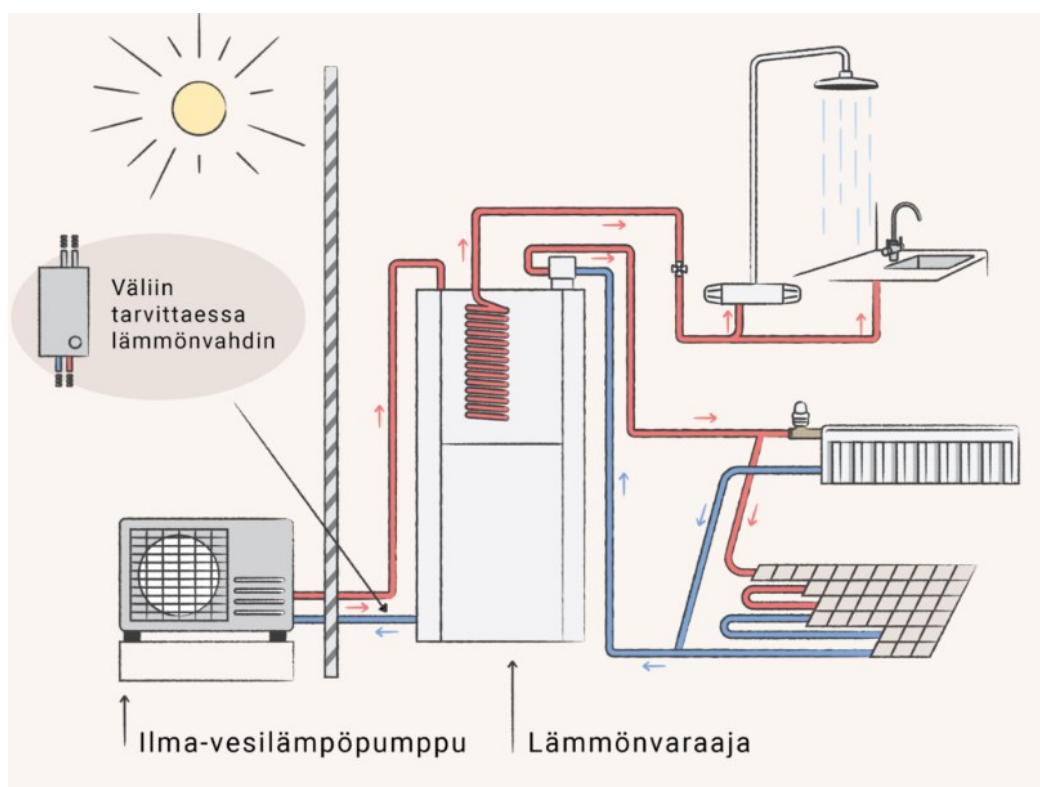
KUVA 7. Havainnekuva maalämmön toiminnasta (Suomen Vesitekniikka n.d.)

Maalämpöpumpun tehokkuutta voidaan esittää usealla eri tavalla. Näitä ovat COP, SCOP ja SPF-arvo. COP eli lämpöarvo kertoo kuinka paljon lämpöenergiaa voidaan tuottaa suhteessa sähkön kulutukseen. Esimerkiksi lämpöarvo 4 tarkoittaa, että lämpöenergiaa saadaan tuotettua neljä kertaa enemmän sähköenergian kulutukseen verrattuna. SCOP eli vuosihyötysuhde tarkoittaa lämpöpumpun tehokkuutta laskettuna koko vuodelle. SCOP ei huomioi lämpimän veden energiantarvetta, vaan sillä otetaan huomioon ainoastaan tilojen lämmitys. SCOP arvon avulla voidaan arvioida energiankulutusta paremmin kuin COP arvolla, koska siihen on otettu huomioon vuodenaikojen vaihtelut. SPF arvo eli täydellinen vuosihyötysuhde laskee hyötysuhteen koko vuodelle, kuten SCOP arvo. Toisin kuin SCOP arvo, SPF arvo ottaa huomioon myös lämpimänvedentuotannon. SPF arvon saamiseksi täytyy tehdä lämpöpumpulle erillinen laskelma. (Thermia n.d.)

2.5.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ulkoilmassa on runsaasti auringosta peräisin olevaa uusiutuvaa lämpöenergiaa. Ilma-vesilämpöpumppua käyttämällä pystytään siirtämään lämpöenergiaa ulkoilmasta vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpun avulla on mahdollista lämmittää sekä kiinteistön tilat että käyttövesi. Toimintaperiaatteeltaan ilma-vesilämpöpumppu on samanlainen kuin ilmalämpöpumppu, mutta ilman sijasta lämpöenergia siirretäänkin veteen.

Ilma-vesilämpöpumpun prosessi alkaa ulkoyksikössä, jossa ulkoilma imetään höyrystimeen. Höyrystimessä kylmäaineeseen siirretään lämpöenergiaa ulkoilmasta. Höyrystimeltä kylmäaine vieään kompressorille, jossa se altistuu paineelle ja lämpenee. Kaasuuntunut kylmäaine luovuttaa lämpöenergian lauhduttimen kautta lämmitysjärjestelmän veteen, josta se siirtyy takaisin prosessiin. Lämmitysjärjestelmän vedellä tuotetaan lämmintä käyttövettä ja lämmitysvettä lämmitysjärjestelmään (Lämpöpartio n.d). Kuva 8 esittää ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaatetta.



KUVA 8. Periaatekuva ilma-vesilämpöpumpun toiminnasta (Hiilihelppi n.d.)

Ilma-vesilämpöpumput voidaan jakaa pääasiassa kahden tyyppiin laitteisiin: split- ja monoblock-laitteisiin. Split-laite tarkoittaa lämpöpumppua, jossa kylmäkoneisto on jaettu ulko- ja sisäyksikköön. Yksiköiden välillä kiertää kylmäaine. Monoblock-laitteet koostuvat ulkoyksiköstä ja sisällä olevasta varaajasta. Varaajia voi olla myös useampia. Monoblock-laitteissa ulkoyksikön ja varaajan välillä kiertää ainoastaan vesi. Näiden laitteiden lisäksi on olemassa myös kokonaan sisälle asennettavia ilma-vesilämpöpumppuja. Tällaisten mallien asennuksessa laite asennetaan kokonaisuudessaan sisätiloihin ja sille tehdään ilmanotto- sekä ilmanpoistoaukot. (Lämpöpartio n.d.)

Ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde riippuu tuotettavan lämmitysveden lämpötilasta. Korkeammalla menoveden lämpötilalla on yleensä heikentävä vaikutus lämpöpumpun hyötysuhteeseen ja antotehoon. Tämän takia ilma-vesilämpöpumppua olisi energiatehokkaampaa käyttää vesikiertoisten patterien sijaan lattialämmitysjärjestelmässä. Useimmissa ilma-vesilämpöpumpuissa huomioitava asia on lämmöntuotannon ongelmallisuus yli 55 asteen lämpötiloissa. Useimmiten tällöin veden lämpötilaa nostetaan vesivaraajassa sähkövastuksen avulla.

Ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde riippuu myös ulkolämpötilasta. Jopa -15 – -30 celsiusasteen ulkolämpötilassa hyötysuhde ja antoteho heikkenee merkittävästi. Ilma-vesilämpöpumput saattavat sammuttaa itsensä automaattisesti, jos on tarpeeksi alhainen ulkolämpötila. Tämän takia laitteen sähkövastus tai toinen lämmityslaite on oltava tehoiltaan vähintään yhtä suuri kuin ilma-vesilämpöpumppu. (Motiva 2023.)

2.5.4 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu on ratkaisu, millä otetaan lämmitysenergiaa talteen talosta poistettavasta ilmasta. Pumpulla siirretään lämpöenergiaa tarpeen mukaan tuloilmaan, lämpimään käyttövedeen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Poistoilmalämpöpumpulla ei pysty tuottamaan tarpeeksi lämmitysenergiaa rakennuksen tarpeisiin. Useimmiten tarvittavaa lisälämpöenergiaa saadaan lämpöpumpun vesivaraajan sähkövastuksella, jota käytetään tilojen tai käyttöveden lämmitykseen. Lisälämmitysenergiaa tiloihin voidaan kuitenkin tuottaa esimerkiksi ilmalämpöpumpulla tai puulämmityksellä. Joissain poistoilmalämpöpumpun malleissa tuotetaan käyttöveden sekä tuloilman lämmitys kompressorin avulla, tämän takia tilojen lämmitys tapahtuu sähkövastuksilla. Alhaisilla ulkolämpötiloilla voidaan puulämmityksellä pienentää sähköenergian kulutusta. (Motiva 2022.)

