

Niklas Loukola

Laskentatyökalu lämmitysmuotojen kustannusvertailuun

Opinnäytetyö

kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Niklas Loukola

Työn nimi: Laskentatyökalu lämmitysmuotojen kustannusvertailuun

Ohjaajat: Tapani Palmunen ja Marita Viljanmaa

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 68

Liitteiden lukumäärä: 14

Tämän työn tarkoituksena on tehdä toimiva ja käyttökelpoinen laskentatyökalu pientalojen lämmitysmuotojen kustannusvertailuun. Kustannusvertailussa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmien investointi-, huolto- sekä käyttökustannukset. Lisäksi laskentatyökalu ottaa huomioon mahdolliset tukilämmitysjärjestelmät, ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen tarvitseman lämmitysenergian tarpeen sekä lämmitysjärjestelmien sähköenergian kulutukset. Näin ollen rakennuksen tarvitseman lämmitysenergian suhteen päästään melko tarkkaan lopputulokseen, mikä on suoraan verrannollinen lämmityksen käyttökustannuksiin.

Laskentatyökalu kehitettiin Microsoft Officen Excel-ohjelmalla. Laskentatyökaluun syötetään rakennuksen ja vertailtavien lämmitysmuotojen lähtötiedot, joiden pohjalta laskentatyökalu antaa lämmitysmuotojen kustannusvertailun tulokset. Lähtötietoihin on annettu myös ohjearvoja, mikä tekee työkalun käytöstä melko helppoa ja yksinkertaista, mutta tarkempiin lopputuloksiin päästään, kun lähtötietoihin perehdytään syvällisemmin.

Laskentatyökalulla tehtiin yksi mallilaskelma todenmukaiseen kohteeseen, jonka pohjalta arvioitiin laskentatyökalun luotettavuutta. Mallilaskelmasta tehtiin myös laskentatyökalun käyttöohjeet.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään laskentatyökalussa käytettävät pää- ja tukilämmitysmuodot sekä mistä kyseisten lämmitysmuotojen lämmityskustannukset koostuvat. Lisäksi työssä käydään läpi, mistä tekijöistä rakennuksen lämmitysenergian tarpeet koostuvat sekä kuvaillaan laskentatyökalun toimintaperiaatetta.

Avainsanat: lämmitysjärjestelmät, energiatehokkuus, kustannukset, käyttökustannukset, lämpöpumput, kaukolämmitys, sähkölämmitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author: Niklas Loukola

Title of thesis: Calculation tool for cost comparison of heating forms

Supervisors: Tapani Palmunen and Marita Viljanmaa

Year: 2017

Number of pages: 68

Number of appendices: 14

The purpose of the work was to create a functional and useful calculation tool for the cost comparison of heating forms for one-family houses. In the cost comparison the investment costs, maintenance costs and running costs of the heating forms were taken into consideration. Furthermore, the calculation tool would also take into consideration possible extra heating systems, consumption of the electric energy of the heating systems and the need of heating energy to warm incoming air. The exact result would be achieved in the total costs of heating.

The calculation tool was developed with a Microsoft Office Excel programme. The source information of a building and its heating forms to be compared will be fed to the calculation tool based on which the calculation method gives the results of the cost comparison of the heating forms. The use of the calculation tool is easy because reference values will have been given to the source information. More exact results will be achieved when more source information is fed. The reliability of the calculation tool was estimated on the basis of the model calculation.

The heating forms, which are used in the calculation tool, the costs of the heating forms and demand of heating energy in the building were dealt with in the theory part of the thesis.

Keywords: heating systems, energy efficiency, costs, operating costs, heat pumps, district heating, electric heating

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Työn tausta.....	9
1.2 Työn tavoitteet.....	9
2 LÄMMITYKSEN MERKITYS.....	11
2.1 Rakennuksen energiankulutus.....	12
2.2 Rakennuksen lämpötase.....	13
2.2.1 Ympäristötekijöiden vaikutus.....	13
2.2.2 Rakennuksen käyttötarkoitus ja tilatarpeet.....	14
2.2.3 Rakenteiden vaikutus.....	14
2.2.4 Vuotoilma.....	15
2.3 Ilmanvaihdon merkitys lämmitysenergian kulutukseen.....	16
2.4 Lämmin käyttövesi.....	17
3 LÄMMÖNTUOTTOJÄRJESTELMÄT.....	18
3.1 Kaukolämpö.....	20
3.2 Öljylämmitys.....	22
3.3 Sähkölämmitys.....	23
3.4 Pellettilämmitys.....	24
3.5 Maalämpöpumppu (MLP).....	26
3.6 Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP).....	28
3.7 Tukilämmitysjärjestelmät.....	29
3.7.1 Ilma-ilmalämpöpumppu (ILP).....	29
3.7.2 Tulisijat.....	31
4 LÄMMÖNJAKOJÄRJESTELMÄT.....	32
4.1 Vesikiertoiset lämmönjakojärjestelmät.....	33
4.2 Sähköiset lämmönjakojärjestelmät.....	34

5	RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS.....	35
5.1	Tilojen lämmitysenergian nettotarve.....	35
5.1.1	Tilojen lämmitysenergian tarve	36
5.1.2	Sisäiset lämpökuormat.....	37
5.1.3	Sisäisten lämpökuormien hyödyntäminen.....	37
5.2	Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve	38
5.3	Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve.....	38
5.4	Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus.....	39
6	LÄMMITYSENERGIAN TARPEET LÄMMITYSMUODOITTAIN	40
6.1	Lämpöpumppujen lämmitysenergian tarve	42
6.2	Tukilämmitysmuotojen lämmitysenergian tarve	45
7	OSTOENERGIAN KULUTUKSET LÄMMITYSMUODOITTAIN	46
8	LÄMMITYKSEN TOTEUTUS LASKENTATYÖKALUSSA	50
8.1	Lämmöntuottojärjestelmät laskentatyökälussa.....	50
8.2	Lämmöntuottojärjestelmien investointi- ja käyttökustannukset.....	50
8.3	Lämmönjaon toteutus.....	52
8.4	Lämmönjakojärjestelmien investointikustannukset.....	53
8.5	Huoltovälit ja kustannusarviot laskentatyökälussa	53
9	TULOCSIEN ESITYS LASKENTATYÖKALUSSA	55
9.1	Käyttökustannustarkastelut	55
9.2	Kustannustarkastelut ajanjaksoittain	55
9.3	Investointi- ja huoltokustannustarkastelut	56
10	MALLILASKELMA LASKENTATYÖKALULLA	57
10.1	Kohde ja lähtötiedot	57
10.2	Tulokset.....	58
10.2.1	Lämmitysenergian kulutus ja hinta.....	58
10.2.2	Kokonaiskustannukset	59
10.2.3	Tuloksien vertailu helpoilla ja haastavimmilla lähtötiedoilla.....	61
10.2.4	Laskentatyökälun tuloksien luotettavuus.....	61
11	POHDINTA	63
	LÄHTEET.....	64
	LIITTEET.....	68

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Lämmitysmuotojen kehitys pientalorakentamisessa	11
Kuvio 2. Energian kulutuksen jakautuminen pientaloissa	12
Kuvio 3. Kaukolämmön tuotannossa käytettävien polttoaineiden osuudet.....	20
Kuvio 4. Kaukolämpölaitteet	21
Kuvio 5. Öljylämmitysjärjestelmän osat ja toimintaperiaate	22
Kuvio 6. Pellettilämmityksen toimintaperiaate	25
Kuvio 7. Lämpöpumpun toimintaperiaate.....	26
Kuvio 8. Ilma-vesilämpöpumppu	28
Kuvio 9. Ilma-ilmalämpöpumpusta saatavan lämmön jakautuminen.....	30
Kuvio 10. Vesikiertoinen lattia- ja patterilämmitys maalämmöllä.....	33
Kuvio 11. Lämmitysjärjestelmien ostoenergian laskentaperiaate.....	46
Taulukko 1. U-arvo vaatimukset vuosittain	15
Taulukko 2. Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja.....	16
Taulukko 3. Lämmöntuottomuotojen hyvät ja huonot puolet.....	19
Taulukko 4. Lämmönjakojärjestelmien hyvät ja huonot puolet.....	32
Taulukko 5. Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutuksien ohjearvot	39
Taulukko 6. Lämmöntuottojärjestelmien hyötysuhteet.....	41
Taulukko 7. Lämpöpumppujen SPF-lukuja	43

Taulukko 8. Lämpöpumppujen täys- ja osatehomoitusarvot.	44
Taulukko 9. Ilma-ilmalämpöpumpun SPF-luvut ja lämmitysenergian osuudet.	45
Taulukko 10. Polttoaineiden teholliset lämpöarvot.	48
Taulukko 11. Lämmöntuottojärjestelmän Investointi- ja käyttökustannuksien esimerkkihinnat laskentatyökalussa.	52
Taulukko 12. Lämmönjakojärjestelmien investointikustannuksien esimerkkihinnat laskentatyökalussa.	53
Taulukko 13. Huoltojen esimerkkikustannukset ja -aikavälit laskentatyökalussa. .	54
Taulukko 14. Lopputulosten koonti, esimerkki 1.	59
Taulukko 15. Lopputulosten koonti, esimerkki 2.	60

Käytetyt termit ja lyhenteet

kWh Kilowattitunti on energian yksikkö, joka vastaa energian kulutusta tunnin ajalta.

Lämmitysenergian kulutus

Rakennuksen lämmitysjärjestelmien kuluttama lämmitysenergia. Ilmoitetaan yleensä kWh / vuosi.

Lämmitysmuoto Kuvaa kokonaisuutta, johon luetaan kuuluvaksi lämmönjako- sekä lämmöntuottojärjestelmä.

Lämmönjakeluverkosto

Verkostolla siirretään lämpöenergiaa lämmöntuottojärjestelmästä lämmönluovuttimille.

Lämmönjakojärjestelmä

Lämmönjakojärjestelmään luetaan kuuluvaksi lämmönjakeluverkosto ja lämmönluovuttimet.

Lämmönluovutin Lämpöenergiaa tiloihin luovuttama laitteisto.

Lämmöntuottojärjestelmä

Rakennukseen lämpöä tuottava tai lämpöä siirtävä järjestelmä kokonaisuudessaan, kuten lämmönsiirrin ja siihen kuuluva laitteisto.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Pientalon rakentajalle tai remontoijalle oikean lämmitysjärjestelmän valinta on monesti haastavaa, sillä nykypäivänä erilaisia lämmitysmuotoja on tarjolla hyvin paljon. Käyttäjän kannalta lämmitysjärjestelmän valinnassa on syytä ottaa huomioon sen sopivuus kohteeseen, vaikutus asumisviihtyvyyteen, helppokäyttöisyys, pitkäikäisyys ja energiatehokkuus. Tärkeimmäksi prioriteetiksi usein nousee kuitenkin raha. Lämmityksen kustannukset eivät koostu pelkästään käyttökustannuksista, vaan mukaan täytyy lukea myös investointi- ja huoltokustannukset, jotta saadaan lämmitysjärjestelmälle koko sen elinkaaren aikaiset kustannukset. Monesti investointikustannuksiltaan halvin lämmitysjärjestelmä ei ole välttämättä käyttökustannuksiltaan edullisin ratkaisu.

Lämmitysjärjestelmän valintaan on syytä paneutua ja arvioida sitä monelta eri kannalta, koska kyseessä on usein rakennuksen koko käyttöiän aikainen ratkaisu. Näin ollen myös lämmityksen kokonaiskustannuksia on syytä tarkastella pitkällä aikavälillä.

1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena oli tehdä helppokäyttöinen ja selkeä Excel-pohjainen laskentatyökalu pientalojen lämmitysjärjestelmien kustannusvertailun helpottamiseksi. Laskentatyökalun antamana lopputuloksena on tavoitteena saada kustannuksiltaan paremmuusjärjestykseen eri lämmitysjärjestelmät ja näyttää tiedot, mistä kustannuksien erot johtuvat. Päälämmitysjärjestelmien lisäksi laskentatyökalu ottaa huomioon mahdolliset tukilämmitysjärjestelmät sekä ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen kuluvan lämmitysenergian kustannukset. Laskentatyökalun käyttö onnistuu rakennuksen tarkoilla lähtötiedoilla sekä helpommin saatavilla lähtötiedoilla. Näin ollen laskentatyökalua voidaan käyttää helppokäyttöisempänä, jonka käyttö ei vaadi juurikaan asiantuntemusta lämmitysjärjestelmästä. Tämä sopii esimerkiksi henkilölle, joka suunnittelee omakotitalon rakentamista.

Haastavampia lähtötietoja käytettäessä laskentatyökalu vaatii hieman enemmän asiantuntemusta lämmitystekniikasta. Lisäksi opinnäytetyössä käytetään todennukaista rakennusta mallilaskelmissa.

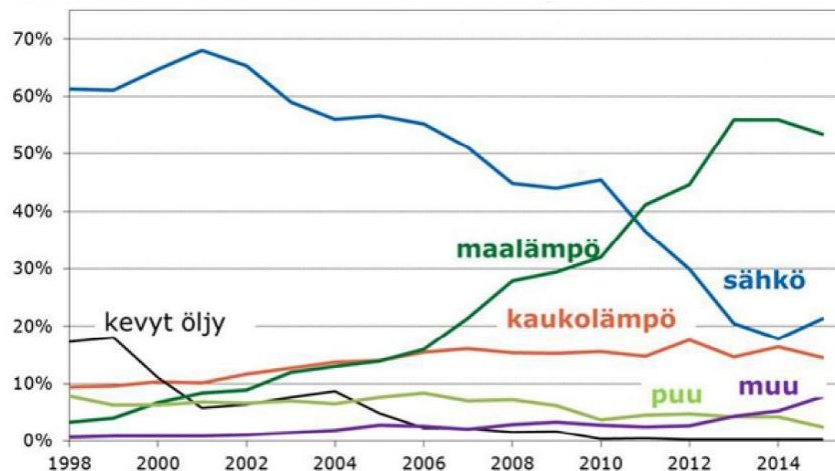
Toissijaisena tavoitteena opinnäytetyössä on tuoda esille Suomessa yleisimmin käytetyt päälämmitysjärjestelmät sekä tutkia ja perehtyä, mistä kunkin lämmitysjärjestelmän kokonaiskustannukset koostuvat, sisältäen investointikustannukset sekä käytönaikaiset kustannukset. Näiden pohjalta tietoja hyödynnetään myös laskentatyökaluissa. Työssä perehdytään myös pientaloissa käytettäviin tukilämmitys- ja lämmönjakojärjestelmiin.

Yhtenä tavoitteena on perehtyä kokonaisuuksiin, mitkä vaikuttavat olennaisesti rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen ja millä tekijöillä lämmitysenergian kulutusta pystytään optimoimaan. Rakennuksen lämmitysenergian kulutusta vähentämällä saadaan rakennuksen lämmitystarvetta pienennettyä, mikä vaikuttaa taas olennaisesti lämmityskustannuksiin.

2 LÄMMITYKSEN MERKITYS

Rakennuksen sisäilmastolla on suuri merkitys rakennuksen käyttäjien asumiskavuuteen. Yksi tärkeimmistä asumisviihtyvyyteen vaikuttavista elementeistä on rakennuksen oikea sisälämpötila. Oikeaan sisälämpötilaan ja sen tasaisuuteen liittyy myös vahvasti sopivan lämmitysmuodon valinta. (LVI 10-10397, 2006, 1.)

Kuviosta 1 voidaan havaita lämmitysmuotojen trendit viimeisen 20 vuoden ajalta. Sähkö- ja öljylämmityksen suosiot ovat romahtaneet pientalorakentamisessa, mikä johtuu todennäköisimmin kalliista lämmitysenergian hinnasta. Vastaavasti maalämpö on kasvattanut suosiotaan huomattavasti ja onkin ottanut suosituimman lämmitysmuodon paikan.



Kuvio 1. Lämmitysmuotojen kehitys pientalorakentamisessa (Adato Energia 2016).

Ihmisille suotuisat lämpötilaolosuhteet asumisen kannalta ovat 20-22 °C välillä. Korkeampi lämpötila saa tuntumaan ilman kuivemmalta ja tunkkaisemmalta, kun taas alhaisempi lämpötila lisää vedon tunnetta. Rakennukseen tarkoitettu oikea lämpötila auttaa pitämään myös ilmankosteuden hyvällä tasolla, mikä pitää myös rakennuksen rakenteet hyvässä kunnossa ja vaikuttaa rakennuksen pitkäikäisyyteen. (Motiva, energiakatselmoijan käsikirja, 5.)

Pitämällä huonelämpötilaa oikeana saadaan säästöjä lämmityskustannuksissa. Nimittäin yhden asteen lämpötilanousu kuluttaa energiaa noin viisi prosenttia

enemmän. On myös tärkeää suunnitella rakennuksen lämmityslaitteisto oikein, että lämpötilaolosuhteet pysyvät helposti suunnitteluarvojen mukaisina. (Lahti Energia.)

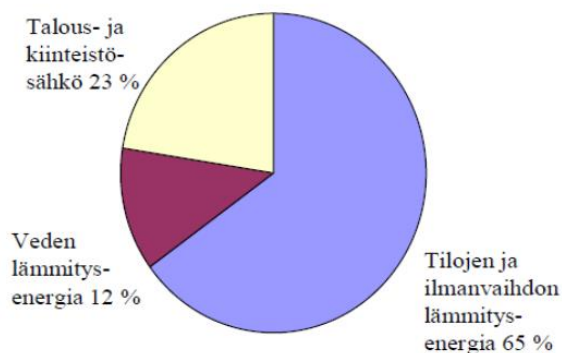
Lämpötila-aistimukseen vaikuttavia tekijöitä ovat

- ympäröivien pintojen lämpötila, etenkin kylmä lattia ja ikkuna
- lämpötilan vaihtelu, muutosnopeus
- paikalliset lämpötilaerot, etenkin pystysuunnassa
- lämpösäteily
- vedon tunne – ilman liike, kylmät pinnat (Motiva, energiakatselmoijan käsikirja, 5).

2.1 Rakennuksen energiankulutus

Rakennuksen energiankulutusta mitataan kilowattitunteita (kWh). Tarkemmin ottaen sillä tarkoitetaan lämmitysenergiaan ja sähkölaitteisiin tarvittavaa sähköenergian kokonaiskulutusta. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 6.)

Rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluvan energian osuus on jo yksinään kesimäärin yli puolet omakotitalon kokonaisenergian kulutuksesta (kuvio 2). Tilojen lämmityksen lisäksi lämmitysenergiaa kuluu lämpimän käyttöveden sekä ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen. Lämmitysenergian osuus koko Suomen energian käytöstä on noin kolmannes, joten lämmitysjärjestelmän suunnittelussa ja valinnassa tulee huomioida sen energiatehokkuus ja taloudellisuus. (LVI 10-10397, 2006, 1.)



Kuvio 2. Energian kulutuksen jakautuminen pientaloissa (E-neuvonta.fi, 5).

2.2 Rakennuksen lämpötase

Rakennuksesta poistuvat lämpövirrat eli lämpöhäviöt ja rakennukseen tulevat lämpövirrat muodostavat lämpötaseen. Lämmitysenergiaa poistuu rakennuksesta ulkovaipan läpi johtuvasta lämmöstä ilmaan ja maahan, ilmanvaihdon poistoilman mukana sekä lämpimän käyttöveden poisjohtamisen kautta. (Motiva, lämmitysenergian kulutus 2016)

Rakennukseen tulevia lämpövirtoja ovat päälämmitysjärjestelmästä ja tukilämmitysjärjestelmästä saatava lämpöenergia sekä auringon säteily. Lisäksi mukaan voidaan lukea rakennuksen sisäiset lämpökuormat, joita ovat henkilökuormat, valaistus sekä kodin sähkölaitteet. (Motiva, lämmitysenergian kulutus 2016)

Seuraavissa kappaleissa on esitetty tarkemmin tekijöitä, joista muodostuu rakennuksen lämpötase ja jotka vaikuttavat rakennuksen lämpenemiseen sekä viileneemiseen, ja näin ollen rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen. Rakennuksen lämmitysenergian tarve ja lämmitysenergian kulutus laskukaavoineen ovat esitettyinä myöhemmissä kappaleissa tarkemmin.

2.2.1 Ympäristötekijöiden vaikutus

Lämmitysenergian kulutuksen kannalta talon sijainnilla on merkitystä, sillä aurinkoinen ja suojainen rakennuksen paikka tarjoaa lämmityskustannuksissa säästöä verrattuna varjoisalla ja tuulisella paikalla sijaitsevaan rakennukseen. Auringon säteilyenergiaa pystytään hyödyntämään passiivienergiana lämmityksessä, jolloin auringon säteilyenergia varastoituu seinä- ja lattiamateriaaleihin, josta lämpö säteilee yöaikana rakennuksen tiloihin. Auringosta säteilevän lämpöenergian avulla pystytään hyödyntämään jopa 10-15 % rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta. (Rakennustieto Lehdet 2013.) Näin osoittaa myös laskentatyökalun laskelmat. Esimerkkilaskelmassa, jossa rakennuksen lämmitysenergian tarve on noin 18 000 kWh, saadaan 2 000 kWh tuotettua auringon säteilystä saatavalla lämpöenergialla.

Lämmityksessä hyödynnettävään auringon säteilyenergian määrään pystytään vaikuttamaan ikkunoiden pinta-alalla, suuntauksilla ja lasien ominaisuuksilla. Täytyy myös huomioida, että rakennuksen sijoittelulla esimerkiksi muiden rakennusten läheisyyteen tai kasvillisuuden avulla pystytään sisätiloja suojelemaan auringon säteilyenergiasta kesäaikana johtuvalta ylikuumenemiselta. (D5 2012, 30.)

2.2.2 Rakennuksen käyttötarkoitus ja tilatarpeet

Rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen edullisuuden kannalta tarkasteltaessa suorakaiteen mallinen pientalo on muodoltaan paras, sillä ylimääräiset nurkat lisäävät rakennuksen lämpöhäviön määrää, koska ulkoseinän pinta-ala kasvaa suhteessa pohjan pinta-alaan. Kaksikerroksinen talo on edullisin, koska lämpö nousee ylöspäin. Talon lämmitys kannattaakin suunnitella siten, että mahdollisten hukkatilojen ja tyhjien huoneiden lämmittäminen pystytään jättämään vähemmälle. Kompakti talo, joka on käyttötarkoitukseen nähden sopivan kokoinen, onkin lämmityskustannusten kannalta hyödyllisin. (Rakennustieto Lehdet 2013.)

2.2.3 Rakenteiden vaikutus

Rakenteiden valinnalla pystytään vaikuttamaan olennaisesti rakennuksen lämpöhäviön määrään. Rakennuksen rakenteiden läpi kulkeva lämpövirta muodostuu sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroista. Rakennusosien lämmönläpäisykyvystä käytetään termiä U-arvo, joka ilmoittaa miten paljon rakenne läpäisee lämpöä. Mitä pienempi U-arvo on, sitä parempi lämmöneristyskyky rakenteessa on. Suurimmat lämpöhäviöt syntyvät ikkunoista ja ovista suhteessa pinta-alaan. (Teikari, 775.)

Taulukossa 1 on esitetty tällä hetkellä voimassa olevat lämpimien tilojen rakennusosien U-arvot. Lisäksi taulukosta voi huomata, miten U-arvojen enimmäisvaatimukset ovat kehittyneet vuosien saatossa tiukemmiksi. U-arvojen vaatimuksien tiukentamisen yksi tavoite on rakennuksessa tarvittavan lämmitysenergian säästäminen.

Taulukko 1. U-arvo vaatimukset vuosittain
(Tampere University of Technology).

$W/(K \cdot m^2)$	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,40	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maavarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0

2.2.4 Vuotoilma

Rakennuksen vaipan läpi virtaa lisäksi hallitsematonta vuotoilmaa, mikä johtuu sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroista sekä tuulen aiheuttamista paine-eroista. Vuotoilman määrään voi vaikuttaa myös ilmanvaihtojärjestelmän puutteellinen toiminta. Rakennuksen vuotoilman määrää pystytään mittaamaan tiiviysmittauksella, jolla saadaan tarkka tulos rakennuksen ilmanpitävyydestä. (Kauppinen, 123.)

Nykyisin käytettävä rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} kertoo vuotoilmamäärän suhteutettuna rakennusvaipan pinta-alaan eli kuinka monta kuutiota ilmaa vuotaa yhtä ulkovaipan neliötä kohtaan tunnissa ($m^3/(h \cdot m^2)$). Rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50} taas kertoo vuotoilmanmäärän suhteutettuna rakennuksen ilmatilavuuteen. Taulukossa 2 on esitettyä rakennuksen tyypillisiä ilmanvuotolukuja. (Vertia 2016.)

Taulukko 2. Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja (D5 2012, 20).

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h	Tyypilliset q_{50} -luvut, $m^3/(h m^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 – 1,5	Pientalot 1,0 – 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 – 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 – 3,0	Pientalot 3,0 – 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 – 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 – 10,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 – 7,0	Pientalot 5,0 – 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 – 20,0

2.3 Ilmanvaihdon merkitys lämmitysenergian kulutukseen

Ilmanvaihto vaikuttaa monella eri tavalla rakennuksen lämpöoloihin, vaikka sen pääasiallinen tehtävä onkin tuoda rakennukseen raikasta ilmaa ja poistaa rakennuksesta epäpuhtaudet. Tuloilman lämmittämiseen kuluu noin 20-80 % koko rakennuksen lämmitysenergian kulutuksesta, riippuen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmästä. Tuloilmaa lämmitetään yleisimmin ilmanvaihtokoneessa olevalla jälkilämmityspatterilla tai -vastuksella. Nykyaikaisissa rakennuksissa tuloilmaa ei tarvitse enää lämmittää niin paljon kuin ennen, koska lämmön talteenottomahdollisuus on yleistynyt ja kehittynyt nykypäivän ilmanvaihtokoneissa. Lämmön talteenotolla saadaan käytettyä rakennuksesta poistoilman mukana tulevaa lämmintä ilmaa takaisin rakennukseen tuloilman mukana. Mitä parempi lämmön talteenoton hyötysuhde on, sitä vähemmän lämmintä ilmaa karkaa rakennuksesta, mikä johtaa lämmitysenergian säästymiseen. (Motiva, energiakatselmoijan käsikirja, 25.)

