

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Uudisrakennuksen lämmitysenergiankulutus ja
päälämmönkehityslaitteiden kustannusvertailu

The new building's heating energy consumption and
heating systems' cost comparison

Työn tarkastaja: Timo Hyppänen

Työn ohjaaja: Timo Hyppänen

Lappeenranta 18.11.2013

Jukka Heino

TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi: Jukka Heino

Opinnäytteen nimi: Uudisrakennuksen lämmitysenergiankulutus ja päälämmönkehityslaitteiden kustannusvertailu

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2013

39 sivua, 6 kuvaa, 11 taulukkoa ja 6 liitettä

Hakusanat: lämmitysenergiankulutus, lämmitysteho, lämmitysjärjestelmä, kustannusvertailu, energiatalous

Kandidaatintyössä käsitellään uudisrakennuksen lämmitysenergiankulutusta sekä esitellään ja vertaillaan lämmönkehityslaitteita. Lämmönkehityslaitteet on jaoteltu pää- ja varalaitteisiin, jotka soveltuvat vesikiertoiseen lämmönjakoon. Päälämmönkehityslaitteista vertailussa ovat sähköperäiset järjestelmät, eli suora sähkölämmitys sekä ilmavesi- ja maalämpöpumppu. Varalämmönkehityslaitteista esittelyssä ovat nykyaikana suosiota kasvattavat tulisijat ja aktiivinen aurinkolämmitys.

Lämmitysenergiankulutuksen ja lämmitystehon laskemiseen sovelletaan Suomen rakentamismääräyskokoelmien ohjetta D5. Kustannusvertailussa käytetään nykyarvomenetelmää, jolla vertaillaan koko käyttöajan kustannuksia nykyhetkeen.

Lopun Case-kohteessa sovelletaan esitettyjä laskelmia ja arvioidaan kannattavinta päälämmönkehityslaitetta lasketun energiakulutuksen mukaan. Tuloksien täsmällisyyttä pohditaan erilasten epätarkkuuksien mukaan.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
Sisällysluettelo	3
Symboli- ja lyhenneluettelo	5
1 Johdanto	8
2 Omakotitalon lämmitys	9
2.1 Lämmön varastointi.....	9
2.2 Lämmönjako.....	10
2.3 Sääto- ja ohjauslaitteet.....	11
2.4 Ilmanvaihtokone.....	11
3 Päälämmönkehityslaitteet	13
3.1 Suora sähkölämmitys.....	13
3.2 Lämpöpumput.....	13
3.2.1 Mitoitus.....	15
3.2.2 Maalämpö.....	15
3.2.3 Ilma-vesilämpöpumppu.....	17
4 Varalämmönkehityslaitteet	18
4.1 Tulisija.....	18
4.2 Aurinko.....	19
5 Energiankulutuksen laskenta	21
5.1 Lämmitystehon laskenta.....	23
6 Case: Uudisrakennus Hyvinkäällä	24
6.1 Energiankulutus.....	24
6.2 Lämmitysteho.....	32
6.3 Tulisijan energiantuotto.....	32
6.4 Sähkölämmityksen investointi- ja käyttökustannukset.....	33

6.5	Ilmavesilämpöpumpun investointi- ja käyttökustannukset	34
6.6	Maalämpöpumpun investointi- ja käyttökustannukset.....	34
6.7	Lämmönkehityslaitteiden vertailu	35
7	Yhteenveto	38
	Lähdeluettelo	40
	Liite 1. Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat	43
	Liite 2. Käyttöveden lämmitystarve	47
	Liite 3. Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat	49
	Liite 4. Lämpökuormat	51
	Liite 5. Lämmitysteho	57
	Liite 6. Päälämmönkehitysjärjestelmien kustannuslaskelmat	61

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

A	pinta-ala	[m ²]
C	sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti	[Wh/m ² K]
c_p	ominaislämpökapasiteetti	[J/kgK]
d	ajanjaksossa olevien päivien määrä	[d]
G	aurion kokonaissäteilyenergia	[kWh/m ²]
H	ominaislämpöhäviö	[W/K]
h	entalpia	[J/kg]
n_{50}	rakennuksen vaipan ilmavuotoluku 50 Pa:n paine-erolla	[1/h]
P_e	kompressorin sähköteho	[W]
Q	lämpöenergia	[kWh]
q_m	massavirta	[kg/s]
q_v	tilavuusvirta	[m ³ /l]
T	lämpötila	[K, °C]
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin	[W/m ² K]
V	rakennuksen ilmatilavuus	[m ³]
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus	[m ³]
$V_{lkv,h}$	lämpimän veden ominaiskulutus	[l/d]

Kreikkalaiset aakkoset

ρ	tiheys	[kg/m ³]
--------	--------	----------------------

τ	aikavakio	[h]
\emptyset	lämpöteho	[W]
φ	keskimääräinen lämpöteho	[W]

Dimensiottomat luvut

a	numeerinen parametri
F	korjauskerroin
g	valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
k	rakennuksen käytönaikainen käyttöaste
n	henkilöiden lukumäärä
γ	lämpökuormanenergian ja lämpöhäviöenergian suhdeluku
Δ	ero, pituus
η_a	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
$\eta_{\text{lämpö}}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

Alaindeksit

AP	alapohja
aur	aurinko
$brut$	brutto
$henk$	henkilö
i	ilma
ikk	ikkuna

<i>iv</i>	ilmanvaihto
<i>joht</i>	johtuminen
<i>k</i>	kehä
<i>L</i>	lauhdutin
<i>l</i>	läpäisy
<i>lkv</i>	lämmin käyttövesi
<i>rak</i>	rakennus
<i>s</i>	sisä
<i>u</i>	ulko
<i>US</i>	ulkoseinä
<i>v</i>	vesi
<i>var</i>	varjostus
<i>ver</i>	verho
<i>vi</i>	vuotoilma
<i>YP</i>	yläpohja

1 JOHDANTO

Uusien omakotitalojen lämmitysjärjestelmän valinta on monimutkainen ja tärkeä prosessi, johon liittyy suuria investointeja ja mieltymyksiä. Vuosittain kallistuvan energian hinta ajaa rakentajia miettimään taloudellisesti parasta mahdollista järjestelmää. Lämmitysenergian kulutuksen määrittäminen rakenteilla olevaan taloon on haastavaa, johon täytyy tehdä paljon oletuksia muun muassa asumistottumuksista, rakennuksen tiiveydestä sekä laitteistojen toimivuudesta.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, miten pelkillä lähtöarvoilla lasketaan rakennuksen energiankulutus, ja pyrkiä vertailemaan eri lämmönkehityslaitteiden kannattavuutta.

Tavoitteena on saavuttaa realistinen lämmitysenergian kulutuslukema ja vertailla lämmönkehityslaitteita ottamalla huomioon pienetkin muuttujat. Työn laajuudesta johtuen päälämmönkehityslaitteista vertaillaan ainoastaan suoraa sähkölämmitystä, ilmajäähdytyspumppua sekä maalämpöä, jotka soveltuvat vesikiertoiseen lämmönjakoon. Tämän lisäksi kuvaillaan varalämmönkehityslaitteita, joiden osuus rakennusten lämmityksessä kasvaa vuosittain. Lopun vertailussa tärkeimpinä vertailukriteereinä käytetään kannattavuutta, käytettävyyttä sekä mieltymyksiä.

Rakenteeltaan työ alkaa teoriaosuudella, jossa kerrotaan lämmitysjärjestelmän osista ja energiankulutuksen laskennan teoriasta. Lämmönkehityslaitteista kerrotaan tiiviisti niiden toimintaperiaatteet sekä hyvät ja huonot puolet. Lopuksi on laskentaosio, jossa määritetään rakenteilla olevan talon energiankulutus sekä vertaillaan päälämmönkehityslaitteiden kannattavuutta kustannuslaskennan avulla. Työn pääpaino on energiankulutuksen määrittämisessä ja päälämmönkehityslaitteiden vertailussa.

2 OMAKOTITALON LÄMMITYS

Lämmitysjärjestelmän valinta on aina yksilöllinen jokaiselle kohteelle, ja sen valintaan vaikuttavat monet eri tekijät. Tärkeimmät valintaan vaikuttavat tekijät ovat rakennuksen ja perheen koko, lämmitysenergian tarve, asukkaan asumistottumiset sekä mieltymykset. Yhtä ja ainoaa oikeaa lämmitysmuotoa ei ole, koska jokaisella lämmitysjärjestelmällä on hyvät ja huonot puolensa. (Motiva 2009, 4.)

Rakennuksen koko on yleensä suurin yksittäinen tekijä valintaan, koska suurempi talo kuluttaa luonnollisesti enemmän energiaa. Tällöin olisi järkevää valita käyttökustannuksiltaan edullinen järjestelmä. Pienikokoisessa ja hyvin eristetyssä talossa energian hinnalla ei ole niin suurta merkitystä. Lisäksi pitää huomioida lämmitysjärjestelmän vaatima tila, joka saattaa olla useampia neliömetrejä. (Motiva 2009, 5.)

Pientalon lämmitysjärjestelmä voidaan jakaa lämmönkehityslaitteisiin, lämmön varastointiin, lämmönjakojärjestelmään sekä säätö- ja ohjauslaitteisiin (Motiva 2009, 8). Tämän työn pääaiheena ovat lämmönkehityslaitteet, joista on kerrottu tarkemmin kappaleissa 3 Päälämmitysjärjestelmät sekä 4 Varalämmitysjärjestelmät. Koneellinen ilmanvaihto on myös tärkeä osa tämän päivän uudisrakennuksia.

2.1 Lämmön varastointi

Lämmön varastointi lisää käyttömukavuutta ja taloudellisuutta. Useimmiten lämpöä varastoidaan joko vesivaraajaan, talon rakenteisiin, tulisijan seinämiin tai muuhun varaajatyyppiin. Varaajan käyttö on tehokkainta silloin, kun tarvitaan hetkellisesti suuria lämmitystehoja, esimerkiksi suihkun aikana. Nykyaikaisissa taloissa yhden suihkukerran lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluu kolme kertaa enemmän lämmitystehoa kuin koko talon lämmittämiseen huippupakkasilla. (Motiva 2009, 8.)

Lämmön varaaminen veteen on helppo, käytännöllinen ja monipuolinen ratkaisu, koska siihen voidaan tarvittaessa liittää useampi energialähde. Lisäksi varaaja varastoi ja tasaa

energiälähteen energian, mahdollistaa halvan energian tuoton sekä lämmityslaitetta voidaan kuormittaa tasaisella teholla, jolloin saadaan paras hyötysuhde. Oikein mitoitettuna varaaja ei sido käyttäjän aikaa. (Akvaterm 2013, 4.)

Varaajan toiminta perustuu veden lämpötilakerrostumaan, jonka avulla saadaan mahdollisimman korkea lämpöteho käyttöön. Lämmityspiiriin menevä vesi otetaan varaajan yläosasta ja paluuvesi johdetaan alaosaan. Yhdistelmävaraajat koostuvat kahdesta lohkoista, jossa toisessa lämmitetään käyttövesi ja toisessa huonetiloihin johdettava lämmitysvesi. Hyötynä on suurempi hyötysuhde, koska lämpötilat vesipiireillä ovat erilaiset. Lattilämmityksen menoveden lämpötila on noin 35 °C, lämpimän käyttöveden noin 55–60 °C ja patteriverkoston 60–70 °C. (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2003.)

2.2 Lämmönjako

Lämmönjakojärjestelmän tarkoituksena on siirtää tuotettu lämpö lämmitettävään kohteeseen, esimerkiksi huonetilaan. Lämmönjaon eri tyyppejä ovat vesikiertoinen patteri- tai lattialämmitys sekä ilmakiertoon tai ilmanvaihtoon perustuvat järjestelmät. Huonekohtaiset sähkölämmityslaitteet, kuten sähköpatterit tai lämmityskaapelit, lasketaan myös lämmönjakolaitteiksi. (Motiva 2009, 9.)

Lämmönjaolla on suuri merkitys asumisen viihtyvyyteen sekä lämmityksen vaivattomuuteen. Lämmönjaon valinta myös pitkälti ratkaisee lämmitysjärjestelmän valintaa. Esimerkiksi vesikiertoiseen lämmönjakoon oikea valinta saattaisi olla ilmavesi- tai maalämpöpumppu tai ilmakiertoiseen jakoon poistoilmalämpöpumppu. (Motiva 2009, 9.)

Nykyaikaisissa rakennuksissa suositaan lattia- tai ilmanvaihtolämmityksen kaltaisia matalalämpötilaisia lämmönjakojärjestelmiä. Niiden etuina ovat viihtyvyys ja hyvät edellytykset käyttää uusiutuvaa energiaa, kuten maalämpöä tai aurinkolämpöä. (Motiva 2009, 9.)

2.3 Säätö- ja ohjauslaitteet

Suomen olosuhteissa talon lämmitystarve vaihtelee jatkuvasti ulkolämpötilan mukaan varsinkin talvella. Tämän lisäksi erilaiset lämpökuormat, kuten auringonsäteily, sähkölaitteet, ihmiset sekä tulisijat vähentävät lämmityksentarvetta. Erilaiset säätö- ja ohjauslaitteet ovat tärkeä osa lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden ja taloudellisuuden kannalta. (Motiva 2009, 9.)

Vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä verkostoon menevän veden lämpötilaa säädetään ulkoilman lämpötilan mukaan, eli kylmempinä hetkinä verkostoon menee lämpimintä vettä. Yksittäisissä huonetiloissa on termostaatteja, jotka mittaavat lämpötilaa. Tarvittaessa ne katkaisevat lämmityksen, jos sisäilman lämpötila nousee liian korkeaksi. (Motiva 2009, 9.)

Lattialämmityksessä säätö ja ohjaus tapahtuvat jakotukin kautta, jossa sijaitsevat säätöventtiilit. Venttiilien ja termostaattien avulla saadaan kuhunkin lämmityspiiriin oikean lämpöistä vettä varaajalta. (Leppiniemi 2012,19–21.)