Poistoilmalämpöpumpussa prosessi alkaa poistoilman kulkemisesta lämpöpumpun höyrystimen läpi. Höyrystimen läpi kulkevaan kylmäaineeseen siirretään lämpöenergia poistoilmasta. Kylmäaineen lämpöenergia luovutetaan lauhduttimen kautta haluttuun paikkaan. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin ilma-vesilämpöpumpun tai ilmalämpöpumpun. (Energy center n.d.)

Poistoilmalämpöpumppua voidaan käyttää monipuolisesti erilaisissa rakennuksissa. Sen hankkiminen on kannattavaa erityisesti, kun sisätilavuus on suuri lämmitystarpeeseen nähden. Matalaenergia- tai passiivitaso uudistaloihin poistoilmalämpöpumppu on järkevä ratkaisu, niiden pienen lämmitysenergiatarpeen

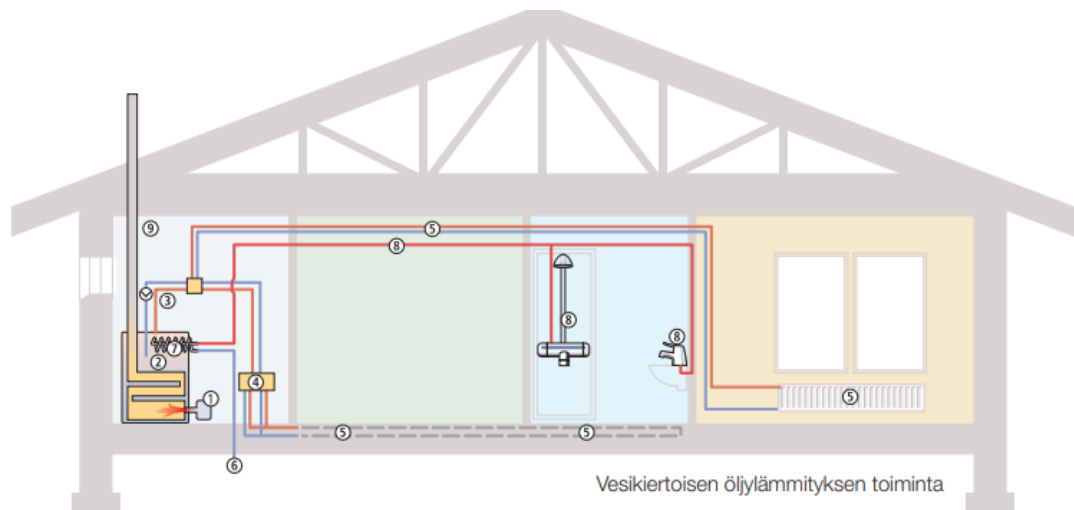
vuoksi. Ilmanvaihdon sekä poistoilmalämpöpumpun mitoitus suunniteltaessa järjestelmää on tärkeä asia, koska lämmöntalteenoton toiminta vaatii tarpeeksi tehokkaan ilmanvaihdon.

Poistoilmalämpöpumpulle saadaan paras hyötysuhde, kun sitä käytetään matalalämmitysverkostossa esimerkiksi lattialämmityksessä (Motiva 2022.). Poistoilmasta pystytään yleensä ottamaan talteen noin 60–70 % energiasta. Tämä edellyttää tarpeeksi tehokasta ilmanvaihtoa. Lisäksi mitä enemmän talossa on käytössä sähkölaitteita ja valaistusta, sitä suurempi mahdollisuus on saada talteen enemmän energiaa. (Energiatehokas koti 2020.)

2.5.5 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmät koostuvat kattilasta, polttimesta, savuhormista ja säätö- sekä hallintalaitteista. Näiden avulla öljylämmityksellä tuotetaan lämpöenergiaa. Lämpöenergiaa jaetaan vesikiertoisen lämmönjaon kautta.

Öljylämmityksessä lämpöenergia tehdään öljykattilalla. Öljykattilassa oleva poltin polttaa öljyä, jolloin öljykattilassa oleva vesi lämpiää. Lämmennyttä vettä siirretään lämmönjakoon kiertovesipumpun avulla. Lämmin käyttövesi lämmitetään erikseen lämminvesikierukassa, joka on öljykattilassa. Lämminvesikierukasta lämmin käyttövesi siirretään käyttöön. Savuhormin avulla siirretään palokaasut pois (Öljylämmittäjän palveluopas 2010, 2,3). Öljylämmityksen toimintaperiaate esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Öljylämmityksen toimintaperiaate (Öljylämmittäjän palveluopas 2010, 3.)

Nykyaikaisten öljykattiloiden avulla päästään erittäin hyvään noin 90–95 % hyötysuhteeseen. Palaminen nykyaikaisissa kattiloissa on erittäin puhdasta. Kattilatekniikan kehityksen myötä on tullut myös kondenssikattiloita, joilla voidaan päästä yli 100 % hyötysuhteeseen. Kondenssikattiloiden 100–110 % hyötysuhteeseen verrattuna öljyn lämpöarvoon päästään, kun hyödynnetään öljyn polttamisen lisäksi savukaasujen lämpöenergia. (Energiatehokas koti 2020.)

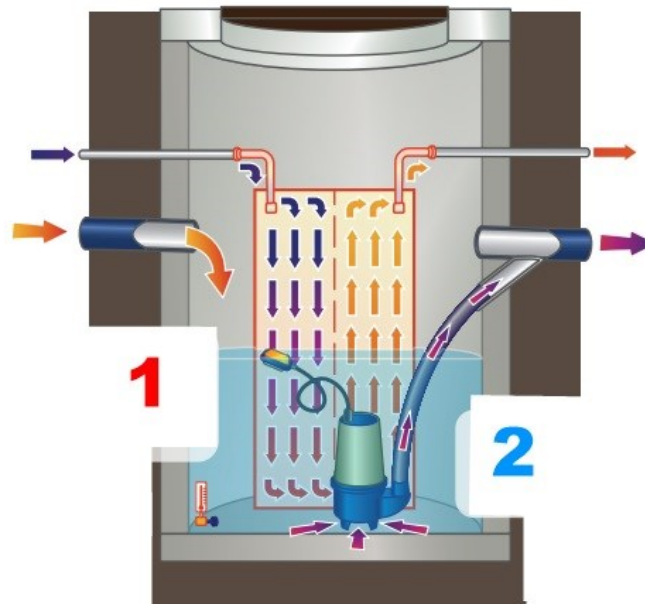
2.6 Jäteveden lämmöntalteenotto

Käyttöveden lämmittämiseen kulutetaan energiaa huomattava määrä asuin- ja liikekiinteistöissä sekä julkisissa rakennuksissa. Rakennuksen lämmitysenergiasta käytetään jopa kolmasosa käyttöveden lämmittämiseen. (Finess Energy n.d.)

Viemäriin voi päätyä hukkaan jopa +30 asteista vettä, josta kannattaisi ottaa lämpöenergiaa talteen. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä on hyvä ratkaisu tällaisen hukkalämmön talteen ottamiseen. Jätevedestä voidaan kerätä lämpöenergiaa LTO-yksikön avulla. Lämpöenergiaa voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä lämpöpumpun avulla. Kerättyä hukkalämpöä käytetään käyttöveden lämmityksessä tai rakennuksen lämmönjaossa.

Jäteveden lämmöntalteenottoyksikkö asennetaan yleensä rakennuksen perusmuurin ulkopuolelle tonttiviemäriin ennen kunnallisen jätevesiverkoston liitospistettä. Uudiskohteissa LTO-yksikkö asennetaan rakennusvaiheessa, saneerauskohteissa tonttiviemäri katkaistaan ja LTO-yksikkö asennetaan katkaistuun kohtaan.