Lämmöntalteenottotyypit ja hyötysuhdearvot:

- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirryhdistelmät, 40-60 %
- ristivirtalevylämmönsiirtimet, 50-70 %
- vastavirtalevylämmönsiirtimet, 60-80 %

- regeneratiiviset lämmönsiirtimet, 60-80 % (Tasauslaskentaopas 2012, 28).

Viihtyvyyden vuoksi ilmanvaihdon kautta huoneisiin tuotava ilma on usein alilämpöistä, usein 17-19 °C. Hieman alilämpöinen tuloilma sekoittuu hyvin lämpimään huoneilmaan, mikä saa huoneen ilmasta raikkaamman. (D5 2012, 50.)

2.4 Lämmin käyttövesi

Asumiskäytössä lämpimän käyttöveden kulutus on noin 40 % koko käyttöveden määrästä. Lämpimän käyttöveden kulutus pysyy läpi vuoden tasaisena. Näin ollen myös lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kulutettu lämmitysenergia pysyy kuukausittain vakiona eikä ulkoilman lämpötila vaikuta juurikaan lämpimän käyttöveden lämmityskustannuksiin. Lämmin käyttövesi lämmitetään poikkeuksetta samalla laitteistolla, jolla tuotetaan rakennuksen tiloihin lämpöenergiaa. (Öljyalan Palvelukeskus.)

Lämpimän käyttöveden tulee olla 55-65 °C, koska sen lämpötila ei saisi laskea alle 50 °C legionella-bakteerin vuoksi. Tämä pitää huomioida lämmitysjärjestelmää mitoitettaessa, että järjestelmä on tarpeeksi tehokas pitämään lämpimän käyttöveden lämpötilan riittävänä myös runsaalla käytöllä. (Kiinteistöklubi.)

3 LÄMMÖNTUOTTOJÄRJESTELMÄT

Lämmöntuottojärjestelmä kuvaa sitä kokonaisuutta, jolla saadaan tuotettua tai siirrettyä lämmitysenergiaa rakennuksen lämmönjakojärjestelmään. Lämmöntuottojärjestelmät voidaan jakaa pää- ja tukilämmitysjärjestelmiin. Päälämmitysjärjestelmällä katetaan suurin osa rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta. Tukilämmitysjärjestelmästä saatavalla lämmitysenergialla saadaan tuotettua osa rakennuksen tarvitsemasta lämmöstä, mutta se ei yksinään kelpaa kattamaan koko rakennuksen lämmitysenergian tarvetta, vaan vaatii aina vierelleen täysteholle mitoitettua päälämmitysjärjestelmän. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 4.)

Lämmitysmuotoa valitessa nousevat yleensä seuraavat asiat mietinnän kohteeksi:

- taloudelliset tekijät
- asumisviihtyvyys
- lämmitysjärjestelmän käytön ja hoidon vaivattomuus
- lämmitysenergian saatavuus ja riittävyys
- ympäristöystävällisyys
- lämmitysjärjestelmän muunneltavuus sekä joustavuus (Suomen sähköopas).

Edellä mainittujen lisäksi täytyy muistaa, että lämmitysjärjestelmäkään eivät ole ikuisia, joten nekin vaativat huoltoa, kunnossapitoa ja uusimisia. Kaikissa järjestelmissä on tiettyjä osia ja laitteita, joita joudutaan uusimaan tiheämmin kuin muita järjestelmän komponentteja. Lämmöntuottojärjestelmien välilläkin on suuria eroja. Toiset järjestelmät vaativat enemmän huoltoa verrattuna joihinkin järjestelmiin, jotka eivät vaadi huoltoa juurikaan. Tietyissä järjestelmien eri komponenttien uusimistapauksissa on syytä usua koko lämmöntuottojärjestelmä uuteen vastaavaan ihan senkin vuoksi jo, että uudella järjestelmällä saadaan parempi hyötysuhde kuin vanhalla vastaavalla ja näin ollen käyttökustannukset pienenevät. (Energiatehokas koti, lämmitysjärjestelmien elinkaari 2016.)

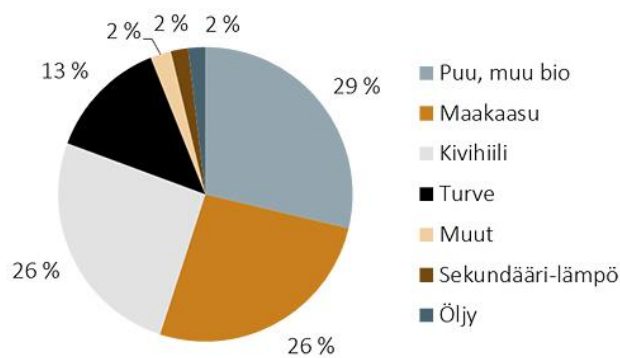
Taulukkoon 3 on koottu tähän työhön valittujen lämmöntuottomuotojen hyviä ja huonoja puolia sekä mihin kyseinen lämmöntuottomuoto soveltuu hyvin.

Taulukko 3. Lämmöntuottomuotojen hyvät ja huonot puolet.

Lämmitysjärjestelmä	Hyvät (+)	Huonot (-)	Soveltuu hyvin
Kaukolämpö	Helppokäyttöinen ja tehokas	Ei saatavilla joka paikassa	Talot, jotka ovat kaukolämmön vaikutusalueella
	Ei tarvitse paljon huoltoa	Riippuvainen yhdestä toimittajasta	Keskikokoiset ja sitä isommat talot
	Hyvin varmatoiminen	Investointikustannukset melko kalliit	
	Ympäristöystävällinen uusituvan energian ansioista		
	Suhteellisen halpa energian hinta		
Öljylämmitys	Hyvä hyötysuhde	Polttoaine suhteellisen kallista, hinnan vaihtelut	Hyvä lämmitysmuoto tukilämmitysten rinnalla
	Lämmön jaon tasaisuus		Keskikokoiset ja sitä isommat talot
	Helppo vaihtaa myöhemmin toiseen lämmöntuototapaan	Vaatii melko paljon huoltoa	
	Yleensä varmatoiminen	Laitteiston (poltin) mahdolliset toimintahäiriöt	
	Lämmin käyttövesi riittää varmasti	Huolehdittava polttoaineen riittävästä saannista	
Suora sähkölämmitys	Investointikustannukset halvat	Kalliit käyttökustannukset, sähkön hinta	Matalaenergisiiin ja passiivitaloihin
	Hyvä hyötysuhde		Pieniin taloihin
	Helppokäyttöinen ja vaivatton	Lämmöntuottomuodon vaihtaminen erittäin kallista	Hyvä lämmitysmuoto tukilämmitysten rinnalla (lämpöpumput)
	Nopea reagointi lämpötilamuutoksiin	Saattaa huonontaa talon jälleenmyyntiarvoa	
Sähkökattila	Helppo vaihtaa myöhemmin toiseen lämmöntuototapaan	Kallis energia	Vesikiertoisilla lämmönluovutusmuodoilla oleviin taloihin
	Hyvä täydentää tukilämmityksillä	Melko huonot hyötysuhteet	Tukee hyvin tukilämmitysjärjestelmiä
	Sähkölämmityksen liittäminen vesikiertoiseen lämmönjakotapaan	Tarvii tietyissä tapauksissa lisäksi lämminvesivaraajan	
	Helppo ja vaivatton		
Pellettilämmitys	Halpa energian hinta, pysyy vakaana	Investointikustannukset melko kalliit	Keskikokoa isommat talot, missä riittävästi tilaa lämmitysjärjestelmälle
	Uusiutuvaa energiaa	Vaatii paljon tilaa	
	Ympäristöystävällinen	Suhteellisen paljon huoltoa vaativa	
	Monissa kattiloissa voi käyttää muutakin bioenergiaa	Vaatii hieman työtä toimiakseen	
	Pystytään tuottamaan korkea lämpötila		
Maalämpöpumppu	Voidaan käyttää myös rakennuksen viilentämiseen kesäisin (porakaivo)	Ei sovi välttämättä tiheästi asutuille alueille	Erityisesti taloihin, jossa vesikiertoinen lattialämmitys
	Helppokäyttöinen ja varmatoiminen	Kalliit investointikustannukset	Keskikokoiset ja sitä isommat talot
	Ympäristöystävällinen ja uusiutuva		
	Kuluttaa vähän ostoenergiaa (sähköä)		
	Halvat käyttökustannukset		
	Pitkällä aika-välillä halpa		
Ilma-vesilämpöpumppu	Ympäristöystävällinen ja uusiutuva	Melko kalliit investointikustannukset	Erityisesti taloihin, jossa vesikiertoinen lattialämmitys
	Kuluttaa vähän ostoenergiaa (sähköä)	Ulkoyksiköstä saattaa tulla meluhaittoja	
	Halvat käyttökustannukset		
	Soveltuu paremmin kuin maalämpö	Kovilla pakkasilla huono hyötysuhde -> suuri sähkönkulutus	
	Helppokäyttöinen ja varmatoiminen	Kylmemmissä olosuhteissa huonompi kuin lämpimämmässä	
Ilma-ilmalämpöpumppu	Voidaan käyttää myös rakennuksen viilentämiseen kesäisin	Ulkoyksiköstä saattaa tulla meluhaittoja	Sopii hyvin kaukolämmön, öljylämmityksen, pellettilämmityksen sekä sähkölämmityksien rinnalle
	Ympäristöystävällinen	Kovilla pakkasilla huono hyötysuhde	
	Halvat käyttökustannukset	Kylmemmissä olosuhteissa huonompi kuin lämpimämmässä	
	Kuluttaa vähän ostoenergiaa (sähköä)		
Tulisijat	Myös tunnelman luoja ja sisustuselementti	Hyvin työläs ja vaatii käyttäjää olemaan paikan päällä	Soveltuu hyvin kaikkien lämmitysmuotojen kanssa tukilämmitysjärjestelmäksi
	Joissakin tapauksissa ilmaista lämmitysenergiaa (ilmaiset polttopuut)		
	Voi saada paljonkin säästöä lämmityskuluissa		

3.1 Kaukolämpö

Kaukolämmön tuotanto tapahtuu lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksissa tai lämpökeskuksissa, joista se siirretään asiakkaille kuumana vetenä kaukolämpöverkkoa pitkin. Kaukolämmön tuotossa polttoaineena käytetään uusiutuvia energialähteitä, kuten puu, maakaasu, kivihiili ja turve. Polttoaineena käytetään myös öljyä vähissä määrin (kuvio 3). Kaukolämpöverkot kattavat usein vain taajamat, joten kaukolämpöä ei pystytä hyödyntämään haja-asutusalueilla. (Lämpöäläheltä.fi 2017.)

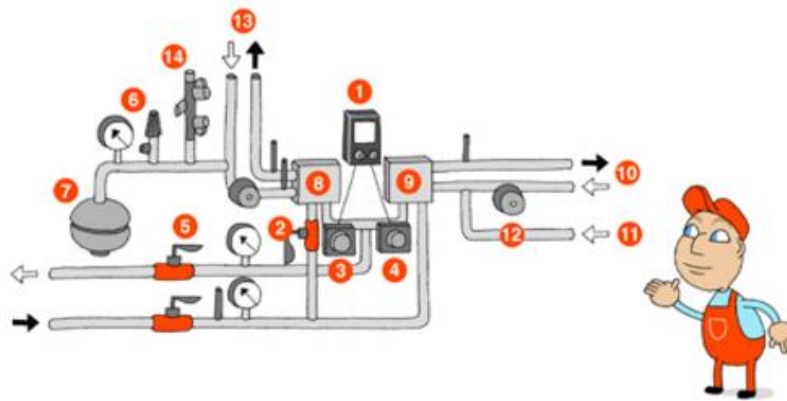


Kuvio 3. Kaukolämmön tuotannossa käytettävien polttoaineiden osuudet (Motiva, kaukolämpö 2017).

Kaukolämmöstä tuleva lämpöenergia siirtyy rakennuksessa sijaitsevan lämmönvaihtimen välityksellä rakennuksen lämmönjakeluverkoston kautta vesikiertoiseen lattialämmitykseen tai patterilämmitykseen sekä lämpimään käyttöveteen. Lämmönvaihtimelta lähtevä jäähtynyt kaukolämpöverkon vesi palaa takaisin kaukolämmön tuotantolaitokseen, jossa se lämmitetään uudelleen. (Lämpöäläheltä.fi 2017.) Lämmönvaihtimessa kulkee kaksi eri piiriä, jotka erottavat toisistaan kaukolämpöverkon veden sekä rakennuksen lämmönjakojärjestelmässä kulkevan veden (Elenia).

Kustannukset. Kaukolämmön saatavuus on tarkistettava paikalliselta kaukolämmöntuottajalta ennen kuin sitä harkitsee lämmöntuottomuodoksi rakennukseen. Kaukolämpöön liittymisestä maksetaan liittymismaksu. Käytöstä veloitetaan asiakkaalta kuukausittainen maksu eli perusmaksu. Lisäksi veloitetaan energiamaksu, joka muodostuu lämmitysenergian kulutuksen mukaan, jota mitataan kilowattitunteita. (Helen.)

Lämmönvaihdinpaketit ovat nykypäivänä kompakti kokonaisuus, johon kuuluu lämmönsiirrin, säätölaitteet, vesipumput, paisunta- ja varolaitteet, mittarit sekä sulkuventtiilit. Kaukolämpölaitteet hankitaan asennuksineen LVI-urakoitsijoilta tai liikkeestä (kuvio 4). (Energiateollisuus.)



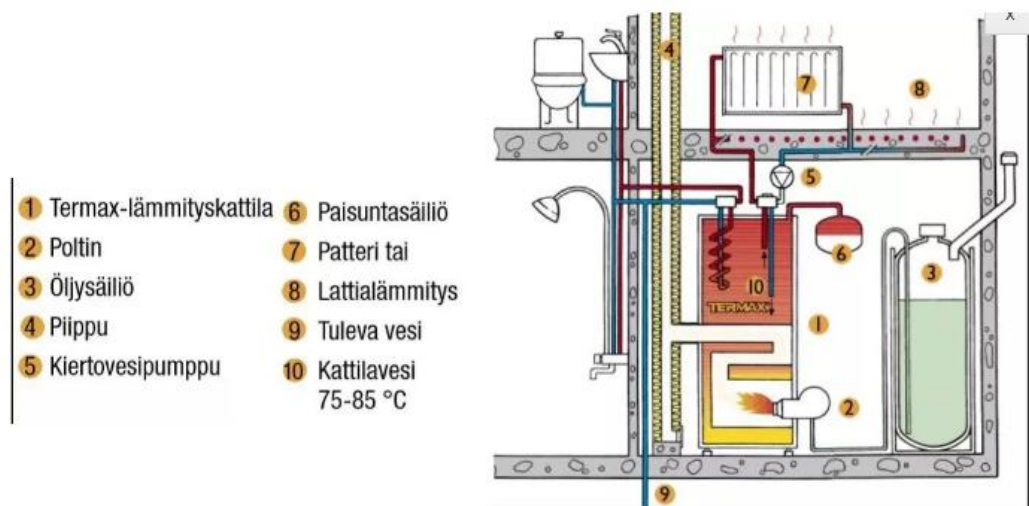
- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 Säätökeskus | 8 Lämmityksen lämmönsiirrin |
| 2 Kesäsulku | 9 Käyttöveden lämmönsiirrin |
| 3 Lämmityksen säätöventtiili | 10 Lämmin käyttövesi |
| 4 Käyttöveden säätöventtiili | 11 Kylmä vesi |
| 5 Asiakkaan pääsulkuventtiilit | 12 Pumppu |
| 6 Varoventtiili | 13 Lämmitysverkko |
| 7 Paisunta-astia | 14 Täyttöventtiili |

Kuvio 4. Kaukolämpölaitteet (Energiateollisuus).

Huolto ja kunnossapito. Asukkaiden kannalta kaukolämpö on hyvin vaivaton lämmitysmuoto. Se ei vaadi juuri ollenkaan huoltoa eikä kunnossapitoa, mutta kaukolämpölaitteiden toimintaa on hyvä tarkkailla säännöllisesti, varsinkin ennen lämmityskauden alkua ja lämmityskaudella. Mahdollinen vika ilmenee monesti liian suuresta kaukolämmön kulutuksesta, jota verrataan edellisvuosiin. Lämmönvaihdinpaketissa oleva lämmönsiirtimen tekninen käyttöikä on jopa 30 vuotta. Joissakin komponenteissa, kuten vesipumpuissa, paisunta-astiassa ja varolaitteissa vaihto uuteen saattaa tulla ennemmin. (Motiva, lämpöä kotiin keskitetysti 2017, 10.)

3.2 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmässä lämmöntuotanto tapahtuu öljykattilassa, johon kuuluu öljypoltin ja säätölaitteet. Öljy virtaa kattilaan öljysäiliöstä, joka on omakotitaloissa tyypillisesti 1500-3000 litraa. Savut johdetaan kattilasta pois savuhormin kautta. Termostaatti ohjaa öljypoltinta automaattisesti lämmöntarpeen mukaan ja lämmitteää kattilan vesitilan. Öljykattilasta lämmennyt vesi ohjataan joko vesikiertoiseen lattialämmitykseen tai patterilämmitykseen. Öljykattila riittää lämmittämään kattilassa myös lämpimän käyttöveden tehokkaalla käyttövesikierukalla, koska sen lämmitysteho on niin suuri ja näin ollen erillistä lämminvesivaraajaa ei tarvita. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 24.)



Kuvio 5. Öljylämmitysjärjestelmän osat ja toimintaperiaate (Taloon.com 2017).

Öljykattiloita on olemassa yksi- ja kaksipesäkattiloita. Yksipesäkattila on tarkoitettu pelkästään öljyn käyttämiseen polttoaineena. Kaksipesäkattila pystyy käyttämään öljyn rinnalla myös jotain toista polttoainetta, esimerkiksi puuta. Yksipesäkattilan hyötysuhde on parempi verrattuna kaksipesäkattilaan. Öljykattilat varustetaan monesti myös sähkövastuksella mahdollisten häiriöiden varalta, minkä vuoksi öljykattila on varma lämmöntuotantomenetelmä. Öljylämmitysjärjestelmään voidaan yhdistää myös uusiutuvaa energiaa kuten aurinkoenergiaa (kuvio 5). (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 24.)

Kustannukset. Öljylämmityksen investointikustannuksiin kuuluvat öljykattila, poltin, öljysäiliö, vesipumput sekä paisunta-astia ja varolaitteet asennuksineen.

Käyttökustannuksiin tulee öljyn hinta kulutuksen perusteella. Öljy toimitetaan suoraan rakennuksessa sijaitsevaan öljysäiliöön. Öljyn toimitus sisältyy monesti myös öljyn hintaan. Öljyn hinta ilmoitetaan euroa litraa kohden (€/l). (Öljylämmittäjän tietopankki 2016.) Yhdellä litralla öljyä saadaan noin 10 kilowattituntia lämmitysenergiaa (D5 2012, 73).

Huolto ja kunnossapito. Öljylämmityslaitteisto vaatii säännöllistä huoltoa. Öljypoltin tulee huoltaa joko kahden vuoden välein tai 5000 öljylitran kulutuksen jälkeen. Huoltoa polttimelle kuitenkin suositellaan vuoden välein. Öljypolttimen ja -kattilan huolto on luvanvaraista toimintaa ja sen saa tehdä vain ammattilainen. Kattilan nuohouksen lisäksi savuhormin nuohous on suoritettava kerran vuodessa. Öljykattilan käyttöikä on noin 30 vuotta, riippuen kattilasta ja sen käyttöasteesta. Öljypoltin tulee yleensä elinkaarensa päähän 15 vuoden kuluessa. Muilta osin öljylämmöntuotantolaitteisto vaatii säännöllistä tarkkailua ja komponenttien rikkoutuessa ne on vaihdettava uuteen. (Öljylämmittäjän tietopankki 2016.)

3.3 Sähkölämmitys

Sähkölämmitys voidaan jakaa suoraan sähkölämmitykseen sekä vesikiertoiseen sähkölämmitykseen. Suoralla sähkölämmityksellä eli huonekohtaisella sähkölämmityksellä tarkoitetaan lämmitysmuotoa, jossa sähkö tulee suoraan lämmönluovuttimille. Suoran sähkölämmityksen yhteyteen tarvitaan lämminvesivaraaja, joka lämmittää käyttöveden rakennuksen asukkaiden tarpeisiin. (Energiatehokas koti, huonekohtainen sähkölämmitys 2016.)

Toinen tapa sähkölämmitystä käytettäessä on siirtää sähkökattilassa tai lämminvesivaraajassa sähkövastuksien avulla tuotettua lämmintä vettä lämmönjakelujärjestelmään sekä lämpimään käyttöveteen. Tässä työssä vesikiertoisen sähkölämmityksen lämmöntuottomuodoksi on valittu sähkökattilan ja lämminvesivaraajan yhdistelmä, jolloin ne on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Tässä tapauksessa

lämmin käyttövesi voidaan lämmittää yöaikana hieman halvemmalla yösähköllä. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 23.)

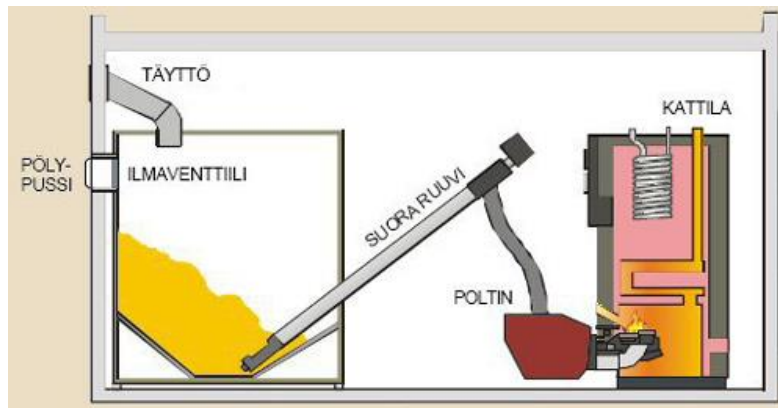
Tukilämmitysmuotoja kannattaa hyödyntää etenkin taloissa, joissa on suora sähkölämmitys. Niiden avulla saadaan kevennettyä etenkin kovilla pakkasilla sähköverkon kuormaa. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 22.)

Kustannukset. Suoran sähkölämmityksen investointikustannukset luetaan kuuluvaksi lämmönjaon investointikustannuksien yhteyteen. Sähkökattilalämmityksessä investointikustannuksiin lukeutuu sähkökattila, johon on liitetty lämminvesivaraaja, vesipumput sekä paisunta-astia ja varolaitteet asennuksineen. Sähkölämmityksen käyttökustannuksiin luetaan sähkön kulutus, joka ilmoitetaan kilowattitunteita (kWh/snt).

Huolto ja kunnossapito. Sähkökattila on hyvinkin helppokäyttöinen ja varma lämmöntuottotapa. Huoltoa se ei juurikaan vaadi. Sähkökattilat kestävät yleensä vähintäänkin 30 vuotta. Kiertovesipumput, paisunta-astia ja varolaitteet tulee vaihtaa uusiin noin 20 vuoden kuluessa, kuten melkein kaikissa muissakin lämmöntuottomuodoissa. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 23.)

3.4 Pellettilämmitys

Pelletillä lämmittäminen on vakiinnuttanut asemansa Suomessa suosittujen lämmitysmuotojen joukossa. Pelletti on sylinterin muotoon tiiviiksi puristettua puumasaa, kuten sahanpurua. Se on täysin kotimainen ja uusiutuva luonnonvara, joten sen saannin tulevaisuus on turvattu. Pellettilämmityksen keskeinen laite on pellettikattila, jossa lämmin käyttövesi sekä lämmönluovuttimien tarvitseva lämmin vesi lämmitetään polttimella. Pelletit kulkeutuvat automaattisesti siilosta siirtoruuvien avulla pellettikattilaan. Siilolle sopiva koko olisi noin 8 m³, siihen mahtuu noin vuoden pellettien tarve omakotitalon lämmittämisessä. Pellettilämmitys toimii säätölaitteiden avulla automaattisesti. Pellettikattila ei tarvitse yleensä rinnalleen erillistä lämmin käyttövesivaraajaa, sillä kattilan teho riittää lämmittämään myös lämpimän käyttöveden. Kattila liitetään savuhormiin, joka kuljettaa savukaasut ulos (kuvio 6). (Pellettienergia.)



Kuvio 6. Pellettilämmityksen toimintaperiaate (Pellettilämpö 2016).

Kustannukset. Investointikustannuksiin luetaan pellettikattila ja poltin, jotka monesti tulevat samassa paketissa. Lisäksi tarvitaan siilo, johon pelletit varastoidaan sekä siirtoruuvi. Pellettien varastointiin tarkoitettuna siilon tulee olla tarpeeksi iso, ja sille tulee varata riittävästi tilaa. Vesipumput sekä paisunta-astia ja varolaitteet luokituvat myös kustannuksiin asennuksineen. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 14.)

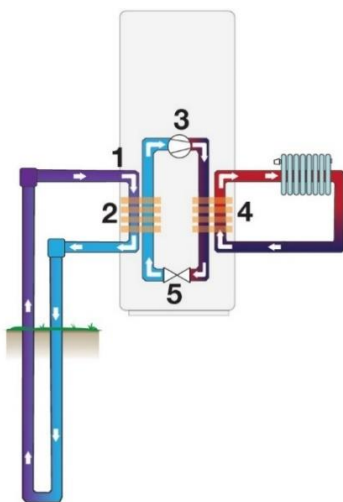
Käyttökustannuksiin kuuluu polttoaineen eli pelletin hinta. Pellettiä myydään joko irtotavarana tai pienissä 15 tai 20 kilon säkeissä tai 500 ja 1000 kilon suursäkeissä. Pelletit myydään usein kilohinnalla (Pellettienergia). Yhdellä kilolla pellettiä saadaan noin 4,7 kilowattituntia lämmitysenergiaa (D5 2012, 73).