2.4 Ilmanvaihtokone

Asuinrakennuksen ilmanvaihdon tavoitteena on ylläpitää hyvää ilmanlaatua rakennuksen huonetiloissa. Nykyaikaisissa rakennuksissa ilmanvaihtokone liittyy lämmitykseen pääasiassa lämmöntalteenoton ja jälkilämmityspatterin kautta.

Rakentamisessa ilmanvaihdon lämmöntalteenotto eli LTO on merkittävä keino vähentää energiankulutusta. Lämmöntalteenotto tärkeää, koska on arvioitu, että lähes puolet kaikesta energiasta käytetään rakennusten lämmitykseen ja jäähdytykseen ja siihen käytetystä energiasta noin puolet aiheutuu ilmanvaihdosta. Ilmanvaihdon LTO-laitteen toiminta perustuu siihen, että rakennuksesta lähtevä poistoilma luovuttaa osan lämmöstään ulkoilmasta tulevalle tuloilmalle. Ilmanvaihtosovelluksissa lämmönvaihtimet voidaan jakaa rekuperatiivisiin ja regeneratiivisiin lämmönvaihtimiin sekä märkään lämmönsiirtoon. Tyypillisiä lämmönvaihtimia ja niiden hyötysuhteita

ovat ristivirtalevylämmönsiirrin 50–70 %, regeneratiiviset lämmönsiirtimet 60–80 %, vastavirtalevylämmönsiirrin 60–80 % ja virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirinyhdistelmät 45–60 %. (Seppänen 2008, 285.)

Jälkilämmityspatterin tarkoitus on lämmittää ilmaa, jos se ei ole tarpeeksi lämmennyt LTO:lta tullessa. Hyvällä hyötysuhteella varustettu LTO tarvitsee asuinrakennuksessa jälkilämmityspatteria yleensä vain talven kovimmilla pakkasilla. (Seppänen 2008, 218.)

3 PÄÄLÄMMÖNKEHITYSLAITTEET

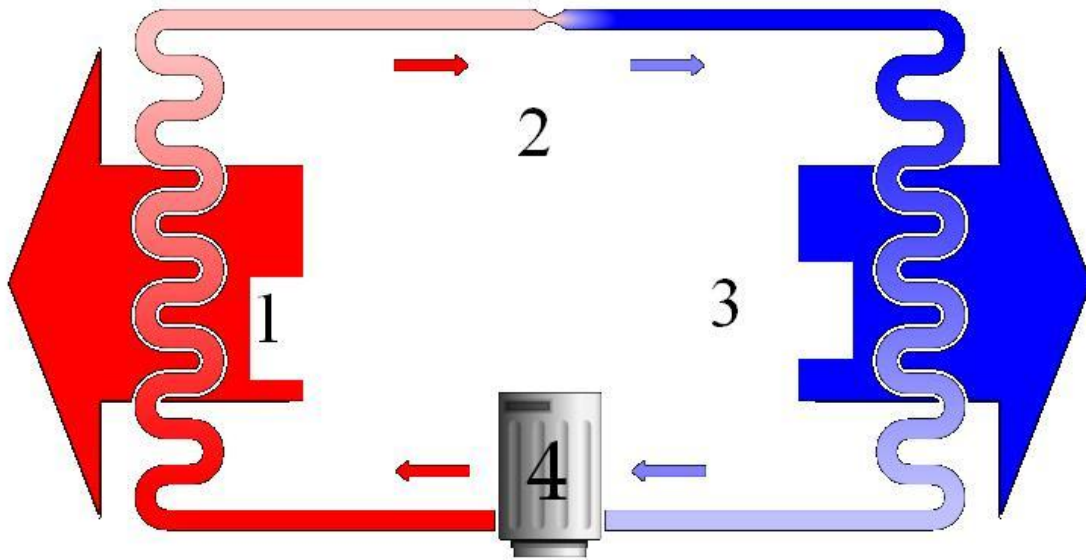
Päälämmönkehityslaitteissa kerrotaan tämän hetken käytetyimmistä vesikiertoiseen lämmönjakoon soveltuvista sähköpohjaisista lämmitysmuodoista, jotka ovat suora sähkölämmitys, ilmavesilämpöpumppu sekä maalämpö. Suorassa sähkölämmityksessä on keskitytty vain varaajan lämmittämiseen sähkövastuksella, eli erilaisia sähkökattiloita ei käsitellä ollenkaan.

3.1 Suora sähkölämmitys

Suora sähkölämmitys varaajassa toteutetaan sähkövastuksilla. Hyvänä puolena voidaan mainita halvempi hankintahinta verrattuna muihin lämmitysmuotoihin, mutta haittapuolena on sähköenergian kallis hinta. Suora sähkölämmitys tulee kannattavaksi, kun rakennuksen lämmitysenergian tarve on normaalia pienempi ja rinnalla on muita varajärjestelmiä. (Motiva 2009, 22.)

3.2 Lämpöpumput

Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen: höyrystyessään se sitoo ympäristöstään lämpöä ja tiivistyessään vapauttaa sitä. Kylmäaine höyrystyy paisuntaventtiilin jälkeen höyrystimessä, jolloin se lämpenee. Höyrystynyt ja lämmennyt kylmäaine imetään sen jälkeen alipaineella kompressoriin. Kompressorissa kaasun paine puristuksen myötä kasvaa, jolloin se tiivistyy ja vapauttaa lämpöä. Lämpö luovutetaan ympäristöön lauhtuttimessa, jonka jälkeen kylmäaine jäähtyy ja tiivistyy nesteeksi. Lauhtuttimen jälkeen kierto alkaa uudelleen paisuntaventtiilistä. Kuvassa 1 on esitetty kylmäaineen kierto prosessissa. (Larjola 2011, 1.)



Kuva 1. Lämpöpumpun toiminta. 1. Lauhdutin 2. Paisuntaventtiili 3. Höyrystin 4. Kompressor.
(Karonen 2005)

Lämpöpumppujen kannattavuus perustuu siihen, että ne tuottavat enemmän lämpöenergiaa kuin kuluttavat sähköenergiaa. Tällöin puhutaan lämpökertoimesta, josta käytetään usein lyhennettä COP (coefficient of performance). Esimerkiksi kun kompressorin käyttää yhden kilowattituntin sähköenergiaa ja lämpöpumppu tuottaa kolme kilowattituntia lämpöä, saadaan lämpökertoimeksi kolme eli COP 3. Tehokerroin voidaan laskea yhtälöstä. (Larjola 2011, 8.)

$$\varepsilon = \frac{\Phi_L}{P_e} = \frac{q_m \Delta h_L}{q_m \Delta h_e} \quad (1)$$

Missä

Φ_L Lauhduttimen lämpöteho

P_e Kompressorin sähköteho

q_m Massavirta

Δh_L Lauhduttimen entalpiaero

Δh_e Kompressorin entalpiaero

3.2.1 Mitoitus

Lämpöpumput voidaan mitoittaa osa- tai täystehoisiksi. Täystehoinen lämpöpumppu tuottaa lämmitys- ja käyttöveden kompressorinsa avulla laskennallisesti ilman sähkövastuksia ympäri vuoden. Etuina ovat pienempi sulakekoko ja energiankulutukseltaan taloudellisin mitoitus tapa. Osatehomitoituksessa maalämpöpumppu mitoitetaan noin 60–80 %:n suuruudelle verrattuna laskennallisesta huipputehontarpeesta, jolla tuotetaan noin 95–99 % vuotuisesta energiantarpeesta. Loput 1–5 % voidaan tuottaa sähkövastuksilla tai varalämmitysjärjestelmällä. Osatehomitoituksen etuina ovat nopeampi investoinnin takaisinmaksuaika ja kompressorin pidempi käyttöikä, haittapuolena suuremmat lämmityskustannukset. (Maalämpöpumpun tehomitoitus 2013.)

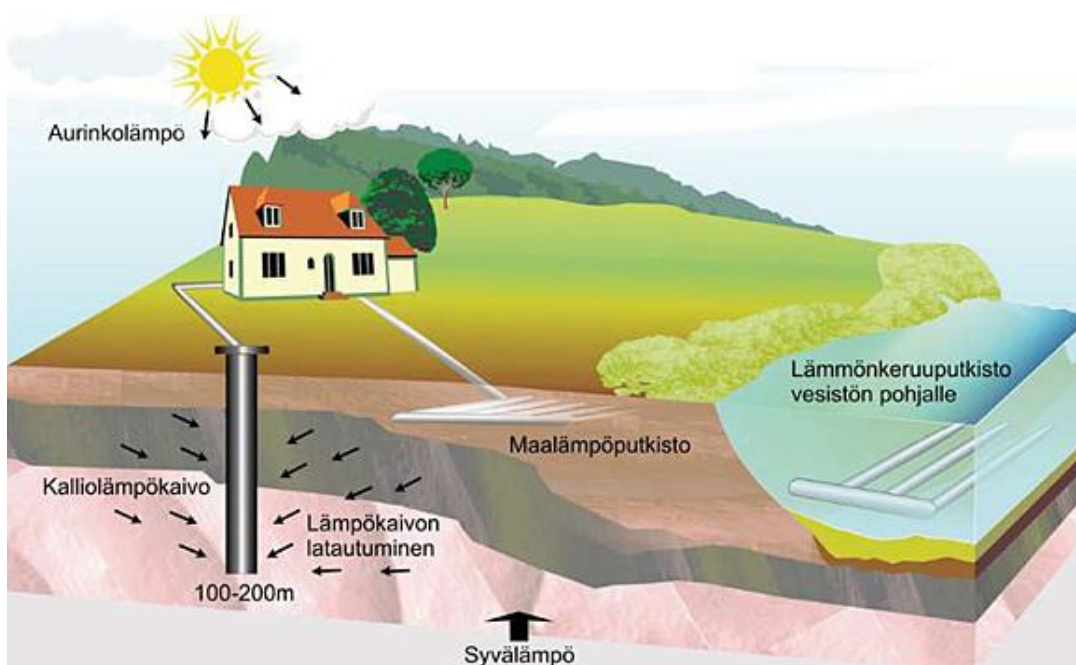
3.2.2 Maalämpö

Maalämpö hyödyntää maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta auringon lämpöä, minkä takia se lasketaan Suomessa uusiutuvaksi energiaksi. Sitä pidetään asukkaan kannalta helppokäyttöisenä, sillä se vaatii vain huolto- ja tarkastustoimia. Investoinneiltaan maalämpöpumppu on kallis, mutta sen käyttökustannukset ovat edulliset. (Motiva 2009, 17). Tämän takia maalämpöpumppu on oivallinen valinta rakennuksiin, joissa energiantarve on normaalia suurempi. Vuonna 2011 maalämpö valittiin lähes 50 %:iin uusista pientaloista. (Maalämpö 2013.)

Maalämmön keräämiseen käytetään kahta tapaa. Yleisin on pystysuora lämpökaivo, johon asennetaan lämmönkeruuputkisto. Vaatimuksena on peruskallion sijainti lähellä maanpintaa. Kaivo on yleensä noin 150–200 metriä syvä, ja isoimmissa kohteissa niitä voidaan porata useampia riittävän etäälle toisistaan. Toinen tapa on pintakerrokseen

asennettava vaakatasossa oleva putkisto, joka kerää lämpöä laajalta alueelta. Tähän ratkaisuun vaaditaan riittävän iso tontti, ja maaperän olisi suotavaa olla kosteaa savimaata. Vaakaputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen, jossa putkien välit ovat vähintään 1,5 metriä toisistaan. Vaakakeruupiiri voidaan myös asentaa vesistöön, mutta se on vähän käytetty vaihtoehto Suomessa. Kuvassa 2 on esitettyä maalämpöpumpun keruunesteen eri keräystavat. Markkinaosuuksista yli 60 % on lämpökaivoja, noin 30 % vaakaputkistoja ja noin 5 % vesistöihin asennettuja vaakaputkistoja. Keruupiirien sisällä kiertävän nesteen tarkoitus on sitoa itseensä lämpöä ja siirtää sitä eteenpäin. (Motiva 2009, 17.)

Maalämpöpumpulle luvataan esitteissä hyviä hyötysuhteita, jopa yli 5 (Nibe F1145 2013, 2). Tällöin on otettava huomioon keruueden lämpötila, joka yleisesti ilmoitetaan nolla-asteisena. Yleisesti ottaen maalämmön ympärivuotisen COP-kertoimen voidaan käyttää arvoa 3–4. (Motiva 2009, 17.)



Kuva 2. Maalämpöpumpun kiertonesteen eri keruutavat (GTK 2009).

3.2.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta ja siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Suoraan ulkoilmasta otettu lämpö heikentää pumpun hyötysuhdetta varsinkin talven kovimmilla pakkasilla, ja sillä ei voida kattaa rakennuksen koko lämmitystarvetta. Yleensä varajärjestelmänä toimivat lämpöpumpun omat sähkövastukset tai erikseen asennettava järjestelmä. (Motiva 2009, 18.)

Verrattuna maalämpöön ilma-vesilämpöpumpulla on edullisempi hankintahinta sekä se voidaan asentaa sellaisiin kohteisiin, joihin maalämpöpumppu ei sovellu maaperän laadun takia. Myös saneerauskohteisiin ilmavesilämpöpumppu on helppo asentaa jo olemassa olevan lämmitysjärjestelmän tilalle tai tueksi. (Motiva 2009, 18.)

Maalämpöön verrattuna huonona puolena on pienempi COP-kerroin, jonka ympärivuotinen arvo on noin 2–3. Kovilla pakkasilla höyrystinpatteri tarvitsee sulatusta, joka vielä heikentää lämpökerrointa. Lisäksi ulkona olevan höyrystinyksikön puhallinääni on meluisa. (Motiva 2009, 18.)

4 VARALÄMMÖNKEHITYSLAITTEET

Varajärjestelmillä pystytään vähentämään lämmityskauden hintapiikkejä ja tekemään lämmityksestä omavaraisempi. Esimerkiksi sähkökatkon sattuessa varaava tulisija tuottaa tarvittavan lämmön. Erilaisista varalämmitysjärjestelmistä esitellään erilaiset tulisijat sekä ekologiset aktiiviset aurinkojärjestelmät.