Jäteveden LTO-yksikön rakenteita on erilaisia. Rakenne voidaan tehdä esimerkiksi sisäkkäisistä haponkestävistä teräsputkista, joista sisemmässä putkessa virtaa jätevesi ja ulommassa putkessa lämmönkeruuneste. Rakenne voi olla myös kaivoon yhdistettynä lämmönvaihtimen kanssa. Molemmissa rakenteissa lämpöenergia kerätään lämmönkeruunesteeseen. Lämmönkeruunesteeseen voidaan kerätä lämpöenergiaa jopa niin paljon, että jätevesi saadaan jäähtymään +8 asteeseen. Jäteveden LTO on mahdollista liittää myös maalämpöjärjestelmään, jonka avulla saadaan maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta nostettua korkeammaksi. (Tom Allen Senera n.d.) Kuvassa 10 on esitetty periaatekuva eräänlaisesta jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmästä. Kuvassa vasemmalta tulee lämmin jätevesi, joka pumpataan lämmön luovutuksen jälkeen eteenpäin. Lämpöenergia jätevedestä otetaan talteen lämmönvaihtimella.



KUVA 10. Periaatekuva eräänlaisesta jäteveden lämmöntalteenotosta (Profil n.d.)

3 ENERGIATEHOKKUUDEN TUTKIMINEN ESIMERKKIKOhteESSA

3.1 Esimerkkikohte

3.1.1 Yleiset tiedot

Tutkimuksen esimerkkikohteena käytetään 1992 vuonna rakennettua kerrostaloa. Kerrostalo sijaitsee Tampereella ja se on 7-kerroksinen, jossa on 42 asuntoa. Kohteen asuintilat sijaitsevat 2–7. kerroksissa ja 1 kerroksessa on kauppatila. Pinta-alaa asuintiloilla on 4150 m². Kauppatilan pinta-ala on 724 m².

3.1.2 Lämmitysjärjestelmä

Kohteen lämmitysjärjestelmä on öljylämmitys. Öljylämmityksellä hoidetaan kohteen tila-, ilmanvaihdon- ja käyttöveden lämmitys. Öljylämmitys on kohteen alkuperäinen lämmitysjärjestelmä vuodelta 1992. Öljykattilan hyötysuhteeksi on arvioitu 85 %. Lämmönjakotapa on vesikiertoinen patterilämmitys. Verkoston lämpötilat ovat menovedelle 70 °C ja paluuvedelle 40 °C. Öljynkulutukset viimeisiltä kolmelta täydeltä kalenterivuodelta esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Öljyn kulutus esimerkkikohteessa.

Vuosi	Kulutus (dm ³ /vuosi)
2021	62 500
2022	58 600
2023	60 100

3.1.3 Ilmanvaihto

Kohteen asuintiloissa ilmanvaihtojärjestelmänä toimii koneellinen poistoilmanvaihto. Järjestelmä on alkuperäinen vuodelta 1992. SFP-luvuksi poistoilmakoneelle on ilmoitettu 1,94 kW/m³/s. Poistoilmakoneen mitoitusilmamäärä on

1,26 m³/s. Poistoilmakonetta ohjataan kello-ohjauksella, jolloin kone on ohjattu täydelle teholle kello 06.00–09.00 ja 17.00–21.00 sekä muina aikoina poistoilmakone on ohjattu puolelle teholle.

Kauppatalon ilmanvaihtojärjestelmänä toimii koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Ilmanvaihdon mitoitusilmavirraksi on ilmoitettu 1,2 m³/s. Ilmanvaihtokonetta ohjataan kello-ohjauksella, ohjaus on täydellä teholla kello 07.00–21.00 ja puolella teholla muina aikoina. SFP-luvuksi ilmanvaihtokoneelle on ilmoitettu 2,7 kW/m³/s Järjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi on ilmoitettu 42 %. Ilmanvaihtokoneen tuloilma lämmitetään vesikiertoisella lämmityspatterilla, jossa kiertää kohdassa 3.1.2 mainittu öljykattilan lämmitysvesi.

3.1.4 Käyttövesi

Kohteen lämminkäyttövesi tuotetaan öljykattilalla. Lämpimän käyttöveden kulutus kolmelta viimeiseltä kolmelta täydeltä kalenterivuodelta on ilmoitettu taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Lämpimän käyttöveden kulutus.

Vuosi	Kulutus (m ³)
2021	3020
2022	2800
2023	3066

3.2 Energiatohokkuuden parantaminen

Tässä osiossa tarkastellaan case-kohteeseen tehtäviä energiatohokkuuden parantamiskeinoja. Vertailua suoritetaan luvussa 4 käsiteltävällä Excel-laskurilla. Energiatohokkuuden parantamiseen tarkastellaan ilmanvaihtokoneiden ja lämmitysjärjestelmän uusimista.

Ilmanvaihdon energiatehokkuutta parantaessa vertaillaan asuntojen ilmanvaihtoa hoitavaa poistoilmakonetta ja asuntokohtaisia ilmanvaihtokoneita. Asuntokohtaisiksi ilmanvaihtokoneiksi valittiin pyörivällä lämmöntalteenotolla varustetut tulo- ja poistoilmavaihtokoneet. Asuntokohtaisten ilmanvaihtokoneiden investointiarvioksi saatiin 344 000 €. Kauppatilan ilmanvaihtokoneeksi verrataan uutta ilmanvaihtokonetta paremmalla lämmöntalteenotolla ja pienemmällä SFP-luvulla. Kauppatilan uuden ilmanvaihtokoneen investointiarvioksi saatiin 40 000 €.

Lämmitysjärjestelmien energiatehokkuutta tarkasteltaessa, vertaillaan nykyistä öljylämmitystä maalämpöpumppuun ja kaukolämpöön. Investointihintoina maalämpöpumpulle käytettiin 310 000 € ja kaukolämmölle 75 000 €. Energiahintoina kaukolämmölle käytettiin 58,2 €/MWh, öljylle 107 €/MWh ja sähköenergialle 150 €/MWh.

Kustannussäästöjä laskettaessa tarkasteluvälinä käytetään 25 vuotta. Laskentakorkokantana käytetään 3 prosenttia.

4 EXCEL TYÖKALUN LUOMINEN JA TULOKSET

4.1 Excel työkalu

Tässä luvussa käsitellään Microsoft Excel pohjaisen työkalun luomista. Laskuri luodaan ratkaisemaan tarvittavia laskelmia erilaisiin kohteisiin. Laskuria sovelletaan tässä opinnäytetyössä käytettävään case- kohteeseen. Case- kohteesta tehdään laskelmia ja yhteenveto saaduista tuloksista.

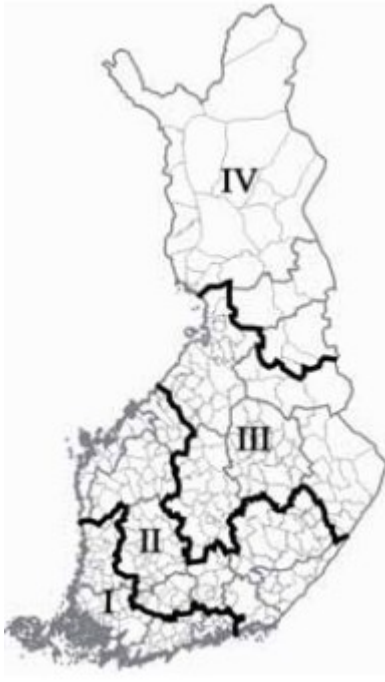
Työkalusta on tarkoitus luoda helppo ja vaivaton tarkastelutyökalu, jota voidaan käyttää yrityksen henkilökunnan toimesta. Työkalu tulee olemaan käytössä niin nopeassa tarkastelussa kuin laajemmissa tarkasteluissa. Laskelmia työkalun avulla on tarkoitus tehdä yleensä projektien alussa, jolloin on tärkeää tarkastella esimerkiksi ratkaisujen energiatehokkuutta. Työkalu soveltuu saneerauskohteen ja uudisrakennuksen taloteknisten ratkaisujen vertailuun.

Työkalun tarkoitus on myös luoda yritykselle yhteinen tapa toimia vertaillen erilaisia ratkaisuja. Yhteisellä työkalulla saadaan myös mahdollisia virheitä vähennettyä.