Huolto ja kunnossapito. Pellettilämmitys vaatii säännöllistä huoltoa, jotta toiminta olisi häiriötöntä. Järjestelmä on suhteellisen helppohoitoinen ja toimii pitkälti automaattisesti. Käyttäjän on itse tehtävä puhdistushuolto noin kerran kuukaudessa kovimmilla lämmitysjaksoilla. Tähän huoltoon kuuluu ainakin tuhkan poisto, mutta myös kattilan tulipintojen puhdistus tulee monesti tarpeeseen sekä polttimen palopään tarkistus. Tuhkan tyhjennyksen sekä pienemmät huollot saa tehdä itse, mutta ne voi jättää myös ammattilaisen tehtäväksi. Lisäksi hormi tulee nuohota ja tarkistaa vuoden välein. Pellettikattilan elinkaari on noin 20-30 vuotta ja polttimella noin 10-15 vuotta, jonka jälkeen laitteet tulee vaihtaa uusiin. Kiertovesipumput, paisunta-astia ja varolaitteet kestävät käytöstä riippuen noin 20 vuotta. (Pellettienergia.)

3.5 Maalämpöpumppu (MLP)

Maalämpöpumput ovat kehittyneet nykyään tehokkaiksi ratkaisuiksi mietittäessä rakennuksen lämmöntuottojärjestelmää. Maalämpöpumpun käyttämä ilmainen lämpöenergia otetaan maaperästä varastoituneesta lämmöstä, mutta sen talteenottoon tarvitaan sähköä. Lämpöpumppu siirtää lämpöenergian maasta rakennuksen vesikiertoiseen lattialämmitykseen tai patterilämmitykseen sekä lämpimään käyttöveteen. Maalämpöpumppu mitoitetaan joko täysteho- tai osatehomitoitukselle. Osatehomitoitusta käytettäessä pumppu käyttää kovimmilla pakkasilla sähkövastusta, jotta veden lämpötila saadaan nostettua riittävän korkeaksi. MLP ei vaadi kovinkaan paljon tilaa: Vain noin yhden neliömetrin kokoinen lattiatila riittää esimerkiksi kodinhoituhuoneesta tai erillisestä teknisestä tilasta. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 17.)

Lämpöpumppu siirtää lämpöä viileämmästä lämpimämpään. Pumpun tärkeimmät komponentit ovat kompressori, paisuntaventtiili, höyrystin sekä lauhdutin (kuvio 7). Maahan asennetussa putkistossa oleva keruuliuos kulkee höyrystimen läpi siirtäen lämpöenergiaa lämpöpumpun kylmäaineeseen (kuviossa kohta 1 ja 2). Tämän jälkeen kompressori nostaa korkeapaineen avulla höyrystyneen kylmäaineen toivottuun lämpötilaan (3). Lämmitetty kaasu ajetaan lauhduttimeen, jossa höyry muodostuu takaisin nesteeksi, kun lämmityspiiristä palaava neste jäähdyttää höyryn (4). Jäähdytynyt kylmäaine kulkee vielä paineenalennusventtiilin kautta, josta se palaa höyrystimeen (5). (Geodrill.)



Kuvio 7. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Pientalo Suomela.fi 2014).

Suurin osa maalämpökohteista toteutetaan maahan porattavalla halkaisijaltaan noin 115-165 mm olevalla porakaivolla, johon lämmönkeruuliuksella sisältävä putkisto asennetaan. Lämpökaivot ovat tyypillisesti 100-200 metrin syvyisiä. Kaivosta saadaan lämmitysenergiaa noin 90-110 kilowattituntia porakaivometriltä riippuen maaperästä sekä sijainnista. Lämpökaivoa pystytään hyödyntämään kesäisin myös tilojen viilennykseen ilmanvaihdon välityksellä. (Energiatehokas koti, maalämpöpumppu 2016.)

Noin kolmasosa maalämpötaloista käyttää maalämmön keruutapana vaakaputkistoa, joka asennetaan vaakatasoon maan alle noin 1-1,2 metrin syvyyteen. Vaakaputkistosta saadaan vähemmän lämmitysenergiaa putkimetriä kohden verrattuna porakaivoon. Maaperästä energiaa saadaan 25-50 kilowattituntia putkimetriltä. Savinen maaperä tuottaa huomattavasti enemmän lämmitysenergiaa kuin hiekkainen. (Energiatehokas koti, maalämpöpumppu 2016.)

Kustannukset. Investointikustannuksiltaan maalämpöpumppu lämmöntuottomuotona on suhteellisen kallis, mutta käyttökustannuksiltaan edullinen. Alkuinvestointeihin kuuluu itse maalämpöpumppu sekä vaakaputkiston asennus tai lämpökaivon poraus putkistoasennuksineen. Porakaivoasennuksella investoinnit ovat kalliimmat kuin vaakaputkistoasennuksella, mutta lämmitysenergiaa ei saada suhteessa yhtä paljon metriä kohden. Myös tontin pinta-ala saattaa olla rajoittava tekijä vaakaputkistoa harkittaessa. Porakaivo soveltuu lähes joka tontille. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 17.)

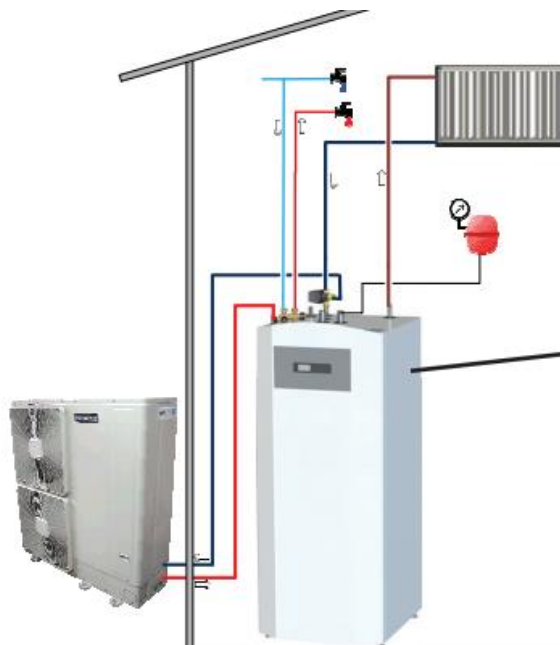
Käyttökustannuksiin lukeutuu vain maalämpöpumpun vaatima sähköenergia, mihin vaikuttaa lämpöpumpun hyötysuhde sekä lämmitysenergian kulutus.

Huolto ja kunnossapito. Maalämpöpumppu on hyvin helppokäyttöinen ja huoltovapaa. Kompressorin käyttöikä on yleisesti noin 15-20 vuotta. Kompressorin voidaan vaihtaa uuteen ilman, että tarvitsee vaihtaa kokonaan uutta maalämpöpumppua. Myös kiertovesipumput, paisunta-astiat ja varolaitteet saattavat rikkoutua aiemmin kuin itse lämpöpumppu, joten nekin voidaan vaihtaa uuteen ilman lämpöpumpun uusimista. Maalämmön keruuputkiston katsotaan kestävän rakennuksen käyttöajan. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 17.) Maalämpöpumpun tekniset käyttöiät vaihtelevat tyyppikohtaisesti sekä käyttöasteen

perusteella 15-30 vuoden välillä (Energiatehokas koti, lämmitysjärjestelmien elinkaari 2016).

3.6 Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP)

Ilma-vesilämpöpumppu on hyvin tuore keksintö lämpöpumppumarkkinoilla. IVLP toimii suurimmilta osin samalla periaatteella kuin maalämpöpumppukin. Nykypäivän ilma-vesilämpöpumpuissa kaikki tekniikka on ulkoyksikössä, josta vesi kiertää sisällä olevaan varaajaan ja sitä kautta lämmönjakeluverkostoon sekä lämpimään käyttöveteen (kuvio 8). Ulkoilman lämpötilan laskiessa myös lämpöpumpun hyötysuhde laskee huomattavasti. Tehokkaimpien ilma-vesilämpöpumppujen toimintapiste ulottuu jopa -25 °C :een. Kovilla pakkasilla IVLP:n suora käyttö ei ole juurikaan mahdollista, vaan lämpöpumpussa tai lämminvesivaraajassa olevat sähkövastukset lämmittävät veden tarpeeksi lämpimäksi. Tällöin energian kulutus vastaa sähkölämmityksen energian kulutusta. Tämän vuoksi tukilämmitysjärjestelmä on oiva valinta myös ilma-vesilämpöpumpun rinnalle. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 18.)



Kuvio 8. Ilma-vesilämpöpumppu (Hitachi).

Kustannukset. Alkuinvestointeihin kuuluu oleellisesti Ilma-vesilämpöpumpun hankinta asennuksineen. Käyttökustannuksiin tulee sama kuin maalämpöpumpulla eli sähköenergian kulutus.

Huolto ja kunnossapito. Ilma-vesilämpöpumppu on helppokäyttöinen ratkaisu lämmitysmuodoksi. Lämpöpumpun toimintaa kannattaa tarkkailla silmämääräisesti ja säännöllisin väliajoin tarkastaa kylmäaineen määrä sekä varo- ja paisuntalaitteet. Lämpöpumpun kompressorin ja muiden pienempien komponenttien teknisiin käyttöikiin pätee samat asiat kuin maalämpöpumpullakin. Ulkoyksikön elinkaari tulee päätökseen usein noin 20 ja sisäyksikön 30 vuoden kuluessa. (LVI 01-10424, 2008, 13-18.)

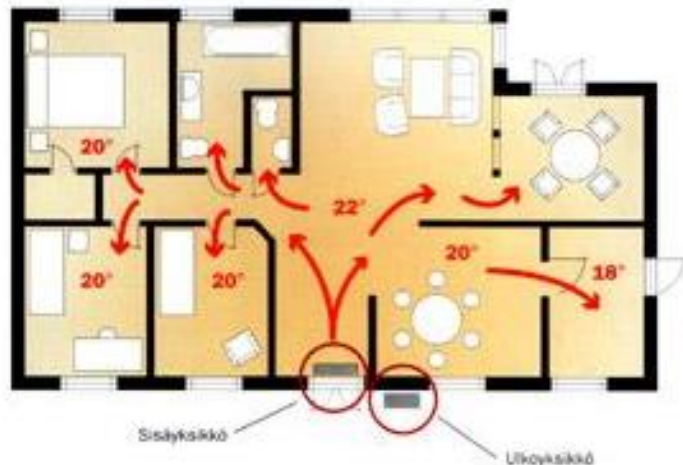
3.7 Tukilämmitysjärjestelmät

Tukilämmitysjärjestelmiksi laskentatyökaluun valittiin ilma-ilmalämpöpumppu sekä tulisija. Näiden avulla pystytään pienentämään taloon ostettavan lämmitysenergian määrää ja lämmityskustannuksia. (Lämmin koti.) Myös aurinkolämpö luetaan tukilämmitysjärjestelmiin, mutta se jätettiin tästä työstä pois, koska aurinkolämpö on vielä nykypäivänä melko harvinaista omakotitalojen tukilämmitysjärjestelmien hyödyntämisessä.

3.7.1 Ilma-ilmalämpöpumppu (ILP)

Ilma-ilmalämpöpumppu sisältää ulko- ja sisäyksikön. Yhtä ulkoyksikköä kohden voi olla liitettynä vain yksi tai monta eri sisäyksikköä. Lämpöpumpun sisäyksikkö kierrättää talon sisäilmaa lävitseen ja lämmittää sitä ulkoilmasta saatavalla ilmaisella lämpöenergialla. Toisin sanoen Ilma-ilmalämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin ilma-vesilämpöpumppu, mutta siirtää lämpöenergian ilmasta ilmaan, kun vastaavasti ilma-vesilämpöpumppu siirtää sen ilmasta veteen. Varsinaisesti ILP lämmittää tai jäähdyttää vain sitä tilaa, johon sisäyksikkö on asennettu. Toki ilmavirtojen mukana lämmintä tai viileää ilmaa saattaa kulkeutua myös muihinkin tiloihin, kuten kuviossa 9 on kuvattu. Ilma-ilmalämpöpumpulla saadaan yleensä 2-3-kertaisesti lämpöenergiaa verrattuna lämpöpumpun sähkökulutukseen, mihin

vaikuttaa suoraan ulkoilmanlämpötila sekä lämpöpumpun tehokkuus. Matalammalla ulkoilman lämpötilalla lämpöä saadaan tuotettua sisätiloihin vähemmän kuin korkeammalla ulkoilman lämpötilalla. Nykypäivän laitteilla noin $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ulkoilman lämpötilaa voidaan pitää rajana lämpöpumpun toiminnalle riittävän suorituskyvyn kannalta. Tuota kylmemmillä ilmoilla lämpöpumpun toiminta ei ole enää kannattavaa. (Lämmin koti.)



Kuvio 9. Ilma-ilmalämpöpumpusta saatavan lämmön jakautuminen (Epitek).

Ilma-ilmalämpöpumpulla pystytään tuottamaan tyypillisesti noin 10-40 % rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta, riippuen pääasiassa rakennuksen koosta, maantieteellisestä sijainnista sekä lämpöpumpun tehosta ja käyttötavoista. Suomen pohjoisissa olosuhteissa ilmalämpöpumpuilla (ILP ja IVLP) ei saada lämmitysenergiaa ulkoilmasta yhtä paljon kuin eteläisemmässä Suomessa, johtuen ulkoilman kylmemmistä olosuhteista. (Lämmin koti.)

Kustannukset. Investointikustannuksiin sisältyy ilma-ilmalämpöpumppu asennuksineen. Lämpöpumppu myydään yleensä yhtenä pakettina, johon kuuluu sekä ulko- että sisäyksikkö. Käyttökustannuksiin lukeutuu lämpöpumpun vaatima sähköenergian kulutus, jonka suuruus määräytyy käytön perusteella.

Huolto ja kunnossapito. ILP on helppokäyttöinen ratkaisu tukilämmitysmuodoksi. Automatiikkansa ansioista lämpöpumppu pitää tilan lämpötilan tasaisena, mikä tekee sen käytöstä hyvinkin vaivatonta. Ulkoyksikön elinkaari tulee päätökseen usein noin 20 ja sisäyksikön 30 vuoden kuluessa, kuten ilma-

vesilämpöpumpuissakin (LVI 01-10424, 2008, 13-18.) Joitakin pienempiä huoltoja voidaan joutua tekemään tietyin väliajoin (esim. suodattimen vaihto).

3.7.2 Tulisijat

Tulisijoilla pystytään tuottamaan hyvinkin merkittävä osuus, noin 500–5000 kilowattituntia vuodessa rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta ja näin ollen säästää lämmityksen käyttökustannuksissa. Toki täytyy muistaa, että puullakaan lämmittäminen ei ole välttämättä ilmaista, mikäli lämmityspuuta ei ole saatavilla omasta metsästä. Varaavilla takoilla pystytään saamaan enemmän lämmitysenergiaa paremman hyötysuhteen ansioista kuin kevytrakenteisilla takoilla, koska takan massiiviset rakenteet varaavat lämpöenergiaa itseensä ja luovuttaa sitä hiljalleen huonetiloihin. Lisäksi tulisijoista saatavaan lämmitysenergian määrään vaikuttaa tulisijojen käyttöaste, puun laatu sekä ajankohta vuositasona. Kovilla pakkasilla tulisijoista saadaan suurin hyöty. Tulisija kannattaa sijoittaa mahdollisimman keskelle rakennusta, jotta lämpö leviää tasaisesti ympäri rakennusta. (Lämmin koti.)

Kustannukset. Tämän työn kannalta alkuinvestointia ei lasketa mukaan tulisijalle, koska tulisijat eivät ole pelkästään rakennuksessa lämmityksen vuoksi, vaan myös tunnelman luoja sekä sisustuselementtejä. Käyttökustannuksiin lukeutuu poltettavan puun hinta, mikäli sitä ei ole saatavilla omasta metsästä. Pinokuutiosta polttopuuta saadaan keskimäärin 1340 kilowattituntia lämmitysenergiaa (Motti.fi 2010).

Huolto ja kunnossapito. Tulisijatkin vaativat jonkin verran huoltoa ja kunnossapitoa, kuten tuhkanpoiston sekä hormin nuohouksen tietyin väliajoin. Tämän työn laskelmissa ei ole otettu tulisijoille mukaan huoltokustannuksia, koska tulisija ei ole välttämättä rakennuksessa pelkän lämmityksen vuoksi.

4 LÄMMÖNJAKOJÄRJESTELMÄT

Lämmönjakojärjestelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen eri toimintatapaan, vesikiertoiisiin sekä kuiviin järjestelmiin eli tässä tapauksessa sähköisiin lämmönluovuttimiin. Rakennuksen lämmönluovuttimiin lämmönjakeluverkoston kautta tuleva lämmitysenergia on tuotettu lämmöntuottojärjestelmillä. Koko rakennusta ei välttämättä toteuteta vain yhdellä lämmönjakelujärjestelmällä, sillä lämmönluovutustavan valintaan vaikuttavat myös tilan tarpeet. Esimerkiksi märkätiloihin suositellaan asennettaviksi usein lattialämmitys, koska se kuivattaa kosteuden esimerkiksi kylpyhuoneen lattian pinnalta erinomaisesti. (Motiva, lämmönjaon vaihtoehdot 2016.)

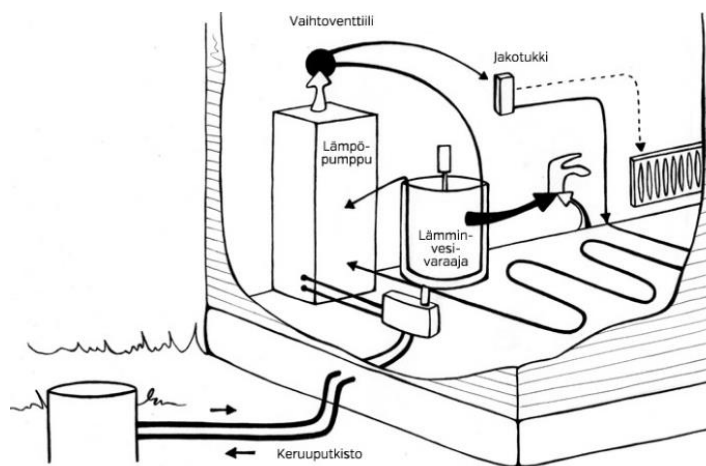
Taulukossa 4 on esitettyinä lämmönjakojärjestelmien hyviä ja huonoja puolia sekä mihin kyseiset lämmönjakojärjestelmät soveltuvat hyvin.

Taulukko 4. Lämmönjakojärjestelmien hyvät ja huonot puolet.

Lämmönjakojärjestelmä	Hyvät (+)	Huonot (-)	Soveltu hyvin
Vesikiertoinen lattialämmitys	Varaa hyvin lämpöenergiaa lattiaan	Hidas reagointi	kaikenlaisiin olosuhteisiin, erityisesti kuivat tilat
	Lämmöntuottomuodon vaihtaminen helppoa	lämpötilamuutoksiin	
	Pitkällä aika-välillä melko edullinen	Melko suuret lämpöhäviöt	Eryteisesti lämpöpumput
		Melko kallis investointi ja asennus	Myös kaukolämpö, öljy-, sähkökattila- ja pellettilämmitys
Vesikiertoinen patterilämmitys	Reagoi suhteellisen nopeasti lämpötilamuutoksiin	Melko suuret lämpöhäviöt	Kaikkiin huonetiloihin
	Lämmöntuottomuodon vaihtaminen helppoa	Melko kallis investointi ja asennus	Lähen kaikkien lattiamateriaalien kanssa
	Pitkällä aika-välillä melko edullinen	Vaatii korkeamman menoveden lämpötilan kuin vesikiertoinen	Eryteisesti kaukolämpö, öljy- ja sähkökattilalämmitys
Sähköinen lattialämmitys	Melko hyvä hyötysuhde	Hidas reagointi	Eryteisesti kosteat tilat
	Varaa hyvin lämpöenergiaa lattiaan	lämpötilamuutoksiin	Vesikiertoisen lämmönjaon rinnalle (märkätilat)
	Ei tarvitse erillistä lämmöntuotto- ja jakelujärjestelmää	Lämmöntuottomuodon vaihtaminen työlästä -> uusi lämmönjakojärjestelmä myös käyttökustannukset kalliit	
Sähköinen patterilämmitys	Reagoi nopeasti lämpötilamuutoksiin	Lämmöntuottomuodon vaihtaminen työlästä -> uusi lämmönjakojärjestelmä myös käyttökustannukset kalliit	Pienet talot
	Hyvä hyötysuhde		Yksittäisiin tiloihin (varastot)
	Ei tarvitse erillistä lämmöntuotto- ja jakelujärjestelmää		
	Halpa investointi ja asennus		

4.1 Vesikiertoiset lämmönjakojärjestelmät

Vesikiertoinen lattialämmitys. Vesikiertoisen lattialämmityksen toimintaperiaatteenä on luovuttaa lattialämmitysputkessa kiertävästä vedestä lämpöä lattiamateriaaliin, mikä taas luovuttaa sitä ylöspäin huoneilmaan koko lattia-alalta (kuvio 10). Suuresta lämmönluovutusalueesta johtuen lattialämmitysputkessa kiertävän veden lämpötila pystytään pitämään alhaisena, noin 40-asteisena. Lattialämmitys suunnitellaan monesti siten, että rakennuksessa on monia eri lämmityspiirejä, jopa niin, että jokaisella tilalla on oma lämmityspiiri. Näin ollen lämpötilaa pystytään säätämään tilakohtaisesti. (Uponor 2017.)



Kuvio 10. Vesikiertoinen lattia- ja patterilämmitys maalämmöllä (Nordic Ekolämpö).

Vesikiertoinen patterilämmitys. Vesikiertoiset patterit luovuttavat lämpöenergiaa suoraan patterien pinnalta lämmittäen huoneilmaa. Pattereille tuleva lämmin vesi, niin kutsuttu menovesi on lämmitetty lämmöntuotantolaitteistolla, mikä taas palaa takaisin paluuputkessa jäähtyneenä lämmönlähteelle. Menoveden lämpötilana pidetään usein 45 astetta ja paluueden 30 astetta. Menoveden lämpötila toki riippuu ulkoilman lämpötilasta. Kylmemmällä ulkoilman lämpötilalla syötetään kuumempaa vettä lämmitysverkostoon. Lämmityspattereilla saadaan poistettua tiloissa hyvin vedontunnetta, niinpä ne asennetaan usein ikkunoiden alle. (Motiva, lämmönjaon vaihtoehdot 2016.)

Huolto ja kunnossapito. Nykypäivänä vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät kestävät oikein asennettuina ainakin 50 vuotta, mutta tekninen käyttöikä voi olla jopa rakennuksen eliniän ajan varsinkin lattialämmitysputkien ja patterien osalta. Tietty-

jä osia, kuten venttiilejä saatetaan joutua vaihtamaan ennemminkin niiden rikkoutuessa. Lattialämmityksen huonetermostaatit tulee vaihtaa noin 10–20 vuoden välein, jotta niiden toiminta on moitteetonta ja tilan lämpötila säätyy oikein. Patterien termostaatit sekä venttiilirungot tulee vaihtaa noin 10–20 vuoden välein. Yleisesti vesikiertoista lämmönjakojärjestelmää tulee tarkkailla säännöllisin väliajoin, esimerkiksi mahdollisten putkivuotojen vuoksi. (LVI 01-10424, 2008, 16-17.)

4.2 Sähköiset lämmönjakojärjestelmät

Sähköinen patterilämmitys. Sähkölämmitystä käytettäessä lämpö tuotetaan suoraan lämmönluovuttimissa olevalla sähkövastuksella. Toisin sanoen lämmönluovuttimissa on samalla myös lämmöntuotantolaitteisto ja varsinaista lämmönjakeluverkkoa ei ole, vaan sähkön siirtoverkko toimii energian tuojana. Sähköiset patterit on varustettu nykypäivänä elektronisilla termostaateilla, mikä pitää huonelämpötilan tarkasti asetetussa arvossaan. Hyötysuhteen kannalta sähköpatteri on hyvä valinta, koska lämpö tuotetaan suoraan patterissa eli siinä tilassa, jossa lämpöä tarvitaan ja näin ollen lämpöhäviöitä ei pääse syntymään lämmöntuoton aikana. (Motiva, lämmönjaon vaihtoehdot 2016.)

Sähköinen lattialämmitys. Sähköinen lattialämmitys tuottaa lämmön lattiaan asennetusta lämpökaapelista, joka tuottaa lämpöä koko lattian alueelle. Lämpötilaa pystytään säätämään huonekohtaisilla seinään asennetuilla termostaateilla. Sähköistä lattialämmitystä käytetään monesti täydentämään vesikiertoista lämmönjakojärjestelmää esimerkiksi märkätiloissa. Sähköinen lattialämmitys voidaan toteuttaa myös osittain varaavana, jolloin se on päällä vain yöaikaan halvemman yösähkön vuoksi. Lämpö varataan tällöin yöaikana lattiamateriaaliin, joka luovuttaa sitä päiväsaikaan huonetilaan. (Ebeco.)

Huolto ja kunnossapito. Sähköinen lattialämmitys on hyvin huoltovapaa. Uusimmat lattialämmityskaapelit kestävät jopa rakennuksen eliniän. Ainoastaan seinällä olevat huonetermostaatit tulee vaihtaa uusiin 10–20 vuoden välein. Sähköpatterit tulee vaihtaa uusiin noin 20–30 vuoden välein, koska lämmöntuotto heikenee vanhoissa pattereissa. (Energiatehokas koti, lämmitysjärjestelmien elinkaari 2016.)