4.1 Tulisija

Nykyaikaisissa omakotitaloissa tulisijat ovat merkittävä keino vähentää ostoenergian tarvetta. Varsinkin talvikaudella voidaan leikata sähköntarpeen huippuja kovien pakkasten aikana sähkölämmitteisissä taloissa. Ne ovat myös hyvä varakeino lämmittää talo sähkökatkon aikana. Huonona puolena voidaan mainita tilan tarve sekä itse tulisijalle että polttopuille. (Motiva 2009, 30.)

Tulisijoja on kolmea päätyyppiä: varaavia takkoja, kevyitä kamiinoja sekä uudenaikaisia vesikiertoisia takkoja. Varaavissa takkoissa tulisijoissa tuotettu lämpö varastoidaan massiivisiin rakenteisiin, esimerkiksi tiilimuuraukseen. Muurauksesta lämpö vapautuu huonetiloihin pitkään ja tasaisesti. Kevyet tulisijat luovuttavat lämpönsä nopeasti ja suurella teholla. Näillä keinoilla on vaarana, että huonetilat ylikuumentuvat. Nykyaikaiset pellettitakat ovat varaavia takkoja, joita pystyy termostaatin avulla säätämään. (Motiva 2009, 30.)

Vesikiertoinen takka on erittäin energiatehokas ratkaisu, joka sopii mainiosti matalaenergiataloihin. Takan sisällä kiertävät vesiputket, jotka takan ollessa päällä lämpiävät ja siirtävät lämpöä varaajaan. Hybridivaraajalla voidaan takan avulla lämmittää sekä lämmin käyttövesi että huonetilojen vesikiertoinen lämmitysvesi. (W10-vesilämmitysjärjestelmä 2013.)

Nyky aikaisten varaavien takkojen kokonaishyötysuhde voi olla jopa 80–85 prosenttia. Vesikiertoisissa järjestelmissä hyötysuhde vaihtelee lämmönsiirtimien mukaan: parhaimmillaan saadaan noin puolet hyödyksi saatavasta lämpöenergiasta siirrettyä

veteen. (W10-vesilämmitysjärjestelmä 2013.) Takan hyväksi lämmittämiseksi riittää parin pesällisen tehokas ja tasainen polttaminen. Kotimaisissa puulajeissa ei ole suurta eroa toisiinsa nähden, kun verrataan lämpöarvoa painoyksikköä kohden. Lämpöarvot ovat kosteudesta riippuen noin 4 kWh/kg. (Polttopuun ominaisuudet 2013.)

4.2 Aurinko

Aktiivisilla aurinkojärjestelmillä voidaan tuottaa energiaa kahdella tapaa, aurinkopaneeleilla sähköenergiaa ja aurinkokeräimillä lämpöenergiaa. Suomessa auringosta saadaan energiaa riittävästi rakennusten lämmityksen kannalta. Huonona puolena on, että aurinkoenergiaa on vähiten saatavilla silloin, kun rakennusten lämmityksentarve on suurimmillaan. Vastaavasti keskikesällä auringosta saatavaa lämpöenergiaa on jopa liikaa tarjolla. (Motiva 2009, 29.)

Aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa valosähköisen ilmiön avulla, ja ne ovat usein valmistettu monikiteisestä piistä tai ohutkalvosta. Parhaimpien aurinkopaneelien hyötysuhteet ovat hieman yli 20 prosenttia. Tavallisesti paneelien suorituskyky laskee vuodessa noin 0,5 prosenttia, ja useat valmistajat antavatkin kymmenen vuoden toimintatakuun, jonka aikana suorituskyky pysyy 90 % sisällä alkuperäisestä (Suorituskyky ja elinikä 2013). Aurinkopaneelit ovat järkevä valinta kesämökkiin, jonne ei muuten tule sähköyhteyksiä. Lisäksi energiayhtiöt ovat alkaneet tarjota aurinkopaneelipaketteja, joissa tuotettu sähkö voidaan myydä.

Aurinkokeräin muuntaa auringon säteilyenergian väliaineen avulla lämmöksi. Keräimen pinnalla on absorbaattoripinta, joka lämpiää säteilyn vaikutuksesta. Lämpö siirretään varaajaan, josta se voidaan hyödyntää sekä käyttöveden että tilojen lämmittämiseen. Järjestelmä kannattaa mitoittaa siten, että sillä tuotetaan noin puolet vuotuisesta lämpimän käyttöveden energian tarpeesta. Jos järjestelmällä tuotetaan myös lämmitysenergiaa vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään, voidaan omakotitalon vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta tuottaa jopa 25–30 prosenttia. (Motiva 2009, 29.)

Asennuksiltaan sekä keräimet että paneelit asennetaan katolle ja suunnataan mahdollisimman etelään. Kattokaltevuudeksi valitaan 30–60 astetta, kun halutaan hyödyntää aurinkoa ympäri vuoden. Aurinkolämpöjärjestelmät ovat suhteellisen huoltovapaita, mikä tekee niistä erittäin helpon ja varteenotettavan varalämmitysjärjestelmän. (Motiva 2009, 29.)

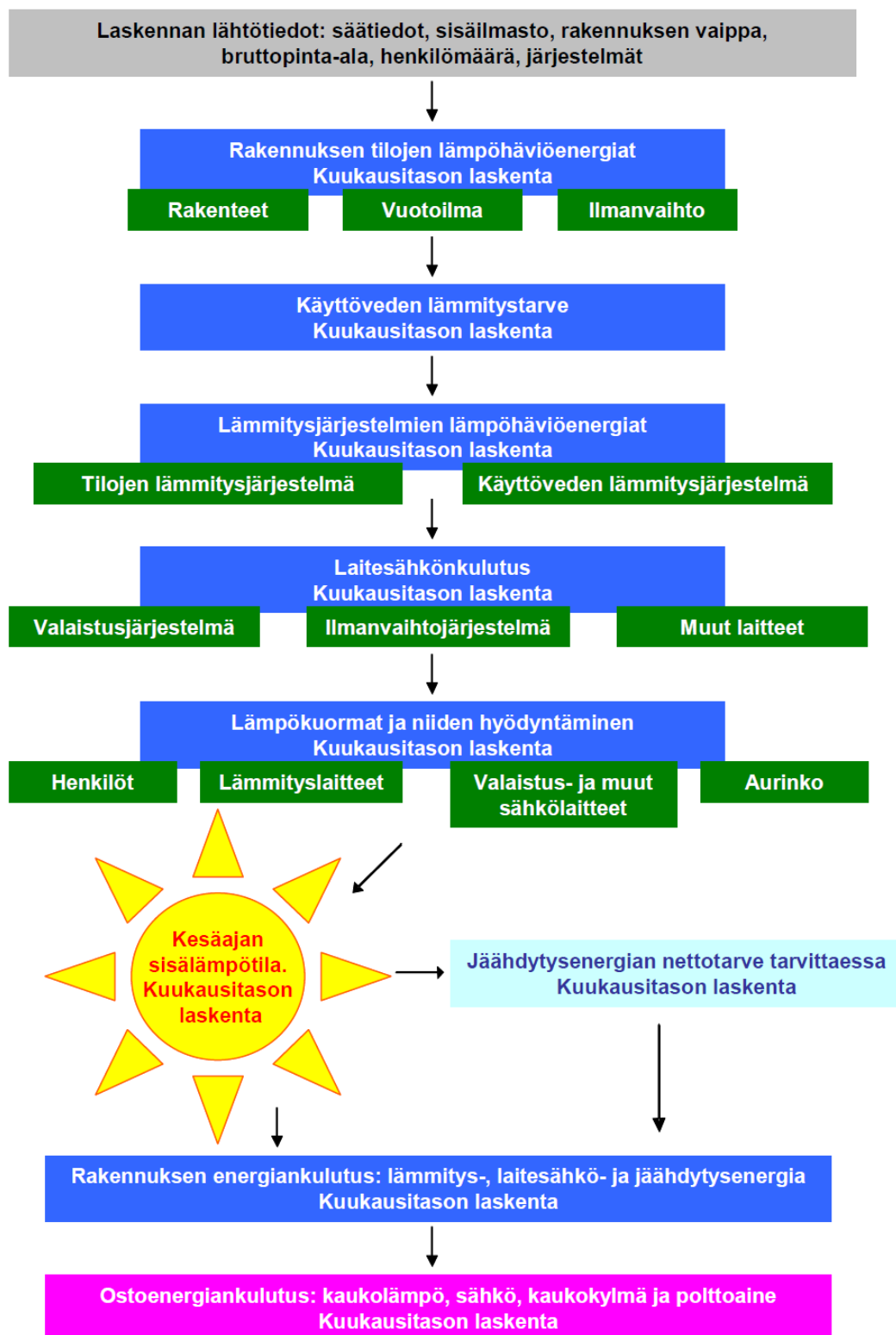
5 ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA

Uudisrakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarve lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen D5 mukaan. Ympäristöministeriö on koonnut rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet Suomen rakentamiskokoelmaan. Kokoelmissa olevat säännökset ovat velvoittavia, mutta ohjeet sen sijaan eivät ole. Rakentamiskokoelman eri osat löytyvät esimerkiksi valtion ympäristöhallinnon verkkopalveluista.

D5 on ohje, jossa olevilla laskentamenetelmillä voidaan arvioida muun muassa rakennuksen energiankulutus, ostoenergiankulutus, lämmitysteho ja kesäaikainen sisälämpötila. Laskentaperiaate on energiatasemenetelmä, jossa energiankulutus lasketaan kuukausittain. Energiatasemenetelmässä saman kuukauden aikana rakennukseen sisään tuleva energiamäärä on sama kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 9.)

Rakennuksen energiantarve koostuu käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen lämmitystarpeesta, sähköenergiantarpeesta ja mahdollisesta jäähdytystarpeesta. Nämä energiantarpeet katetaan siirtämällä lämpöenergiaa, sähköenergiaa ja jäähdytysenergiaa sekä rakennukseen tulevalle auringon säteilyenergialla ja muilla lämpökuormilla. Energiankulutus koostuu siirretystä lämpö-, sähkö ja jäähdytysenergiasta sekä järjestelmien häviöistä. Ostoenergiankulutus lasketaan rakennuksen energiankulutuksesta kiinteistökohtaisen energiatuotannon vuosihyötysuhteen perusteella. Energiankulutus lasketaan maantieteellisen sijainnin mukaisilla säätiedoilla. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 10.)

Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet ovat esitettynä kuvassa 3.



Kuva 3. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 11)

Esimerkkikohteen energiankulutuksen yksityiskohtaiset laskennat yhtälöineen ovat esitettyinä liitteissä 1–4.

5.1 Lämmitystehon laskenta

Rakennuksen lämmitysteho koostuu huonelämmityksen, tuloilmapatterin ja lämpimän käyttöveden tehosta. Lämmitysteho lasketaan yleensä huonekohtaisesti, mutta sen voi laskea myös Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen D5 mukaan, kuten tässä työssä on tehty.

Rakennuksen lämmitysteho riippuu pääasiassa rakenteiden johtumishäviöistä, ilmavuodoista ja ilmanvaihdosta, ja se määritetään mitoittavan ulkolämpötilan mukaan. Sisäisten lämpökuormien vaikutus tehontarpeeseen on yleensä mitätön, ja niitä otetaan harvoin huomioon. Tarkemmat laskut lämmitystehon määrittämiseen on esitettyinä liitteessä 5. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 50.)

6 CASE: UUDISRAKENNUS HYVINKÄÄLLÄ

Esimerkkikohdetta on aloitettu rakentamaan keväällä 2012 Hyvinkäälle. Talo on suunniteltu neljälle henkilölle, ja sen huoneistoala on 173 m². Suunnittelussa on otettu huomioon rakentamismääräykset, ja talosta on pyritty saamaan energiatehokas. Energiatehokkuudesta kertoo rakennusosien lämmönläpäisykertoimet, eli U-arvot, jotka ovat näkyvissä taulukossa 1.

Taulukko 1. Eri rakennusosien pinta-alat, käytetyt materiaalit ja paksuudet sekä U-arvot.

Rakennusosa	Materiaali ja paksuus	Pinta-ala [m ²]	U-arvo [W/m ² K]
Ulkoseinät [US]	450 mm EPS harkko	233,00	0,09
Yläpohjat [YP]	500 mm puhallusvilla	106,00	0,08
Alapohjat [AP]	Maanvarainen laatta 70 mm, EPS 300 mm	106,00	0,09
Ovet [ov]		13,45	0,80
Ikkunat [ikk]	MSE-puualumiinikarmi	22,02	0,72

Rakennuksen ilmanvuotoluvun on arvioitu olevan 0,6 l/h, eli rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu 0,6 kertaa tunnin aikana 50 pascalin ali- tai ylipaineessa. Tämä on erittäin hyvä arvo, joka kertoo rakennuksen hyvästä ilmatiiveydestä. Samaa arvoa käytetään myös passiivitaloissa. Tarkan luvun määrittämiseen tarvitsisi tehdä erillinen tiiviysmittaus (Tiiviysmittaus 2013). Ilmanvaihdon poistoilmavirraksi on LVI-suunnittelija laskenut 0,083 m³/s. Ilmanvaihtokoneessa olevan lämmöntalteenoton hyötysuhteeksi on merkitty 70 prosenttia.

Taloon on suunniteltu lämmönjakotavaksi vesikiertoinen lattialämmitys. Lisäksi tunnelmanluojaksi ja lämmöntuottajaksi on valittu vesikiertoinen tulisija.

6.1 Energiankulutus

Rakennuksen energiankulutuksen laskenta aloitetaan rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergioiden laskemisella. Laskenta voidaan jakaa kolmeen osaan: rakenteet,

vuotoilma ja ilmanvaihto. Liitteessä 1 on esitetty yhtälöt ja esimerkit laskentaan, ja taulukossa 2 on esitetty tilan rakenteiden läpi siirtyvä lämpöenergia kuukausittain. Samassa taulukossa on myös ilmoitettu säävyöhykkeen 1 keskimääräiset ulkolämpötilat, jotka on saatu Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D5. Sisälämpötilana käytetään 21 °C:ta määräyksien mukaan. Rakenneosien lyhenteet ovat näkyvissä taulukossa 1.

Taulukko 2. Rakennuksen rakenteiden läpi johtuva energia.

