



LÄMPÖPUMPPUTEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄ- MINEN KERROSTALORAKENTAMISESSA

Ilpo Kuisma

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tuotantotekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotanto
Työn ohjaaja: DI Tero Markkanen
Työn tilaaja: YIT Rakennus Oy, valvojana Harri Järvinen

KUISMA, ILPO: Lämpöpumpputeknologian hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa
Opinnäytetyö 60 s., liitteet 8 s.
Toukokuu 2011

Työn tavoitteena oli tutkia lämpöpumppujen soveltuvuutta ja kannattavuutta kerrostalorakentamisessa. Työn alussa käydään läpi lämpöpumppujen toimintaa ja perusteita. Seuraavissa kohdissa tarkastellaan lämpöpumpputyyppejä, mutta pääosin keskitytään maalämpöpumppuihin. Työssä tutkitaan myös lämpöpumppujen reunaehtoja ja lämmönjakojärjestelmiä. Työn lopussa tarkastellaan mitoitusperiaatteita, energiakulutuksia ja eri lämmitysjärjestelmien kustannuksia esimerkkikohteen avulla. Energialaskelmat on tehty Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan.

Työssä tarkasteltavia lämpöpumppujen reunaehtoja ovat muun muassa viranomaismääräykset, tontin koko, maalaji sekä lämpöpumpun mitoitus. Viranomaismääräyksistä tulisi huomioida lämpöpumpun vaatimat lupa-asiat sekä kaavoitus. Tontin koko voi rajoittaa lämpökaivojen poraamista, koska lämpökaivolle on määritelty minimietäisyysvaatimukset. Maalaji voi vaikuttaa lämpökaivojen porauskustannuksiin. Lämpöpumpun mitoitus on tärkeä tekijä kun suunnitellaan lämpöpumppujärjestelmää. Liian pieneksi mitoitettu järjestelmä voi johtaa lämmön hiipumiseen, kun taas ylimitoitettu järjestelmä nostaa kustannuksia.

Kannattavuuslaskelmat tulisi aina tehdä erikseen jokaiseen kohteeseen. Kustannusvertailussa on tarkasteltu maalämpöä, kaukolämpöä ja ilma/vesilämpöpumppua. Takaisinmaksuajoissa maalämpö tulee kymmenen vuoden jälkeen halvimmaksi lämmitysjärjestelmäksi verrattuna kaukolämpöön. Ilma/vesilämpöpumppu tulee kalleimmaksi kyseisistä lämmitysjärjestelmistä.

Työn tulokset antavat tarpeellista tietoa lämpöpumppujärjestelmistä ja niiden suunnittelusta. Maalämpöjärjestelmä on joissain kohteissa kannattavaa rakentaa, kun on huomioitu reunaehdot lämpöpumpun soveltuvuudelle kyseiseen kohteeseen. Lämpöpumppujen kehitys parantaa laitteiden lämpökerrointa ja toimintavarmuutta, jotka lisäävät kannattavuutta lämpöpumppujärjestelmien hankkimiseen. Lämmitysjärjestelmien kehittäminen on haaste, joka luo mahdollisuuksia energiatehokkaaseen rakentamiseen. Aurinkoenergian käyttöä tullaan luultavasti lisäämään tulevaisuudessa, kunhan kustannukset laskevat kannattavalle tasolle.

lämpöpumppu, maalämpöpumppu, lämmitysjärjestelmä

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Technology
Construction production
Thesis supervisor M.Sc Tero Markkanen
Co-operating Company YIT Rakennus Oy, Supervisor: Harri Järvinen

KUISMA, I: Heat Pump Technology in Block of Flats Construction

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 8 pages
May 2011

The purpose of this thesis was to collect information on heat pump in block of flats construction. At first thesis deals with heat pumps' activity and criteria. The next part deals with different heat pump types but mainly focuses on geothermal heat pumps. Heat pump boundary conditions and heat distribution systems were also studied. Finally, research design principles, energy consumptions and heating systems' costs are examined with an example. Energy calculation was calculated by Finnish building code D5.