5 RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS

Tässä työssä käytetään sovelletusti Suomen rakennusmääräyskokoelma D5:n rakennuksen energiankulutuksen laskentamenetelmiä, jotta laskentatyökalulla pystytään määrittämään rakennuksen lämmitysenergian kulutus vuositasolla. Laskentatyökalu käyttää kuukausitason laskentaa, jolloin ajanjaksoina käytetään aina kyseisen kuukauden tuntimäärää sekä kyseisen kuukauden keskilämpötiloja riippuen, millä vyöhykkeellä rakennus on. Suomi on jaettu neljään eri vyöhykkeeseen ulkoilman lämpötilojen sekä auringosta saatavan säteilyenergian perusteella. (D3 2012, 29.)

Lämmityksen käyttökustannuksia tarkasteltaessa hyvin tärkeä tieto on rakennuksen lämmittämisen ostoenergian kulutus, minkä määrittelemiseen tarvitaan luonnollisesti rakennuksen lämmitysenergian kulutus. Laskentatyökalun rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen laskennan toimintaperiaatteena on, että osa tilojen lämmityksestä sekä lämmin käyttövesi kokonaisuudessaan tuotetaan päälämmitysjärjestelmällä. Lisäksi laskentatyökalun antamista tuloksista pystyy katsomaan ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin kuluttaman lämmitysenergian sekä käyttökustannukset. Työkalussa oletuksena on, että ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri on sähköpatteri, joten sen käyttämä lämmitysenergia tuotetaan sähköllä.

5.1 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitysenergian nettotarve on tilojen lämmitysenergian tarve, mistä vähennetään sisäiset lämpökuormat (D5 2012, 15).

Kaava, jolla lasketaan rakennuksen lämmitysenergian nettotarve

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (1)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ = tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh

Q_{tila} = tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

$Q_{sis.lämpö}$ = lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh.

5.1.1 Tilojen lämmitysenergian tarve

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan summana rakennuksen johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä sekä ilmanvaihdon tuloilman lämpenemisen tarpeesta tilassa huonelämpötilaan (D5 2012, 15). (Liite 1)

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi. Tässä lasketaan yhteen rakennusosittain, joihin lukeutuu ulkoilmaan rajoittuvat ulkoseinät, yläpohja, alapohja, ikkunat, ovet sekä kylmäsiljat (D5 2012, 15). (Liite 2)

Ulkoseinien, yläpohjan, ikkunoiden, ovien sekä kylmäsiltojen johtumislämpöhäviöiden laskennassa ulkoilman lämpötilana käytetään vyöhykekohtaisia kuukausien keskimääräisiä ulkoilman lämpötiloja (D5 2012, 16).

Alapohjan johtumislämpöhäviön laskennassa käytettävä lämpötilaero määräytyy alapohjan rakennustavasta. Laskentatyökalussa tätä ei pysty valitsemaan, vaan oletuksena on, että omakotitalojen alapohjat on rakennettu maanvastaisena alapohjana. Maanvastaisen alapohjan kautta johtuva lämpöenergia lasketaan käyttämällä alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa, joka lasketaan ulkoilman vuotuisesta keskilämpötilasta (D5 2012, 18). (Liite 2)

Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve. Vuotoilma muodostuu rakenteiden epätiiveyksien kautta, jota varten lasketaan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia. Vuotoilman laskemisessa voidaan käyttää joko rakennuksen ilmanvuotolukua tai rakennusvaipan ilmanvuotolukua. (D5 2012, 18-19.) (Liite 2)

Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpöenergian tarve. Tämä lasketaan rakennuksen tuloilmavirran mukaan. Muita laskemiseen vaikuttavia tekijöitä on ilmanvaihtokoneen käyntiaikasuhde, mikä tosin oletetaan käyvän omakotitaloissa koko ajan. Lisäksi sisäänpuhalluslämpötila sekä rakennuksen sisälämpötila vaikuttavat lopputulokseen. (D5 2012, 23.) (Liite 2)

5.1.2 Sisäiset lämpökuormat

Sisäisiin lämpökuormiin luetaan auringon ja sisäisten lämpökuormien vaikutus. Sisäisiä lämpökuormia ovat henkilöistä, valaistuksesta sekä sähkölaitteista tiloihin vapautuva lämpöenergia.

Lämpökuormat henkilöistä. Henkilöistä aiheutuvaan lämpökuormaa vaikuttaa olennaisesti henkilöiden lukumäärä sekä oleskeluaika rakennuksessa. Yhden henkilön keskimäärin luovuttamana lämpötehona voidaan pitää 85 wattia. (D5 2012, 29.) Oleskeluajan käyttöasteena pientaloissa käytetään 0,6, mikä vastaa vuorokaudessa noin 14,5 tuntia (D3 2012, 19). (Liite 3)

Lämpökuormat valaistuksesta ja sähkölaitteista. Valaistuksen ja sähkölaitteiden sähkönkulutus tulee kokonaisuudessaan lämpökuormaksi rakennukseen (D5 2012, 30). Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämmönluovutusteholle on annettu keskimääräiset ohjearvot rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden. Valaistuksella ohjearvo on 8 W/m² käyttöasteen ollessa 0,1. Sähkölaitteille vastaavat luvut ovat 3 W/m² ja 0,6. (D3 2012, 19.) (Liite 3)

Lämpökuormat auringosta. Auringon säteilyenergia tulee rakennukseen ikkunoiden kautta, joten ikkunoiden pinta-alalla on merkitystä säteilyenergian määrään. Ikkunoiden suuntaus sekä rakennuksen sijainti maantieteellisesti vaikuttavat säteilyenergian määrään, mikä on huomioitu laskentatyökalussa. Työkalussa on käytetty Suomen rakennusmääräyskokoelma D3 auringon säteilyenergian arvoja eri ilmansuunnittain sekä vyöhykkeittäin. Myös ikkunan rakenteella sekä mahdollisilla verhoilla pystytään vaikuttamaan rakennuksen sisälle tulevan säteilyenergian määrään. Mahdollisia varjostuksia ei ole huomioitu laskentatyökalussa. (D5 2012, 30-32.) (Liite 3)

5.1.3 Sisäisten lämpökuormien hyödyntäminen

Sisäiset lämpökuormat voidaan hyödyntää vain osittain rakennuksen lämmityksessä. Edellytyksenä lämpökuormien hyödyntämiselle on, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta sekä lämmityksen säätölaitteiden oikea toiminta vähen-

täen muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. Lämpökuormien hyödyntäminen lasketaan kuukausittain lämpökuormien kuukausittaista hyödyntämistä käyttäen. (D5 2012, 34-36.) (Kaavat liitteessä 3)

5.2 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan kulutuksen mukaan, mikä määräytyy asukkaiden lukumäärästä. Yhden henkilön ominaiskulutuksena voidaan pitää vuorokautta kohden 60 dm^3 . Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarpeesta, joka jaetaan lämpimän käyttöveden siirtotavan hyötysuhteen mukaan. Laskentatyökalussa oletusarvona siirtotavalle on, että lämmin käyttövesijohto kulkee suojaputkessa. Hyötysuhteen arvo on otettu D5:n mukaan. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeeseen summattaisiin vielä varastoinnin ja kiertojohdon lämpöhäviöt. Tässä työssä kiertojohdon sekä varastoinnin lämpöhäviöt on jätetty pois, koska ne eivät vaikuta lopputulokseen olennaisesti. Vain suoraan sähkölämmitykseen lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöt on laskettu mukaan lämminvesivaraajan vuoksi. Lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuisena häviönä työssä on käytetty 125 kWh vuodessa henkilöä kohden. (D5 2012, 24, 41-42.) (Liite 4)

5.3 Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve

Tässä työssä ilmanvaihdon lämmityksen energiamuotona käytetään sähköä, koska pientalojen ilmanvaihtokoneiden jälkilämmityspatterit ovat yleisimmin sähköpattereita. Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeen määrään vaikuttaa tulo- ja poistoilmavirrat, lämmöntalteenoton tehokkuus sekä ulkoilman lämpötila. Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lasketaan kuukausittain käyttäen kyseessä olevan vyöhykkeen kuukausikohtaisia ulkoilman keskilämpötiloja. (D5 2012, 20-25.) (Liite 5)

5.4 Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus

Kaikki lämmitysmuodot lukuun ottamatta tulisijoja tarvitsevat toimiakseen edes jonkin verran sähköä. Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutukseen luetaan kuuluvaksi lämmönjakelujärjestelmän sekä lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkön kulutukset. Apulaitteisiin kuuluvia komponentteja ovat esimerkiksi säätölaitteet, kiertovesipumput ja automatiikkajärjestelmät, joita löytyy lähes jokaisesta eri lämmitysjärjestelmästä. Lisäksi eräiden lämmitysjärjestelmien, kuten lämpöpumppujen kompressorit ja sähkövastukset sekä erilaisten kattiloiden polttimet tarvitsevat toimiakseen enemmän sähköenergiaa. Kaikkia edellä mainittuja kutsutaan lämmitysjärjestelmien apulaitteiksi. Pientalojen eri lämmitysjärjestelmien apulaitteiden sähköenergian kulutuksille on annettu ohjearvot, jotka on esitetty taulukossa 5. Kyseisiä arvoja on käytetty myös laskentatyökalussa lämmitysjärjestelmien apulaitteiden sähköenergian kulutuksessa. Näiden perusteella voidaan arvioida vuotuiset apulaitteiden sähköenergian kulutukset eri lämmitysjärjestelmille. Lämpöpumppujen apulaitteiden sähköenergian kulutukset lukeutuvat lämpöpumppujen SPF-lukujen yhteyteen, joihin perehdytään myöhemmissä kappaleissa. (D5, 2012, 45-47.)

Laskentatyökalussa lämmönjakelujärjestelmän sekä lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkön kulutukset on laskettu yhteen. Vesikiertoisten lämmönjakelujärjestelmän ominaissähkökäyttö on 2 kWh/m² vuodessa, jota on käytetty kaikissa lämmitysmuodoissa lukuun ottamatta suoraa sähkölämmitystä. Sähköisessä lämmönjakelujärjestelmässä luku on 0,5 kWh/m² vuodessa. (D5, 2012, 40). (Liite 6)

Taulukko 5. Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutuksien ohjearvot (D5 2012, 44).

Lämmitysjärjestelmä	Sähkön kulutus kWh/a m ²
kaukolämpö	0,6
öljykattila	0,99
suora sähkölämmitys	0
sähkökattila	0,02
pellettikattila	0,77

6 LÄMMITYSENERGIAN TARPEET LÄMMITYSMUODOITTAIN

Lämpöenergian kokonaiskulutus ei ole kaikilla lämmitysmuodoilla sama, vaikka rakennuksen lämmitysenergian nettotarve olisi vakio. Siihen vaikuttaa lämmönjakelujärjestelmän sekä lämmöntuottojärjestelmän hyötysuhteet sekä valittu tukilämmitysjärjestelmä. (D5 2012, 44.)

Ensimmäisenä on laskettu rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian nettotarve, josta vähennetään tukilämmitysjärjestelmästä saatava lämmitysenergia rakennukseen. Tästä jää jäljelle rakennuksen tilojen lämmityksen päälämpöenergian tarve, mikä jaetaan lämmönjakelujärjestelmän hyötysuhteella. Näin saadaan rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve lämmitysjärjestelmittäin. Tässä työssä lämmönjakelujärjestelmien keskimääräiset vuosihyötysuhteet ovat vesikiertoisissa (lattialämmitys ja patterilämmitys) 0,8 ja sähköisissä (lattialämmitys ja patterilämmitys) 0,9. (D5 2012, 40,44.)

Kaava, jolla lasketaan rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian nettotarve päälämmitysjärjestelmälle

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,pää}} = Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} - Q_{\text{lämmitys,tuki}} \quad (2)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,pää}}$ = rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian nettotarve päälämmitysjärjestelmälle, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ = rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian nettotarve, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,tuki}}$ = tukilämmitysjärjestelmistä saatava lämpöenergia rakennuksen tiloihin, kWh/a. (liite 8)

Kaava, jolla lasketaan rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve päälämmitysjärjestelmälle

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,pää}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,pää}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} \quad (3)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys,tilat,pää}}$ = rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve päälämmitysjärjestelmälle, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,pää}}$ = rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian nettotarve päälämmitysjärjestelmälle, kWh/a

$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$ = laskettavan lämmönjakelujärjestelmän hyötysuhde, (vesikiertoiset 0,8, sähköiset 0,9)

Päälämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus on rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeen summa jaettuna lämmöntuottomuodon hyötysuhteella. Kyseisen laskukaavan lopputuloksella saadaan selville myös päälämmitysjärjestelmän ostoenergian kulutus (päälämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus = päälämmitysjärjestelmän ostoenergian kulutus). Taulukossa 6 on esitetty lämmöntuottomuotojen vuosihyötysuhteita, joita laskentatyökalussa voidaan käyttää, mikäli tarkempia tietoja hyötysuhteista ei ole. Lämpöpumppujen hyötysuhteet määräytyvät lämpöpumppujen SPF-lukujen mukaan. (D5 2012, 44.)

Taulukko 6. Lämmöntuottojärjestelmien hyötysuhteet.

Lämmöntuoton hyötysuhteet: (kattilat ja lämmönvaihtimet)	
öljykattila	0,81
pellettikattila	0,75
sähkökattila	0,88
kaukolämpö	0,94
suora sähkölämmitys	1

Kaava, jolla lasketaan päälämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus

$$Q_{\text{lämmitys,pää}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,pää}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad (4)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys,pää}}$ = päälämmöntuottojärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,tilat,pää}}$ = päälämmöntuottojärjestelmällä tuotettu tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$ = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a

$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$ = kyseisen lämmöntuottomuodon hyötysuhde, (taulukko 6).

6.1 Lämpöpumppujen lämmitysenergian tarve

Maalämpöpumpulle ja ilma-vesilämpöpumpulle on olennaista saada tietää niiden ostoenergian kulutus, mikä lämpöpumpuille on sähkö. Sähköenergian kulutus koostuu lämpöpumpun normaalikäytöstä sekä lämpöpumpun sähkövastuksen (lisälämmitys) käytöstä, jolla lämmitetään tilojen sekä lämpimän käyttöveden vaatima lämmitysenergia, kun lämpöpumppujen toimintapiste ylitetään kylmissä olosuhteissa. Lisälämmitysenergiaan vaikuttavat olennaisesti lämpöpumpun SPF-luvut, lämmönjakeluverkoston veden lämpötilataso, tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian suhde sekä Suomen säävyöhykkeet, mitkä on otettu laskentatyökaluun huomioon. (D5 2012, 47-50.)

Laskentatyökaluun on annettu esimerkkisarvoja lämpöpumppujen SPF-luvuista säävyöhykkeiden mukaan, mikäli käyttäjällä ei ole niistä tarkempaa tietoa. Esimerkkisarvot on esitetty taulukoissa 7.

Taulukko 7. Lämpöpumppujen SPF-lukuja (D5 2012, 50).

Ulkoilmalämpöpumput	SPF-luku		
	Säävyöhykkeet		
menoveden korkein lämpötila, °C	I-II	III	IV
Ilma-ilma	2,8	2,8	2,7
Ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2,0
Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3
Maalämpöpumppu	SPF-luku		
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C		
menoveden korkein lämpötila, °C	-3	+3	
Tilojen lämmitys			
30	3,4	3,5	
40	3,0	3,1	
50	2,7	2,7	
60	2,5	2,5	
Käyttöveden lämmitys			
60	2,3	2,3	

Kaava, jolla lasketaan lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus

$$W_{LP, lämmitys} = \frac{Q_{LP, lämmitys, tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP, lkv}}{SPF_{lkv}} + W_{lisälämmitys} \quad (5)$$

missä

$W_{LP, lämmitys}$ = lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh

$Q_{LP, lämmitys, tilat}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

SPF_{tilat} = lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä

$Q_{LP, lkv}$ = lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

SPF_{lkv} = lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä

$W_{lisälämmitys}$ = tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittavan lisälämmityksen sähköenergian tarve ($Q_{lisälämmitys, tilat} + Q_{lisälämmitys, lkv}$), kWh.

Lämpöpumpun tuottama tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämmitysenergia lasketaan ottamalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus huomioon, mikä tuo-

tetaan lämpöpumpun sähkövastuksella. Työkalussa on käytetty sovelletusti Suomen rakennusmääräyskokoelma D5 mukaisia arvoja lämpöpumppujen kattamista tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian osuuksista. Laskentatyökalulla laskettaessa lämpöpumpuilla pystytään tuottamaan joko kokonaan (täystehomitoitus) tai osittain (osatehomitoitus) rakennuksen lämmitysenergian tarve, riippuen rakennuksen lämmitystehontarpeesta sekä lämpöpumpun tehosta.

Maalämpöpumpulle ja ilma-vesilämpöpumpulle on annettu laskentatyökalussa arvot, joiden mukaan voidaan valita lämpöpumpun täystehomitoitus, jolloin lämpöpumpulla pystytään kattamaan koko rakennuksen lämmitysenergian tarve tai osatehomitoitus, jolloin lämpöpumppu kattaa vain osan rakennuksen lämmitystehon tarpeesta. Tällöin loppu tuotetaan sähkövastuksella. Täystehomitoitusta ei juurikaan käytetä, vaan osatehomitoitus on yleisempi. Taulukossa 8 on esitetty säävyöhykkeittäin lämpöpumppujen mitoitusarvot, joita on mahdollista käyttää.

Taulukko 8. Lämpöpumppujen täys- ja osatehomitoitusarvot.

Maalämpöpumppu	Vyöhykkeet		
	1-2	3	4
Täystehomitoitus	1	1	0,99
Osatehomitoitus	0,86-0,98	0,84-0,95	0,80-0,93
ilma-vesilämpöpumppu	Vyöhykkeet		
	1-2	3	4
Täystehomitoitus	0,91	0,9	0,81
Osatehomitoitus	0,72-0,88	0,69-0,82	0,61-0,73

1. esimerkki. Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä 3, maalämpöpumppu, täystehomitoitus. Arvoksi tulee 1 eli sähkövastusta ei tarvita.

2. esimerkki. Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä 4, ilma-vesilämpöpumppu, osatehomitoitus. Tulee arvoksi 0,61-0,73. Tehokkaammalla lämpöpumpulla voidaan arvoksi valita 0,73 ja hieman tehottomammalla 0,61 tai jokin arvo kyseiseltä väliltä. Valitsemalla 0,61 rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta saadaan keskimäärin 61% katettua lämpöpumppu energialla ja 39% lämpöpumpun sähkövastuksella. (Liite 7)

6.2 Tukilämmitysmuotojen lämmitysenergian tarve

Laskentatyökalussa pystytään määrittelemään, miten suuri osa rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta katetaan tukilämmitysjärjestelmien avulla.

Ilma-ilmalämpöpumppu. Ilma-ilmalämpöpumpulla pystytään laskentatyökalun laskelmissa kattamaan rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarpeesta 10-40 % säävyöhykkeestä riippuen. Keskimääräisesti kylmennän ulkoilman lämpötilan vuoksi lämpöpumpulla ei pystytä kattamaan pohjoisemmassa Suomessa yhtä paljon lämmitysenergian tarpeesta kuin eteläisemmässä Suomessa. SPF-luvuille on annettu ohjearvot, joita voidaan laskelmilla käyttää, mikäli tarkempaa tietoa kyseisestä lämpöpumpusta ei ole (taulukko 9). Ilma-ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutus saadaan laskettua lämpöpumpun SPF-luvun avulla (D5 2012, 49). (Liite 8)

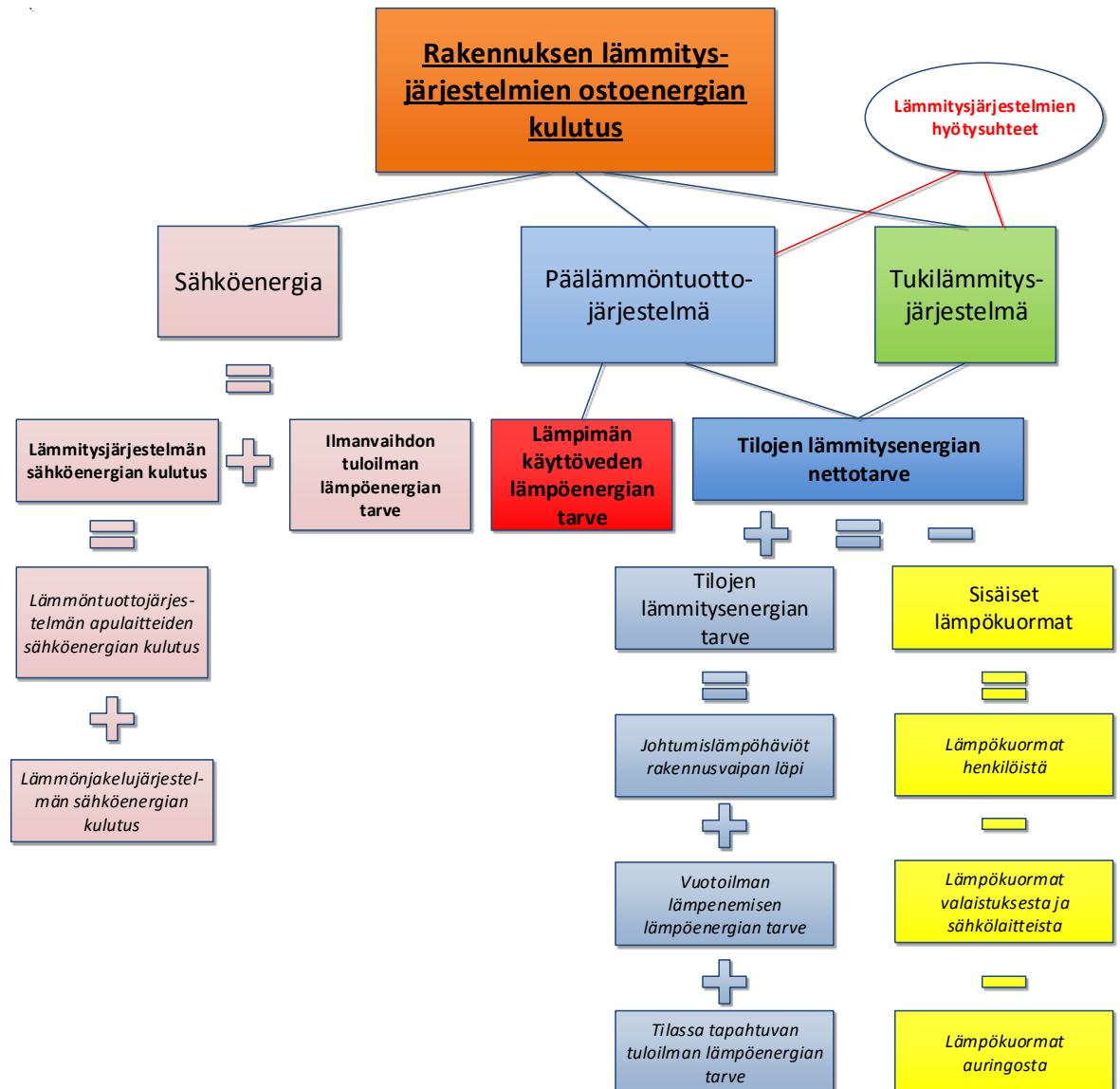
Taulukko 9. Ilma-ilmalämpöpumpun SPF-luvut ja lämmitysenergian osuudet.

ilma-ilmalämpöpumppu	Vyöhykkeet		
	1-2	3	4
Lämmitysenergian osuus	10-40 %	10-35 %	10-25 %
SPF-luku ohjearvo	2,8	2,8	2,7

Tulisija. Tulisijasta pystytään laskentatyökalun laskelmissa kattamaan rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarpeesta suoraan 500-5000 kWh, riippuen tulisijan tehokkuudesta. Tulisijan ostoenergian kulutukseen tarvitaan tulisijan hyötysuhde. Tulisijan hyötysuhteena voidaan pitää arvoa 0,6, mikäli tarkempaa tietoa tulisijasta ei ole (D5 2012, 45). (Liite 8)

7 OSTOENERGIAN KULUTUKSET LÄMMITYSMUODOITTAIN

Lämmityksen käyttökustannukset määräytyvät lämmitysmuodoittain ostoenergian kulutuksen perusteella. Lämmityksen ostoenergian kulutukseen vaikuttaa olennaisesti rakennuksen tilojen vaatima lämmitysenergian kulutus, lämpimän käyttöveden kulutus sekä lämmitysjärjestelmän tehokkuus ja hyötysuhteet. Lisäksi edellä mainittuihin voidaan lukea kuuluvaksi ilmanvaihdon tuloilman lämmityksen vaatima ostoenergian kulutus sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus. Kuviossa 11 on esitettyä, mistä tekijöistä rakennuksen lämmitysjärjestelmien ostoenergian kulutus koostuu. (D5 2012, 13.)



Kuvio 11. Lämmitysjärjestelmien ostoenergian laskentaperiaate.

Kaava, jolla lasketaan rakennuksen lämmittämisen ostoenergian kustannukset vuositasolla

$$E_{osto,kokolämmitys} = E_{osto,lämmitys} + E_{osto,apu} + E_{osto,IV} \quad (6)$$

missä

$E_{osto,kokolämmitys}$ = koko rakennuksen lämmityksen ostoenergian kustannukset €/a

$E_{osto,lämmitys}$ = pää- ja tukilämmöntuottojärjestelmän ostoenergian kustannukset, €/a

$E_{osto,apu}$ = lämmitysjärjestelmän apulaitteiden ostoenergian kustannukset, €/a

$E_{osto,IV}$ = ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen ostoenergian kustannukset, €/a.

Pää- ja tukilämmitysjärjestelmän käyttökustannukset. Ostoenergian kustannukset vuositasolla saadaan laskettua pää- ja tukilämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus kerrottuna lämmöntuottojärjestelmän käyttämän ostoenergian hinnalla. Kaavassa 7 on esitetty yleisesti lämmitysjärjestelmän ostoenergian kustannuksien laskuperiaate. Tarkemmat laskukaavat lämmitysmuodoittain on esitetty liitteessä 19.