	Lämpötilat			Rakenteiden lämpöhäviöt [kWh]				
	Ts [°C]	Tu [°C]	ΔT [°C]	YP	US	AP	ikk+ov	YHT
Tammikuu	21,0	-4,0	25,0	157,5	389,6	99,4	494,4	1147,9
Helmikuu	21,0	-4,5	25,5	145,3	359,3	96,2	456,1	1061,9
Maaliskuu	21,0	-2,6	23,6	148,8	367,9	113,6	466,9	1100,1
Huhtikuu	21,0	4,5	16,5	100,7	249,1	116,8	316,2	783,8
Toukokuu	21,0	10,8	10,2	64,6	159,8	120,7	202,8	548,8
Kesäkuu	21,0	14,2	6,8	41,3	102,2	109,9	129,7	386,2
Heinäkuu	21,0	17,3	3,7	23,3	57,7	99,4	73,3	260,7
Elokuu	21,0	16,1	5,0	31,2	77,2	92,3	98,0	307,7
Syyskuu	21,0	10,5	10,5	63,9	158,1	82,4	200,6	516,1
Lokakuu	21,0	6,2	14,8	93,4	230,9	78,1	293,1	708,4
Marraskuu	21,0	0,5	20,5	125,2	309,5	75,6	392,8	916,1
Joulukuu	21,0	-2,2	23,2	146,3	361,8	85,2	459,2	1063,5
			YHT	1141,7	2823,2	1169,3	3583,1	8801,2

Tuloksista huomataan, kuinka suuri vaikutus materiaalin U-arvolla on lämpöhäviöihin. Esimerkiksi ulkoseinällä pinta-alaa oviin ja ikkunoihin verrattuna yli kuusinkertaisesti, mutta sen lämpöhäviöt ovat silti pienemmät huomattavasti pienemmän U-arvon takia. Lisäksi on huomioitavaa, kuinka paljon lämpöhäviöitä pelkästään ikkunat ja ovet tuottavat kokonaislämpöhäviöön.

Taulukossa 3 on esitetty ilmanvaihdon ja vuotoilman lämmitykseen tarvitsema energia. Taulukon lyhenteistä IV tarkoittaa ilmanvaihtoa ja VUOTO vuotoilmaa. Muuten lämpötiloina käytetään samoja arvoja kuin edellisessä taulukossa.

Taulukko 3. Ilmanvaihdon ja vuotoilman lämmitykseen tarvitsema energia.

	Lämpötilat			Tarvitsema energia [kWh]		
	T _s [°C]	T _u [°C]	ΔT [°C]	IV	VUOTO	YHT
Tammikuu	21,00	-3,97	24,97	555,10	87,69	642,79
Helmikuu	21,00	-4,50	25,50	512,02	80,88	592,91
Maaliskuu	21,00	-2,58	23,58	524,20	82,81	607,01
Huhtikuu	21,00	4,50	16,50	354,97	56,07	411,05
Toukokuu	21,00	10,76	10,24	227,64	35,96	263,60
Kesäkuu	21,00	14,23	6,77	145,65	23,01	168,65
Heinäkuu	21,00	17,30	3,70	82,25	12,99	95,25
Elokuu	21,00	16,05	4,95	110,04	17,38	127,42
Syyskuu	21,00	10,53	10,47	225,25	35,58	260,83
Lokakuu	21,00	6,20	14,80	329,01	51,97	380,99
Marraskuu	21,00	0,50	20,50	441,03	69,67	510,70
Joulukuu	21,00	-2,19	23,19	515,53	81,44	596,97
			YHT	4022,71	635,45	4658,15

Tuloksista huomataan, että tehokas ilmanvaihto vaatii paljon lämmittämistä, mutta toisaalta ilmatiivistalo hyödyntää sen pienellä ilmavuotoluvulla. Lisäksi ilmanvaihdon tarvitsemaan energiaan sisältyy tuloilmakanavassa tai ilmanvaihtokoneessa olevan jälkilämmityspatterin energiankulutus. Rakennuksen tilojen lämpöhäviölaskennasta huomataan, että ulkolämpötilalla on suuri merkitys lämmitysenergiaan, eli luonnollisesti talven kylminä kuukausina energiaa kuluu enemmän.

Lämpimään käyttöveden tarvittava energia koostuu käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta energiasta sekä sen kiertoehviöistä. Laskelmat ovat näkyvissä liitteessä 2 ja tulokset ovat esitettyinä taulukossa 4. Taulukossa oleva V_{lkv} merkitsee kuukauden lämpimän käyttöveden kulutusta, joka määritellään asukkaiden lukumäärän mukaan. Q_{lkv} merkitsee itse käyttöveden lämmittämistä ja $Q_{lkv,häviöt}$ merkitsee kiertoehviöitä. Tuloksista huomataan, että molempien lämmitysenergiatarpeet ovat lähes yhtä suuret ja niiden arvo säilyy lähes vakiona ympäri vuoden. Ainoa muuttuva tekijä on lämpimän käyttöveden kulutus, joka vaihtelee kuukauden päivien lukumäärän mukaisesti.

Taulukko 4. Käyttöveden lämmityksen energiankulutus.

	V_{lkv} [m ³]	Q_{lkv} [kWh]	$Q_{lkv,häviöt}$ [kWh]	$Q_{lkv,tot}$ [kWh]
Tammikuu	6,20	361,67	331,23	692,90
Helmikuu	5,60	326,67	299,18	625,84
Maaliskuu	6,20	361,67	331,23	692,90
Huhtikuu	6,00	350,00	320,55	670,55
Toukokuu	6,20	361,67	331,23	692,90
Kesäkuu	6,00	350,00	320,55	670,55
Heinäkuu	6,20	361,67	331,23	692,90
Elokuu	6,20	361,67	331,23	692,90
Syyskuu	6,00	350,00	320,55	670,55
Lokakuu	6,20	361,67	331,23	692,90
Marraskuu	6,00	350,00	320,55	670,55
Joulukuu	6,20	361,67	331,23	692,90
YHT	73,00	4258,33	3900,00	8158,33

Rakennuksen tilojen lämmityksessä syntyy aina häviöitä. Suurimmat ja merkittävimmät lämpöhäviöt syntyvät lämmön kehityksessä, varastoinnissa, siirrossa ja luovuttamisessa. Tämän lisäksi lämmitysjärjestelmän säätölaitteet lisäävät lämpöhäviöitä. Kaikki lämpö ei kuitenkaan mene hukkaan, vaan osa lämpöhäviöistä voidaan käyttää hyödyksi. Tämä on otettu huomioon seuraavissa laskuissa. Taulukossa 5 on esitettyä rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat, ja selventävät laskut ovat esillä liitteessä 3.

Tuloksista voidaan lukea, että vesikiertoisen lattialämmityksellä on suuret luovutushäviöt. Tämä johtuu pääosin siitä, että lattialämmitykseen tarvitaan erittäin paljon putkistoa, jonka myötä verkoston luovutuspinta-ala kasvaa verrattuna patterilämmitykseen. Toisaalta taas jakeluhäviöt on pienemmät lattialämmityksessä kuin patterilämmityksessä, johtuen pääosin kiertoveden alemmasta lämpötilasta. Sähköisessä lämmönjakoverkostossa olisi luonnollisesti vähemmän häviöitä.

Taulukko 5. Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat.

	$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviö}}$ [kWh]					
	Kehitys	Jakelu	Luovutus	Säätö	Varaaja	YHT
Tammikuu	169,86	16,56	132,49	13,25	163,68	495,85
Helmikuu	153,42	14,96	119,67	11,97	147,84	447,86
Maaliskuu	169,86	11,04	88,33	8,83	163,68	441,75
Huhtikuu	164,38	10,68	85,48	8,55	158,40	427,50
Toukokuu	169,86	5,52	44,16	4,42	163,68	387,64
Kesäkuu	164,38	0,00	0,00	0,00	158,40	322,78
Heinäkuu	169,86	0,00	0,00	0,00	163,68	333,54
Elokuu	169,86	0,00	0,00	0,00	163,68	333,54
Syyskuu	164,38	5,34	42,74	4,27	158,40	375,14
Lokakuu	169,86	11,04	88,33	8,83	163,68	441,75
Marraskuu	164,38	16,03	128,22	12,82	158,40	479,85
Joulukuu	169,86	16,56	132,49	13,25	163,68	495,85
					YHT	4983,05

Lämpökuormilla tarkoitetaan henkilöiden luovuttamaa, lämmityslaitteista, valaistuksesta ja sähkölaitteista vapautuvaa lämpöenergiaa sekä ikkunoiden kautta rakennukseen tulevaa auringon säteilyenergiaa. Taulukossa 6 on esitettyä rakennuksen lämpökuormat. Esimerkkilaskut sekä tarvittavat yhtälöt ovat näkyvissä liitteessä 4.

Taulukko 6. Rakennuksen lämpökuormat yksikössä kWh.

	Q_{henk}	$Q_{\text{läm.tilat,häviö}}$	$Q_{\text{lämm,kuorma}}$	Q_{lkv}	$Q_{\text{sähkö}}$	Q_{aur}	$Q_{\text{lämpökuorma}}$
Tammikuu	124,99	495,85	347,09	274,12	706,63	14,48	1467,31
Helmikuu	112,90	447,86	313,50	247,59	638,25	62,60	1374,84
Maaliskuu	124,99	441,75	309,22	274,12	706,63	97,79	1512,75
Huhtikuu	120,96	427,50	299,25	265,27	683,84	118,85	1488,17
Toukokuu	124,99	387,64	271,35	274,12	706,63	180,41	1557,50
Kesäkuu	120,96	322,78	225,95	265,27	683,84	197,65	1493,67
Heinäkuu	124,99	333,54	233,48	274,12	706,63	138,12	1477,34
Elokuu	124,99	333,54	233,48	274,12	706,63	145,32	1484,53
Syyskuu	120,96	375,14	262,60	265,27	683,84	102,67	1435,34
Lokakuu	124,99	441,75	309,22	274,12	706,63	50,88	1465,84
Marraskuu	120,96	479,85	335,90	265,27	683,84	11,99	1417,96
Joulukuu	124,99	495,85	347,09	274,12	706,63	11,26	1464,09
YHT	1471,68	4983,05	3488,13	3227,50	8320,00	1132,02	17639,33

Henkilöiden luovuttama lämpömäärä riippuu henkilöiden määrästä sekä rakennuksen käyttöasteesta. Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta osa jää rakennuksen vaipan ulkopuolelle, jolloin sitä ei lasketa rakennuksen lämpökuormaksi. Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta lämpökuorman osuus on 50 % käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta ja 30 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergiasta. Sähkölaitteista syntyvä lämpökuorma on määritelty taulukkoarvoista, koska tarkempaa tuotekuvausta sähkölaitteista ei ole tiedossa. Auringon säteilyenergia sisältää sekä ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tulevan että välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä sisälle rakennukseen tulevan energian.

Kaikkea lämpökuormista saatavaa lämpöenergiaa ei pystytä hyödyntämään. Lämpökuormista hyödynnettävä energia riippuu lämpökuormien kuukausittaisesta hyödyntämisasteesta, joka on selitetty tarkemmin liitteessä 4. Taulukossa 7 on esitettyä kuukausittaiset hyödyntämisasteet ja hyödynnetty energia.

Taulukko 7. Lämpökuormista hyödynnettävä energia.

	Qlämpökuorma [kWh]	Qlämpöhäviö [kWh]	γ	H	τ	a	$\eta_{\text{lämpö}}$	Q _{sis.lämpö} [kWh]
Tammikuu	1467,31	1790,70	0,82	96,39	539,47	36,96	1,00	1467,14
Helmikuu	1374,84	1650,97	0,83	96,34	539,73	36,98	1,00	1374,57
Maaliskuu	1512,75	1707,14	0,89	97,31	534,38	36,63	1,00	1510,67
Huhtikuu	1488,17	1194,86	1,25	100,58	517,01	35,47	0,80	1194,76
Toukokuu	1557,50	812,39	1,92	106,63	487,65	33,51	0,52	812,39
Kesäkuu	1493,67	554,84	2,69	113,83	456,84	31,46	0,37	554,84
Heinäkuu	1477,34	355,95	4,15	129,30	402,15	27,81	0,24	355,95
Elokuu	1484,53	435,17	3,41	118,16	440,07	30,34	0,29	435,17
Syyskuu	1435,34	776,89	1,85	103,06	504,57	34,64	0,54	776,89
Lokakuu	1465,84	1089,40	1,35	98,94	525,59	36,04	0,74	1089,39
Marraskuu	1417,96	1426,76	0,99	96,66	537,94	36,86	0,98	1384,62
Joulukuu	1464,09	1660,44	0,88	96,24	540,32	37,02	1,00	1462,44
YHT:								12418,84

Taulukossa 7 oleva γ on lämpökuorma- ja lämpöhäviöenergian suhdeluku, H on rakennuksen ominaislämpöhäviö, τ on aikavakio, a on numeerinen parametri ja $\eta_{\text{lämpö}}$ on

lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste. Tarkemmat selitykset suureille löytyvät liitteestä 4 esimerkkeineen.

Rakennuksen tilojen nettoenergiantarve koostuu lämpöhäviöiden ja hyödynnettävien lämpökuormien erotuksesta. Taulukossa 8 on esitettyä kuukausittain lämmityksen nettoenergiantarve.

Taulukko 8. Rakennuksen tilojen lämmityksen nettoenergiantarve.