4.2 Lähtötiedot

Excel työkalun luominen aloitettiin tekemällä lähtötieto välilehti. Kyseisestä välilehdestä saadaan muille välilehdille laskenta-arvoja, jotka ovat tärkeitä laskelmien kannalta.

Lähtötieto välilehdellä valitaan säävyöhyke, riippuen mihin alueelle laskelmia tehdään. Säävyöhykkeen valinnan avulla saadaan määritettyä mitoittava ulkolämpötila sekä ulkolämpötilan keskiarvo koko vuodelle, joita tullaan hyödyntämään laskelmissa. Kuvassa 11 on esitetty säävyöhykkeet Suomen kartassa. Mitoittavat ulkolämpötilat sekä ulkolämpötilojen keskiarvot koko vuodelle on esitetty taulukossa 3.



KUVA 11. Sävyöhykkeet (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017.)

TAULUKKO 3. Mitoittavat ulkolämpötilat ja keskiarvot koko vuoden ulkolämpötiloille (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017.)

Vyöhyke	Kaupunki	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Keskiarvo ulkoilman lämpötila koko vuodelle, °C
1	Helsinki	-26	5,3
2	Jokioinen	-29	4,6
3	Jyväskylä	-32	3,2
4	Rovaniemi	-38	-0,4

Lähtötieto välilehdellä valitaan edellä mainittujen asioiden lisäksi huoneilman sisälämpötilan, lämmitystapa sekä sähköenergian hinta. Lämmitystavan valinta vaikuttaa laskelmissa käytettävään lämmitystavan mukaiseen energian hintaan ja lämpöpumppu ratkaisuihin SPF-lukuun. Huoneilman lämpötilalla lasketaan ... Sähköenergian hinta vaikuttaa laskelmissa lämpöpumppuratkaisujen ostoenergian hintaan.

4.3 Ilmanvaihdon säästö

Ilmanvaihdon säästö välilehdelle tehdään yhdeksän erilaista taulukkoa. Taulukot koostuvat lähtötilanteen ilmanvaihtokoneiden tiedoista sekä uusien ilmanvaihtokoneiden tiedoista. Taulukoita tehdään seuraavanlaisesti:

- Ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot, nykytilanne
- Ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian nettotarpeen laskenta vuositasolla, nykytilanne
- Ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutuksen laskenta vuositasolla, nykytilanne
- Ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot, uusi tilanne
- Ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian nettotarpeen laskenta vuositasolla, uusi tilanne
- Ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutuksen laskenta vuositasolla, uusi tilanne
- Investoinnin kannattavuus
- Kustannussäästöt
- Kumulatiiviset elinkaarikustannukset

Tällä osiolla on tarkoitus tarkastella säästökohteita ilmanvaihdossa, joita ovat esimerkiksi LTO:n parantaminen, SFP-luvun parantaminen ja käyntiajan/ilmamääräsuhteen optimointi.

4.3.1 Ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot

Tässä taulukossa on tarkoitus koota yhteen ilmanvaihtokoneisiin liittyvät lähtötiedot. Taulukoita tulee kaksi, joiden avulla voidaan vertailla uusia ja vanhoja ilmanvaihtokoneita. Taulukkoon kerättäviä arvoja ovat seuraavanlaiset:

- Konenumero
- Käynti vuorokaudessa
- Vuorokautinen käyntiaikasuhte
- Käynti viikossa
- Viikoittainen käyntiaikasuhte
- Tuloilmavirta
- Poistoilmavirta
- Tuloilman lämpötila

- Lämpötilan nousu puhaltimessa

Taulukossa 4 on esitetty nykyisten ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot. Uusien ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot ovat esitettynä taulukossa 5.

TAULUKKO 4.

Konenro.	Käynti vrk (h)	Vuorokautinen käyntiaikasuhte (h/24)	Käynti viikossa (d)	Viikoittainen käyntiaikasuhte (d/viikko)	Tuloilmavirta (m ³ /s)	Poistoilmavirta (m ³ /s)	Tuloilman lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu puhaltimessa (°C)
PF01	15,5	0,65	7	1	-	1,26	-	-
TK01	19	0,79	7	1	1,2	1,2	20	0,5

TAULUKKO 5.

Konenro.	Käynti vrk (h)	Vuorokautinen käyntiaikasuhte (h/24)	Käynti viikossa (d)	Viikoittainen käyntiaikasuhte (d/viikko)	Tuloilmavirta (m ³ /s)	Poistoilmavirta (m ³ /s)	Tuloilman lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu puhaltimessa (°C)
TKxx	24	1	7	1	1,68	1,68	20	0,5
TK01	15	0,63	7	1	1,2	1,2	20	0,65

4.3.2 Ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian nettotarpeen laskenta

Tässä taulukossa on tarkoitus laskea vuositasolla tarvittava lämmitysenergian nettotarve. Tämän laskemiseen täytyy selvittää lämmöntalteenoton teho sekä lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen. Lämmöntalteenotolla talteen otettu teho lasketaan alla olevalla kaavalla 1.

$$\Phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} \cdot t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,poisto} \cdot (T_s - T_u), \quad (1)$$

jossa Φ_{lto} on lämmöntalteenotolla talteen otettu teho (W), $\eta_{a,ivkone}$ on ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde (-), t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte (h/24 h), t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte (vrk/7 vrk), ρ_i on ilman tiheys

(kg/m³), c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK)), $q_{v,poisto}$ on poistoilmavirta (m³/s), T_s on sisälämpötila (°C) ja T_u on ulkolämpötila (°C).

Lämmöntalteenotolla talteen otetun tehon avulla saadaan laskettua lämpötila LTO:n jälkeen. Lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila lasketaan kaavalla 2.

$$T_{lto} = T_u + \frac{\Phi_{lto}}{t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,tulo}}, \quad (2)$$

jossa T_{lto} on lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C), T_u on ulkoilman lämpötila (°C), Φ_{lto} on lämmöntalteenotolla talteen otettu teho (W), t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24 h), t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk), ρ_i on ilman tiheys (kg/m³), c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK)) ja $q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta (m³/s).

Lämmöntalteenottolaitteen jälkeisen lämpötilan selvityksen jälkeen voidaan laskea ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve kaavalla 3.

$$Q_{iv} = t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,tulo} \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \cdot \Delta t / 1000, \quad (3)$$

jossa Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve (kWh), t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24 h), t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk), ρ_i on ilman tiheys (kg/m³), c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK)), $q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta (m³/s), T_{sp} on sisäänpuhalluslämpötila (°C), $\Delta T_{puhallin}$ on lämpötilan nousu puhaltimessa (°C), T_{lto} on lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C), Δt on ajanjakson pituus (h) ja 1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty nykyisten sekä uusien ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian nettotarpeen laskentataulukot.

TAULUKKO 6. Nykyisten ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian nettotarve

Konenro.	LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde (1/%)	Poistoilman lämpötila (°C)	Ulkolämpötila ka. (°C)	LTO-teho (W)	Lämpötila LTO:n jälkeen (°C)	Lämmitysenergian nettotarve (kWh/a)
PF01	0	22	4,6	0	4,6	141943,1
TK01	0,42	22	4,6	8977	11,9	81692,5

TAULUKKO 7. Uusien ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian nettotarve

Konenro.	LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde (1/%)	Poistoilman lämpötila (°C)	Ulkolämpötila ka. (°C)	LTO-teho (W)	Lämpötila LTO:n jälkeen (°C)	Lämmitysenergian nettotarve (kWh/a)
TKxx	0,78	22	4,6	29557	18,2	24608,1
TK01	0,8	22	4,6	13448	18,5	7494,3

4.3.3 Ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutuksen laskenta

Tämän taulukon tarkoituksena on laskea ilmanvaihtokoneen käyttämä sähköenergia. Ilmanvaihtokoneesta kerätään seuraavia tietoja:

- Tuloilmavirta
- Kanavapaine
- Verkosta otettu sähköteho
- Poistoilmavirta

Ilmanvaihtokoneesta kerätyillä tiedoilla voidaan laskea ilmanvaihtokoneen SFP-luku ja sähköenergian kulutus vuoden aikana. SFP-luku voidaan laskea kaavalla 4.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{max}}, \quad (4)$$

jossa SFP on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho (kW/(m³/s)), P_{tulo} on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW), P_{poisto} on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW), $P_{apulaitteet}$ on apulatteiden ottama sähköteho (kW), q_{max} on ilmanvaihtokoneen ilmavirroista suurempi (m³/s).