Kaava, jolla lasketaan pää- ja tukilämmitysjärjestelmän ostoenergian kustannukset vuositasolla

$$E_{osto,lämmitys} = Q_{lämmitys} * \epsilon_{ostoenergia} \quad (7)$$

missä

$E_{osto,lämmitys}$ = lämmitysjärjestelmän ostoenergian kustannukset €/a

$Q_{lämmitys}$ = lämmöntuottojärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a

$\epsilon_{ostoenergia}$ = lämmöntuottojärjestelmän käyttämän ostoenergian hinta €/kWh.

Tietyissä lämmitysmuodoissa ostoenergian hintaa kilowattituntia kohden ei ole suoraan saatavilla. Näillä polttoaineilla on teholliset lämpöarvot, joiden perusteella voidaan määrittää kyseiselle lämmityspolttoaineelle lämpöarvot yksikköä kohden ja polttoainemäärä. Taulukossa 10 on esitetty laskentatyökalussa käytetyt polttoaineiden teholliset lämpöarvot. Polttoainemäärän laskentakaava on esitetty liitteessä 9. (D5 2012, 73.)

Taulukko 10. Polttoaineiden teholliset lämpöarvot.

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo	yksikkö
Öljy	10	kWh/dm ³
Puupelletti	4,7	kWh/kg
Tulisija, sekapolttopuu	1340	kWh/pino-m ³
	800	kWh/irto-m ³

Apulaitteiden käyttökustannukset. Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden käyttökustannukset määräytyvät apulaitteiden sähkön kulutuksen sekä sähkön hinnan perusteella.

Kaava, jolla lasketaan lämmitysjärjestelmän ostoenergian kustannukset vuositasolla

$$E_{osto,apu} = W_{lämmitys} * \epsilon_{sähkö} \quad (8)$$

missä

$E_{osto,apu}$ = lämmitysjärjestelmän apulaitteiden ostoenergian kustannukset €/a

$W_{lämmitys}$ = lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a

$\epsilon_{sähkö}$ = lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden käyttämän sähköenergian hinta €/kWh.

Ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen käyttökustannukset. Ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen käyttökustannukset määräytyvät ilmanvaihtokoneen tuloilman jälkilämmityspatterin sähkön kulutuksen sekä sähkön hinnan perusteella.

Kaava, jolla lasketaan tuloilman lämmittämisen ostoenergian kustannukset vuositasolla

$$E_{osto,IV} = Q_{IV} * \epsilon_{sähkö} \quad (9)$$

missä

$E_{osto,IV}$ = tuloilman lämmittämisen ostoenergian kustannukset €/a

Q_{IV} = ilmanvaihdon lämmittämisen lämpöenergian kulutus, kWh/a

$\epsilon_{sähkö}$ = ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmittämiseen käyttämän sähköenergian hinta €/kWh.

8 LÄMMITYKSEN TOTEUTUS LASKENTATYÖKALUSSA

8.1 Lämmöntuottojärjestelmät laskentatyökalussa

Tähän työhön valittiin päälämmitysjärjestelmiksi yleisimmät lämmöntuotantomenetelmät eli kaukolämpö, öljy-, suora sähkö-, sähkökattila- ja pellettilämmitys sekä maalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu. Kaasulämmitys jätettiin pois työstä, sillä kaasuverkko kattaa vain pienen osan Suomesta ja näin ollen se on Suomen mittakaavassa hyvin harvoin käytetty lämmöntuotantomenetelmä. (Motiva, pientalon lämmitysjärjestelmät 2012, 14-27.) Hakelämmitys jäi pois työstä suuren varastointitilan tarpeen vuoksi. Pilkelämmitys eli puuklapeilla lämpiävä lämmityskattila jätettiin myös vertailusta pois, koska kyseinen lämmöntuotantomenetelmä on hyvin työläs ja vaatii käyttäjää olemaan paikan päällä melko aktiivisesti. Myös poistoilmalämpöpumppu jäi pois vertailuista, koska sillä ei voida tuottaa kaikkea talon tarvitsemaa lämmitysenergiaa. (Energiatehokas koti, puulämmitys 2017.)

Tukilämmitysmuodon valinta. Laskentatyökalussa kaukolämmölle, öljylämmitykselle, sähkölämmityksille sekä pellettilämmitykselle tukilämmitysmuodoiksi on mahdollista valita molemmat tukilämmitysjärjestelmät eli ilma-ilmalämpöpumppu sekä tulisija. Maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumpuille on mahdollista valita pelkästään tulisija tukilämmitysmuodoksi, ettei rakennukseen tulisi kahta eri lämpöpumppua, mikä on melko harvinaista. Työkalua on mahdollista käyttää myös siten, että laskelmat tehdään ilman mitään tukilämmitysmuotoja.

8.2 Lämmöntuottojärjestelmien investointi- ja käyttökustannukset

Laskentatyökaluun on syötetty alkuinvestointi- ja käyttökustannuksien esimerkkihinnat valmiiksi suuntaa antavina hintoina. Esimerkkihinnat ovat valmiina lähtötiedoissa, että laskentatyökalun käyttö olisi mahdollisimman yksinkertaista ja helppoa (taulukko 11). Lämmitysjärjestelmien kustannusvertailua tehtäessä laskentatyökaluun voi syöttää tarkemmat investointi- ja käyttökustannusten hinnat, mikäli niistä on tarkempaa tietoa.

Laskentatyökalussa alkuinvestointikustannuksiin lukeutuu lämmöntuotantolaitteet sekä niiden asennus. Kaikkiin kustannushintoihin sisältyy arvonlisävero. Nämä hinnat on koostettu eri LVI-asennusliikkeiden internet-sivuilta ja vertailtu niitä keskenään ja laskettu keskiarvohinta. Lämmöntuotantolaitteistojen alkuinvestointeihin vaikuttaa myös rakennuksen lämmitystehontarve, minkä perusteella laitteet mitoitetaan riittäviksi.

Kaukolämmön liittymis-, perus- sekä energiamaksut on kerätty kaikkien Suomessa toimivien kaukolämmöntuottajien keskiarvohintoina tammikuussa 2017 (Energiateollisuus 2017).

Sähkön hinta, johon sisältyvät siirto- ja energiahinta on otettu Suomen vuoden 2017 helmikuun keskiarvohintana. Kyseistä sähkön hintaa käytetään laskentatyökalussa kaikissa laskentakaavoissa, joihin tarvitaan sähkön hintaa. Sähkökattilalämmityksessä, jossa lämmitetään käyttövettä varaajalla yöaikaan, käytetään niin kutsuttua halvempaa yösähköä. (Energiavirasto 2017.)

Öljyn hinta on otettu öljytuotteiden kuluttajahintaseurannasta kevyen polttoöljyn vuoden 2017 tammikuun hintakeskiarvona (Öljy & bio polttoaineala 2017).

Puupelletin sekä tulisijassa käytettävän polttopuun hinnat on katsottu eri lähteistä ja laskettu niistä keskiarvo. Mikäli polttopuu saadaan esimerkiksi omasta metsästä, tulee sen käyttökustannuksiksi nolla euroa.

Taulukko 11. Lämmöntuottojärjestelmän Investointi- ja käyttökustannuksien esimerkkihinnat laskentatyökalussa.

Lämmöntuottojärjestelmä	Alkuinvestointikustannukset	€	yksikkö	Käyttökustannukset	€	yksikkö
Kaukolämpö	Lämmönvaihdinpaketti	5000	/kpl	Perusmaksu	24,92	/kuukausi
	Kaukolämpöliittymä	3745	/kpl	Energian hinta	0,0632	/kWh
Öljylämmitys	Kattila, poltin, säiliö	6500	/kpl	Öljyn hinta	0,9	/litra
Suora sähkö	Lämmin käyttövesivaraaja	2000	/kpl	Sähkön hinta	0,16	/kWh
Sähkölämmitys sähkökattilalla	Sähkökattila, varaaja + muut tarvikkeet	4000	/kpl	Sähkön hinta	0,16	/kWh
				Sähkön hinta (yösähkö)	0,14	/kWh
Pellettilämmitys	Poltin, kattila, silo, syöttöruuvi + muut	9000	/kpl	Pelletin hinta	0,25	/kg
Maalämpöpumppu	Maalämpöpumppu	8000	/kpl	Sähkön hinta	0,16	/kWh
	Porakaivoasennuksena	33	/metri			
	Vaakapiirasennuksena	12	/metri			
Ilma-vesilämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu (ulko- ja sisäyksikkö)	8000	/kpl	Sähkön hinta	0,16	/kWh
Ilma-ilmalämpöpumppu	Ilma-ilmalämpöpumppu/pumput	2000	/kpl	Sähkön hinta	0,16	/kWh
Tulisija				Käytettävä polttopuu	60	/pino-m ³

8.3 Lämmönjaon toteutus

Laskentatyökalu laskee lämmöntuottojärjestelmän lisäksi hinta-arvion lämmönjako- ja luovutuslaitteistoille investointi- sekä huoltokustannuksineen, mikäli ne haluaa sisällyttää laskelmiin mukaan. Sähköiset lämmönjakomuodot tulee laskelmissa suoran sähkölämmityksen yhteyteen. Vesikiertoisia lämmönjakomuotoja käytetään muissa lämmöntuottotavoissa. Lämmönjaon toteutuksen yhteydessä pystyy myös valitsemaan prosentuaalisesti, mikäli haluaa toteuttaa vain tietyn osan rakennuksen vesikiertoisesta tai sähköisestä lämmönjaosta lattialämmityksenä tai patterilämmityksenä, esimerkiksi yläkerta (50 %) vesikiertoinen patterilämmitys ja alaker-ta (50 %) vesikiertoinen lattialämmitys. Sähköistä ja vesikiertoista lämmönjakoa ei voi sisällyttää samaan laskelmaan.

8.4 Lämmönjakojärjestelmien investointikustannukset

Lämmönjakojärjestelmän investointikustannukset sisältävät lämmönjakelu- sekä -luovutusjärjestelmän asennuksineen (taulukko 12). Asennushinnat materiaaleineen löytyivät eri LVI-asennus/urakoitsijaliikkeiden sivuilta ja ovat tässä tapauksessa suuntaa antavia. Laskentatyökalua käyttäessä investointikustannuksien hintoja pystyy muuttamaan, mikäli näistä on tarkempaa tietoa, esimerkiksi paikallisesta asennusliikkeeltä tarjottu hinta. Lattialämmityksien hinnat ovat esitetty neliöhintana (€/m²). Patterilämmityksien hinnat ovat patterikohtaisena hintana (€/patteri).

Taulukko 12. Lämmönjakojärjestelmien investointikustannuksien esimerkkihinnat laskentatyökalussa.

Lämmönjakojärjestelmä	€	yksikkö
Vesikiertoinen lattialämmitys	28	/m ²
Vesikiertoinen patterilämmitys	300	/patteri
Sähköinen lattialämmitys	20	/m ²
Sähköinen patterilämmitys	150	/patteri

8.5 Huoltovälit ja kustannusarviot laskentatyökalussa

Laskentatyökalussa käytettävät huoltovälit, tekniset käyttöiät sekä huoltojen kustannusarviot on kerätty eri lähteistä ja ne ovat suuntaa antavia. Pääosin huoltojen ja laitteiden uusimisien aikavälit on kerätty LVI-kortista kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot (LVI 01-10424, 2008). Kustannusarviot huoltoihin ja laitteiden uusimisiin on otettu pääosin energiatehokas koti-sivustolta (Energiatehokas koti, lämmitysjärjestelmien elinkaari 2016). Lisäksi on käytetty muita lähteitä, kuten LVI-asennus- ja LVI-huoltoliikkeiden sivuja.

Laskentatyökaluun voidaan myös muuttaa huoltovälien vuodet sekä niiden kustannusarviot, mikäli niistä on tarkempaa tietoa. Huoltovälit ja tekniset käyttöiät ovat esitetty taulukossa 13 aina 50 vuoteen asti.

Taulukko 13. Huoltojen esimerkkikustannukset ja -aikavälit laskentatyökalussa.

HUOLTOJEN HINNAT JA AIKAVÄLIT				
<u>Lämmöntuottomuoto:</u>	<u>Huolto:</u>	Hinta	Yksikkö	Huoltoväli (V.)
Kaukolämpö	Paisunta-astian uusiminen + varolaitteet	300 €		20
	Vesipumpun uusiminen	300 €		20
	Lämmönvaihdinpaketin uusiminen	5000 €		30
Öljylämmitys	Polttimen ja kattilan huolto	150 €		1
	Nuohous	50 €		1
	Polttimen uusiminen	1000 €		15
	Vesipumpun uusiminen	300 €		20
	Paisunta-astian uusiminen + varolaitteet	300 €		20
	Kattilan uusiminen	5000 €		30
	Säiliön uusiminen	1500 €		40
Suora sähkö	Lämminvesivaraaja käyttövedelle uusiminen	1500 €		30
Sähkölämmitys sähkökattilalla	Sähkökattilan uusiminen	4000 €		30
Pellettilämmitys	Nuohous	50 €		1
	Polttimen uusiminen	1000 €		15
	Vesipumpun uusiminen	300 €		20
	Paisunta-astian uusiminen + varolaitteet	300 €		20
	Kattilan uusiminen	5000 €		30
Maalämpöpumppu	Kompressorin uusiminen	2000 €		15
	Paisunta-astian uusiminen + varolaitteet	300 €		20
	Maalämpöpumpun vaihto	8000 €		30
Ilma-vesilämpöpumppu	Kompressorin uusiminen	1500 €		15
	Paisunta-astian uusiminen + varolaitteet	300 €		20
	Ilma-vesilämpöpumpun ulkoyksikön uusiminen	4000 €		20
	Ilma-vesilämpöpumpun sisäyksikön uusiminen	4000 €		30
Ilma-ilmalämpöpumppu	Ilma-ilmalämpöpumpun ulkoyksikön uusiminen	1000 €		20
	Ilma-ilmalämpöpumpun sisäyksikön uusiminen	1000 €		30
<u>Lämmönjakojärjestelmä:</u>				
Vesikiertoinen lattialämmitys	Termostaattien uusiminen	3 /€/m ²		15
Vesikiertoinen patterilämmitys	Patteriventtiilien ja -runkojen uusiminen	60 €/patteri		15
Sähköinen lattialämmitys	Termostaattien uusiminen	3 /€/m ²		15
Sähköinen patterilämmitys	Patterin uusiminen	120 €/patteri		25

9 TULOKSIEN ESITYS LASKENTATYÖKALUSSA

Laskentatyökalussa lämmitysmuotojen vertailutulokset on esitetty monessa eri muodossa. 50 vuotta on käytetty tulosten tarkastelurajana, sillä se on yleisesti ottaen koko lämmitysjärjestelmän elinikä.

Tuloksia pystyy tarkastelemaan seuraavissa muodoissa:

- käyttökustannukset taulukkomuodossa
- kustannustarkastelut 50, 40, 30, 20 ja 10 vuoden ajanjaksoilla taulukkomuodossa
- investointi- ja huoltokustannukset lämmöntuottomuodoittain
- investointi- ja huoltokustannukset lämmönjakelumuodoittain.

9.1 Käyttökustannustarkastelut

Käyttökustannukset on esitetty vuositasolla lämmitysmuodoittain taulukkomuodossa sekä pylväsdiagrammina. Taulukosta on nähtävissä rakennuksen lämmitysenergian käyttökustannukset, ilmanvaihdon tuloilman lämmitysenergian käyttökustannukset sekä lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian käyttökustannukset, joista muodostuu koko rakennuksen lämmityksen käyttökustannukset. Taulukossa on esitetty myös tukilämmitysjärjestelmistä saatavat lämmitysenergian määrät, käyttökustannukset sekä hyötysuhteet. Tarkemmin on esitetty mistä eri kokonaisuuksista lämmityskustannukset koostuvat, kuten lämpimän käyttöveden ja tilojen lämmitysenergian tarpeet sekä kustannukset. Lisäksi taulukossa on esitetty muita olennaisia käyttökustannustietoja.

9.2 Kustannustarkastelut ajanjaksoittain

Kokonaiskustannukset koostuvat lämmitysmuodoittain lämmitysjärjestelmien investointi-, huolto- ja käyttökustannuksista. Laskentatyökalun tuloksissa vertailua pystyy tekemään 10, 20, 30, 40 ja 50 vuoden ajanjakson pituisina. Tuloksia voi tarkastella yhteistuloksena koko ajanjakson ajalta sekä vuosikohtaisina tuloksina, jolloin kyseisen ajanjakson yhteistulos on jaettu kyseisellä tarkastelujakson vuosi-

määrällä. Tuloksista on mahdollista vertailla myös lämmönjakelutapojen kustannuksia lämmöntuottotavoittain. Kyseisestä tuloksien tarkastelu näkymästä pystyy vertailemaan myös esimerkiksi vain investointi- tai huoltokustannuksia keskenään eri lämmitysmuotojen välillä.

9.3 Investointi- ja huoltokustannustarkastelut

Jokaiselle lämmöntuotto- sekä lämmönjakomuodolle on erillinen näkymä, josta selviää tarkemmin kyseisen lämmitysmuodon alkuinvestointi- ja huoltokustannukset sekä huoltojen aikavälit 50 vuoden ajanjaksolla. Lisäksi näkymästä selviää mitä kyseisen lämmitysmuodon alkuinvestoinnit sekä huollot pitävät sisällään. Näkymästä pystyy tarkastelemaan myös tietyn käyttövuoden kokonaiskustannuksia.

10 MALLILASKELMA LASKENTATYÖKALULLA

Laskentatyökalulla tehtiin yksi mallilaskelma todenmukaiseen omakotitalokohteeseen. Mallilaskelmalla testattiin laskentatyökalun toimivuutta sekä tuloksien todenmukaisuutta ja luotettavuutta. Laskelmat tehtiin helpoilla sekä haastavammilla lähtötiedoilla. Omakotitalon todenmukaisia lämmitysenergian kulutuksia ja lämmitysenergian käyttökustannuksia vertailtiin helpoilla sekä haastavammilla lähtötiedoilla saatuihin laskentatyökalun tuloksiin. Kyseisen mallilaskelman pohjalta on myös tehty laskentatyökalun käyttöohjeet, jotka löytyvät liitteistä 13 ja 14.

10.1 Kohde ja lähtötiedot

Mallilaskelmien kohteena oli Seinäjoella sijaitseva vuonna 1988 rakennettu 1-kerroksinen omakotitalo. Pääsääntöisesti kahden henkilön asuttamassa rakennuksessa huoneistoala on 134,5 m² ja tilavuus 494,5 m³. Rakennuksessa on tällä hetkellä lämmöntuottomuotona kaukolämpö ja lämmönjakojärjestelmänä toimii vesikiertoinen patterilämmitys sekä pesutiloissa vesikiertoinen lattialämmitys. Vesikiertoisen patterilämmityksen osuus rakennuksen lämmitetystä pinta-alasta on noin 78 % ja vesikiertoisella lattialämmityksellä on 22 %. Tukilämmitysjärjestelmänä rakennuksessa toimii osittain varaava takka, johon polttopuu on ilmaista, joten tulisijasta ei käyttökustannuksia tule. Tulisijasta rakennukseen saadaan hyödynnettävää lämpöenergiaa keskimäärin noin 1000 kWh vuodessa, perustuen siihen, että tulisijan käyttö ei ole kovin aktiivista. Vertailukohtana voidaan pitää 500 kWh:a, jolloin tulisijaa käytetään todella harvoin ja 5000 kWh:ssa tulisijan käyttö on erittäin aktiivista. Kohteessa on koneellinen ilmanvaihto, jossa on lämmöntalteenotto ja sähköllä toimiva jälkilämmityspatteri. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 0,6.

Laskentatyökaluun tarvittavat rakennuksen lähtötiedot on saatu rakennuksen teknisistä piirustuksista ja osittain laskemalla annettujen lähtötietojen perusteella. Rakennuksen tarkemmat lähtötiedot ovat nähtävillä laskentatyökalun mallilaskelmas-
sa, joka on tehty kyseiseen rakennukseen. Lisäksi rakennuksen piirustukset ovat liitteessä 12.

10.2 Tulokset

Mallilaskelman tuloksista verrattiin lähinnä kaukolämpöenergian kulutusta rakennuksen todenmukaisen kulutuksen ja laskentatyökalulla saadun tuloksen välillä. Kyseisellä tuloksien vertailulla saadaan varmuutta siitä, miten luotettavana laskentatyökalulla saatavan rakennuksen lämmitysenergian tarpeen lukemaa voidaan pitää. Tarkastelussa on myös kustannusvertailut eri lämmitysmuotojen välillä.

10.2.1 Lämmitysenergian kulutus ja hinta

Lämmitysenergian kulutus. Laskentatyökalulla rakennuksen kaukolämmön lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 22151 kWh vuodessa, josta 3198 kWh kuluu lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja 18953 kWh tilojen lämmitykseen. Kaukolämmön vuosihyötysuhteena pidettiin ohjearvoa 0,94, koska tarkempaa tietoa tästä ei ollut. Lämmönjaon vuosihyötysuhteena oli 0,8, koska kyseessä on vesikiertoinen patteri- ja lattialämmitys. Rakennuksen todellinen lämmitysenergian kulutus on ollut viimeiseltä neljältä vuodelta (2013-2016) keskimäärin 21023 kWh vuodessa (liite 12).

Lämmitysenergian hinta. Laskentatyökaluun syötettiin kaukolämmön lähtötietoihin Seinäjoen Energia Oy:n 2016 vuoden energiamaksun hinta, joka oli 0,056 €/kWh ja perusmaksu, joka oli 23,77 €/kk. Näillä hinnoilla laskentatyökalu antaa kaukolämmön lämmitysenergian hinnaksi 1526 € vuodessa. Vuonna 2016 rakennuksen todellinen kaukolämmön lämmitysenergian hinta on ollut 1477 € samoilla energia- ja kuukausimaksujen hinnoilla.

Tuloksien analysointi. Lämmitysenergian kulutuksien sekä lämmitysenergian hintojen erot laskentatyökalulla saadun tuloksen sekä todenperäisen kulutuksen välillä on vain noin 5 %. Kyseinen ero lämmitysenergian kulutuksessa voi johtua monista eri tekijöistä. Esimerkiksi nostettaessa kaukolämmön hyötysuhdetta 0,94:stä 0,98:aan saadaan lämmitysenergian tarpeeksi kaukolämmölle 21247 kWh vuodessa, mikä on jo hyvin lähellä rakennuksen todenmukaista kulutusta. Muita merkityksellisiä lämmitysenergian tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä saattaa olla tulisijasta saatavan lämmitysenergian todellinen määrä, mitä on hyvin vaikea arvioi-

da. Lisäksi rakenteelliset vaikutukset lämmitysenergian tarpeeseen muodostaa oman kokonaisuutensa, kuten rakennuksen ilmanvuotolukua laskettaessa arvosta 4 1/h arvoon 3 1/h. Lämmitysenergian tarve laskee tällöin 1000 kWh:lla. Myös ulkoilman lämpötila sekä auringosta saatava lämpöenergia eivät ole välttämättä vuodesta toiseen samansuuruisia.

10.2.2 Kokonaiskustannukset

Lämmityksen kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa oletetaan, että tässä tapauksessa rakennus on uusi ja lämmitysmuodon valinta olisi edessä tai rakennukseen hankittaisiin kokonaan uusi lämmitysjärjestelmä vanhan tilalle. Lähtötiedot ovat muuten samat. Pelkästään vuotuisiltaan käyttökustannuksiltaan halvimmaksi päälämmitysmuodoksi nousee maalämpö, toisena pellettilämmitys ja vasta kolmantena kaukolämpö. Muut päälämmitysmuodot jäävät käyttökustannuksiltaan melko kauas taakse.

Kun käyttökustannuksiin lisätään investointi- ja huoltokustannukset, saadaan lämmityksen kokonaiskustannukset. 10 vuoden ajanjakson tarkastelussa edullisimmaksi nousee pellettilämmitys, toisena maalämpö ja kolmantena edelleen kaukolämpö. 30 vuoden ajanjaksolla maalämpö nousee edullisimmaksi kokonaiskustannuksiltaan, pellettilämmitys toisena ja kolmantena edelleen kaukolämpö. 50 vuoden ajanjaksolla kolmen edullisimman järjestys on sama kuin 30 vuoden ajanjaksolla. Taulukossa 14 on koonti lämmityksen kokonaiskustannuksista, kun tilojen lämmitys hoidetaan päälämmöntuottojärjestelmällä ja tulisijalla.

Taulukko 14. Lopputulosten koonti, esimerkki 1.

		Kauko- lämpö	Öljy- lämmitys	Suora sähkö	Sähkö- kattila	Pelletti	Maalämpö porakaivolla	Maalämpö maapiirillä	Ilma- vesilämpö- pumppu
käyttökustannukset	€ / vuosi	1526	2314	3055	3718	1477	1326	1326	2074
10 vuoden kok. kust.	€ / 10 v.	34056	38021	37249	48252	31505	32799	33408	35809
30 vuoden kok. kust.	€ / 30 v.	78987	97423	106079	130466	71826	69471	70081	90939
50 vuoden kok. kust.	€ / 50 v.	129533	163539	175449	217293	117811	114757	115366	150682

Mallilaskelmasta tehtiin toinenkin esimerkki, jossa lähtötiedot olivat muuten samat, mutta 30 % tilojen lämmitysenergian tarpeesta katettiin ilma-ilmalämpöpumpulla.

Taulukossa 15 on koonti lämmityksen kokonaiskustannuksista, kun osa tilojen lämmityksestä hoidetaan ilma-ilmalämpöpumpun avulla.

Taulukko 15. Lopputulosten koonti, esimerkki 2.