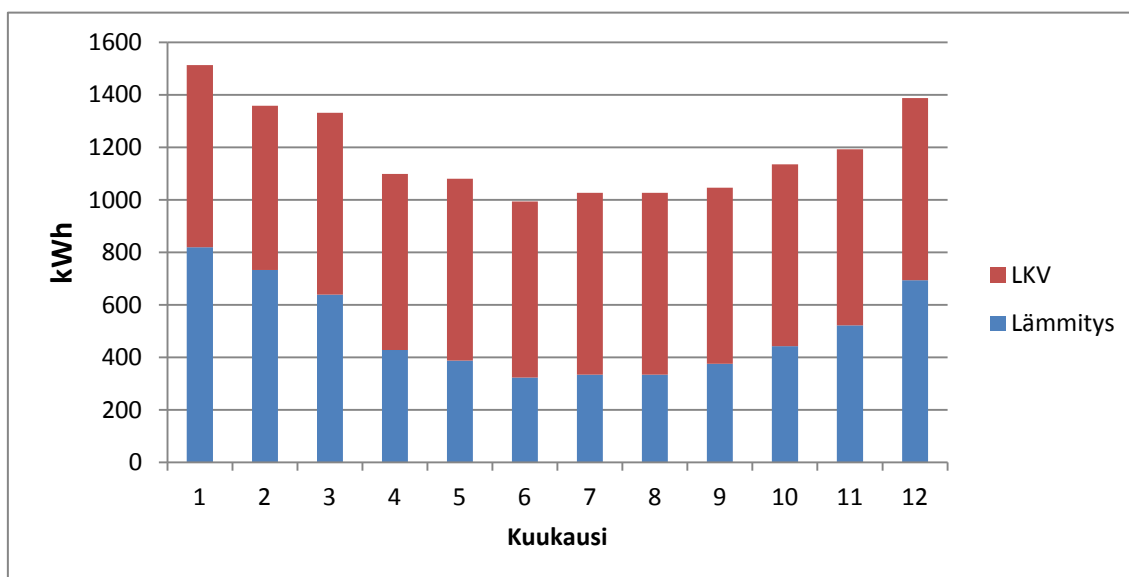
	Q_{lämpöh.} [kWh]	Q_{sis.lämpö} [kWh]	Q_{lämmitys,tilat,netto} [kWh]
Tammikuu	1790,70	1467,14	323,56
Helmikuu	1654,79	1374,57	284,04
Maaliskuu	1707,14	1510,67	196,47
Huhtikuu	1194,86	1194,76	0,10
Toukokuu	812,39	812,39	0,00
Kesäkuu	554,84	554,84	0,00
Heinäkuu	355,95	355,95	0,00
Elokuu	435,17	435,17	0,00
Syyskuu	776,89	776,89	0,00
Lokakuu	1089,40	1089,39	0,01
Marraskuu	1426,76	1384,62	42,14
Joulukuu	1660,44	1462,44	198,00
YHT:	13459,33	12418,84	1044,31

Kuten tuloksista huomataan, tilojen lämmityksen nettoenergiantarve on useina kuukausina nollassa johtuen hyvistä rakennusmateriaaleista, tehokkaasti toimivista ikkunoista ja ilmanvaihtokoneesta. Taulukossa 9 on näkyvissä lämmitysenergian kokonaiskulutus, joka koostuu tilojen lämmityksen nettoenergiantarpeesta, tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta sekä käyttöveden lämmityksestä.

Taulukko 9. Lämmitysenergian kulutus yhteensä.

	Qlämmitys,tilat,netto [kWh]	Qlämm.,tilat,häviöt [kWh]	Qlqv [kWh]	Qlämmitys [kWh]
Tammikuu	323,56	495,85	692,90	1512,31
Helmikuu	284,04	447,86	625,84	1357,74
Maaliskuu	196,47	441,75	692,90	1331,11
Huhtikuu	0,10	427,50	670,55	1098,14
Toukokuu	0,00	387,64	692,90	1080,54
Kesäkuu	0,00	322,78	670,55	993,33
Heinäkuu	0,00	333,54	692,90	1026,44
Elokuu	0,00	333,54	692,90	1026,44
Syyskuu	0,00	375,14	670,55	1045,69
Lokakuu	0,01	441,75	692,90	1134,65
Marraskuu	42,14	479,85	670,55	1192,54
Joulukuu	198,00	495,85	692,90	1386,75
YHT:	1044,31	4983,05	8158,33	14185,70

Koko vuoden lämmitysenergian kulutus laskelmien mukaan olisi noin 14 200 kWh. Kuvassa 4 on vielä eriteltynä tilojen lämmitykseen ja käyttöveden lämmitykseen kuluva energia.



Kuva 4. Lämpimän käyttöveden (LKV) ja tilojen lämmitykseen (Lämmitys) kuluva energia kuukausittain.

6.2 Lämmitysteho

Lämmitysteho lasketaan mitoittavan ulkolämpötilan mukaan. Mitoittavan ulkolämpötilan määrää rakennuksen sijainti. Hyvinkää sijaitsee lämpövyöhykkeellä, jolloin mitoittavana ulkolämpötilana käytetään -26 °C (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 50). Lämmitysteho määritetään, jotta pystytään valitsemaan oikeat tehoiset lämmönkehityslaitteet. Liitteessä 5 on esitettyä lämmitystehton laskenta esimerkkeineen. Kokonaislämmitystekoksi saatiin 8 218 W.

Lämmitystehoa vastaava sopiva varaajakoko on noin 750 litraa. Varaaja on tyypiltään yhdistelmävaraaja, jossa on käyttövedelle ja lämmitykselle omat lohkonsa. Varaajan koko määritetään asunnon ja lämmönlähteen tehon, käyttöveden kulutuksen ja lämmityspiiriin syötettävän veden lämpötilan mukaan. (Akvaterm 2013, 5.)

6.3 Tulisijan energiantuotto

Tulisijaksi on valittu puolalaisen Kratkin vesikiertoinen takka. Kratki on noin 15 vuotta vanha yritys, joka on erikoistunut erilaisten tulisijojen valmistukseen. Tuotteita ovat esimerkiksi varaavat ja vesikiertoiset tulisijat, uunit ja biotakat. Markkina-alueena heillä on lähes koko Eurooppa (Kratki 2013). Esimerkkikohteeseen valitun Zuzia 19 kW:n tulisijan tekniset tiedot ovat näkyvissä taulukossa 10.

Taulukko 10. Zuzia 19 kW tekniset tiedot. (Zuzia 19 kW 2013)

Teho	[kW]	19
Hormin halkaisija	[mm]	200
Terminen hyötysuhde	[%]	81
Pakokaasun lämpötila	[°C]	234
Paino	[kg]	161
Vesitilavuus	[l]	40,5
Lämmitysala	[m²]	150–190

Laskuissa oletetaan yhden täyden pesällisen tuottavan tasan 19 kW lämpöä ja paloajan olevan kaksi tuntia (Pätkittäin puulämmityksestä 2013). Lisäksi oletetaan, että takkaa käytetään vaihtelevasti viikossa 1,5 pesällisen verran. Tällöin takasta hyödynnettävä lämmitysenergia vuodessa on:

$$Q_{takka} = 19 \text{ kW} \cdot 2h \cdot 78 = 2964 \text{ kWh}$$

6.4 Sähkölämmityksen investointi- ja käyttökustannukset

Tässä työssä sähkölämmitys toteutetaan lämmittämällä varaajaa sähkövastuksella. Investointikustannukset syntyvät varaajan hinnasta ja sen asentamisesta. Kaikilla päälämmönkehityslaitteilla on olemassa jo yhtenäinen lämmönjakoverkosto, joten sen hintaa ei oteta huomioon investoinneissa. Varaajan ja asennuksen kokonaiskustannuksien arvioidaan olevan 3 000 euroa (Varaaja 2013).

Vuosittaiset kustannukset syntyvät kulutetun energian määrästä sekä huolto- ja kunnossapitokustannuksista. Sähkölämmityksen hyötysuhde on 1, jolloin vuosittainen ostoenergia on sama kuin rakennuksen lämmitysenergian tarve vähennettynä tulisijan energian tuotolla. Sähköenergian hintana käytetään ensimmäisenä vuotena 0,1259 senttiä/kWh (Fortum hinnastot 2013). Huoltokustannuksien arvioidaan olevan yksi prosentti investointikustannuksesta vuosittain. Vuosikustannukset lasketaan yhtälön mukaan.

$$S = \frac{Q_{lämmitys} - Q_{takka}}{\eta} \cdot h_e + h_h \quad (2)$$

Missä

S	Vuosikustannukset
$Q_{lämmitys}$	Vuoden lämmitysenergian kulutus
η	Lämmönkehityslaitteen hyötysuhde

h_e Sähkönhinta

h_h Vuosittaiset huoltokustannukset

Sähkölämmitykselle ensimmäisen vuoden kustannuksiksi tulisi yhtälön 2 mukaan.

$$S = \frac{(14186 \text{ kWh} - 2964 \text{ kWh})}{1} \cdot 0,1259 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 30 \text{ €} = 1442,85 \text{ €}$$

6.5 Ilmavesilämpöpumpun investointi- ja käyttökustannukset

Ilmavesilämpöpumpun investointikustannukset koostuvat varaajasta, lämpöpumpusta sekä asennuksesta. Lämpöpumppu mitoitetaan osatehomitoituksella, jolloin riittäisi kuuden kilowatin tehoinen yksikkö. Investointikustannuksien arvioidaan olevan 8 000 euroa (Ilmavesilämpöpumppu 2013).

Ilmavesilämpöpumpun vuosittaisena COP-kertoimena käytetään arvoa 2,3 Elvarin tutkimuksen mukaan (Motiva 2013a). Lisäksi tehomitoituksesta johtuen oletetaan, että 90 prosenttia tuotetusta lämmöstä tuotetaan ilmavesilämpöpumpulla ja loput tehdään varaajan sähkövastuksilla. Vuosittaisten huoltokustannuksien arvioidaan jälleen olevan yksi prosentti investoinnista. Hieman yhtälöä 2 muokaten ensimmäisen vuoden käyttökustannuksiksi tulisi.

$$S = \left(\frac{14186 \text{ kWh} - 2964 \text{ kWh}}{2,3} \cdot 0,90 + (14186 \text{ kWh} - 2964 \text{ kWh}) \cdot 0,1 \right) \cdot 0,1259 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 80 \text{ €} = 774,14 \text{ €}$$

6.6 Maalämpöpumpun investointi- ja käyttökustannukset

Maalämpöpumpun investointikustannukset koostuvat varaajasta, lämpöpumpusta, porakaivosta sekä asennuksesta. Osatehomitoituksella riittäisi ilmavesilämpöpumpun tapaan kuuden kilowatin yksikkö. Lämpöpumppu yksikön hinta on noin 6 000 euroa

(Maalämpöpumppu 2013). Porauksen metrihinnat vaihtelevat porattavan maaperän rakenteesta. Kallioporauksen metrihinta on noin 30–40 euroa ja irtomaan 50–75 euroa (Maalämmön hinta 2013). Hyvinkäältä löytyvien vertaiskohteiden perusteella porauksen hinnan arvioidaan olevan 8 000 euroa (Referenssikartta 2013). Kokonaisinvestoinnille käytetään arvoa 16 000 euroa.

Maalämpöpumpun vuosittaisena COP-kertoimena käytetään arvoa 3,5 (Motiva 2013b). Lisäksi tehomitoituksesta johtuen oletetaan, että 95 prosenttia tuotetusta lämmöstä tuotetaan maalämpöpumpulla ja loput tehdään varaajan sähkövastuksilla (Motiva 2013b). Vuosittaisten huoltokustannuksien arvioidaan jälleen olevan yksi prosentti investoinnista. Yhtälön 2 mukaan ensimmäisen vuoden käyttökustannuksiksi maalämmölle tulisi.

$$S = \left(\frac{14186 \text{ kWh} - 2964 \text{ kWh}}{3,5} \cdot 0,95 + (14186 \text{ kWh} - 2964 \text{ kWh}) \cdot 0,05 \right) \cdot 0,1259 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 160 \text{ €} = 614,13 \text{ €}$$

6.7 Lämmönkehityslaitteiden vertailu

Päälämmönkehityslaitteita vertaillaan toisiinsa nykyarvomenetelmällä, eli vuosittaiset kulut diskontataan nykyhetken valitulla korkokannalla. Laskentakorkokannaksi on määritelty 5 prosenttia suositusten mukaan (Motiva 2009, 13). Investoinnin vaikutusajaksi on määritelty 30 vuotta. Investoinnin nykyarvo lasketaan yhtälöllä:

$$NA = I + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \frac{S_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (3)$$

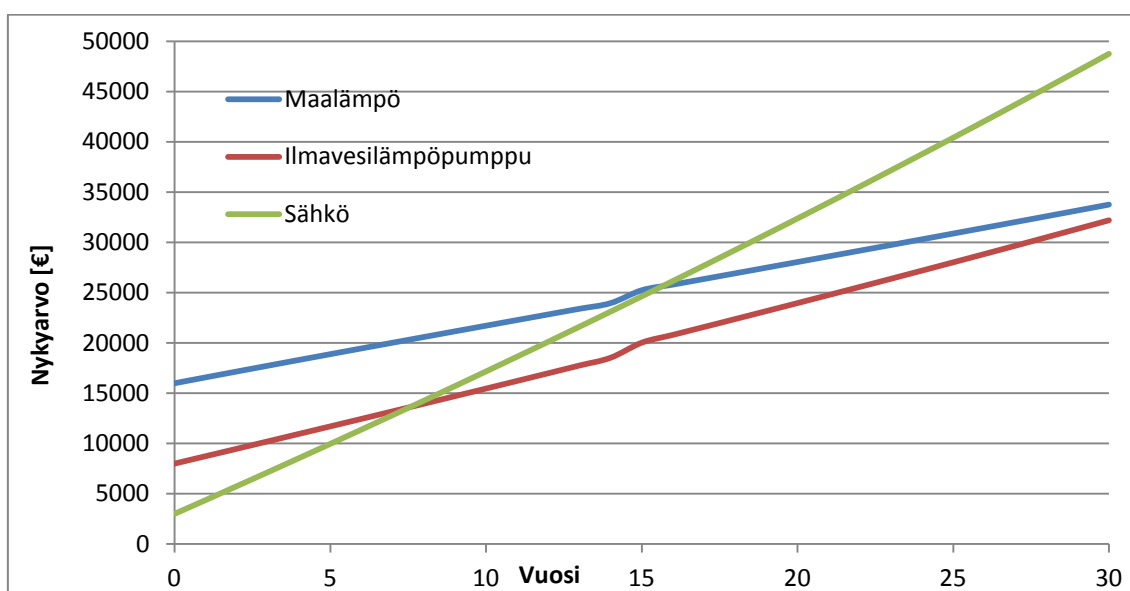
Missä

NA Nykyarvo

I Investoinnin hankintameno

S	Investoinnin juoksevasti syntyvät suoritukset vuodessa
i	Laskentakorko
n	Vaikutusaika

Sähkön hinta ei ole pysynyt vakiona vuosittain ja eikä todennäköisesti tule pysymäänkään. Sähkön hintaan on laskettu 5,82 prosentin vuosittainen korko, joka on laskettu sähkön keskimääräisistä vuosihinnoista vuosilta 2000–2013 (Tilastokeskus 2013). Lisäksi lämpöpumppujen kompressorien oletetaan rikkoutuvan kerran tarkastelujaksolla. Kompressorin vaihdon kustannuksiksi on määritelty 1 500 euroa ja se on asetettu vaihdettavaksi 15 vuoden jälkeen. Muuten oletetaan vuosittaisten huoltokulujen kattavan kaikki muut kulut, kuten lämpöpumpuille kylmäaineen vaihdon ja varaajalle sähkövastuksen vaihtamisen. Liitteessä 6 on esitettyä kustannuslaskelmat kaikille kolmelle lämmönkehityslaitteelle, ja kuvassa 5 ne on asetettu kuvaajan muotoon.