Government requirements, area of a plot, soil type and dimensioning gave boundary conditions. Government requirements should be considered zoning permit and planning. Small plot may limit the thermal well drilling because it has minimum distance requirements. Soil types may impact on drilling costs. Heat pumps' dimensioning is an important thing when designing a heat pump system. Too low rated system may stop heating and oversized system increases costs. Profitability calculation should be done separately in each building project. In this thesis cost comparison was made between heat pumps and district heating. The result of cost comparison was that the geothermal heat pumps are more affordable after ten years before that district heating is cheaper.

The results of thesis gave lots of information heat pump system planning. Geothermal heat pump system has expensive investment costs but operating costs are cheaper that is why it is profitable build up the heat pump system if it is possible. Development of heat pumps improves the devise reliability and thermal coefficient. The development of heating system is a challenge which creates the possibility of energy-efficient construction. The use of solar energy will probably increase in future, as long as costs are reduced to a profitable level.

heat pump, geothermal heap pump, heating system

ALKUSANAT

Haluan kiittää YIT:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Erityiskiitoksen ansaitsee YIT:n projektipäällikkö Harri Järvinen, joka auttoi todella paljon työni valmistumisessa. Haluan kiittää myös työn valvovaa opettajaa Tero Markkasta. Työn tekeminen on ollut haastavaa ja välillä hankalaa, mutta myös mielenkiintoista ja palkitsevaa. Kiitän myös muita henkilöitä, jotka edistivät opinnäytetyöni valmistumista.

Tampereella 24.5.2011

Ilpo Kuisma

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUOTTELO

1 JOHDANTO	7
1.1 Tutkimuksen tavoitteet	7
1.2 Työn rajaukset	7
1.3 Tutkimusmenetelmät	8
1.4 Työn tulokset	9
2 LÄMPÖPUMPUT	10
2.1 Toimintaperiaate ja fysikaaliset perusteet	10
2.2 Lämpöpumpun kiertoprosessi	10
2.3 Lämpökerroin	11
2.4 Kylmäaineet	13
2.5 Lämpöpumpputyypit	14
3 MAALÄMPÖPUMPUT	15
3.1 Maalämpö	15
3.2 Reunaehdot	15
3.2.1 Viranomaismääräykset	15
3.2.2 Osa- vai täysteho mitoitus	17
3.2.3 Maaperä ja tontti	18
3.2.4 Lämmitystilan tarve	22
3.3 Lämmönlähteet	22
3.3.1 Lämpökaivo	23
3.3.2 Vaakaputkisto	24
3.3.3 Vesistöt	25
3.4 Lämmönjakojärjestelmä	26
3.5 Kytkennät	28
3.7 Kompressorit	33

4	ILMALÄMPÖPUMPUT	35
4.1	Ilma-ilmalämpöpumppu.....	35
4.2	Ilma/vesilämpöpumppu	35
4.3	Poistoilmalämpöpumppu	36
4.4	Reunaehdot	37
4.4.1	Asennus ja sijoitus.....	37
4.4.2	Lämpökerroin.....	38
4.4.3	Lämmönlouvuutus.....	38
5	JÄÄHDYTYYS/VIILENNYS.....	39
5.1	Maalämpöpumpulla	39
5.2	Ilmalämpöpumpulla	40
6	MITOITUS	41
6.1	Lämpökaivon mitoitus	42
7	ENERGIALASKELMAT JA KUSTANNUKSET.....	43
7.1	Energialaskelmat.....	43
7.2	Lämmitysjärjestelmien kustannukset.....	50
7.2.1	Maalämpö.....	51
7.2.2	Kaukolämpö	52
7.2.3	Kaukolämpö ja ilma/vesilämpöpumppu.....	53
8	UUSIUTUVIEN ENERGIOIDEN HUOMIOIMINEN 2012 ENERGIAMÄÄRÄYKSISSÄ	57
9	TULOSTEN TARKASTELU JA TULKINTA	58