Ilmanvaihtokoneen sähköenergian kulutus vuoden aikana lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{iv} = t_d \cdot t_v \cdot 8760 \cdot SFP \cdot q_{max}, \quad (5)$$

jossa Q_{iv} on ilmanvaihdon sähköenergian kulutus vuodessa (kWh/a), t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte (h/24 h), t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte (vrk/7 vrk), 8760 on tuntien määrä vuodessa (h), SFP on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho (kW/(m³/s)) ja q_{max} on ilmanvaihtokoneen ilmavirroista suurempi (m³/s).

Taulukoissa 8 ja 9 on esitetty nykyisten sekä uusien ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutuksen laskentataulukot.

TAULUKKO 8. Nykyisten ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus

Konenro.	Tuloilma- virta, mi- toitusti- lanne (m ³ /s)	Kanava- paine (Pa)	Verkosta otettu sähkö- teho (kW)	Poistoil- mavirta, mitoitus- tilanne (m ³ /s)	Kanava- paine (Pa)	Verkosta otettu sähkö- teho (kW)	Koneen SFP-luku (kW/m ³ /s)	Sähkö- energian kulutus (kWh/a)
PF01	-	-	-	1,26	200	2,45	1,94	13860,9
TK01	1,20	200	1,62	1,20	200	1,62	2,70	22469,4

TAULUKKO 9. Uusien ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus

Konenro.	Tuloilma- virta, mi- toitusti- lanne (m ³ /s)	Kanava- paine (Pa)	Verkosta otettu sähkö- teho (kW)	Poistoil- mavirta, mitoitus- tilanne (m ³ /s)	Kanava- paine (Pa)	Verkosta otettu sähkö- teho (kW)	Koneen SFP-luku (kW/m ³ /s)	Sähkö- energian kulutus (kWh/a)
TKxx	1,68	80	1,09	1,68	80	1,05	1,28	18763,9
TK01	1,20	200	1,02	1,26	200	0,93	1,63	10676,3

4.3.4 Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kannattavuus taulukossa tehdään yhteenveto investointien kustannusarvioista ja vertaillaan sitä takaisinmaksuaikaan. Takaisinmaksuaika tässä taulukossa on suora takaisinmaksuaika, jolloin rahan arvon muutosta ei oteta huomioon. Taulukossa 10 on esitettynä esimerkki investoinnin kannattavuus taulukosta.

TAULUKKO 10. Esimerkkitaulukko ilmanvaihtokoneiden investoinnin kannattavuudesta

Investointiarvio	384000 €
Takaisinmaksuaika	12,9 a

4.3.5 Kustannussäästöt

Kustannussäästöt taulukossa tarkoituksena on tehdä yhteenveto saaduista kustannusten laskentatuloksista. Ilmanvaihtokoneista vertaillaan lämpö- ja sähköenergian kustannussäästöjä uusien ja vanhojen ilmanvaihtokoneiden välillä. Energian hintojen avulla saadaan tulokseksi kokonaissäästöt euroina. Esimerkki kustannussäästö taulukosta alla olevassa taulukossa 11.

TAULUKKO 11.

Konenro.	Lämpöenergian säästö (kWh/a)	Sähköenergian säästö (kWh/a)	Lämpökustannusten säästö (€/a)	Sähkökustannusten säästö (€/a)	Kustannussäästöt yhteensä (€/a)
PF01-TKxx	117335	-4903	17600,3	-735,46	16864,8
TK01	74198,2	11793,2	11129,7	1768,97	12898,7

4.3.6 Kumulatiiviset elinkaarikustannukset

Kumulatiiviset elinkaarikustannukset taulukossa tarkoituksena on selvittää nykyisten ja uusien ilmanvaihtokoneiden elinkaarikustannuksia. Elinkaarikustannukset lasketaan käyttäen nykyarvomenetelmää, jossa saadut kustannussäästöt diskontataan nykyarvoon. Diskontattuja kustannussäästöjä pystytään vertailemaan investoinnin kanssa. Diskonttaustekijä lasketaan kaavalla 6.

$$\text{Diskonttaustekijä} = \frac{1}{(1+i)^n}, \quad (6)$$

jossa i on laskentakorkokanta ja n on aika (vuosi).

4.4 Lämmitystapavertailu

Lämmitystapavertailu välilehdellä tarkoituksena on vertailla erilaisten lämmitystapojen kustannuksia. Vertailtavia lämmitysjärjestelmiä ovat kaukolämpö, maalämpö, ilma-vesilämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu, öljylämmitys ja sähkökattila.

Lähtötietoina tarkasteltavasta rakennuksesta tarvitaan seuraavia tietoja:

- Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve
- Käyttöveden lämmitysenergian nettotarve
- Energian hinta
- Energian vuosittainen hinnan muutos
- Rakennuksen pinta-ala
- Laskennassa käytettävä laskentakorkokanta

Lämmitysjärjestelmistä kerätään lähtötiedot taulukoihin. Lähtötietojen avulla lämmitysjärjestelmistä tehdään kustannuslaskelmia vertailua varten. Taulukossa 12 on esitetty esimerkkitaulukko maalämmön lähtötieto taulukosta.

Taulukko 12. Esimerkkitaulukko lämmitysjärjestelmien lähtötietotaulukosta maalämmölle

Sähköenergian hinta	150	€/MWh
Vuosittainen sähköenergian hinnan muutos	3	%
Maalämmön vuosittaiset huoltokustannukset	500	€/a
Maalämmön vuosittainen huoltokustannusten nousu	2,5	%
Maalämmön hyötysuhde (SPF), tilojen lämmitys	3,72	
Maalämmön hyötysuhde (SPF), käyttöveden lämmitys	2,86	
Maalämmön vuosittainen hyötysuhteen alenema	0,5	
Maalämmön energiakaivokentän investointimaksu	160000	€
Maalämmön hankinta asennuksineen	100000	€
Muut kausikustannukset (esim. varaudutaan kompressorin uusintaan 15 vuoden kohdalla)	7000	€

4.5 Kulutuksen normitus

Tässä osiossa laskuria on tarkoituksena normittaa rakennuksen energian kulutus. Lämmitysenergiankulutuksen normitus tehdään, jotta energiankulutus on vertailukelpoinen rakennuksiin eri sijainneissa. Normitus on tärkeää myös, jotta saadaan poistettua eri vuosien lämpötilaerojen vaikutus laskennasta.

Lämmitysenergian normeerausessa käytetään lämmitystarvelukua, jonka avulla normeerataan toteutuneet lämmitysenergian kulutukset. Lämmitystarveluvut ovat saatavilla Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. (Motiva 2024.)

Taulukkoon tarvitaan lähtötiedoksi seuraavanlaisia:

- Sijaintipaikkakunta
- Vertailupaikkakunta
- Verrattavan kunnan normaalivuoden lämmitystarveluku
- Laskettavan kunnan K1-kerroin
- Laskettavan kunnan K2-kerroin
- Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
- Käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia

Tässä työssä käytettävää saman rakennuksen energiankulutuksen vertailua eri ajankohtina voidaan tehdä kaavalla 7.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lqv}, \quad (7)$$

jossa Q_{norm} on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus, $S_{N\ vpkunta}$ normaalivuoden tai kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalle, $S_{toteutunut\ vpkunta}$ on toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla, $Q_{toteutunut}$ on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia ja Q_{lqv} käyttöveden lämmittämisen vaatima energia.

4.6 Jäteveden LTO

Jäteveden lämmöntalteenotto taulukossa tarkoituksena on selvittää jätevedestä saatava mahdollinen energiamäärä. Energiamäärän avulla voidaan vertailla saatuja kustannussäästöjä investointiin ja tutkia investoinnin kannattavuutta. Jätevedessä viemäriin menevä energiamäärä saadaan ratkaistua kaavalla 8.