Kuva 5. Päälämmönkehityslaitteiden eliniän kustannukset

Kuten kuvaajasta näkyy, sähkölämmitys on kannattavaa ainoastaan ensimmäiset seitsemän vuotta. Siitä eteenpäin koko tarkastelujakson ajan ilmavesilämpöpumppu on kannattavin. Maalämpöpumppu tulee sähkövastuksia kannattavammaksi viidentoista vuoden jälkeen, mutta ei koskaan saavuta ilmavesilämpöpumppua. Kuvaaja myös hyvin esittää nykyarvon vaikutuksen, joka kompensoi vuosittaista sähkön hinnan korotusta. Maalämmöllä tarkastelujakson viimeiset vuodet ovat jopa nykyarvoltaan halvempia kuin ensimmäiset vuodet. Lisäksi voidaan todeta investoinnin suuruuden merkityksen vuosikustannuksiltaan pieniin laitteisiin. Maalämmön parempi COP-kerroin alkaa vaikuttaa vasta tarkastelujakson lopussa verrattuna investointikustannuksiltaan pienempään ilmavesilämpöpumppuun.

7 YHTEENVETO

Työn lähtökohtana oli kertoa eri lämmitysjärjestelmien rakenteesta ja määrittää uudisrakennuksen energiankulutus. Työ pohjautui rakenteilla olevaan omakotitaloon, jonka perusteella teoriaosuuden pohja suunniteltiin. Työn laajuudesta johtuen keskityttiin ainoastaan lämmönkehityslaitteisiin ja energiakulutuksen laskentaan. Muista lämmitysjärjestelmän osista kerrottiin vain tärkeimmät asiat. Päälämmönkehityslaitteissa keskityttiin ilmavesi- ja maalämpöpumppuun sekä varaajan lämmittämiseen sähkövastuksella. Varalämmönkehityslaitteissa keskityttiin tulisijoihin ja kerrottiin myös teoriaa aurinkolämmityksestä. Tavoitteena oli määrittää uudisrakennuksen energiankulutus ja lämmitysteho sekä löytää eliniän kustannuksiltaan kannattavin päälämmönkehitysjärjestelmä.

Rakennuksen vuosittaiseksi energiankulutukseksi laskettiin olevan hieman yli 14 000 kilowattituntia ja lämmitystekoksi hieman yli 8 kilowattia. Kyseiset arvot ovat nykyaikaiselle, hyvin eristetylle talolle uskottavia. Lisäksi rakenteilla olevan talon naapurissa sijaitsee hyvin samantyyppisillä lähtöarvoilla oleva talo, jonka vuosikulutus on samaa luokkaa. Päälämmönkehityslaitteissa investoinniltaan pieni sähkölämmitys jäi oletetusti heikoimmaksi vaihtoehdoksi, pääasiassa sähkön korkean hinnan takia. Maalämpöpumppu häviää hieman ilmavesilämpöpumpulle, johtuen suuresta investoinnista. Tulosten perusteella sähköperäiseksi päälämmönkehityslaitteeksi vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään suosittelisin ilmavesilämpöpumppua. Verrattuna sähkölämmitykseen sillä on parempi hyötysuhde ja maalämpöön verrattaessa pienempi kokonaisinvestointi.

Tuloksia ei kuitenkaan voi pitää täysin eksaktina johtuen monista epävarmuustekijöistä. Energiankulutusta laskiessa käytetään paljon oletuksia sekä teoreettisia arvoja. Monissa tapauksissa ei ole käytössä tarkkaa arvoa, jolloin käytetään oletuksia, tilastotietoja tai taulukkoarvoja. Esimerkiksi käyttöveden kulutukseen vaikuttaa suuresti asumistottumukset, sisälämpötilaan omat mieltymykset, lämpökuormien hyötykäyttöön verhot ja rakennuksen vuotoilmaan rakentamisen aikana huolellisesti tehdyt saumat. Sähkön hinnan vuosittainen korko laskettiin tämän vuosituhannen tilastojen perusteella. Kuitenkin kolmessakymmenessä vuodessa sähkön hinnan korotus

12 sentistä/kWh 65 senttiin/kWh tuntuu hieman epätodennäköiseltä. Lämmönkehityslaitteiden oletettiin kestävän toiminnassa koko tarkastelun ajan ja yksikin suuri laitteiston vioittuminen muuttaisi kannattavuutta huomattavasti. Lisäksi laitteiston investointihinnat ovat arvioita jälleenmyyjien tarjonnasta, jolloin todelliset hinnat saattaisivat poiketa huomattavasti ilmoitetuista. Myös laitteistojen asennuksesta saatavaa kotitalousvähennystä ei ole otettu huomioon, joka luultavasti hieman vähentäisi investointien suuruutta.

Vaikka laskelmat sijoittuvat tulevaisuuteen, voi niitä pitää suuntaa antavina, koska ne perustuvat jo rakennettuihin taloihin. Rakenteeltaan hyvin samantyyllisiä taloja löytyy useita, joihin tuloksia voi verrata. Investointi- ja kustannuslaskelmiin sisältyy aina paljon muuttuvia tekijöitä, varsinkin pitkällä tarkastelujaksolla. Huolimatta epävarmuustekijöistä, pidän laskelmia ja saatuja tuloksia todenmukaisina ja voisin suositella taloudellisesti kannattavaksi valita ilmavesi- tai maalämpöpumpun. Lopulta se on mieltymyskysymys, haluaako sijoittaa suuren pääoman rakennusvaiheessa ja hyötyä siitä vasta vuosien päästä.

Jatkotutkimuksena voisi seurata tulevina vuosina energiankulutusta ja verrata sitä laskelmiin, jolloin näkisi todenmukaisesti kuinka laskut onnistuivat. Lisäksi on mielenkiintoista seurata sähkön hinnan kehitystä sekä laitteistojen toimivuutta pitkällä ajalla. Takan käytön optimoiminen talven pakkasilla muuttaisi huomattavasti lämpöpumppujen hyötysuhdetta, joten se olisi mielenkiintoinen koe. Näiden lisäksi voisi laskea aurinkoenergian kannattavuuden kyseiseen rakennukseen.

LÄHDELUETTELO

Akvaterm. 2013. Varaajan valintaopas [Verkkolehti], [viitattu 14.9.2013]. Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/pdf/valintaopas.pdf>

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto.

Fortum hinnastot. [Fortum:n www-sivuilta]. [viitattu 21.9.2013]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/yritysasiakkaat/hinnastot/pages/default.aspx>

GTK. 2009. [Geofoorumin www-sivuilla]. [viitattu 20.7.2013]. Saatavissa: <http://www.geofoorumi.fi/retkella/lampoamaasta.html>

Ilmavesilämpöpumppu. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 22.9.2013]. Saatavissa: <http://www.taloon.com/ilmavesilampopumppu-nibe-split/LVI-5361538/dp?openGroup=4128>

Karonen, Ilmari. 2005. Diagram of a phase change heat pump.

Kratki. About the Company. [Kratkin www-sivuilta]. [viitattu 24.8.2013] Saatavissa: <http://www.kratki.eu/s/30/about-the-company>

Larjola, Jaakko. 2011. Luku 3:Kylmäkoneet, Energianmuuntoprosessit-kurssin luentokalvo.

Leppiniemi Jani. 2012. Lattialämmityksen suunnitteluohjeistus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulustusohjelma

Maalämmön hinta. [Geodrill:n www-sivuilta]. [viitattu 22.9.2013]. Saatavissa: <http://www.geodrill.fi/maalampo-hinta>

Maalämpö. [Geodrill:n www-sivuilla]. [viitattu 13.7.2013]. Saatavissa: <http://www.geodrill.fi/maalampo/>

Maalämpöpumppu. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 22.9.2013]. Saatavissa: <http://www.taloon.com/maalampopumppu-nibe-f1145-6-kw/LVI-5361528/dp?openGroup=7007>

Maalämpöpumpun tehomitoitus. [Motiva Oy:n www-sivuilla]. Päivitetty 6.5.2013.

[viitattu 13.7.2013]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu

Motiva. 2009. Pientalon lämmitysjärjestelmät [Verkkolehti], [viitattu 7.7.2013].

Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf

Motiva. 2013a. Ilma-vesilämpöpumppu. [viitattu 5.10.2013]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu

Motiva. 2013b. Maalämpöpumppu. [viitattu 5.10.2013]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu

Polttopuun ominaisuudet. [Metsäkeskuksen www-sivuilta]. [viitattu 23.7.2013]

Saatavissa: <http://www.halkoliiteri.com/?id=587>

Pätkittäin puulämmityksestä. [Motivan www-sivuilta]. [viitattu 5.10.2013]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/210/Patkittain_puulammityksesta.pdf

Referenssikartta. [Geodrill:n www-sivuilta]. [viitattu 22.9.2013]. Saatavissa:

<http://www.geodrill.fi/referenssikartta/>

Seppänen, Olli. 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, LVI-kustannus Oy.

Suorituskyky ja elinikä. [Aurinkopaneelit www-sivuilla]. [viitattu 26.7.2013]

Saatavissa: <http://www.aurinkopaneelit.net/>

Tiiviysmittaus. [Entec:n www-sivuilta]. [viitattu 8.8.2013]. Saatavissa:

<http://www.entec.fi/tiiviysmittaus.html>

Tilastokeskus. Sähkön hinta kuluttujatyypeittäin. [Tilastokeskuksen www-sivuilta]. [viitattu 20.9.2013]. Saatavissa:

http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/02/ehi_2013_02_2013-09-18_kuv_005_fi.html

W10-vesilämmitysjärjestelmä. [Tulikiven www-sivuilla]. [viitattu 23.7.2013].

Saatavissa: http://www.tulikivi.fi/tuotteet/TulikiviGreen_W10-Vesilammitysjarjestelma

Varaaja. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 22.9.2013]. Saatavissa:

<http://www.taloon.com/maalampovaraaja-akva-geo-750-lk45-12-2-m-lk35-9-4-m-3-bar/AK-GEO750-3B/dp?openGroup=6857>

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 2003. [WebDia www-sivuilta]. [viitattu 8.10.2013]. Saatavissa:

<http://www.rte.vtt.fi/webdia/sahkolampo/opastus/faq.asp?Viite1=SF63>

Zuzia 19 kW. [Kratkin www-sivuilta]. [viitattu 24.8.2013]. Saatavissa:

http://www.kratki.eu/main/page/nameplate_fireplace/33

LIITE 1. RAKENNUKSEN TILOJEN LÄMPÖHÄVIÖENERGIAT

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia lasketaan yhtälöllä.

$$Q_{joht} = \frac{\Sigma H_{joht} (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (4)$$

Missä

ΣH_{joht} rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö

T_s sisäilman lämpötila

T_u ulkoilman lämpötila

Δt ajanjakson pituus

Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö lasketaan rakennuskohtaisesti yhtälöllä.

$$\begin{aligned} \Sigma H_{joht} = & U_{ulkoseinä} A_{ulkoseinä} + U_{yläpohja} A_{yläpohja} \\ & + U_{alapohja} A_{alapohja} \\ & + U_{ikkuna} A_{ikkuna} + U_{ovi} A_{ovi} \end{aligned} \quad (5)$$

Missä

U rakennusosan lämmönläpäisykerroin

A rakennusosan pinta-ala

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia lasketaan yhtälöllä 6.

$$Q_{vi} = \frac{H_{vi} (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (6)$$

Missä

H_{vi} Vuotoilman ominaislämpöhäviö

Vuotoilman ominaislämpöhäviö lasketaan yhtälöllä.

$$H_{vi} = \rho_i c_{p,i} q_{v,vi} \quad (7)$$

Missä

ρ_i ilman tiheys

$c_{p,i}$ ilman ominaislämpökapasiteetti

$q_{v,vi}$ vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta lasketaan yhtälöllä.

$$q_{v,vi} = \frac{n_{50}}{25} \cdot \frac{V}{3600} \quad (8)$$

Missä

n_{50} rakennuksen vaipan ilmavuotoluku 50 Pa:n paine-erolla

V rakennuksen tilavuus

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan yhtälöllä.

$$Q_{iv} = \frac{H_{iv}(T_s - T_u)\Delta t}{1000} \quad (9)$$

Missä

H_{iv} Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan yhtälöllä.

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,p} (1 - \eta_a) \quad (10)$$

Missä

$q_{v,p}$ poistoilmavirta

η_a ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Esimerkkilaskuna lasketaan rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat tammikuulle. Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö lasketaan yhtälöllä 5.

$$\begin{aligned} \Sigma H_{joht} &= 0,09 \frac{W}{m^2K} \cdot 233 m^2 + 0,08 \frac{W}{m^2K} \cdot 106 m^2 + 0,09 \frac{W}{m^2K} \cdot 106 m^2 \\ &+ 0,72 \frac{W}{m^2K} \cdot 22,02 m^2 + 0,8 \frac{W}{m^2K} \cdot 13,45 m^2 = 65,61 W/K \end{aligned}$$

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia lasketaan yhtälöllä 4. Ajanjakson pituutena käytetään tammikuun tunteja eli 744 tuntia.

$$\begin{aligned} Q_{joht} &= \frac{\left(56,07 \frac{W}{K} \cdot (21 - (-3,97))K + 9,54 \frac{W}{K} \cdot (21 - (7 + 0))K \right) \cdot 744 h}{1000} \\ &= 1147,9 kWh \end{aligned}$$

Alapohjan läpi johtuvaa lämpöenergiaa laskiessa pitää ottaa huomioon alapohjan alla olevan maan vuotuinen keskilämpötila. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan se on 7 °C, jolloin tammikuun laskuissa sisälämpötilasta vähennetään 7 °C ja siihen on lisätty alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero 0 °C.