		Kauko- lämpö	Öljy- lämmitys	Suora sähkö	Sähkö- kattila	Pelletti	Maalämpö porakaivolla	Maalämpö maapiirillä	Ilma- vesilämpö- pumppu
käyttökustannukset	€ / vuosi	1446	1940	2503	2939	1333	1326	1326	2074
10 vuoden kok. kust.	€ / 10 v.	35263	36280	33729	42467	32063	32799	33408	35809
30 vuoden kok. kust.	€ / 30 v.	79609	89201	92519	110111	70501	69471	70081	90939
50 vuoden kok. kust.	€ / 50 v.	130569	149835	152848	183368	115601	114757	115366	150682

Tuloksien analysointi. Käyttökustannustarkastelussa vuositasolla maalämpö tulisi halvimmaksi vaihtoehdoksi, koska ostoenergian osuus maalämmön käytössä ei ole kovinkaan suurta ilmaisenergian vuoksi. Ostoenergian eli sähkön kulutusta pystyttäisiin vielä vähentämään jonkin verran, jos maalämpöpumppu mitoitettaisiin täysteholle, kun se tässä tapauksessa on osateholla mitoitettu. Pellettilämmityksessä sekä kaukolämmössä ostoenergia on suhteellisen edullista, mikä tekeekin näiden käyttökustannuksista edullisimpia heti maalämmön jälkeen. Sähköenergian ollessa kallista sähköllä toimivat lämmitysmuodot tulevat melko kalliiksi, kuten myös ilma-vesilämpöpumppu, mikä tarvitsee toimiakseen ympäri vuoden melko paljon sähköenergiaa.

Käyttökustannukset laskevat hieman, kun päälämmöntuottojärjestelmän rinnalla on ilma-ilmalämpöpumppu sen käyttämän ilmaisenergian ansioista. Tässä tapauksessa muut lämmöntuottojärjestelmät ottavat maalämmön käyttökustannuksia kiinni, koska laskentatyökalun mukaan maalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu järjestelmän rinnalla ei ole tukilämmitysjärjestelmänä toista lämpöpumppua eli ilma-ilmalämpöpumppua.

Maalämpöpumpun kalliiden investointikustannusten kannalta se ei ole kannattavin lämmitysmuoto ensimmäisen 10 vuoden ajanjaksolla tarkasteltaessa, mutta myöhemmässä vaiheessa maalämpö maksaa itsensä takaisin ja on näin ollen edullisin. Ensimmäisen 10 vuoden aikana pelkästään pellettilämmitys tai pellettilämmitys ja ilma-ilmalämpöpumppu ovat kokonaiskustannuksiltaan edullisimpia. Kaukolämpö sekä ilma-vesilämpöpumppu ovat kustannuksiltaan melko tasaisia kaikkien tarkastelujaksojen ajan. Kalleimmaksi muodostuivat molemmat sähkölämmitykset

sekä öljylämmitys. Öljylämmityksen kokonaiskustannuksia pitää korkealla öljyn kallis hinta sekä öljylämmityslaitteiston huoltotiheys. Suora sähkölämmitys on melko halpa ensimmäisen 10 vuoden aikana, koska investointikustannuksia ei juuri ole, mutta käyttökustannukset ovat kalliit sähköenergian hinnasta johtuen. Sähkökattilan käyttökustannuksista kalliit tekee sähkökattiloiden melko huonot vuosihyötysuhteet sekä olennaisesti sähköenergian hinta. Ilma-ilmalämpöpumppu on kannattavinta asentaa sähkölämmityksien yhteyteen tukilämmitysjärjestelmäksi.

10.2.3 Tuloksien vertailu helpoilla ja haastavimmilla lähtötiedoilla

Laskentatyökalua testattiin myös helpoilla lähtötiedoilla. Tässä tapauksessa rakennuksen lämmitysenergian tarve voidaan suoraan syöttää laskentaohjelmaan. Lämmitysenergian tarpeille on annettu rakennuksen tilavuuden mukaiset ohjeavot rakennuksen tyyppin mukaan. Työkaluun syötettiin arvo vanhan rakennuksen mukaan, mikä oli 60 kWh/m³. Tämän perusteella kaukolämmön lämmitysenergian tarpeeksi saataisiin koko rakennukselle noin 30000 kWh vuodessa. Lämmitysmuotojen välillä vertailun järjestys ei muutu, mutta kustannukset kasvavat huomattavasti, eikä näin ollen käyttökustannukset ole yhtä tarkat.

10.2.4 Laskentatyökalun tuloksien luotettavuus

Laskentatyökalun antamaa rakennuksen lämmitysenergian tarvetta voidaan pitää melko tarkkana, kun käytetään mahdollisimman monia lähtötietoja. Vertailukohtana voidaan pitää edellä olevassa kappaleessa mainittuja lämmitysenergian kuluslukemia. Toki vertailu tehtiin vain yhteen rakennukseen, joten saatua lämmitysenergian tarvetta ei välttämättä voida pitää täysin luotettavana kaikissa vertailuisissa.

Investointi- ja huoltokustannukset ovat vain suuntaa antavia hintoja. Mikäli lämmitysmuotojen kustannusvertailusta haluaa täysin tarkat, on investointi- ja huoltokustannuksista oltava tarkemmat tiedot.

Huoltojen aikavälit riippuvat monesti tekijästä, kuten lämmityslaitteiden käyttöasteesta sekä laitevalinnoista, joten huoltojen aikavälejä voidaan pitää suuntaa antavina. Tiettyjen laitteiden tekniset käyttöiät pitävät melko hyvin paikkansa. Mallilaskelmissa käytetyn omakotitalon omistajan haastattelusta käy ilmi, että ainakin kaukolämpölaitteiston tekniset käyttöiät täsmäävät melko hyvin laskentatyökalussa käytettyjen huoltojen sekä todenmukaisten huoltojen välillä. Esimerkkinä näistä mainittakoon kiertovesipumppujen sekä paisunta- ja varolaitteiden uusiminen, jotka rakennukseen vaihdettiin noin 20 vuoden käytön jälkeen. Laskentatyökalussa kyseisten laitteiden tekninen käyttöikä on 20 vuotta, joten ainakin tämän perusteella huoltovälit ovat melko luotettavia.

11 POHDINTA

Laskentatyökalusta tuli helppokäyttöinen ja hyvin toimiva kokonaisuus. Työkalua on helppo päivittää sekä lisätä siihen ominaisuuksia. Laskentatyökalulla pystytään vertailemaan lämmityskustannuksia monella eri tavalla ja tulokset ovat esitettyinä useilla eri periaatteilla. Lisäksi mahdollista on tarkastella esimerkiksi pelkästään rakennuksen lämmitysenergian tarvetta vuositasolla tai ilmanvaihdon lämmittämiseen kuluva lämmitysenergiaa ja sen kustannuksia. Laskentatyökalun helppokäyttöisyys tulee siitä, että lähtötietoihin on annettu valmiiksi ohjearvoja, joita voidaan käyttää, mikäli tarkempaa tietoa kyseisestä lähtötiedosta ei ole. Hieman monipuolisemmilla rakennuksen lähtötiedoilla päästään melko tarkkoihin ja todenmukaisiin lopputuloksiin, mutta näiden täyttäminen saattaa vaatia hieman enemmän asiantuntemusta rakennus- ja LVI-alalta. Näiden asioiden perusteella työkalu sopii melkein kenen tahansa käytettäväksi. Työkalua voitaisiinkin kuvailla työkaluksi, joka sopii ”tavallisesta tallaajasta ammattilaisen työkaluksi.”

Tulevaisuudessa laskentatyökalua voisi vielä kehittää entisestään. Investointikustannuksiin ei ole otettu huomioon mahdollista korkoa, mikäli lämmitysjärjestelmän hankintaan otetaan rahallista lainaa. Oletuksena voidaan kumminkin pitää, että lämmitysjärjestelmän hankinta liittyy asuntolainan yhteyteen. Pelkällä lämmitysjärjestelmien investointeihin kohdistuvalla korolla pystyttäisiin saamaan vielä tarkempi kustannusvertailu. Laskentatyökalun ulkoasussa ja selkeydessä on toki aina toivomisen varaa, mutta laskentatyökalun käyttötarkoitus on kuitenkin erittäin toimiva. Seuraava askel laskentatyökalun kehittämisen suhteen voisi olla myös rakennuksen E-luvun eli energiatehokkuusluvun laskenta kyseisellä työkalulla. Lähtötiedot ja osa laskukaavoista ovat periaatteessa samat, mutta lopputulokseen päästään hieman eri tavalla.

Toivon, että kyseisestä laskentatyökalusta on paljon hyötyä jatkossa itselleni sekä muille sitä tarvitseville.

LÄHTEET

- Adato Energia. 2016. Kaukolämmön suosio jatkaa kasvuaan. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.2.2017] Saatavana: <http://xn--kaukolmp-5zac1r.fi/tuotanto/maalammityksen-kasvu-ura-taittui/>
- D3. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten energiantehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- D5. 2012. Suomen rakennusmääräyskokoelma. Rakennetun ympäristön osasto. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. Ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Ebeco. Ei päivystä. Mikä on sähköinen lattialämmitys?. [Verkkosivu]. Ebeco Oy. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: <http://www.ebeco.fi/lattialammitys/mika-sahkoinen-lattialammitys>
- Elenia. Ei päivystä. Miten kaukolämpö toimii?. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: http://www.elenia.fi/lampo_ ja_ kaasu/tietoa_ kaukolammosta/toiminta
- Energiateollisuus. Ei päivystä. Asiakkaan kaukolämpölaitteet. [Verkkosivu]. Energiateollisuus ry. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: <http://188.117.57.25/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/asiakkaan-kaukolampolaitteet>
- Energiatehokas koti. Päivitetty 5.2.2016. Huonekohtainen sähkölämmitys. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_ suunnittelu/lammitys/sahkolammitys/huonekohtainen_ sahkolammitys
- Energiatehokas koti. Päivitetty 19.1.2016. Lämmitysjärjestelmien elinkaari. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_ suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_ elinkaari
- Energiatehokas koti. Päivitetty 9.3.2016. Maalämpöpumppu. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 10.3.2017]. Saatavana: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_ suunnittelu/lammitys/lmalampo- ja_ maalampopumput/maalampopumppu
- Energiatehokas koti. Päivitetty 5.2.2017. Puulämmitys. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_ suunnittelu/lammitys/puulammitys

- Energiateollisuus. Päivitetty 3.3.2017. Kaukolämmön hintatilasto. [Verkkajulkaisu]. Energiateollisuus ry. [Viitattu 13.3.2017]. Saatavana: http://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolamm on_hintatilasto.html#material-view
- E-neuvonta.fi. 22.10.2015. Taloyhtiön lämmitysjärjestelmät ja lämmönsäästökeinot. [Verkkajulkaisu]. Keski-Suomen Energiatoimisto. [Viitattu 8.2.2017]. Saatavana: <http://docplayer.fi/6428074-Taloyhtion-lammitysjarjestelmat-ja-lammonsaastokeinot-keski-suomen-energiatoimisto-www-kesto-fi-energianeuvonta-energianeuvonta-kesto.html>
- Epitek Oy. 2007. Mikä on ilmalämpöpumppu?. [Verkkosivu]. Epitek Oy. [Viitattu 13.3.2017]. Saatavana: <http://www.epitek.fi/index.php?id=11>
- Geodrill. Ei päiväystä. Maalämpöpumppu – näin se toimii. [Verkkosivu]. Rototec Oy. [Viitattu 10.3.2017]. Saatavana: <http://www.geodrill.fi/maalampo/maalampopumppu-nain-se-toimii/>
- Haastattelu. 1.3.2017. Nimetön. Mallilaskelmissa käytetyn talon omistaja.
- Helen. Ei päiväystä. Kaukolämmön laskutus. [Verkkosivu]. Helen Oy. [Viitattu 10.3.2017]. Saatavana: <https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/kodit/laskutus/>
- Hitachi. Ei päiväystä. Inverter ilma-vesilämpöpumppu – lämpöä luonnosta. [Verkkajulkaisu]. Parhaatlämpöpumput.fi. [Viitattu 13.3.2017]. Saatavana: <http://www.parhaatlampopumput.fi/esitteet/hitachi-ilmavesi-esite.pdf>
- Kauppinen, T. Ei päiväystä. Rakennusten ilmanpitävyys. [Verkkajulkaisu]. Rakennustieto.fi. [Viitattu 16.2.2017]. Saatavana: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110501.pdf>
- Kiinteistöklubi. Ei päiväystä. Lämpimän käyttöveden oltava riittävän kuumaa. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.2.2017]. Saatavana: <http://www.kiinteistoklubi.fi/asuminen/1367-lampiman-kayttoveden-oltava-riittavan-kuumaa>
- Lahti Energia Oy. Ei päiväystä. 14 helppoa energiansäästövinkkiä. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.2.2017]. Lahti Energia. Saatavana: <https://www.lahtienergia.fi/ymparisto/energiatehokkuus/energiansaastovinkit>
- LVI 10-10397. 2006. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Rakennustieto.
- LVI 01-10424. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Helsinki: Rakennustieto.
- Lämmin koti. Ei päiväystä. Tukilämmitys. [Verkkosivu]. Lämminkoti.fi. [Viitattu 13.3.2017]. Saatavana: <http://www.lamminkoti.fi/index.php?k=17616>

- Lämpöäläheltä.fi. 2017. Miksi kaukolämpö?. [Verkkosivu]. Energiateollisuus ry. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: <http://www.lampoalahlelta.fi/miksi-kaukolampo/>
- Motiva Oy. Ei päiväystä. Energiakatselmoijan käsikirja osa 2. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.2.2017]. Saatavana: <http://www.motiva.fi/files/1694/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-2-luku-2-2-A.pdf>
- Motiva Oy. Päivitetty 5.3.2017. Kaukolämpö. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: <https://www.motiva.fi/kaukolampo>
- Motiva Oy. Päivitetty 25.11.2016. Lämmitysenergian kulutus. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian- ja vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus
- Motiva Oy. Päivitetty 25.11.2016. Lämmönjaon vaihtoehdot. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammonjaon_vaihtoehdot
- Motiva Oy. 2012. Pientalon lämmitysjärjestelmät. [Verkkojulkaisu]. Motiva Oy. [Viitattu 17.2.2017]. Saatavana: https://www.motiva.fi/files/7201/Pientalon_lammitysjarjestelmat_2012.pdf
- Motti.fi. Päivitetty 31.12.2010. Puun lämpöarvo. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.3.2017]. Saatavana: <http://www.motti.fi/index.php?osio=Polttopuut&sivu=Energiasis%E4lt%F6>
- Nordic Ekolämpö. Ei päiväystä. Kallioon, veteen tai maaperään varastoitunutta auringon lämpöä voidaan kerätä talteen maalämpöpumpun avulla. [Verkkosivu]. Nordic Ekolämpö Oy. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: <http://www.nordicekolampo.fi/maalampoinfo>
- Pellettienergia. Ei päiväystä. Pellettilämmityksen laitteisto. [Verkkosivu]. Bioenergia ry. [Viitattu 10.3.2017]. Saatavana: <http://www.pellettienergia.fi/Pellettil%C3%A4mmitys>
- Pellettilämpö. Päivitetty 7.3.2016. Yleistä pelletistä. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.3.2017]. Saatavana: http://www.pellettilampo.com/?Yleist%E4_pelletist%E4
- Pientalo Suomela.fi. 15.5.2014. Lämpöpumpun toimintaperiaate. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.3.2017]. Saatavana: <http://www.suomela.fi/lampopumpun-toimintaperiaate-tutustu/>
- Rakennustieto Lehdet. 2013. Millainen on ekologisesti kestävä pientalo. [Verkkosivu]. RY Rakennettu Ympäristö. [Viitattu 10.2.2017]. Saatavana: <http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/5xRllrqjE.html>

- Suomen sähköopas. Ei päiväystä. Lämmitysmuodon valinta. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: <http://www.sahkoopas.com/sahkotietoa/tarpeet/lammitysmuoto/>
- Taloon.com. 2017. Öljykattila. [Verkkosivu]. Taloon Yhtiöt Oy. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: <http://www.taloon.com/yhteystiedot/10191/dg>
- Tampere University of Technology. Ei päiväystä. Energiatehokkaan rakentamisen parhaat käytännöt: Perusteet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.2.2017]. Saatavana: <https://www.slideshare.net/MotivaOy/esitys-bus-1-perusteet>
- Tasauslaskentaopas 2012. 24.11.2011. Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittaminen.
- Teikari, M. Ei päiväystä. Ulkoseinän lämpöhäviöiden määrittäminen. [Verkkojulkaisu]. Rakennustieto Lehdet. [Viitattu 13.2.2017]. Saatavana: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010704.pdf>
- Uponor. 2017. Miellyttävä ja energiatehokas lämmönjakotapa. [Verkkosivu]. Uponor Oy. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: https://www.uponor.fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys_viilennys/vesikiertoinen_lattialammitys.aspx
- Vertia. 3/2016. Ilmanvuotoluku. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.2.2017]. Saatavana: <https://vertia.fi/tiiveysmittaus/ilmanvuotoluku/>
- Öljy & bio polttoaineala. 2017. Kuluttajahintaseuranta. [Verkkojulkaisu]. Öljy- ja biopolttoaineala ry / Öljyalan Palvelukeskus Oy. [Viitattu 14.3.2017]. Saatavana: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/11-oljytuotteiden-kuluttajahintaseuranta>
- Öljyalan Palvelukeskus Oy. Ei päiväystä. Lämpimän käyttöveden kulutus. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.2.2017]. Saatavana: http://www.lammolla.fi/energiansaastoviikko/lammin_kayttovesi/
- Öljylämmittäjän tietopankki. 2016. Öljyn tilaaminen. [Verkkosivu]. Öljyalan palvelukeskus. [Viitattu 9.3.2017]. Saatavana: <http://www.oljylammitys.fi/oljylammitajan-arki/oljyn-tilaaminen>

LIITTEET

Liite 1. Rakennuksen lämmitysenergian tarve

Liite 2. Johtumislämpöhäviöt

Liite 3. Sisäiset lämpökuormat

Liite 4. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Liite 5. Ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen lämpöenergian tarve

Liite 6. Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus

Liite 7. Lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus

Liite 8. Tukilämmitysjärjestelmien lämmitysenergian kulutukset

Liite 9. Lämmityksen ostoenergian kustannukset

Liite 10. Lämmityksen kokonaiskustannukset

Liite 11. Mallilaskelma talon piirustukset

Liite 12. Mallilaskelma talon kaukolämmönkulutukset

Liite 13. Laskentatyökalun käyttöohjeet

Liite 14. Ohjeet laskentatyökalun tuloksien lukemiseen

LIITE 1 Rakennuksen lämmitysenergian tarve**Kaava**, jolla lasketaan rakennuksen lämmitysenergian tarve

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma}$$

missä

Q_{tila} = tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

Q_{joht} = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh.

$Q_{iv,tuloilma}$ = tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh.

LIITE 2 Johtumislämpöhäviöt

Kaava, jolla lasketaan johtumislämpöhäviöt

$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{kylmäsiilat}$$

missä

Q_{joht} = tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

$Q_{ulkoseinä}$ = johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh

$Q_{yläpohja}$ = johtumislämpöhäviö yläpohjan läpi, kWh

$Q_{alapohja}$ = johtumislämpöhäviö alapohjan läpi, kWh

Q_{ikkuna} = johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh

Q_{ovi} = johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh

$Q_{kylmäsiilat}$ = kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh.

Kaava, jolla lasketaan rakennusosa kohtaiset johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi

$$Q_{rak.osa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

missä

$Q_{rak.osa}$ = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh

U_i = kyseisen rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A_i = kyseisen rakennusosan pinta-ala, m²

T_s = sisäilman lämpötila, °C

T_u = ulkoilman lämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = laatumuunnoksen kerroin kilowattitunneiksi.

Kaava, jolla lasketaan rakennusosa kohtaiset johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi

$$Q_{kylmäsiilat} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

missä

$Q_{kylmäsiilat}$ = johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh

l_k = viivamaisen kylmäsiilan pituus, m

Ψ_k = viivamaisen kylmäsiilan lisäkonduktanssi, W / (m K).

Kaava, jolla lasketaan alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila

$$T_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi}$$

missä

$T_{maa,kuukausi}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C

$T_{maa,vuosi}$ = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C

$\Delta T_{maa,kuukausi}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero, °C.

Kaava, jolla lasketaan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema lämmitysenergia

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_v (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

missä

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

q_v = vuotoilmavirta, m³/s.

Kaava, jolla lasketaan vuotoilmavirta

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa}$$

missä

$q_{v,vuotoilma}$ = vuotoilmavirta, m³/s

q_{50} = rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m³/ (h m²)

A_{vaippa} = rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan lukien), m²

x = kerroin, rakennuksen kerroslukumäärän mukaan

3600 = kerroin, joka muuttaa ilmavirran m³/h yksiköstä m³/s yksikköön.

Kaava, jolla voidaan laskea rakennusvaipan ilmanvuotoluku q50 ilmanvuotoluvusta n50

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V$$

missä

n_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h

V = rakennuksen tilavuus, m³.

Kaava, jolla lasketaan tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

$$Q_{iv,tuloilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000$$

missä

$Q_{iv,tuloilma}$ = tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila, °C.

LIITE 3 Sisäiset lämpökuormat

Kaava, jolla lasketaan henkilöiden luovuttama lämpöenergia

$$Q_{henk} = k n \phi_{henk} \Delta t / 1000$$

missä

Q_{henk} = henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

k = käyttöaste, joka kuvaa ihmisen läsnäoloa rakennuksessa, 0,6

n = henkilöiden lukumäärä

ϕ_{henk} = yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho, 85W/henkilö

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = laatumuunnoksen kerroin kilowattitunneiksi.

Kaava, jolla lasketaan valaistuksen ja sähkölaitteiden luovuttama lämpöenergia

$$Q_{val/säh} = k A \phi_{val/säh} \Delta t / 1000$$

missä

$Q_{val/säh}$ = valaistuksen tai sähkölaitteiden luovuttama lämpöenergia, kWh

k = käyttöaste, joka kuvaa valaistuksen (0,1) tai sähkölaitteiden (0,6) käyttöastetta

A = rakennuksen pinta-ala (m²)

$\phi_{val/säh}$ = Valaistuksen (8 W/m²) tai sähkölaitteiden (3 W/m²) lämpöteho yhtä neliometriä kohden

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = laatumuunnoksen kerroin kilowattitunneiksi.

Kaava, ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} + g$$

missä

Q_{aur} = , ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia kWh/kk

$G_{säteily,pystypinta}$ = pystypinnalle tulevan auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/ (m² kk)

$F_{läpäisy}$ = säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

A_{ikk} = ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m²

g = ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin.

Kaava, jolla saadaan laskettua ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, mikäli sitä ei ole tiedossa

$$g = 0,9 g_{kohtisuora}$$

g = ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

$g_{kohtisuora}$ = ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin.

Kaava, jolla saadaan laskettua säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

$$F_{\text{läpäisy}} = F_{\text{kehä}} F_{\text{verho}}$$

missä

$F_{\text{läpäisy}}$ = säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

$F_{\text{kehä}}$ = kehäkerroin, 0,75

F_{verho} = verhokerroin.

Kaava, jolla saadaan laskettua lämpökuormien energia, joka hyödynnetään lämmityksessä

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}}$$

missä

$Q_{\text{sis.lämpö}}$ = lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

$\eta_{\text{lämpö}}$ = lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ = rakennuksen lämpökuorma (henkilöt, valaistus, sähkölaitteet, aurinko), kWh.

Kaava, jolla saadaan laskettua lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1-y^a}{1-y^{a+1}}$$

$$a = 1 + \frac{t}{15}$$

$$y = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}}$$

Kaava, jolla saadaan laskettua rakennuksen aikavakio

$$t = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}}$$

Erikoistapauksissa, jossa lämpökuorma suhde lämpöhäviöön $y = 1$, hyödyntämisaste lasketaan seuraavalla kaavalla

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{a}{a+1}$$

$$H_{\text{tila}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u)\Delta t} 1000$$

missä

y = lämpökuorman suhde lämpöhäviöön

a = numeerinen parametri

t = rakennuksen aikavakio

H_{tila} = rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö

C_{rak} = rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K.

LIITE 4 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Kaava, jolla saadaan laskettua lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv, netto}}}{\eta_{\text{lkv, siirto}}} + Q_{\text{lkv, varastointi}}$$

missä

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$ = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{\text{lkv, netto}}$ = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a

$\eta_{\text{lkv, siirto}}$ = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde

$Q_{\text{lkv, varastointi}}$ = lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö.

Kaava, jolla saadaan laskettua lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve

$$Q_{\text{lkv, netto}} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{\text{lkv}} (T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}})}{3600}$$

missä

ρ_v = veden tiheys, 1000 kg/m³

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus, m³

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila, 55 °C

T_{kv} = kylmä käyttöveden lämpötila, 5 °C

3600 = laatumuunnoksen kerroin kilowattitunneiksi, s/h.

Kaava, jolla saadaan laskettua lämpimän käyttöveden kulutus

$$V_{\text{lkv}} = \frac{n V_{\text{lkv, omin, henk}} \Delta t}{1000}$$

missä

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus, m³

n = henkilöiden lukumäärä

$V_{\text{lkv, omin, henk}}$ = lämpimän käyttöveden ominaiskulutus henkilöä kohti vuorokaudessa, 60 dm³

Δt = ajanjakson pituus vuorokausina, 365

1000 = kerroin, kuutiodesilitroista kuutiometreiksi, dm³/m³.

LIITE 5 Ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen lämpöenergian tarve

Kaava, jolla saadaan laskettua ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotolla otettu teho

$$\dot{\phi}_{lto} = \eta_{a,ivkone} \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u)$$

missä

$\dot{\phi}_{lto}$ = lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho, W

$\eta_{a,ivkone}$ = ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhde

$q_{v,poisto}$ = poistoilmavirta, m³/s.

Kaava, jolla saadaan laskettua ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila. (Jos lukuarvoksi tulee negatiivinen, Q_{iv} arvona käytetään nollaa.

$$T_{lto} = T_u + \frac{\dot{\phi}_{lto}}{\rho_i c_{pi} q_{v,tulo}}$$

missä

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s.