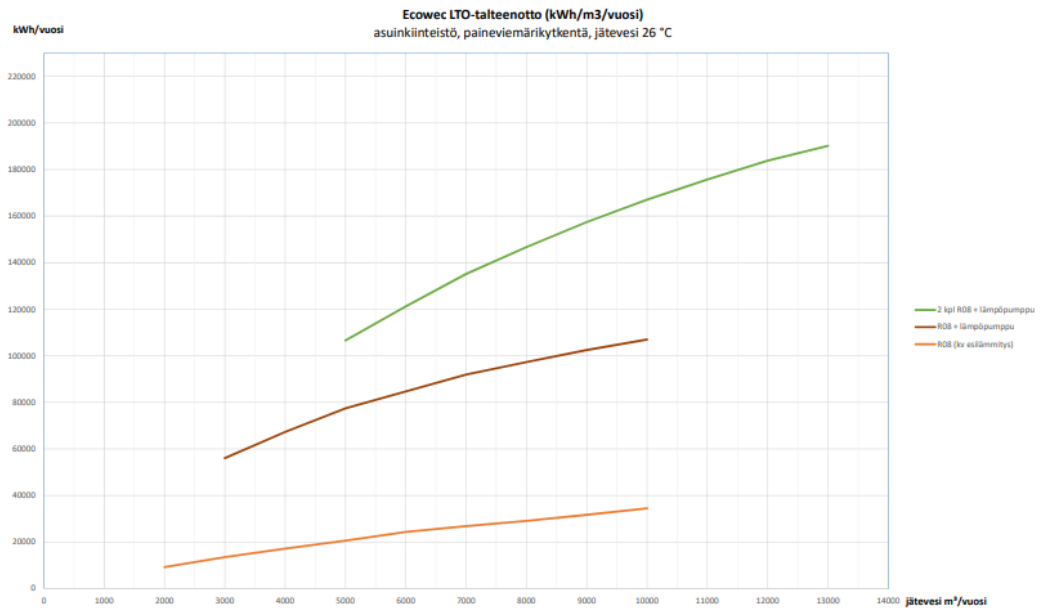
$$E = m \cdot C \cdot \Delta T, \quad (8)$$

jossa m on lämpimän jäteveden massa (kg), C on veden ominaislämpökapasiteetti ja ΔT on lämpötilaero lämmitetyn veden ja kylmän veden välillä (°C).

Jäteveden lämmöntalteenoton tehoa selvitetessä tarvitaan seuraavanlaisia tietoja:

- Jäteveden lämpötila
- Kylmänveden lämpötila
- Jäteveden tilavuusvirta
- Kylmän veden tilavuusvirta

Jäteveden lämmöntalteenoton tehon määrittämiseen käytetään valmistajien mitoitustaulukkoja. Valmistajien sivuilta on myös saatavilla taulukkoja, joiden avulla voidaan nähdä vuosittainen energiasäästö verrattuna jäteveden määrään. Kuvassa 12 on esitetty Ecowec hybridivaihtimen tuottotaulukko

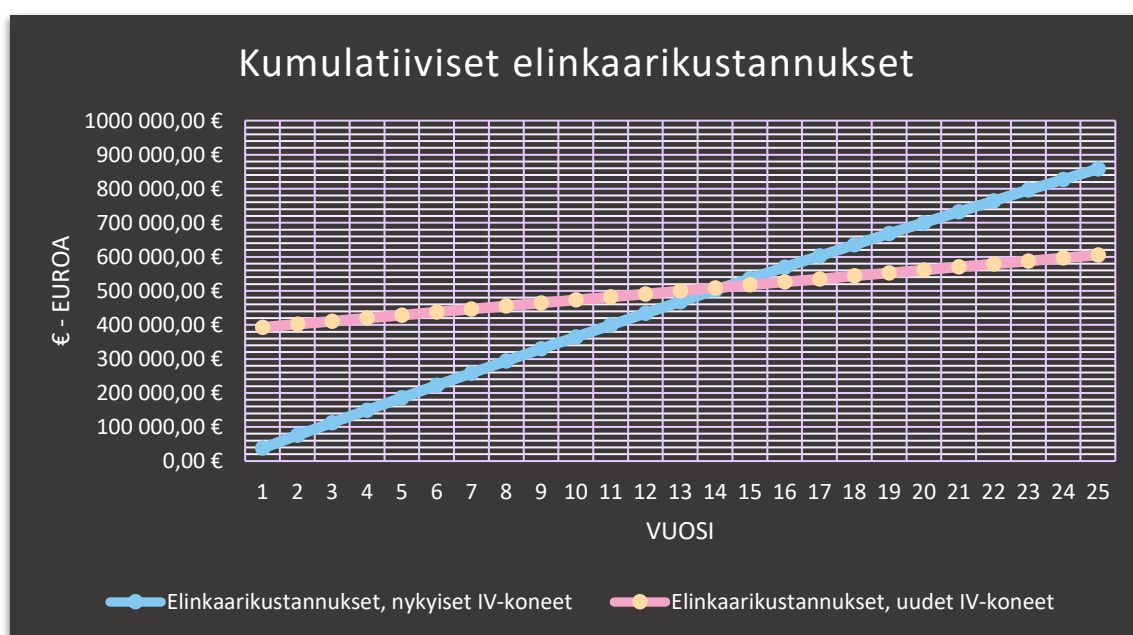


KUVA 12. Ecowec hybridivaihtimen tuottotaulukko (Ecowec n.d.)

5 TULOSTEN KÄSITTELY JA JOHTOPÄÄTÖKSET

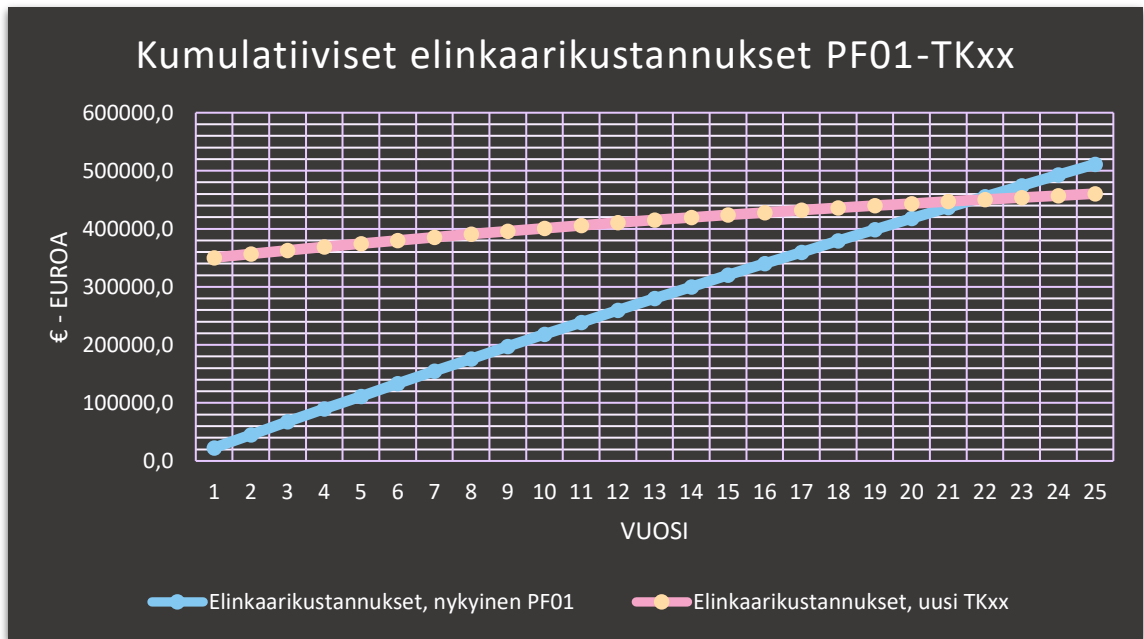
5.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon säästöpotentiaalia selvittäessä lähdettiin tutkimaan ilmanvaihtokoneiden uusimisen vaikutusta kustannuksiin. Kuviosta 1 selviää elinkaarikustannuksien kertyminen uusien ja nykyisten ilmanvaihtokoneiden tapauksessa.