Vuotoilmavirta lasketaan yhtälöllä 8. Rakennuksen ilmatilavuudeksi on merkitty 590 m³.

$$q_{v,vi} = \frac{0,6 \text{ 1/h} \cdot 590 m^3}{25 \cdot 3600} = 0,00393 m^3/s$$

Vuotoilman ominaislämpöhäviö lasketaan yhtälöllä 7. Ilman tiheydelle käytetään arvoa $1,2 \text{ kg/m}^3$ ja ilman ominaislämpökapasiteetille 1000 J/kgK .

$$H_{vi} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,00393 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 4,72 \text{ W/K}$$

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia lasketaan yhtälöllä 6.

$$Q_{vi} = \frac{4,72 \frac{\text{W}}{\text{K}} \cdot (21 - (-3,97))\text{K} \cdot 744 \text{ h}}{1000} = 87,69 \text{ kWh}$$

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan yhtälöllä 10.

$$H_{iv} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,083 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (1 - 0,7) = 29,88 \text{ W/K}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan yhtälöllä 9.

$$Q_{iv} = \frac{29,88 \frac{\text{W}}{\text{K}} \cdot (21 - (-3,97))\text{K} \cdot 744 \text{ h}}{1000} = 555,10 \text{ kWh}$$

Tammikuun rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat yhteensä ovat $1790,69 \text{ kWh}$.

LIITE 2. KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYSTARVE

Käyttöveden lämmitykseen tarvitsema lämpöenergia sekä kiertopiirin lämpöhäviöt lasketaan yhtälöllä.

$$Q_{lkv,tot} = Q_{lkv} + Q_{lkv,häviöt} \quad (11)$$

Missä

Q_{lkv} käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia

$Q_{lkv,häviöt}$ lämpimän käyttöveden kiertohäviöt

Käyttöveden lämmitykseen tarvitsema lämpöenergia lasketaan yhtälöllä.

$$Q_{lkv} = \rho_v c_{p,v} V_{lkv} \Delta T \quad (12)$$

Missä

ρ_v veden tiheys

$c_{p,v}$ veden ominaislämpökapasiteetti

V_{lkv} lämpimän käyttöveden kulutus

ΔT lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilaero

Lämpimän käyttöveden kulutus määritellään yhtälöllä.

$$V_{lkv} = V_{lkv,h} \cdot n \cdot d \quad (13)$$

Missä

$V_{lkv,henk}$ Lämpimän veden ominaiskulutus henkilöä kohden

n henkilöiden lukumäärä

d ajanjaksossa olevien päivien määrä

Lämpimän käyttöveden kiertohäviöt lasketaan yhtälöllä.

$$Q_{lkv,häviöt} = Q_h A_{brut} \quad (14)$$

Missä

Q_h lämpimän käyttöveden kiertopiirin ominaislämpöhäviöenergia

A_{brut} rakennuksen bruttoala

Esimerkkinä lasketaan tammikuulle käyttöveden lämmityksentarve. Lämpimän käyttöveden kulutus määritellään yhtälöstä 13. Lämpimän veden ominaiskulutus määräysten mukaan asuinrakennuksille on 50 litraa päivässä.

$$V_{lkv} = 50 \frac{l}{d} \cdot 4 \cdot 31 d = 6,2 m^3$$

Käyttöveden lämmitykseen tarvitsema lämpöenergia lasketaan yhtälöllä 12. Veden tiheydelle käytetään arvoa 1000 kg/m^3 ja veden ominaislämpökapasiteetille $4,2 \text{ kJ/kgK}$. Lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilaerolle käytetään arvoa 50 K .

$$Q_{lkv} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 4,2 \frac{kJ}{kgK} \cdot 6,2 m^3 \cdot 50 K}{3600} = 361,67 kWh$$

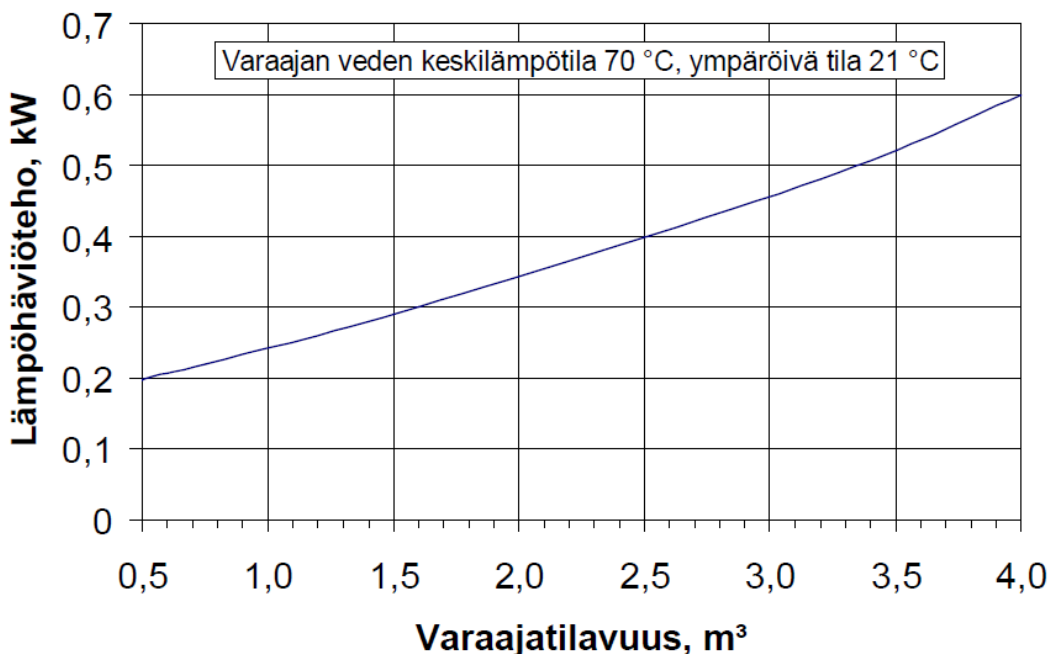
Lämpimän käyttöveden kiertohäviöt lasketaan yhtälöllä 14. Lämpimän käyttöveden kiertopiirin ominaislämpöhäviöenergialle käytetään arvoa $15 \text{ kWh/brm}^2, a$ ja rakennuksen bruttoneliöpinta-ala on 260 neliömetriä.

$$Q_{lkv,häviöt} = 15 \frac{kWh}{brm^2, a} \cdot \frac{31 d}{365 d/a} \cdot 260 brm^2 = 331,23 kWh$$

Käyttöveden lämmityksen tarve tammikuulle on yhteensä $692,90 \text{ kWh}$.

LIITE 3. LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN LÄMPÖHÄVIÖENERGIAT

Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia koostuu kehitys-, jakelu-, luovutus-, säätö- ja varaajahäviöistä, jotka voidaan lukea rakennusmääräyskokoelman D5 taulukosta 6.1. Kehityshäviöitä laskiessa voidaan käyttää valmistajan ilmoittamaan tietoa tai jos sitä ei ole saatavilla, käytetään arvoa 2 kWh/br^m2 vuodessa. Jakeluhäviöt riippuvat lämmönjakotavasta. Esimerkkikohteessa on vesikiertoinen lattialämmitys, jolloin käytetään arvoa 5 kWh/br^m2 vuodessa. Luovutushäviöt riippuvat myös lämmönjakotavasta ja eristeen määrästä. Esimerkkikohteen tietojen mukaan käytetään arvoa 10 kWh/br^m2 vuodessa alapohjassa ja 30 kWh/br^m2 vuodessa yläpohjassa. Säätöhäviöt vesikiertoisen lattialämmityksen mukaan ovat 4 kWh/br^m2 vuodessa. Varaajahäviöt riippuvat varaajatilavuudesta. Siinä voidaan käyttää joko valmistajan ilmoittamaa tietoa tai se voidaan lukea kuvasta 6.



Kuva 6. Varaajan lämpöhäviöt varaajatilavuuden funktiona

Kuvasta lukemalla saadaan 700 litran varaajalle lämpöhäviötehoksi noin 0,22 kW. Lisäksi jakelu-, luovutus ja säätöhäviöissä on otettava huomioon kuukausiarvot.

Kuukausiarvot ovat marras-, joului-, tammi- ja helmikuulle 15 % vuosiarvoista, lokamarras- ja huhtikuulle 10 % sekä touko- ja syyskuulle 5 %. Kesällä tilojen lämmitysjärjestelmässä ei yleensä ole jakelu-, luovutus- ja säätöhäviöitä.

Esimerkkinä lasketaan jälleen tammikuulle tulokset. Kehityshäviöiksi saadaan.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,kehityshäviöt,tammikuu}} = 2000 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot \frac{31 \text{ d}}{365 \frac{\text{d}}{\text{a}}} = 169,86 \text{ kWh}$$

Jakeluhäviöiksi saadaan.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,jakeluhäviöt,tammikuu}} = 5 \frac{\text{kWh}}{\text{brm}^2, \text{a}} \cdot 260 \text{ brm}^2 \cdot \frac{31 \text{ d}}{365 \frac{\text{d}}{\text{a}}} \cdot \frac{15\%}{100\%}$$

$$= 16,56 \text{ kWh}$$

Luovutushäviöiksi saadaan.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,luovutushäviöt,tammikuu}} = 40 \frac{\text{kWh}}{\text{brm}^2, \text{a}} \cdot 260 \text{ brm}^2 \cdot \frac{31 \text{ d}}{365 \frac{\text{d}}{\text{a}}} \cdot \frac{15\%}{100\%}$$

$$= 132,49 \text{ kWh}$$

Säätöhäviöiksi saadaan.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,säätöhäviöt,tammikuu}} = 4 \frac{\text{kWh}}{\text{brm}^2, \text{a}} \cdot 260 \text{ brm}^2 \cdot \frac{31 \text{ d}}{365 \frac{\text{d}}{\text{a}}} \cdot \frac{15\%}{100\%}$$

$$= 13,25 \text{ kWh}$$

Varaajahäviöiksi saadaan.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,varaajahäviöt,tammikuu}} = 0,22 \text{ kW} \cdot 31 \text{ d} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} = 163,68 \text{ kWh}$$

Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiaksi tammikuulta saadaan yhteensä 495,85 kWh.

LIITE 4. LÄMPÖKUORMAT

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia lasketaan ominaislämpöenergian, henkilöiden lukumäärän ja rakennuksen käyttöasteen mukaan. Laskuissa yhden henkilön keskimääräisenä lämpötehona käytetään 70 W, suunniteltu henkilömäärä on neljä ja omakotitalon käyttöaste on 0,60. Henkilöiden luovuttamaan lämpöenergiaan käytetään yhtälöä.

$$Q_{henk} = \varphi_{henk}nk\Delta t \quad (15)$$

Missä

φ_{henk} yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho
 k rakennuksen käytönaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta osa jää rakennuksen vaipan ulkopuolelle, eikä sitä lasketa rakennuksen lämpökuormaksi. Lämmityslaitteista vapautuvaa lämpökuormaenergiaa laskettaessa voidaan niiden arvioida olevan 70 prosenttia tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta. Käytettävä yhtälö on muotoa.

$$Q_{lämmitys,kuorma} = 0,7Q_{lämmitys,tilat,häviöt} \quad (16)$$

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergian laskut ovat näkyvissä liitteessä 3 ja kuukausiarvot ovat taulukossa 5.

Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta lämpökuorman osuus on 50 % käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta ja 30 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergiasta. Lämpimän käyttöveden lämpökuorma lasketaan seuraavan yhtälön mukaisesti.

$$Q_{lkv,kuorma} = 0,3Q_{lkv,netto} + 0,5Q_{lkv,häviöt} \quad (17)$$

Valaistuksesta ja sähkölaitteista vapautuva lämpökuormaenergia määritetään taulukkoarvoista, koska tarkempaa laskentaa tarvittavia tietoja ei ole käytettävissä. Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan omakotitalolle voidaan käyttää arvoa 32 kWh/brm² vuodessa.

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia sisältää sekä ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tulevan että välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä sisälle rakennukseen tulevan energian. Auringosta tuleva säteilyenergia lasketaan seuraavalla yhtälöllä.

$$Q_{aur} = \Sigma G_{säteily,pystypinta} F_l A_{ikk} g \quad (18)$$

Missä

$G_{säteily,pystypinta}$ pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikkö kohti

F_l säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

A_{ikk} ikkuna-aukon pinta-ala

g valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin määritetään ikkunalasisituksen tyyppin mukaan. Kahden eristyslasin ja matalaemissiviteettipinnoitteen tapauksessa kohtisuora läpäisykerroin on 0,40. Tähän otetaan vielä huomioon kerroin 0,9, jolloin saadaan ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroimeksi esimerkkikohteessa 0,36.

Säteilyn läpäisyn kokonaiskerroin lasketaan seuraavan yhtälön mukaan.

$$F_l = F_k F_{ver} F_{var} \quad (19)$$

Missä

F_k	kehäkerroin
F_{ver}	verhokerroin
F_{var}	varjostusten korjauskerroin

Kertoimet on luettavissa Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 taulukoista. Myös auringon kokonaissäteilyenergiat löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 liitteestä 1 ilmansuunnittain ja kuukausittain eri säävyöhykkeille.

Lämpökuormista lämmitykseen hyödynnettävä energia lasketaan seuraavan yhtälön mukaisesti.

$$Q_{sis.lämpö} = \eta_{lämpö} (Q_{henk} + Q_{lämmitys,kuorma} + Q_{lkv,kuorma} + Q_{säh} + Q_{aur}) \quad (20)$$

Missä

$\eta_{lämpö}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
$Q_{säh}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia

Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste määritetään seuraavalla yhtälöllä.