Kaava, jolla saadaan laskettua ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin lämmitysenergian tarve

$$Q_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000$$

missä

Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve, kWh

$\Delta T_{puhallin}$ = lämpötilan nousu puhaltimessa, °C.

LIITE 6 Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus

Kaava, jolla saadaan laskettua lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus

$$W_{\text{lämmitys}} = e_{\text{tuotto}} A_{\text{netto}} + e_{\text{tilat}} A_{\text{netto}}$$

missä

$W_{\text{lämmitys}}$ = ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve, kWh

e_{tuotto} = lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/ (m² a)

e_{tilat} = lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus, kWh/ (m² a)

A_{netto} = rakennuksen lämmitetty netto-ala, m².

LIITE 7 Lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus

Kaava, jolla lasketaan lämpöpumppujärjestelmän tuottama tilojen lämmitysenergia

$$Q_{LP\text{lämmitys,tilat}} = Q_{\text{lämmitys,tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys,tilat}}$$

missä

$$Q_{LP\text{lämmitys,tilat}} = \text{lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh}$$

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \text{tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh}$$

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = \text{tilojen lisälämmityksen energian tarve sähkövastuksella, kWh.}$$

Kaava, jolla lasketaan lämpöpumppujärjestelmän tuottama käyttöveden lämmitysenergia

$$Q_{LP\text{lämmitys,lkv}} = Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{lisälämmitys,lkv}}$$

missä

$$Q_{LP\text{lämmitys,lkv}} = \text{lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh}$$

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \text{lämpimän käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh}$$

$$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}} = \text{lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energian tarve sähkövastuksella, kWh.}$$

Kaava, jolla lasketaan tilojen lisälämmityksen energiantarve

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = (1 - Q_{LP,\text{suhdeluku}}) Q_{\text{lämmitys,tilat}}$$

missä

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = \text{tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh}$$

$$Q_{LP,\text{suhdeluku}} = \text{lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian osuus lämpöenergian tarpeesta, kWh}$$

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \text{tilojen lämmityksen energian tarve, kWh.}$$

Kaava, jolla lasketaan lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve

$$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}} = (1 - Q_{LP,\text{suhdeluku}}) Q_{\text{lämmitys,lkv}}$$

missä

$$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}} = \text{lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh}$$

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \text{lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh.}$$

LIITE 8 Tukilämmitysjärjestelmien lämmitysenergian kulutukset

Kaava, jolla lasketaan tukilämmitysjärjestelmistä saatava lämmitysenergia tiloihin

$$Q_{\text{lämmitys,tuki}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{ILP}}} + Q_{\text{tulisiija,netto}}$$

missä

$Q_{\text{lämmitys,tuki}}$ = tukilämmitysjärjestelmistä tiloihin saatava lämmitysenergia, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$ = rakennuksen tilojen lämpöenergian nettotarve, kWh/a

η_{ILP} = ilma-ilmalämpöpumpusta saatava lämmitysenergia, (%) (10-40)

$Q_{\text{tulisiija,netto}}$ = tulisijasta saatava lämmitysenergia, kWh (500-5000 kWh).

Kaava, jolla lasketaan ilma-ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutus

$$W_{\text{ILP,lämmitys}} = \frac{Q_{\text{ILP,lämmitys}}}{\text{SPF}_{\text{ILP}}}$$

missä

$W_{\text{ILP,lämmitys}}$ = ilma-ilmalämpöpumpppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh

$Q_{\text{ILP,lämmitys}}$ = ilma-ilmalämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

SPF_{ILP} = ilma-ilmalämpöpumpun SPF-luku.

Kaava, jolla lasketaan tulisijan kuluttama ostoenergian kulutus

$$Q_{\text{tulisiija}} = \frac{Q_{\text{tulisiija,netto}}}{\eta_{\text{tulisiija}}}$$

missä

$Q_{\text{tulisiija}}$ = tulisijan ostoenergian kulutus, kWh

$Q_{\text{tulisiija,netto}}$ = tulisijasta saatava lämmitysenergia, kWh

$\eta_{\text{tulisiija}}$ = tulisijan hyötysuhde, (0,6).

LIITE 9 Lämmityksen ostoenergian kustannukset

Kaava, jolla lasketaan ostettava polttoainemäärä

$$PA_{\text{lämmitys,osto}} = \frac{Q_{\text{lämmitys}}}{Q_{\text{teh.lämpöarvo}}}$$

missä

$PA_{\text{lämmitys,osto}}$ = rakennukseen ostettava polttoaineen määrä, polttoaineen mittayksikkö

$Q_{\text{teh.lämpöarvo}}$ = käytetyn polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/polttoaineen mittayksikkö.

Kaava, jolla lasketaan kaukolämmön, suoran sähkölämmityksen ja sähkökattilalämmityksen lämmitysjärjestelmien ostoenergian kustannukset vuositasonalla

$$E_{\text{osto,lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys,pää}} * \text{€}_{\text{ostoenergia}}$$

missä

$E_{\text{osto,lämmitys}}$ = kyseisen lämmitysjärjestelmän ostoenergian kustannukset €/a

$Q_{\text{lämmitys,pää}}$ = kyseisen lämmöntuottojärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a

$\text{€}_{\text{ostoenergia}}$ = kyseisen lämmöntuottojärjestelmän käyttämän ostoenergian hinta €/kWh.

Kaava, jolla lasketaan öljy-, pelletti ja tulisijalämmityksen ostoenergian kustannukset vuositasonalla

$$E_{\text{osto,lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys,pää}/\text{tuki}} * \left(\frac{Q_{\text{lämmitys,pää,tuki}}}{Q_{\text{teh.lämpöarvo}}} \right) * \text{€}_{\text{ostoenergia}}$$

missä

$E_{\text{osto,lämmitys}}$ = kyseisen lämmitysjärjestelmän ostoenergian kustannukset €/a

$Q_{\text{lämmitys,pää}/\text{tuki}}$ = kyseisen lämmöntuottojärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a

$\text{€}_{\text{ostoenergia}}$ = kyseisen lämmöntuottojärjestelmän käyttämän ostoenergian hinta €/kWh.

Kaava, jolla lasketaan lämpöpumppujen (maa, ilma-vesi, ilma-ilma) ostoenergian kustannukset vuositasonalla

$$E_{\text{osto,lämmitys}} = W_{\text{lämmitys,lämpöpumppu}} * \text{€}_{\text{ostoenergia}}$$

missä

$E_{\text{osto,lämmitys}}$ = kyseisen lämmitysjärjestelmän ostoenergian kustannukset €/a

$W_{\text{lämmitys,lämpöpumppu}}$ = kyseisen lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a

$\text{€}_{\text{ostoenergia}}$ = kyseisen lämpöpumppujärjestelmän käyttämän ostoenergian hinta €/kWh.

LIITE 10 Lämmityksen kokonaiskustannukset

Kaava, jolla lasketaan lämmityksen kokonaiskustannukset tietyllä aikavälillä

$$KOK_{\eta} = INV_{pää} + INV_{tuki} + INV_{luo} + HUO_{pää,\eta} + HUO_{tuki,\eta} + HUO_{luo,\eta} + E_{osto,pää} * \eta + E_{osto,tuki} * \eta + E_{osto,IV} * \eta + E_{osto,apu} * \eta$$

missä

KOK_{η} = rakennuksen lämmityksen kokonaiskustannukset laskelmissa olevalle aikavälille, €/η*a

$INV_{pää}$ = päälämmöntuottojärjestelmän alkuinvestoinnit, €

INV_{tuki} = tukilämmitysjärjestelmän alkuinvestoinnit, €

INV_{luo} = lämmönluovutusjärjestelmän alkuinvestoinnit, €

$HUO_{pää,\eta}$ = päälämmöntuottojärjestelmästä kertyvät huoltokustannukset laskelmissa olevalle aikavälille, €

$HUO_{tuki,\eta}$ = tukilämmitysjärjestelmästä kertyvät huoltokustannukset laskelmissa olevalle aikavälille, €

$HUO_{luo,\eta}$ = lämmönluovutusjärjestelmästä kertyvät huoltokustannukset laskelmissa olevalle aikavälille, €

η = laskelmissa käytetyt vuodet, a.

Kaava, jolla lasketaan lämmityksen kokonaiskustannukset tietyltä aikaväliltä vuosikohtaisiksi eriksi

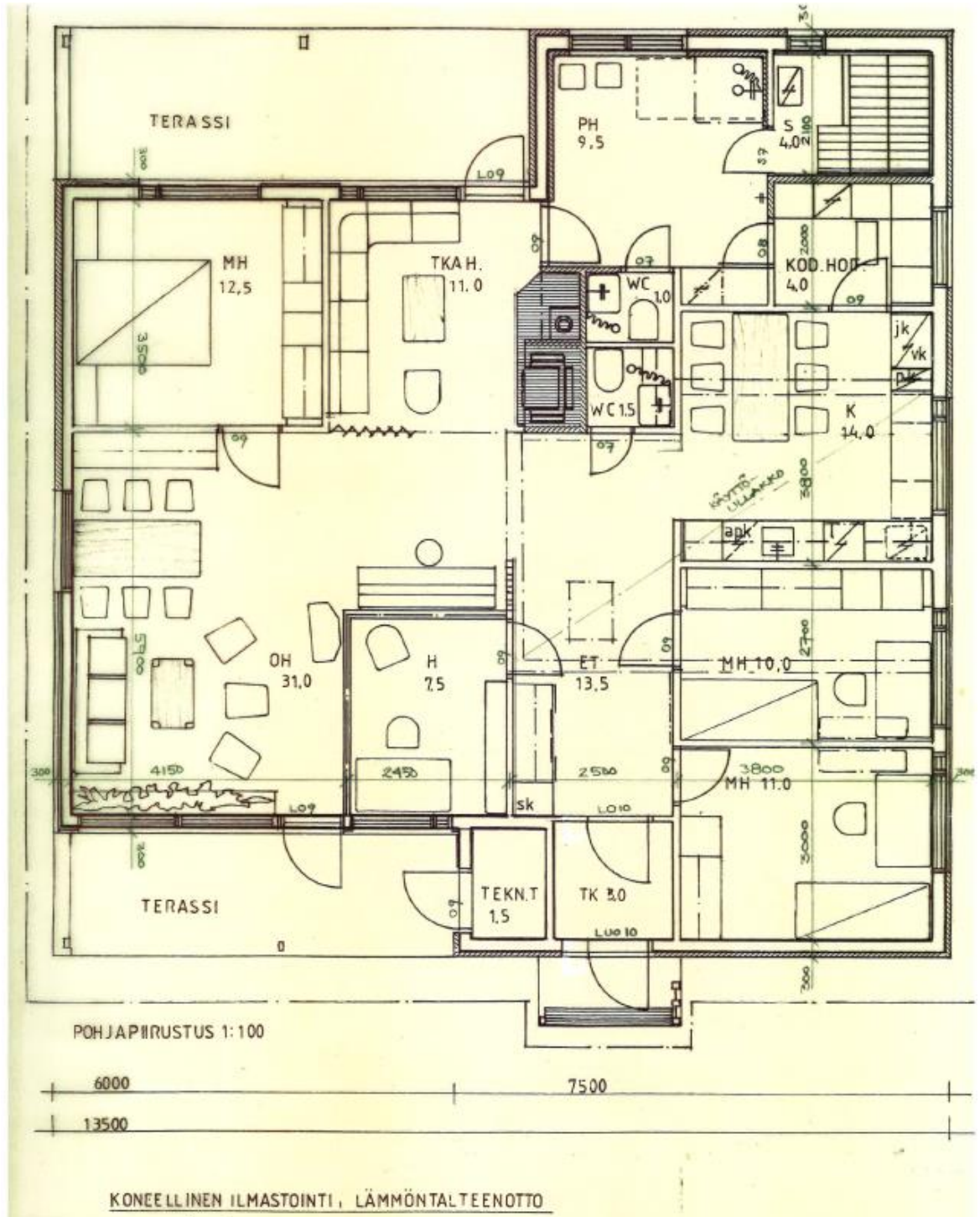
$$KOK_{\eta/a} = (INV_{pää} + INV_{tuki} + INV_{luo} + HUO_{pää,\eta} + HUO_{tuki,\eta} + HUO_{luo,\eta} + E_{osto,pää} * \eta + E_{osto,tuki} * \eta + E_{osto,IV} * \eta + E_{osto,apu} * \eta) / \eta$$

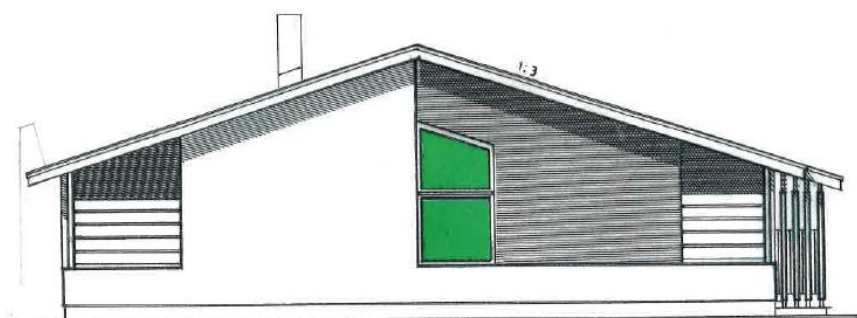
missä

$KOK_{\eta/a}$ = rakennuksen lämmityksen kokonaiskustannukset tietyltä aikaväliltä vuosikohtaisina erinä, €/a (η vuosien laskenta-ajalla).

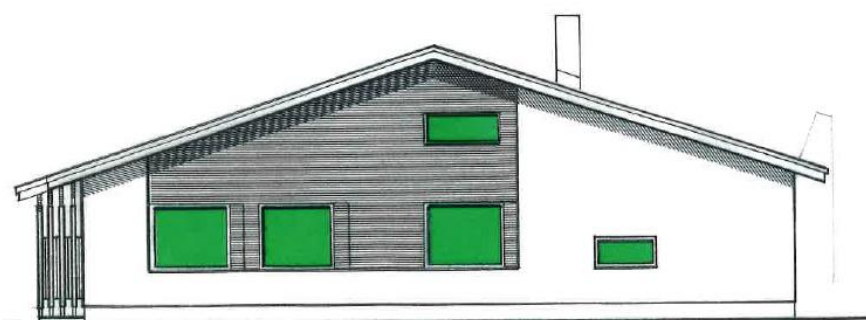
LIITE 11 Mallilaskelma talon piirustukset

Mallilaskelmissa ja laskentatyökalun käyttöohjeissa käytetyn rakennuksen piirustukset.

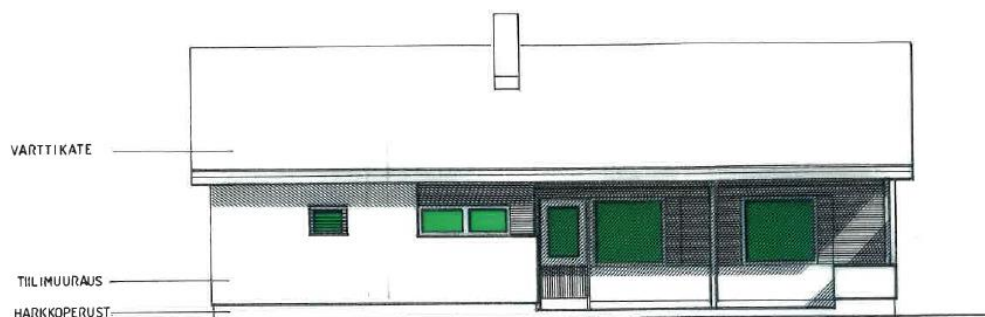




LÄNTEEN



ITÄÄN



POHJOISEEN



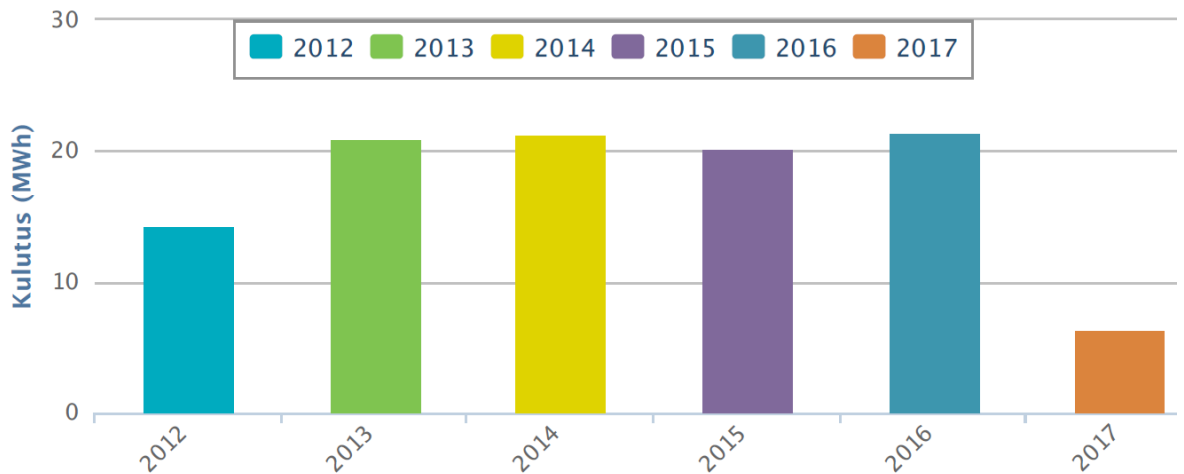
ETELÄÄN

LIITE 12 Mallilaskelma talon kaukolämmönkulutukset

Mallilaskelmissa käytetyn rakennuksen kaukolämmön vuosi- ja kuukausiraportit.

KAUKOLÄMPÖ Omakotitalo 2016				
Osoite	Hyödyke	kk	MWh	Summa
	Kaukolämpö	1	3,3	153,03
	Kaukolämpö	2	2,33	139,61
	Kaukolämpö	3	2,21	93,61
	Kaukolämpö	4	1,94	72,38
	Kaukolämpö	5	1,15	64,21
	Kaukolämpö	6	0,97	77,54
	Kaukolämpö	7	0,58	88,74
	Kaukolämpö	8	0,86	131,98
	Kaukolämpö	9	1,25	147,88
	Kaukolämpö	10	2,06	152,92
	Kaukolämpö	11	2,32	208,86
	Kaukolämpö	12	2,52	145,95
YHT			21,49	1477

VUOSIKULUTUKSET	
Vuosi	Kulutus (MWh)
2016	21,49
2015	20,18
2014	21,37
2013	21,05
KA	21,0225

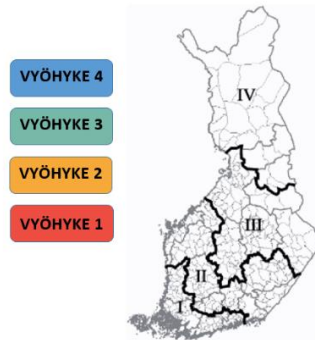


LIITE 13 Laskentatyökalun käyttöohjeet

Laskentatyökalun käyttöohjeet.

1) Valitse rakennuksen sijainti kartalta

Valitse ohjeisen kartan mukaan rakennuksen sijainti ja klikkaa sen mukalista vyöhykepainiketta



2) Laskentatyökalun lähtötieto-välilehden sivussa näkyy ohjeita lähtötietojen antoon. Lähtötietoja syötettäessä joillekin lähtötiedoille on annettu ohjearvoja, jotka näkyvät myös lähtötieto-välilehden sivuvalikossa. Lähtötietojen syöttöruudun vieressä on *-merkintä, mikäli ohjearvoja on annettu.

1.) Painikkeesta "paluu vyöhykevalintaan" pääsee takaisin rakennuksen sijainnin valintaan. Painikkeesta "siirry tarkastelemaan tuloksia" pääsee tarkastelemaan lämmitysmuotojen käyttökustannusvertailuja.

**Paluu
vyöhykevalintaan**

**Siirry
tarkastelemaan
tuloksia**

1

keltaisella pohjalla olevat solut täytettävä, jos solu jää tyhjäksi syötä aina luku 0
oranssi pohjalla olevat solut laskee tietyn taulukon arvot yhteen, jos kyseinen arvo tiedetään voidaan se syöttää suoraan soluun ja jättää keltaiset solut kyseisestä taulukosta tyhjäksi
 *=katso taulukko
(suluissa annettu ohjearvona, mikäli tarkempaa tietoa ei ole. Ohjearvot suuntaa antavia)
Vihreällä pohjalla annettu suuntaa antavat arvot, jos on tarkempaa tietoa syötä arvo

***ohjearvotaulukot rakennuksen perustiedoille:**

kerrokset	kerroin
1	35
2	24
3	20

	Yläpohjan runkomat.			Väli-pohjan runkomat.			Alapohjan runkomat.			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni, maanvast.	betoni, ryöm.	betoni, ryöm. tila	puu, ryöm. tila
Ulkoseinämateriaali	0,08		0,04	0			0,24	0,28		
betoni	0,18	0,06	0,04	0,1	0		0,09	0,08	0,03	
kevytbetoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
kevytsorabetoni	0,08		0,04	0			0,17	0,06		
tiili			0,05			0,05	0,1			0,06
puu			0,04			0	0,11			0,09

	Ulkoseinän runkomateriaali						
	betoni	kevyt- betoni	kevytsora- betoni	tiili	puu	hirsi	
Liitos	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	
US välinen ulkonurkkaliitos	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	
US välinen sisänurkkaliitos	0,15	0,07	0,1	0,1	0,07	0,07	

	Liitos	
	Liitos	Lisäkonduktanssi
US ja YP liitos		0,3
US ja AP liitos		0,5
US ja VP liitos		0,2
US välinen liitos, ulkonurkk		0,1
US välinen liitos, sisänurkk		-0,1
Ikkuna- ja ovi-liitos		0,2

3) Täytä rakennuksen lähtötiedot

2. Arvioitu asukkaiden lukumäärä, kerrosten lukumäärä ja kerroslukumäärää vastaava vuotoilmakerroin. Kerroslukumäärää vastaava vuotoilmakerroin löytyy ohjearvotaulukosta. Esimerkiksi 2 kerroksiselle rakennukselle vastaava vuotoilmakerroin on 35.*

3. Rakennuksen pinta-ala, tilavuus ja ikkunoiden lukumäärä täytetään kerroksittain.

4. Rakennusosien liitosten pituudet sekä liitosten lisäkonduktanssit. * Lisäkonduktanssien arvot löytyvät ohjearvotaulukosta, mikäli niitä ei tiedetä. Arvot määräytyvät rakennuksessa käytettyjen materiaalien perusteella.

5. Rakennusosien pinta-alat. Ikkunoiden pinta-alat syötetään ilmansuunnittain.

6. Rakennusosien U-arvot.

7. Rakennuksen sisäpuolinen lämpökapasiteetti. * (Tarvitaan rakennuksen sisäpuolisten lämpökuormien hyödyntämiseen.)

8. Rakennuksen ilmanvuotoluku n50. * Vaihtoehtona voidaan syöttää suoraan rakennusvaipan ilmanvuotoluku q50.

9. Rakennuksen suunniteltu sisälämpötila. Voidaan käyttää ohjearvona 21.

10. Ikkunoiden verhot. * Verhot sekä lasituksen tyyppi. (Tarvitaan rakennukseen tulevan auringon säteilylämmön hyödyntämiseen.)

11. Kyseiseen kohtaan laskentatyökalu laskee koko ajan rakennuksen tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeen. Kyseiset kohdat täydentyvät, kun lähtötietoja syötetään. Kyseiseen kohtaan voidaan myös syöttää suoraan lämmitysenergian tarve arvot, mikäli ne tiedetään tai ne ovat ennakoitavissa, tässä tapauksessa muita rakennuksen lähtötietoja ei tarvitse syöttää.

Lähtötiedot laskelmiin

Rakennuksen perustiedot

Arvioitu asukkaiden lukumäärä	2 kpl
kerrosten lukumäärä (kaikki)	1 kpl
Kerroslukumäärää vastaava vuotoilmakerroin*	35 kerroin

2

	1 kerros	2 kerros	3 kerros	yhteensä
Rakennuksen pinta-ala (A)	134,5	0,0	0,0	134,5 m ²
Rakennuksen tilavuus (V)	494,5	0,0	0,0	494,5 m ³
ikkunoiden lukumäärä	12,0	0,0	0,0	12,0 kpl

3

Rakennusosien liitosten pituudet	Lisäkonduktanssi Ψ_k	
		W/(m K)
ulkoseinä/yläpohja	55,05 m	0,04
ulkoseinä/väliäpohja	0,00 m	0,00
ulkoseinä/alapohja	52,68 m	0,17
ulkoseinä/ulkoseinä (ulkonurkka)	10,40 m	0,04
ulkoseinä/ulkoseinä (sisänurkka)	2,60 m	-0,04
ikkuna	70,10 m	0,07
ovi	19,70 m	0,07
jokin muu liitos	0,00 m	0,00

4

*taulukossa ohjearvoja lisäkonduktansseille

Rakennuksen sisäpuolinen lämpökapasiteetti Crak omin* 7 70 Wh/(m² K)

Ilmanvuoto:

Rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla n50* 5 1/h

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q50 8 5,7 m³/(h m²)

Sisälämpötila (ohjearvo 21°C) 9 21 °C

Ikkunoiden verhot (verhokerroin)* 0,3

Ikkunoiden lasitus (gkohtisuora)* 10 0,7

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve	15887 kWh/a
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve	3006 kWh/a

11

Rakennusosien pinta-alat (A)	
Ulkoseinät (A)	140,3 m ²
Yläpohja (A)	134,5 m ²
Alapohja (A)	133,0 m ²
Ovet (A)	5,9 m ²
Ikkunat yhteensä (A)	21,4 m ²
Ikkunat pohjoiseen (A)	4,9 m ²
Ikkunat koilliseen (A)	0,0 m ²
Ikkunat itään (A)	6,0 m ²
Ikkunat kaakkoon (A)	0,0 m ²
Ikkunat etelään (A)	6,4 m ²
Ikkunat lounaaseen (A)	0,0 m ²
Ikkunat länteen (A)	4,1 m ²
Ikkunat luoteeseen (A)	0,0 m ²
Vaipan pinta-ala yhteensä (Avaippa)	435,1 m ²

5

Rakennusosien U-arvot	
Ulkoseinät	0,25 W/(m ² K)
Yläpohja	0,16 W/(m ² K)
Alapohja	0,21 W/(m ² K)
Ovet	1,20 W/(m ² K)
Ikkunat	1,20 W/(m ² K)

6

4) Täytä ilmanvaihdon tiedot.