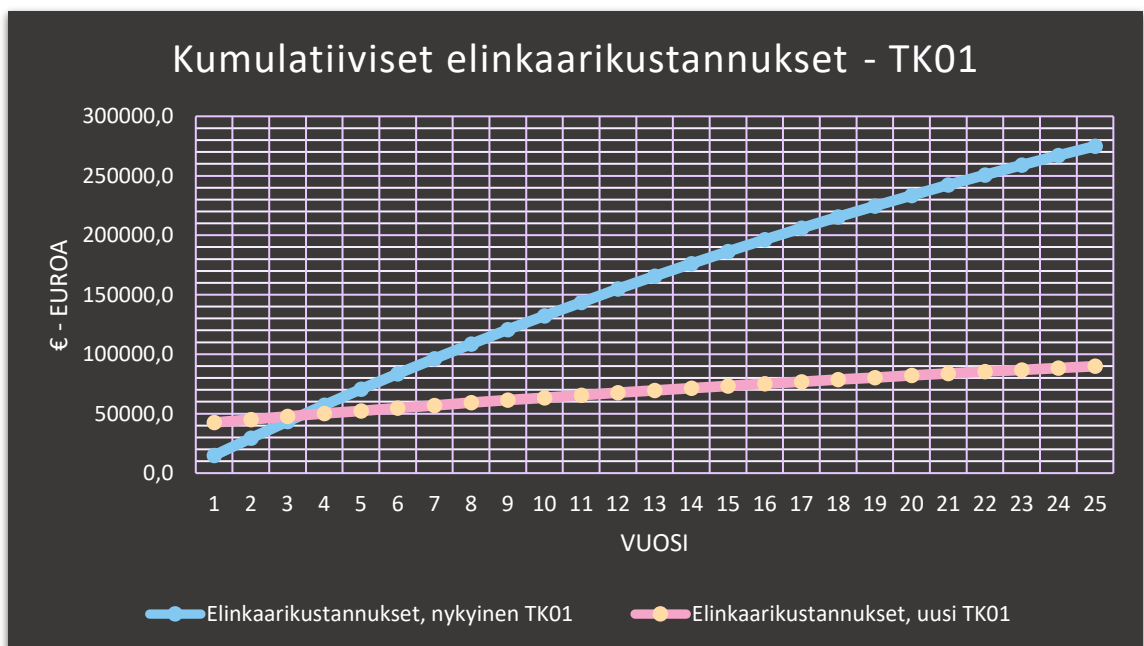
KUVIO 1. Uusien ja nykyisten ilmanvaihtokoneiden kumulatiiviset elinkaarikustannukset

Vertailtaessa uusia ja nykyisiä ilmanvaihtokoneita kokonaisuudessaan huomataan, että uusiminen on kannattavaa tarkastelujaksolla. Ilmanvaihtokoneiden uusimisen takaisinmaksuaika on noin 14,5 vuotta. Ilmanvaihtokoneita vertailtiin myös yksittäin, jonka avulla saadaan investoinnin kannattavuus selvitettyä tarkemmin. Kuviossa 2 ja 3 on esitetty elinkaarikustannuksien vertailut asuinhuoneistojen ja kauppatilan ilmanvaihdosta.



KUVIO 2. Asuintilojen ilmanvaihtokoneiden kumulatiiviset elinkaarikustannukset

Asuintilojen ilmanvaihtokoneiden uusimisella saadaan aikaiseksi noin 117 000 kWh lämmitysenergiesäästö. Uusimisen vaikutuksesta sähköenergiaa kuluisi noin 5000 kWh enemmän vuodessa. Vuotuisesti kustannussäästöksi tulisi noin 16 800 €. Takaisinmaksuaika ilmanvaihtokoneiden uusimiselle on noin 21,5 vuotta. Pitkän takaisinmaksuajan vuoksi investoinnin kannattavuus pienenee huomattavasti.



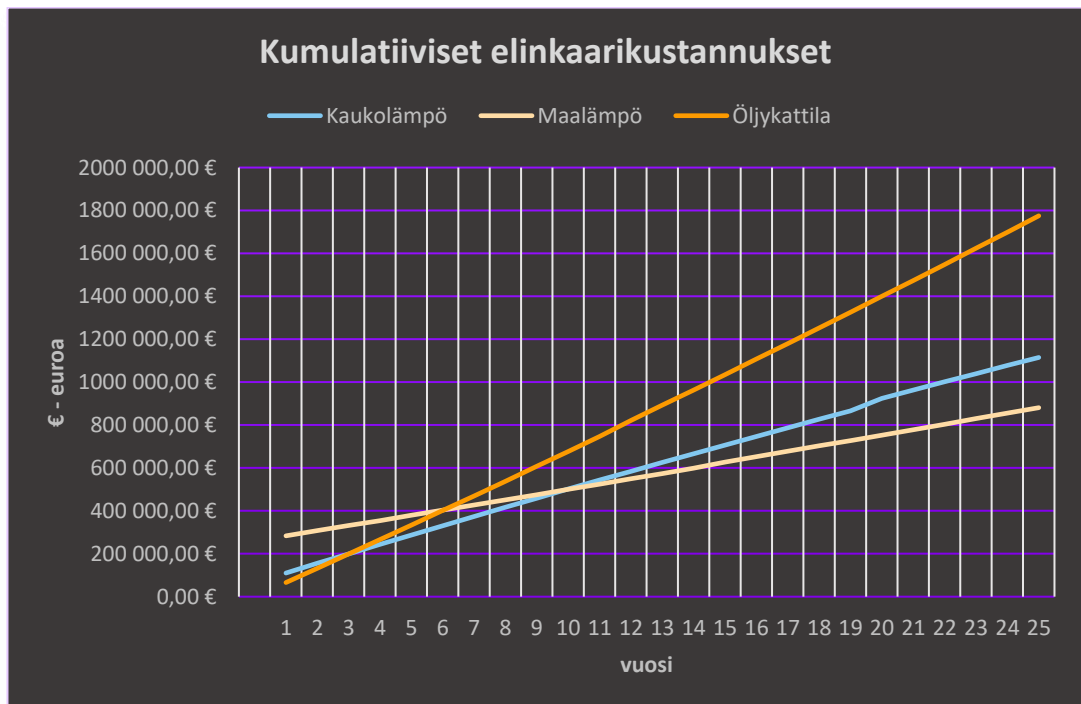
KUVIO 3. Kauppatalan ilmanvaihtokoneiden kumulatiiviset elinkaarikustannukset

Kauppatilan ilmanvaihtokoneen uusimisella saadaan aikaiseksi noin 74 000 kWh lämmitysenergiainsäästö ja 11 700 kWh sähköenergiainsäästö vuodessa. Vuotuiseksi kustannussäästökseksi tulisi noin 12 900 €. Takaisinmaksuaika ilmanvaihtokoneiden uusimiselle on noin 3,5 vuotta. Kauppatilan ilmanvaihtokoneen uusiminen on laskelmien perusteella kannattava ja sillä saadaan kustannussäästöjä aikaiseksi.

Ilmanvaihtokoneiden uusimisella saadaan aikaiseksi merkittäviä energiatehokkuuden parannuksia. Tarkastelussa vertailuilla toimilla saatavat kustannussäästöt osoittavat investoinnit kannattaviksi tarkastelujaksolla. Investoinneista huomattavasti kannattavampi on kauppatilan ilmanvaihtokoneen uusiminen.

5.2 Lämmitysjärjestelmät

Lämmitysjärjestelmän uusimista tutkittaessa vertailuun otettiin maalämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu ja kaukolämpö. Kuviossa 4 on esitetty edellä mainittujen lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannuksia.



KUVIO 4. Vertailtavien lämmitysjärjestelmien kumulatiiviset elinkaarikustannukset

Lämmitysjärjestelmien kustannus vertailussa huomataan, että kaukolämpö ja maalämpö ovat kustannuksien kannalta lähellä toisiaan tarkastelujakson. Käyttökustannuksiltaan maalämpö on kuitenkin kaukolämpöä huomattavasti edullisempi.