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1: Energialaskelmat

1 JOHDANTO

Tein opinnäytetyöni YIT Rakennus Oy:lle. Lämpöpumput ovat viime aikoina kasvattaneet myyntiään ja ne ovat yleistymässä rakennusten lämmitysjärjestelminä. Lämpöpumppuja on käytetty pääosin pientalojen lämmitysjärjestelminä. Tämän työn tarkoitus on tutkia lämpöpumppujen soveltuvuutta kerrostalokohteisiin. Tavallisesti kerrostalokohteissa on käytetty lämmitysjärjestelmänä kaukolämpöä, jota käytetään laskelmissa vertailukohteena. Työssä pyritään antamaan suunnitteluvaiheeseen tarpeellisia tietoja, jotka tulee ottaa huomioon, jos lämmitysjärjestelmäksi valitaan lämpöpumppu.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Päätavoitteena on tutkia lämpöpumppujen käyttöä kerrostalorakentamisessa ja hakea paras lämmitysmuoto kustannustehokkaasti. Työssä tutkitaan lämpöpumppujärjestelmien toimintaperiaatteita, sekä haetaan lämpöpumppujen reunaehtoja kerrostalokohteisiin.

Toisena tavoitteena on vertailla eri lämmitysjärjestelmien käyttö-, investointi-, ja huoltokustannuksia sekä laskea lämmitysjärjestelmien energiankulutuksia ja takaisinmaksuaikoja. Tuloksia verrataan kaukolämpöön.

Kolmantena tavoitteena on tutkia lämpöjärjestelmien mitoittamista. Työssä esitellään mitoitusperusteet.

Neljäntenä tavoitteena on tutkia lämmönluovutusta. Työssä tutkitaan radiaattoreiden ja lattialämmityksen eroja sekä kustannuksia.

1.2 Työn rajaukset

Tutkimus kattaa yleisesti lämpöpumppujen toimintaperiaatteet lämmitys- ja jäähdytysenergian tasolla. Työssä kuvataan lämpöpumpun toiminnan fysikaaliset perusteet ja

lämmönjakojärjestelmät. Työssä ei tutkita pientalojen lämmitysjärjestelmiä vaan keskitytään kerrostaloihin.

Työssä käsitellään pääosin maalämpöpumppuja. Työssä myös tutkitaan maalämmön eri lämmönlähteitä, mutta keskitytään porakaivoihin, koska niistä saa eniten energiaa suhteessa tontin pinta-alaan. Lisäksi tutkitaan ilmalämpöpumppujen toimintaperiaatteita ja ilma/vesilämpöpumpun hyödyntämistä erillisjärjestelmänä kaukolämmön kanssa.

Lämmityskustannuksia verrataan kaukolämpöön, ja laskuissa käytetään tämän hetken energianhintatasoa ja alueena laskennassa on käytetty Pirkanmaata. Työn esimerkkikohteena Akaan Eemeli kerrostalo, johon laskelmat perustuu.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus jakaantuu kolmeen vaiheeseen:

- Kyselytutkimus lämpöpumpputoimittajille
- Lämpöpumppujen tekniset toimintaperiaatteet sekä reunaehtojen määrittäminen
- Lämmitysjärjestelmien energialaskelmat sekä takaisinmaksuajat

Kyselytutkimus tehdään yrityksille haastatteluna. Kyselytutkimuksen esityönä on selvitetty mahdolliset lämpöpumpputoimittajat, jotka pystyvät toimittamaan lämpöpumppujärjestelmiä suuriin kohteisiin.

Toimintaperiaatteiden määrittely toteutetaan kyselytutkimuksessa ja kirjallisuudesta tehtyjen havaintojen perusteella. Tarkoituksena on löytää mahdollisimman totuudenmukainen ja toimiva ratkaisu kerrostalon lämmitysmuodon valintaan.

Energialaskelmat lasketaan Suomen rakentamismääräys-kokoelman D5 määräysten ja ohjeiden mukaan.

1.4 Työn tulokset

Kirjallisuusosion tarkoitus on selventää lämpöpumpun toimintaperiaatteita ja selventää oleellisia asioita lämpöpumpuista. Reunaehtojen määrittäminen on hyvä apuväline suunnittelun ohjaukseen.

Lämpöpumpputoimittajilta saatuja tietoja on käytetty apuna lämmitysjärjestelmien kustannusten laskennassa sekä määriteltäessä takaisinmaksuaikoja. Tällöin saadaan totuuden mukaisia hinta-arvioita ja tämä auttaa selventämään hintatasoa, kun kilpailutetaan lämmitysjärjestelmiä.