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (21)$$

Missä

γ	lämpökuormanenergian ja lämpöhäviöenergian suhdeluku
a	numeerinen parametri

Numeerinen parametri määritetään seuraavalla yhtälöllä.

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (22)$$

Missä

τ aikavakio

Aikavakio määritetään seuraavalla yhtälöllä.

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H} \quad (23)$$

Missä

C_{rak} rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti

H rakennuksen ominaislämpöhäviö

Rakennuksen teholliseksi lämpökapasiteetiksi saadaan taulukkoarvoista 200 Wh/brm²K.

Rakennuksen ominaislämpöhäviö lasketaan seuraavan yhtälön mukaan.

$$H = \frac{Q_{\text{lämpöhäviö}}}{(T_s - T_u)\Delta t} \quad (24)$$

Missä

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$ johtumisen, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö

Laskuesimerkkinä esitetään tammikuun lämpökuormat. Henkilöiden luovuttamaan lämpöenergiaksi saadaan yhtälön 15 mukaan.

$$Q_{\text{henk}} = 70 \text{ W} \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 744 \text{ h} = 125,0 \text{ kWh}$$

Lämmityslaitteista vapautuvaksi lämpökuormaksi saadaan yhtälöstä 16.

$$Q_{\text{lämmitys,kuorma}} = 0,7 \cdot 495,85 \text{ kWh} = 347,10 \text{ kWh}$$

Lämpimästä käyttövedestä vapautuvaksi lämpökuormaksi yhtälöstä 17 saadaan.

$$Q_{lkv,kuorma} = 0,3 \cdot 361,67 \text{ kWh} + 0,5 \cdot 331,23 \text{ kWh} = 274,12 \text{ kWh}$$

Sähkölaitteista vapautuvaksi lämpökuormaksi saadaan.

$$Q_{säh} = 32 \frac{\text{kWh}}{\text{brm}^2, \text{a}} \cdot 260 \text{ m}^2 \cdot \frac{31 \text{ d}}{365 \text{ d/a}} = 706,63 \text{ kWh}$$

Tammikuun auringon säteilyn kokonaisläpäisyn arvoksi rakennuksen pohjoispuolelta saadaan yhtälöstä 19.

$$F_{l,p} = 0,75 \cdot 0,4 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,2565$$

Pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikkö kohden tammikuulle rakennuksen pohjoispuolelle on $5,6 \text{ kWh/m}^2$. Auringosta tulevaksi säteilyenergiaksi rakennuksen pohjoispuolelle saadaan yhtälön 18 mukaan.

$$Q_{aur,p} = 5,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 0,2565 \cdot 3,6 \text{ m}^2 \cdot 0,36 = 1,86 \text{ kWh}$$

Auringosta tulevan säteilyenergian arvot tammikuussa eri ilmansuuntiin ovat; itään $0,72 \text{ kWh}$, etelään $4,82 \text{ kWh}$ ja länteen $7,07 \text{ kWh}$, joiden summaksi saadaan $14,47 \text{ kWh}$.

Tammikuun rakennuksen ominaislämpöhäviöksi saadaan yhtälön 24 mukaan.

$$H_{tam} = \frac{1147,92 \text{ kWh} + 642,79 \text{ kWh}}{(21 - (-3,97))\text{K} \cdot 744\text{h}} = 96,39 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Aikavakioksi yhtälöstä 23 saadaan.

$$\tau = \frac{200 \frac{\text{Wh}}{\text{brm}^2\text{K}} \cdot 260\text{brm}^2}{96,39 \text{ W/K}} = 539,48 \text{ h}$$

Numeeriseksi parametriksi yhtälöstä 22 saadaan.

$$a = 1 + \frac{539,48}{15} = 36,97$$

Lämpökuormien tammikuun hyödyntämiseksi saadaan yhtälön 21 mukaan.

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - \frac{1467,31 \text{ kWh}^{36,97}}{1790,70 \text{ kWh}}}{1 - \frac{1467,31 \text{ kWh}^{36,97+1}}{1790,70 \text{ kWh}}} \approx 1$$

Tammikuussa lämpökuormista hyödynnettäväksi energiaksi saadaan yhtälöstä 20.

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = 1 \cdot (125,0 + 347,10 + 274,12 + 706,63 + 14,47) \text{ kWh} = 1467,32 \text{ kWh}$$

LIITE 5. LÄMMITYSTEHO

Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan yhtälöllä.

$$\phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\phi_{\text{huonelämm.}}}{\eta_{\text{huonelämm.}}} + \frac{\phi_{\text{tuloilmapatteri}}}{\eta_{\text{tuloilmapatteri}}} + \frac{\phi_{\text{lkv}}}{\eta_{\text{lkv}}} \quad (25)$$

Missä

$\phi_{\text{huonelämm.}}$	huonelämmityksen tehon tarve
$\phi_{\text{tuloilmapatteri}}$	jälkilämmityspatterin tehon tarve
ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmitystehon tarve
$\eta_{\text{huonelämm.}}$	huonelämmityksen hyötysuhde
$\eta_{\text{tuloilmapatteri}}$	jälkilämmityspatterin hyötysuhde
η_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde

Lämmitysjärjestelmien hyötysuhteita ei mitoitustilanteessa tunneta, joten hyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 0,9. Huonelämmityksen tehon tarve lasketaan yhtälöllä.

$$\phi_{\text{huonelämm}} = (H_{\text{joht}} + H_{\text{vi}} + H_{\text{iv}})(T_s - T_{u,\text{mit}}) - \phi_{\text{tuloilmapatteri}} \quad (26)$$

Missä

$T_{u,\text{mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila
--------------------	----------------------------------

Mitoittava ulkoilman lämpötila rakennus määräyskokoelman D5 mukaan on -26 °C . Rakennusosien yhteenlaskettu ja vuotoilman ominaislämpöhäviö on laskettu liitteessä 1. Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan hieman eri tavalla kuin aikaisemmin yhtälöllä.

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (1 - \eta_{p,mit}) \quad (27)$$

Missä

$\eta_{p,mit}$ lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde
mitoitusolosuhteissa

Lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitusolosuhteissa lasketaan yhtälöllä.

$$\eta_{p,mit} = \frac{T_s - T_{jäte,mit}}{T_s - T_{u,mit}} \quad (28)$$

Missä

$T_{jäte,mit}$ jäteilman lämpötila mitoitusolosuhteissa

Jäteilman lämpötilana asuinrakennuksissa käytetään mitoitusarvoa 5 °C. Tuloilman jälkilämmityspatterin tehontarve saadaan selville yhtälöllä.

$$\begin{aligned} \phi_{tuloilmapatteri} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{tulo,mit} - T_{u,mit} \\ - \eta_{t,mit} (T_s - T_{u,mit})) \end{aligned} \quad (29)$$

Missä

$q_{v,tulo}$ tuloilmavirta

$T_{tulo,mit}$ tuloilman lämpötilan asetusarvo mitoitusolosuhteissa

$\eta_{t,mit}$ lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde
mitoitustilanteessa

Tuloilmavirraksi on määritelty 0,076 m³/s ja tuloilman lämpötilan asetusarvo mitoitusolosuhteissa rakentamismääräyskokoelmin mukaan on 15 °C. Lämmön talteenoton tuloilman lämpötilasuhde saadaan yhtälöstä.

$$\eta_{t,mit} = \frac{\eta_{p,mit}}{R} \quad (30)$$

Missä

R tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema teho lasketaan yhtälöllä.

$$\phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} q_{v,lkv} \Delta T + \phi_{lkv,kiertohäviö} \quad (31)$$

Missä

$q_{v,lkv}$ lämpimän käyttöveden virtaama

$\phi_{lkv,kiertohäviö}$ lämpimän käyttöveden kiertojohdon tarvitsema teho

Lämpimän käyttöveden virtaama lasketaan vuosikulutuksen avulla ja sen arvoksi saadaan 0,0023 l/s. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon ominaisteho on 0,002 kWh/brm².

Lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhteeksi mitoitusolosuhteissa saadaan yhtälöstä 28.

$$\eta_{p,mit} = \frac{21^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}}{21^{\circ}\text{C} - (-26^{\circ}\text{C})} = 0,3404$$

Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhteeksi mitoitusolosuhteissa saadaan yhtälöstä 30.

$$\eta_{t,mit} = \frac{0,3404}{\frac{0,076 \text{ m}^3/\text{s}}{0,083 \text{ m}^3/\text{s}}} = 0,3718$$

Tuloilmapatterin jälkilämmityspatterin tehon tarpeeksi saadaan yhtälöstä 29.

$$\phi_{tuloilmapatteri} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1000 \frac{J}{kgK} \\ \cdot 0,076 \frac{m^3}{s} (15^\circ C - (-26^\circ C) - 0,3718(21^\circ C - (-26^\circ C))) \approx 2146 W$$

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöksi saadaan yhtälöstä 27.

$$H_{iv} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1000 \frac{J}{kgK} \cdot 0,083 \frac{m^3}{s} (1 - 0,3404) = 65,70 \frac{W}{K}$$

Huonelämmityksen tehon tarpeeksi saadaan yhtälöstä 26.

$$\phi_{huonelämm} = \left(65,60 \frac{W}{K} + 4,72 \frac{W}{K} + 65,70 \frac{W}{K} \right) (21^\circ C - (-26^\circ C)) - 2146 W \\ \approx 4247 W$$

Käyttöveden lämmityksen tarvitsemaksi tehoksi saadaan yhtälöstä 31.

$$\phi_{lkv} = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 4200 \frac{J}{kgK} \cdot \frac{0,0023 m^3}{1000 s} \cdot 50 K + 0,002 \cdot 1000 \frac{W}{brm^2} \cdot 260 brm^2 \\ = 1003 W$$

Rakennuksen kokonaislämmitystehon tarpeeksi saadaan yhtälöstä 25.

$$\phi_{lämmitys} = \frac{4247 W}{0,9} + \frac{2146 W}{0,9} + \frac{1003 W}{0,9} = 8218 W$$

KUSTANNUSLASKELMAT

Taulukko 11. Päälämmönkehitysjärjestelmien kustannuslaskelmat

Vuosi	S.hinta [€/kWh]	Sähkölämmitys [€]			Ilmavesilämpöpumppu [€]			Maalämpö [€]		
		Menot	Nykyarvo	yht.	Menot	Nykyarvo	yht.	Menot	Nykyarvo	yht.
0		3000	3000	3000	8000	8000	8000	16000	16000	16000
1	0,13	1442,33	1373,65	4373,65	773,88	737,03	8737,03	613,96	584,73	16584,73
2	0,13	1524,58	1382,84	5756,49	814,29	738,59	9475,62	640,40	580,86	17165,59
3	0,14	1611,62	1392,18	7148,67	857,06	740,36	10215,98	668,38	577,37	17742,96
4	0,15	1703,73	1401,67	8550,33	902,31	742,34	10958,31	697,99	574,23	18317,19
5	0,16	1801,21	1411,30	9961,63	950,20	744,51	11702,82	729,32	571,44	18888,63
6	0,17	1904,36	1421,07	11382,69	1000,88	746,87	12449,70	762,47	568,97	19457,60
7	0,18	2013,52	1430,97	12813,67	1054,51	749,42	13199,12	797,56	566,81	20024,42
8	0,19	2129,04	1441,02	14254,69	1111,27	752,15	13951,27	834,69	564,95	20589,37
9	0,20	2251,29	1451,20	15705,89	1171,33	755,05	14706,32	873,99	563,38	21152,75
10	0,21	2380,65	1461,51	17167,40	1234,89	758,11	15464,43	915,57	562,08	21714,82
11	0,22	2517,55	1471,96	18639,36	1302,14	761,34	16225,77	959,57	561,04	22275,87
12	0,23	2662,42	1482,54	20121,89	1373,32	764,72	16990,48	1006,14	560,25	22836,12
13	0,25	2815,73	1493,24	21615,14	1448,64	768,25	17758,73	1055,41	559,71	23395,83
14	0,26	2977,97	1504,08	23119,21	1528,35	771,92	18530,65	1107,56	559,39	23955,22
15	0,28	3149,65	1515,04	24634,25	3112,70	1497,26	20027,91	2662,75	1280,83	25236,05
16	0,29	3331,34	1526,12	26160,37	1701,96	779,69	20807,60	1221,14	559,42	25795,47
17	0,31	3523,60	1537,34	27697,71	1796,42	783,77	21591,37	1282,94	559,74	26355,21
18	0,33	3727,07	1548,67	29246,38	1896,38	787,99	22379,36	1348,34	560,26	26915,48
19	0,35	3942,38	1560,13	30806,51	2002,17	792,33	23171,69	1417,55	560,97	27476,45
20	0,37	4170,23	1571,72	32378,23	2114,11	796,79	23968,47	1490,79	561,86	28038,31
21	0,39	4411,35	1583,42	33961,65	2232,58	801,37	24769,84	1568,29	562,93	28601,24
22	0,41	4666,51	1595,25	35556,90	2357,94	806,06	25575,90	1650,31	564,16	29165,39
23	0,44	4936,54	1607,20	37164,09	2490,60	810,87	26386,77	1737,10	565,55	29730,94
24	0,46	5222,29	1619,26	38783,36	2630,99	815,79	27202,56	1828,95	567,10	30298,04
25	0,49	5524,68	1631,45	40414,81	2779,56	820,81	28023,37	1926,15	568,80	30866,84
26	0,52	5844,68	1643,76	42058,57	2936,78	825,94	28849,31	2029,01	570,64	31437,48
27	0,55	6183,32	1656,19	43714,77	3103,15	831,17	29680,48	2137,85	572,62	32010,10
28	0,58	6541,68	1668,74	45383,51	3279,22	836,51	30516,99	2253,04	574,74	32584,84
29	0,61	6920,91	1681,41	47064,92	3465,54	841,94	31358,93	2374,94	576,98	33161,82
30	0,65	7322,23	1694,20	48759,12	3662,71	847,47	32206,40	2503,93	579,35	33741,17