Tarkastelujakson aikana maalämmöllä säästetään ostoenergiaa noin 460 000 kWh vuodessa. Kaukolämmöllä vastaavasti säästö on noin 77 000 kWh. Luvussa 3 mainituilla energian hinnoilla kustannussäästöjä vuosittain saadaan maalämmöllä aikaan noin 42 000 €. Kaukolämmön avulla kustannussäästöjä kertyy vuosittain noin 21 000 €. Maalämmön takaisinmaksuaika on noin 6 vuotta ja kaukolämmöllä vastaavasti noin 3,5 vuotta.

Lämmitysjärjestelmän vaihtamisella pystytään parantamaan energiatehokkuutta huomattavasti. Vertailun avulla energiatehokkaimmaksi ja edullisimmaksi vaihtoehdoksi tarkastelujakson aikana saatiin maalämpö.

6 POHDINTA

Taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantaminen on tärkeää, kun tehdään toimivia ja kustannustehokkaita ratkaisuja. Tulevaisuudessa energialainmääräykset tulevat tiukentumaan, jonka myötä energiatehokkuuden parantaminen tulee olemaan merkittävänä tekijänä. Työn aikana huomattiin, kuinka isoja kustannussäästömahdollisuuksia taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantamisella on.

Opinnäytetyön tilaajalle tuotettavan työkalun osalta tavoitteena oli laskuri, joka on selkeä ja sitä osataan helposti käyttää. Työn tuloksena tuotettavasta Microsoft Excel laskurista saatiin tehtyä tarkoitukseen tarvittava vertailutyökalu. Työkalun avulla pystytään tuottamaan haluttuja kustannuslaskelmia erilaisiin kohteisiin. Työkalun jatkokehitysmahdollisuuksia ovat sen toimivuuden parantaminen, sekä laajentaminen muihin taloteknisiin järjestelmiin, herkkyytarkastelu ja vertailtavien ratkaisujen päästölaskenta.

Opinnäytetyössä tehdyssä kustannusvertailussa case-kohteeseen löydettiin energiatehokkaampia ratkaisuja alkuperäisiin järjestelmiin verrattuna. Energiatehokkaampien ratkaisujen investoinnit olivat suurimmilta osin kannattavia. Suurimmat kustannussäästöt saataisiin aikaan vaihtamalla kauppatilan ilmanvaihtokone uuteen, sekä uusimalla lämmitysjärjestelmä öljylämmityksestä maalämpöön. Saadut elinkaarikustannukset ovat suuntaa antavia arvioita, jotka perustuvat käytettyihin laskenta-arvoihin. Elinkaarikustannukset riippuvat merkittävästi hankittavien energioiden hintakehityksestä, rakennusten energiatehokkuudesta, käyttäjien kulutustottumuksista ja investointikustannuksista. Edellä mainittujen asioiden vuoksi, olisi laskelmista tärkeää tehdä herkkyytarkasteluita.

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty kattavasti yleisimpiä LVI-talotekniikan järjestelmiä ja niiden energiatehokkuuteen liittyviä seikkoja. Jatkotutkimusaiheita tälle työlle olisi lauhdelämmöntalteenottoratkaisut, jossa on suuri potentiaali energiasäästöjä tehtäessä.

LÄHTEET

Biovoima. N.d. CHP-laitos. Viitattu 20.2.2024. <https://biovoima.com/ratkaisut/chp>

Ecowec. N.d. Ecowec B8-hybridivaihdin. Viitattu 31.5.2024. <https://ecowec.com/tuotteet/ecowec-b8/>

Energiatehokas koti. 2020. Poistoilmalämpöpumppu. Viitattu 8.5.2024. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo- ja maalampopumput/poistoilmalampopumppu

Energiatehokas koti. 2020. Öljylämmitys. Viitattu 20.4.2024. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/oljylammitys

Energiateollisuus. N.d. Kaukolämpö ja kaukojäähdytys. Viitattu 20.2.2024. <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>

Energiavirasto. N.d. Energiatehokkuus. Viitattu 15.3.2024. <https://energiavirasto.fi/energiatehokkuus>

Energy center. N.d. Miten poistoilmalämpöpumppu toimii – Toimintaperiaate selitettynä. Viitattu 31.4.2024. <https://energycenter.fi/poistoilmalampopumppu/miten-poistoilmalampopumppu-toimii/>

Finess Energy Oy. N.d. Jäteveden lämmöntalteenotto. Viitattu 13.3.2024. <https://finess.fi/jarjestelmat/jateveden-lammontalteenotto/>

Hiilihelppi. N.d. Ilma-vesilämpöpumppu. Viitattu 24.4.2024. <https://hiilihelppi.fi/uusiutuvat-energiamuodot/ilma-vesilampopumppu/>

Kangasalan Lämpö Oy. N.d. Kaukolämpö. Viitattu 20.2.2024. <https://kangasalanlampo.fi/kaukolampo/>

Kiinteistölehti. 2023. Energiansäästö vaatii toimivaa talotekniikkaa. Viitattu 23.4.2024. <https://www.kiinteistolehti.fi/energiansaasto-vaatii-toimivaa-talotekniikkaa>

Lämpöpartio. N.d. Ilma-vesilämpöpumpun toiminta – mikä se on ja miten se toimii. Viitattu 29.4.2024. <https://lampopartio.fi/blogi/miten-ilma-vesilampopumppu-toimii-lue/>

Motiva Oy. 2012. Energiatehokas ilmanvaihto. PDF-dokumentti. Viitattu 18.1.2024. https://www.motiva.fi/files/6147/Energiatehokas_ilmanvaihto2012.pdf

Motiva Oy. 2023. Ilmanvaihdon eri toteutustavat. Päivitetty 17.1.2023. Viitattu 14.5.2024. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/ilmanvaihto/ilmanvaihdon_eri_toteutustavat

Motiva Oy. 2023. Ilma-vesilämpöpumppu. Päivitetty 2023. Viitattu 24.4.2024. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppu-teknologiat/ilma-vesilampopumppu

Motiva Oy. 2024. Kulutuksen normitus. Päivitetty 5.2.2024. Viitattu 31.5.2024. [https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus)

Motiva Oy. 2012. Lämpöä kotiin keskitetysti. PDF-dokumentti. Viitattu 20.2.2024. https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf

Motiva Oy. 2022. Maalämpöpumppu. Päivitetty 21.12.2022. Viitattu 22.4.2024. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppu-teknologiat/maalampopumppu

Motiva Oy. 2022. Poistoilmalämpöpumppu. Päivitetty 20.12.2022. Viitattu 31.4.2024. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu

Motiva Oy. 2022. Rakentaminen ja rakennukset. Päivitetty 1.11.2022. Viitattu 20.2.2024. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ ja_rakennukset

Profil. N.d. Lämmöntalteenottolaite. Viitattu 15.3.2024. <https://profil.fi/hybridilammitys/lammon-talteenotto-jatevedesta-lammon-talteenottolaite>

Suomen Vesitekniikka. N.d. Maalämpö. Viitattu 22.4.2024. <https://suomenlampopumppu.fi/maalampo>

Thermia. N.d. Kolme tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan. Viitattu 8.5.2024. <https://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kolme-tekijaa/>

Thermia. N.d. Maalämmön toimintaperiaate. Viitattu 22.4.2024. <https://www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/miten-maalampo-toimii/>

Tom Allen Senera Oy. N.d. Jäteveden lämmöntalteenotto. Viitattu 15.3.2024. <https://www.tomallensenera.fi/jateveden-lammon-talteenotto>

Virta, J. & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön Energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy

Ympäristöministeriö. N.d. Rakennusten energiatehokkuus. Viitattu 22.2.2024. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>

Ympäristöministeriö. N.d. Rakennusten energiatehokkuus direktiivin uudistus. Viitattu 22.2.2024. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus>

Ympäristöministeriö. 2023. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivistä alustava sopu. Viitattu 23.2.2024. <https://ym.fi/-/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivista-alustava-sopu>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 27.12.2017/1010. Liite 1. E- luvun laskennassa käytettävät säätiedot. Julkaisija Oikeusministeriö. Luettu 30.3.2024.

Öljylämmittäjän palveluopas. 2010. PDF-dokumentti. Viitattu 22.4.2024. <https://vanha.rakentaja.fi/pdf/%D6PK/Palveluopas2010.pdf>