2 LÄMPÖPUMPUT

2.1 Toimintaperiaate ja fysikaaliset perusteet

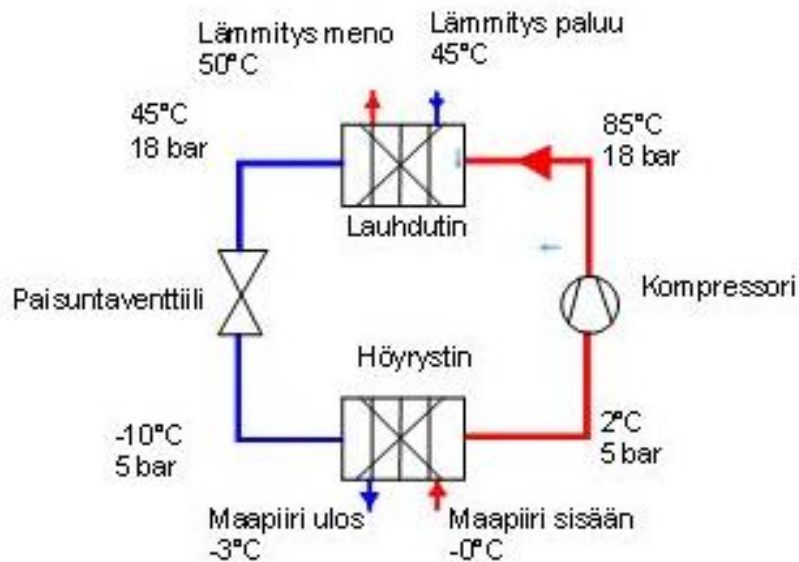
Lämpöpumpun toiminta perustuu lämpöpumpun koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Lämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin kylmälaitteet. Jäähdytyskäyttöön suunnitellut kylmälaitteen tehtävä on siirtää lämpöä pois kylmätilan sisältä ja siten jäähdyttää tilaa. Lämpöpumpun tehtävä on siirtää maasta, kalliosta, vesistöistä tai ulkoilmasta lämpöä rakennuksen sisätiloihin. Molemmissa prosesseissa kohteesta otetaan lämpöä ja luovutetaan se toisaalle. Lämpöpumppua käytetään pääasiassa rakennuksen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja mahdollisesti myös jäähdytykseen. (Perälä 2009, 29.)

Kylmätekniiikan tehtävä on ylläpitää ympäristössä poikkeavia lämpötiloja. Kylmätekniiikan fysikaalinen perusta on termodynamiikka. Termodynamiikan ensimmäinen pääsäännön mukaan lämpö on energiaa ja se noudattaa energian säilymislakia. Toinen pääsäännön mukaan lämpö siirtyy itsestään lämpimästä kappaleesta kylmempään, tasoittaen lämpötilaerot. Lämpöpumpun kompressorin tehtävänä on nostaa puristuksen avulla nesteen lämpötila niin ylös, että lämpö voi termodynamiikan toisen pääsäännön mukaisesti siirtyä lämpimämmästä kappaleesta kylmempään. Väliaineena toimivan kaasun pitää siis olla huonelämpötilaa $+20\text{ °C}$ suurempi. (Lehto & Luoma, 1996, 118.)

2.2 Lämpöpumpun kiertoprosessi

Lämpöpumpun kiertoprosessissa maahan, kallioon tai vesistöön asennetussa putkistossa kiertää nesteseos. Neste menee ensin lämpöpumpun höyrystimeen. Höyrystimessä lämpöä ympäristöstä kerännyt kylmäaine höyrystyy. Kompressori imee höyrystimestä tulevan höyryn ja puristaa tämän korkeampaan paineeseen, jolloin höyry lämpenee. Tämän jälkeen höyry menee lauhtuttimen kautta, jossa höyry lauhtuu eli nesteytyy, jolloin vapautunut lämpö luovutetaan esimerkiksi lauhtuttimesta kiertävään veteen. Lauhtuttimesta nesteytynyt kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen. Höyrystimeen vapautunut kylmäaine alkaa jälleen kerätä lämpöä itseensä ja kierto alkaa

uudelleen. Kuviossa 1 on esitetty yksinkertaisena periaatekaaviona lämpöpumpun kiertoprosessi. (Hakala & Kaappola 2007, 224.)