Jos rakennuksen ilmanvaihdosta ei ole tarkempaa tietoa, voidaan tuloilmavirtana käyttää rakennuksen neliökohtaista ohjearvoa 0,4 ja poistoilmavirtana 0,41. Nämä täytyy kertoa rakennuksen pinta-alalla ja syöttää vasta sitten. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilana tiloihin voidaan käyttää arvoa 18, jos tarkempaa tietoa ei ole. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena voidaan käyttää 0,6, jos tarkempaa tietoa ei ole.

Ilmanvaihdon tiedot

tuloilmavirta (ohjearvona 0,4/m ²)				54	dm ³ /s
poistoilmavirta (ohjearvona 0,41/m ²)				56	dm ³ /s
sisäänpuhalluslämpötila (ohjearvo 18°C)				18	°C
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (ohjearvona 0,6)				0,6	

5) Päälämmöntuottomuotojen lähtötiedot.

Jokaiselle päälämmöntuottomuodolle on oma kohta, jossa on valmiiksi aina kyseisen lämmöntuottomuodon investointi- ja käyttökustannukset sekä huoltojen kustannukset ja aikavälit. Kyseisissä kohdissa on jo valmiina arvot, mutta tarkemmat arvot voidaan syöttää, mikäli niistä on tietoa.

Päälämmitysmuotojen tiedot

Lämmitysmuodot:

Huollot ja niiden hinnat ja aikavälit:

Kaukolämpö:					hintana	yksikkö	huoltoväli (V.)
Lämmönvaihdinpaketti (sis. asennus)		5000	€				
Kaukolämpöliittymän hinta		3745	€	Lämmönvaihdinpaketin uusiminen	5000	€	30
Kaukolämmön kuukausimaksu		24,92	€/kuukausi	Vesipumpun uusiminen	300	€	20
Kaukolämmön hinta		0,056	€/kWh	Paisunta-astian uusiminen + varolaitteet	300	€	20
Öljy:							
Öljykattila, poltin, säiliö + muut (sis. Asennus)		6500	€	Öljysäiliön uusiminen	1500	€	40
Öljyn hinta		0,9	€/dm ³ (€/L)	Öljypolttimen ja kattilan huolto	150	€	1
				Öljypolttimen uusiminen	1000	€	15
				Öljykattilan uusiminen	5000	€	30
				Nuohous	50	€	1
				Vesipumpun uusiminen	300	€	20
				Paisunta-astian uusiminen + varolaitteet	300	€	20

6) Lämmöntuottomuotojen hyötysuhteet.

Lämmöntuottomuodoille on annettu keskimääräiset vuosihyötysuhteet. Tarkemmat arvot voidaan syöttää, jos esimerkiksi vertailuun valituille lämmöntuottolaitteistoille on annettu hyötysuhteet.

(ohjearvot, Jos tarkempaa tietoa ei ole)

lämmöntuoton hyötysuhteet: (kattilat ja lämmönvaihtimet)

öljykattila				0,81
pellettikattila				0,75
sähkökattila				0,88
kaukolämpö				0,94
suora sähkölämmitys				1

7) Tukilämmitysmuotojen lähtötiedot.

12. Ilma-ilmalämpöpumpun lähtötiedot. Lämpöpumpulla pystytään tuottamaan rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarpeesta noin 10-40 % säävyöhykkeestä riippuen. Kyseiseen valintaruutuun syötetään arvo siltä väliltä. Jos lämpöpumppua ei vertailuihin haluta, syötetään kohtaan luku 0. Periaatteen voidaan käyttää, että syötettäessä arvo 10 lämpöpumppu ei ole kovin tehokas tai sen käyttö on vähäistä. Arvolla 40 lämpöpumppu on tehokkaampi ja sitä käytetään aktiivisesti. Muille lähtötiedoille on annettu ohjearvot.

13. Tulisijan lähtötiedot. Tulisijasta saadaan rakennukseen noin 500-5000 kWh lämpöenergiaa. 500 kWh tulisijan käyttö on erittäin vähäistä ja tulisija ei ole varaava. 5000 kWh tulisijan käyttö on aktiivista ja tulisija on varaava. Tulisijasta saatavaa lämpöenergiaa voidaan arvioida tuolta väliltä. Tulisijassa käytettävän puun hinta ilmoitetaan pinokuutiometriä kohden. Puun ollessa ilmaista syötetään arvo 0. Tulisijan hyötysuhteena on ohjearvo 0,6. Kyseistä arvoa voidaan käyttää, mikäli tarkempaa tietoa tulisijasta ei ole.

Tukilämmitysmuotojen tiedot

Ilma-ilmalämpöpumppu: (ILP)					
ILP:n suunniteltu tuottama osuus tilojen lämmityksestä (ohjearvona 10-40)		0 %	Ilma-ilmalämpöpumpun ulkoyksikön uusiminen	0 €	0
Ilma-ilmalämpöpumpun/pumppujen hinta		0 €	Ilma-ilmalämpöpumpun sisäyksikön uusiminen	0 €	0
Ilma-ilmalämpöpumpun SPF-luku (vuosihyötysuhde) (ohjearvona 2,8)		0			

Tulisija:					
Tulisijan kokonaishyötysuhde (ohjearvona 0,6)		0,6			
Tulisijassa käytettävän polttopuun hinta (ohjearvona 60, mikäli puu on ilmaista syötä 0)		0 €/pino-m ³			
Tulisijasta saatava lämmitysenergia (ohjearvona 500-5000)		1000 kWh			

8) Lämmönluovutuksen lähtötiedot

14. Eri lämmönluovutustapojen lähtötiedot.

15. Suunnitellun lämmönluovutustavan/tapojen osuudet. Mikäli haluat, että laskelmassa näkyy kaikkien eri lämmönluovutusten kokonaishinnat, siten että rakennuksessa on vain yhtä lämmönluovutusmenetelmää käytetty, syötä jokaiseen kohtaan arvo 100.

Mikäli haluat, että rakennuksessa on kaksi eri lämmönluovutusmenetelmää, syötä esimerkiksi vesikiertoiseen lattialämmitykseen 50 ja vesikiertoiseen patterilämmitykseen 50, näin esimerkiksi yläkerta on pattereilla ja alakerta lattialämmityksellä. Tai vastaavasti sähköisille lämmönluovutusmenetelmille samalla tavalla.

Lämmönluovutuksen tiedot	Lämmönluovutuksen hinta: (sis. asennus+lämmönjako/luovutuslaitteisto)		Huollot:	hinta	yksikkö	huoltoväli (V.)
	yksikkö					
Vesikiertoinen lattialämmitys		28 €/m ²	Termostaattien uusiminen	3 €/m ²		15
Vesikiertoinen patterilämmitys	14	300 €/patteri kappale	Patteriventtiilien uusiminen	60 €/kpl		15
Sähköinen lattialämmitys		20 €/m ²	Termostaattien uusiminen	3 €/m ²		15
Sähköinen patterilämmitys		150 €/patteri kappale	Patterien uusiminen	120 €/kpl		25

Suunniteltu lämmönluovutuksen toteutuksen osuus

Mikäli haluat, että laskelmassa näkyy kaikkien eri lämmönluovutusten toteutukset, siten että rakennuksessa on vain yhtä lämmönluovutusmenetelmää käytetty, syötä jokaiseen kohtaan arvo 100.

Mikäli haluat, että rakennuksessa on kaksi eri lämmönluovutusmenetelmää, syötä esimerkiksi vesikiertoiseen lattialämmitykseen 50 ja vesikiertoiseen patterilämmitykseen 50, näin esimerkiksi yläkerta on pattereilla ja alakerta lattialämmityksellä. Tai vastaavasti sähköisille lämmönluovutusmenetelmille samalla tavalla. Tässä tapauksessa kustannuksia tarkasteltaessa on lämmönluovutusmenetelmien investointi ja huoltokustannukset laskettava yhteen kun tarkastellaan tuloksia eri aika-väleillä.

prosenttia pinta-alasta vesikiertoista lattialämmitystä	22 %	15
prosenttia pinta-alasta vesikiertoista patterilämmitystä	78 %	
prosenttia pinta-alasta sähköistä lattialämmitystä	22 %	15
prosenttia pinta-alasta sähköistä patterilämmitystä	78 %	

LIITE 14 Ohjeet laskentatyökalun tuloksien lukemiseen

1) Lämmitysmuotojen käyttökustannustarkastelu

1. *Klikkaamalla painiketta pääset tarkastelemaan lämmityksen kokonaiskustannuksia kyseiseltä ajanjaksolta.*
2. *Punainen painike -> pääset takaisin muokkaamaan lähtötietoja.*
3. *Sininen painike -> pääset tarkastelemaan lämmönjako/luovutuslaitteiston investointi- ja huoltokustannuksia vuositasolla.*
4. *Keltainen painike -> pääset tarkastelemaan kyseisen lämmitysmuodon investointi- ja huoltokustannuksia tarkemmin vuositasolla.*
5. *Päälämmitysmuodon tilojen lämmitysenergian nettotarve, josta on vähennetty tukilämmitysjärjestelmistä saatava lämmitysenergia*
6. *Päälämmitysmuodon tilojen lämmitysenergian tarve, joka on jaettu lämmöntuotto- ja lämmönjakelumuotojen hyötysuhteilla*
7. *Päälämmitysmuodolla tiloihin tuotetun lämmitysenergian hinta*
8. *Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve*
9. *Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve, joka on jaettu lämmöntuottomuodon hyötysuhteilla*
10. *Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian hinta*

Klikkaa ja tarkastele tuloksia eri ajanjaksojen mukaisilla laskenta-ajoilla:

50 vuoden	40 vuoden	30 vuoden	20 vuoden	10 vuoden	1
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	---

Klikkaamalla keltaisella pohjalla olevista lämmitysmuodosta, pystyt tarkastelemaan kyseisen lämmitysmuodon investointi ja huoltokustannuksia tarkemmin

2

Paluu lähtötietoihin

Tarkastele lämmönjako/luovutuslaitteiston investointi ja huoltokustannuksia

Lämmitysmuotojen käyttökustannukset		Kaukolämpö	Öljylämmitys	Suora sähkö	Ves.kiert. Sähkö	Pelletti	Maalämpö	Ilma-vesilämpöpumppu
Tilojen lämmitysenergian tarve, netto	kWh/vuosi	15887	15887	15887	15887	15887	15887	15887
Tukilämmitysmuodoista saatava lämmitysenergia:								
Tulisijasta saatava lämmitysenergia	kWh/vuosi	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Ilma-ilmalämpöpumpusta saatava lämmitysenergia	kWh/vuosi	0	0	0	0	0	0	0
Päälämmitysmuodon lämmitysenergian tarve, netto	kWh/vuosi	14887	14887	14887	14887	14887	14887	14887
Päälämmitysmuodon vuosihyötysuhde		0,94	0,81	1	0,88	0,75		
Lämmönjakelu/luovutusjärjestelmän vuosihyötysuhde		0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
*lämpöpumpuissa osateho-/täyستهomitoitus							0,95 *	0,8 *
*lämpöpumppujen keskimääräiset vuoden lämpökertoimet (SPF-luku, tilojen lämmitys)							2,7 *	2,3 *
*lämpöpumppujen keskimääräiset vuoden lämpökertoimet (SPF-luku, käyttöveden lämmitys)							2,3 *	1,8 *
Päälämmitysmuodon tilojen lämmitysenergian tarve	kWh/vuosi	19797	22974	16541	21146	24812	18609	18609
*lämpöpumpuilla sähkön kulutuksen osuus tilojen lämmityksestä	kWh/vuosi						7823 *	11813 *
Tilojen lämmitysenergian hinta:	€/vuosi	1109	2068	2647	3383	1320	1252	1890
tarvittava polttoainemäärä (öljy=litraa, pelletti=kiloa)			2297			5279		
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve, netto	kWh/vuosi	3006	3006	3256	3006	3006	3006	3006
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve	kWh/vuosi	3198	3711	3256	3416	4008		
*lämpöpumpuilla sähkön kulutuksen osuus käyttöveden lämmityksestä							1457 *	2271 *
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian hinta:	€/vuosi	179	334	521	478	213	233	363
tarvittava polttoainemäärä (öljy=litraa, pelletti=kiloa)			371			853		

3

11. Päälämmitysmuodon lämmitysenergian tarve (tilat + lämmin käyttövesi)
 12. Päälämmitysmuodon lämmitysenergian hinta (tilat + lämmin käyttövesi)
 13. Lämmitysjärjestelmien apulaitteiden sähköenergian kulutukset sekä hinnat
 14. Ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen sähköenergian tarpeet ja hinnat
 15. Tulisijan kulutus ja hintatiedot
 16. Ilma-ilmalämpöpumpun kulutus ja hintatiedot
 17. Lämmitysenergian hinta yhteensä (päälämmitys + tukilämmitys)
 18. Lämmityksen hinta yhteensä (päälämmitys + tukilämmitys + ilmanvaihto + apulaitteet)

Päälämmitysmuodon lämmitysenergian tarve (tilat+lämmin käyttövesi) 11	kWh/vuosi	22994	26685	19797	24562	28820			
*lämpöpumpuilla sähkön kulutuksen osuus (tilat+lämmin käyttövesi)	kWh/vuosi						9280 *		14084 *
Lämmitysenergian hinta (tilat+lämmin käyttövesi): 12	€/vuosi	1587	2402	3168	3862	1533	1485		2253
tarvittava polttoainemäärä (öljy=litraa, pelletti=kiloa)			2668			6132			
Lämmöntuotto ja jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutukset: 13	kWh/vuosi	350	402	67	272	373	269		269
Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkön kulutuksen hinta	€/vuosi	56	64	11	43	60	43		43
Ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen lämmitysenergian tarve sähköllä 14	kWh/vuosi	1994	1994	1994	1994	1994	1994		1994
Ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen hinta	€/vuosi	319	319	319	319	319	319		319
Tukilämmitysmuotojen lämmitysenergian tarve:									
Tulisija:									
vuosiyötysuhde		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6
Saatava lämmitysenergia rakennukseen 15	kWh/vuosi	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1000
Lämmitysenergian kulutus	kWh/vuosi	1667	1667	1667	1667	1667	1667		1667
tulisijan käyttämän puuenergian kulutuksen hinta	€/vuosi	0	0	0	0	0	0		0
Ilma-ilmalämpöpumppu:									
lämpöpumpun keskimääräiset vuoden lämpökertoimet		0	0	0	0	0	0		0
Saatava lämmitysenergia rakennukseen 16	kWh/vuosi	0	0	0	0	0	0		0
lämpöpumpun sähkön kulutuksen osuus	kWh/vuosi	0	0	0	0	0	0		0
lämpöpumpun sähkön kulutuksen hinta	€/vuosi	0	0	0	0	0	0		0
Lämmitysenergian hinta yhteensä (Päälämmitys + tukilämmitys) 17	€/vuosi	1587	2402	3168	3862	1533	1485		2253
Ilmanvaihdon tuloilman lämmitysenergian hinta	€/vuosi	319	319	319	319	319	319		319
Lämmöntuotto ja jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutuksen hinta	€/vuosi	56	64	11	43	60	43		43
Yhteensä 18	€/vuosi	1962	2785	3497	4224	1912	1847		2615

2) Käyttökustannukset ovat esitetty myös pylväsdiagrammimuodossa.



3) Lämmityskustannusten tarkastelu eri ajanjaksoin

Näkymä, josta voi tarkastella lämmityskustannuksia tietyillä aikaväleillä. Näkymästä löytyy vielä tarkempia tietoja kuin pelkästä käyttökustannusnäkymästä, lisäksi näkymästä selviää huolto- ja investointikustannukset sekä kokonaiskustannukset eri lämmönjakelujärjestelmillä. Näkymän saa auki 50, 40, 30, 20 ja 10 vuoden ajanjaksoilla.

Päämmitysmuodot + tukilämmitysmuodot	Tukilämmitysmuodot										
	Paluu käyttökustannuksiin	Paluu lähtötietoihin	Saatava hyöty %/kok.	vuosihyötysuhde kWh/vuosi (lämpöpumput SPF-lu)	Ostoenergian kulutus kWh/vuosi	Ostoenergian hinta €/kWh	Ostoenergian kulutuksen hinta €/vuosi	Investoinnit €	Huollot €	Kokonaiskustannus €/50 vuotta	Kokonaiskustannukset €/vuosi (50 vuoden laskenta-ajalla)
Kaukolämpö											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0
Ilma-ilmalämpöpumppu			0,0	0	0	0	0,16	0	0	0	0
Öljylämmitys											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0
Ilma-ilmalämpöpumppu			0,0	0	0	0	0,16	0	0	0	0
Suora sähkölämmitys											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0
Ilma-ilmalämpöpumppu			0,0	0	0	0	0,16	0	0	0	0
Vesikiertoinen sähköläm.											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0
Ilma-ilmalämpöpumppu			0,0	0	0	0	0,16	0	0	0	0
Pellettilämmitys											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0
Ilma-ilmalämpöpumppu			0,0	0	0	0	0,16	0	0	0	0
Maalämpöpumppu porakaivolla											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0
Maalämpöpumppu maalämpöpiirillä											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0
Ilma-vesilämpöpumppu											
Tulisija			6,3	1000	0,6	1667	0	0		0	0

Päämmitysmuodot + tukilämmitysmuodot	Lämmitysenergian tarve		vuosiyötysuhde (lämpöpumput SPF-luku)	Ostoenergian kulutus kWh/vuosi	Päälämmitysmuodot		Investoinnit €	Huollot €	Kokonaiskustannukset €/50 vuotta	Kokonaiskustannukset €/vuosi (50 vuoden laskenta-ajalla)
	kWh/vuosi, lkv	kWh/vuosi, tilat			Ostoenergian hinta €/KWh	Ostoenergian kulutuksen hinta €/vuosi				
Kaukolämpö Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	3006	18609	0,94	22994	0,056	1587	8745	6200	109233	2185
Öljylämmitys Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	3006	18609	0,81	26685	0,09	2402	6500	14400	143482	2870
Suora sähkölämmitys Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	3256	16541	1	19797	0,16	3168	1500	1500	161377	3228
Vesikiertoinen sähköläm. Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	3006	18609	0,88	24562 (lkv yösähköllä)	0,16 0,14	3862	4000	4000	201082	4022
Pellettilämmitys Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	3006	18609	0,75	28820	0,053191489	1533	9000	8250	96398	1928
Maalämpöpumppu porakaivolla Tulisija	3006	18609	(SPF/lkv) 2,3 (SPF/tilat) 2,7	9036	0,16	1485	12667	12600	99505	1990
Maalämpöpumppu maalämpöpiirillä Tulisija	3006	18609	2,3 2,7	9036	0,16	1485	13304	12600	100142	2003
Ilma-vesilämpöpumppu Tulisija	3006	18609	1,8 2,3	12847	0,16	2253	8000	15600	136269	2725

Päämmitysmuodot + tukilämmitysmuodot	Lämmöntuotto ja jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutukset:		Ilmanvaihdon tuloilman lämmittäminen (sähkö)		Lämmitys kokonaan (Tuki+Pää+IV)					
	kulutus kWh/vuosi	kulutuksen hinta €/vuosi	lämmitysenergian tarve kWh/vuosi	kulutuksen hinta €/vuosi	Lämmitykseen kuluva energia kWh/vuosi	Ostolämmitysenergian kulutuksen hinta €/vuosi	Investoinnit €	Huollot €	Kokonaiskustannukset €/50 vuotta	Kokonaiskustannukset €/vuosi (50 vuoden laskenta-ajalla)
Kaukolämpö Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	350	56	1994	319	27005	1962	8745	6200	127982	2560
Öljylämmitys Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	402	64	1994	319	30748	2785	6500	14400	162650	3253
Suora sähkölämmitys Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	67	11	1994	319	23525	3497	1500	1500	177866	3557
Vesikiertoinen sähköläm. Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	272	43	1994	319	28494	4224	4000	4000	219207	4384
Pellettilämmitys Tulisija Ilma-ilmalämpöpumppu	373	60	1994	319	32853	1912	9000	8250	115330	2307
Maalämpöpumppu porakaivolla Tulisija	269	43	1994	319	12966	1847	12667	12600	117609	2352
Maalämpöpumppu maalämpöpiirillä Tulisija	269	43	1994	319	12966	1847	13304	12600	118245	2365
Ilma-vesilämpöpumppu Tulisija	269	43	1994	319	16776	2615	8000	15600	154373	3087

Kustannustarkastelut 50 vuoden ajanjaksolta

Päämäämitysmuodot + tukilämmitysmuodot	Lämmönjaon/luovutuksen valinta			Kokonaiskustannukset koko lämmitysjärjestelmästä (käyttö+huolto+investoinnit)		
	Lämmönjakelu/luovutusjärjestelmä	Investoinnit	Huollot	Investointikustannukset	Kokonaiskustannukset	Kokonaiskustannukset
	Kaukolämpö + (tukilämmitykset)	€	€	€	€/50 vuotta	€/vuosi (50 vuoden laskenta-ajalla)
Kaukolämpö	Vesikiertoinen lattialämmitys:	829	266	2752	27909	558
Tulisija	Vesikiertoinen patterilämmitys:	2623	1574	9444	99263	1985
Ilma-ilmalämpöpumppu				12196	127172	2543
Öljylämmitys	Öljylämmitys + (tukilämmitykset)					
Tulisija	Vesikiertoinen lattialämmitys:	829	266	5899	34941	699
Ilma-ilmalämpöpumppu	Vesikiertoinen patterilämmitys:	2623	1574	2623	124195	2484
				8521	159136	3183
Suora sähkölämmitys	Suora sähkölämmitys + (tukilämmitykset)					
Tulisija	Sähköinen lattialämmitys:	592	266	922	37509	755
Ilma-ilmalämpöpumppu	Sähköinen patterilämmitys:	1311	1049	2481	132304	2683
				3403	169813	3438
Vesikiertoinen sähköläm.	Sähkölämmitys kattilalla + (tukilämmitykset)					
Tulisija	Vesikiertoinen lattialämmitys:	829	266	829	46150	923
Ilma-ilmalämpöpumppu	Vesikiertoinen patterilämmitys:	2623	1574	2623	163938	3279
				3451	210088	4202
Pellettilämmitys	Pellettilämmitys + (tukilämmitykset)					
Tulisija	Vesikiertoinen lattialämmitys:	829	266	829	25231	505
Ilma-ilmalämpöpumppu	Vesikiertoinen patterilämmitys:	2623	1574	2623	89769	1795
				3451	115000	2300
Maalämpöpumppu porakaivolla	Maalämpöpumppu porakaivolla + (tukilämmitys)					
Tulisija	Vesikiertoinen lattialämmitys:	829	266	829	24599	492
	Vesikiertoinen patterilämmitys:	2623	1574	2623	87529	1751
				3451	112128	2243
Maalämpöpumppu maalämpöpiirillä	Maalämpöpumppu maalämpöpiirillä + (tukilämmitys)					
Tulisija	Vesikiertoinen lattialämmitys:	829	266	829	84882	1760
	Vesikiertoinen patterilämmitys:	2623	1574	2623	27829	495
				3451	112710	2254
Ilma-vesilämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu + (tukilämmitys)					
Tulisija	Vesikiertoinen lattialämmitys:	829	266	829	32244	645
	Vesikiertoinen patterilämmitys:	2623	1574	2623	114634	2293
				3451	146877	2938

4) Investointi- ja huoltokustannusten tarkastelu lämmönjakelu- ja lämmöntuottomuodoittain.

Paluu
käyttökustannuksiin

vuodet	Kaukolämpö: Investoinnit	€	Huollot	€	Käyttökulut	€	€/vuosi
1	Lämmönvaihdin+kaukolämpöliittymä	8745				1764	10509
2					Kaukolämmön	1764	1764
3					kuukausimaksu	1764	1764
4					+ kulutusmaksu	1764	1764
5						1764	1764
6						1764	1764
7						1764	1764
8						1764	1764
9						1764	1764
10						1764	1764
11						1764	1764
12						1764	1764
13						1764	1764
14						1764	1764
15						1764	1764
16						1764	1764
17						1764	1764
18						1764	1764
19						1764	1764
20						1764	1764
21			Vesipumppu + paisunta-astia/varolaitteet	600		1764	2364
22						1764	1764
23						1764	1764
24						1764	1764
25						1764	1764
26						1764	1764
27						1764	1764
28						1764	1764
29						1764	1764
30						1764	1764

31			Lämmönvaihtimen uusiminen	5000		1764	6764
32						1764	1764
33						1764	1764
34						1764	1764
35						1764	1764
36						1764	1764
37						1764	1764
38						1764	1764
39						1764	1764
40						1764	1764
41			Vesipumppu + paisunta-astia/varolaitteet	600		1764	2364
42						1764	1764
43						1764	1764
44						1764	1764
45						1764	1764
46						1764	1764
47						1764	1764
48						1764	1764
49						1764	1764
50						1764	1764
	Investoinnit kaukolämpö	8745	Huollot kaukolämpö	6200	Käyttökulut	88187	
		€	10 vuoden kokonaiskustannukset jaettu 10 vuodelle	€/vuosi	kaukolämpö	€	
	Kustannukset ensimmäiset 10 vuotta	26382,3379	(10/10v)	2638,2338			
	Kustannukset 20 vuotta	44019,6759	(20/20v)	2200,9838			
	Kustannukset 30 vuotta	62257,0138	(30/30v)	2075,2338			
	Kustannukset 40 vuotta	84894,3517	(40/40v)	2122,3588			
	Kustannukset 50 vuotta	103131,69	(50/50v)	2062,6338			