KUVIO 1. Lämpöpumpun kiertoprosessi, R407C kylmäaine (Muokattu, Hakala 2009, 10.)

2.3 Lämpökerroin

Lämpöpumpun tehon lähtökohtana on luovutettu lämpöteho. Lämpöpumpun kompressori toimii sähkömoottorilla, joka vaatii sähköenergiaa. Myös pumpuissa ja mahdollisissa vesivaraajan lämmitysvastuksissa kuluu sähköä. Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella, joka kuvaa kuinka paljon lämpöä saadaan koneistoon syötetyllä sähköllä. Käytännössä lasketaan lauhduttimen luovuttama lämpötehon suhde kompressorin ottamaan sähkötehoon. (Perälä 2009,32)

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}}$$

Lämpökertoimesta käytetään yleensä nimitystä COP, joka on lyhenne sanoista Coefficient of performance. Lämpökertoimia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon missä olo-

suhteissa arvo on ilmoitettu sekä onko kyseessä pelkän kompressorin vai koko lämpöpumpun lämpökerroin. (Perälä 2009, 31.)

Lämpökerroin voidaan ilmoittaa myös lämpötiloista riippuva arvo, jolloin käytetään nimitystä Carnot hyötysuhde

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{T_2 + 273K}{(T_2 - T_1)}$$

jossa

T_1 Höyrystymislämpötila, K

T_2 Lauhtumislämpötila, K

Tämä laskenta tuottaa yleensä liian optimistisia tuloksia, sillä siinä oletetaan kompressorin ja lämpöpumppujen toimivan 100 %:n hyötysuhteella. Todellisuudessa lämpöpumpuissa kompressori, ja muut apulaitteet huonontavat lämpökertoimen arvoja. Lämpöpumppujen todellista lämpökerrointa alentaa myös se, että laskelmassa pitäisi käyttää keruunlämpötilana höyrystimessä otettu lämpötila, jossa se on alempi kuin etäämmällä putkistoissa, missä lämpö tavallisesti kerätään. Luovutuslämpötilanakin tulisi käyttää kylmäaineen lämpötilaa lauhduttimessa, ja tämä lämpötila on aina korkeampi kuin se lämpötila, missä lämpö saadaan käyttöön. Näiden syiden takia lämpökerroin on aina teoreettisia arvoja alempia. Lämpöpumppujen lämpökertoimen voidaan ilmoittaa olevan jopa viisi yksittäisissä mittauksissa, mutta käytännössä tulisikin katsoa vuosihyötysuhdetta jolloin tarkastelussa on otettu huomioon lämpötilaerot. Vuosihyötysuhdetta tarkasteltaessa keskimääräiset lämpökertoimet ovat hieman kolmen molemmin puolin. Lämpöpumppujen kehittyessä lämpökertoimet kasvavat, ja näin ollen lämpöpumppujen kannattavuus paranee. (Perälä 2009, 33.)

2.4 Kylmäaineet

Lämpöpumpukoneistossa käytettyjen höyrystymisprosessin kiertoaineiden toinen nimitys on kylmäaine. Turvallisuuden perustella ne on jaoteltu kolmeen ryhmään:

- Palamattomat ja lähes/täysin myrkyttömät
- Palamattomat ja myrkylliset
- Palavat kun alempi syttymisraja on alle 3,5 til.%

Kylmäaineet valitaan käyntiolosuhteiden mukaan. Kylmäaineet valinta vaikuttaa koneiston lämpökertoimeen, käyntipaineisiin, puristuslämpötilaan ja tulistuslämmön osuuteen. Kylmäaineen käyttäytyminen menee aineen termodynaamisten ominaisuuksien mukaan. Termodynaamisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi höyrystymislämpö, höyrinpaine, viskositeetti ja lämmönjohtavuus. Suuri höyrystymislämpö pienentää massavirtaa ja samalla putkistojen ja kompressorien koko pienenee. Hyvä lämmönjohtavuus tehostaa pienen viskositeetin kanssa lämmönsiirtoa. Tällöin lämmönsiirtopinnat ja lämpötilaerot pienenevät. Useilla kylmäaineilla tulee vesipitoisuuden olla mahdollisimman pieni. Veden vaikutus koneistossa on sitä haitallisempi mitä huonommin vesi liukenee kylmäaineeseen. Liiallinen vesi saattaa jäätyä lämpöpumpun paisuntaventtiilissä. Veden poistamiseksi järjestelmään voidaan lisätä kuivain. (Aittomäki 1982, 69–70. Juvonen 2009, 32)

Kylmäaineen kriittisen pisteen lämpötila on tärkeä ominaisuus kylmäaineen soveltuvuudelle prosessiin. Lämpötilan tulee olla riittävän korkea. Lämpötilan noustessa riittävän lähelle kriittistä lämpötilapistettä tulistus- ja kuristushäviöt kasvavat. Häviöiden lisääntyessä lämpökerroin huononee. (Aittomäki 1982, 70.)

Lämpöpumpuissa käytettävät kylmäaineet ovat kehittyneet nopeasti. Vanhat CFC-yhdisteet eli freonit ovat jääneet pois käytöstä ja tilalle on tullut parempia uusia fluorihiilivetyjä ns. HFC-yhdisteitä. Ne hajoavat luonnossa luonnollisesti eivätkä vahingoita ilmakehän otsonikerrosta. Nekin ovat kuitenkin kasvihuonekaasuja ja tästä syystä niiden käyttö tullaan mahdollisesti kieltämään, kun on kehitetty uusia vielä turvallisempia aineita. Uusi aine voisi olla hiilidioksidi, sillä se on myrkytön, palamaton ja erittäin huokea kylmäaine. Ongelmana on korkeapaine ja erittäin alhainen kriittinen lämpötila, joka rajoittaa sen käyttöä. (Perälä 2009, 50; Hakala 2007, 23- 25.)

Yleisin kylmäaine maalämpöpumpuissa on R407C. Myös kylmäaineilla R134a, R404A, R507A ja R410A toimivia lämpöpumppuja on tarjolla. (Hakala 2007, 229.). Yleensä yksi aine ei pysty täyttämään kaikkia vaatimuksia vaan ne valitaan käyttöolosuhteiden mukaan.

2.5 Lämpöpumpputyypit

Lämmönkeräystapa, ja sen luovuttamistapa vaihtelevat eri lämpöpumpputyypeissä. Ilmalämpöpumppu kerää lämmön suoraan ulkoilmasta ja luovuttaa sen rakennuksen sisäilmaan. Ilma/vesilämpöpumppu kerää lämmön myös suoraan ilmasta, mutta luovuttaa sen vesivaraajaan. Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmön rakennuksen poistoilmasta ja luovuttaa sen takaisin rakennuksen tuloilmaan tai veteen. Maalämpöpumppu kerää lämmön maasta tai vedestä putkistossa kiertävään keruunesteeseen ja luovuttaa sen vesikiertoon. (Perälä 2009, 55.)

Ilmalämpöpumput ovat yksinkertaisia ja halvimpia lämpöpumppuja. Niiden lämmityskyky heikkenee lämpötilan jäähtyessä ja loppuu kokonaan pakkasen kiristyttyä riittävästi. Tämän takia ne eivät sovellu Suomen oloissa muutoin kuin lämmitysjärjestelmän rinnalle pienentämään energiankulutusta. Ne vähentävät energiankulutusta vielä nollekeleillä ja pienillä pakkaslukemilla. Ilmalämpöpumpun lämmöntuotantokyky on ristiriidassa rakennuksen lämmöntarpeen kanssa. Kovilla pakkasilla, kun lämpöenergiaa tarvittaisiin eniten, ilmalämpöpumppu ei sitä pysty tuottamaan. (Perälä 2009, 57.)

Maalämpöpumput ovat ilmalämpöpumppua tehokkaampia, mutta myös kalliimpia. Sillä voi tuottaa rakennuksen lämmitysenergian tarpeen lähes kokonaan, mutta varalle tarvitaan myös muu lämmitysmuoto esimerkiksi sähkölämmitys, jolla voi kovilla pakkasilla tai häiriötilanteissa lämmittää rakennusta.

3 MAALÄMPÖPUMPUT

3.1 Maalämpö

Maalämpö on peräisin auringosta. Aurinkolämpöä varastoituu kesällä auringonpaisteen, lämpimän ilman ja sateiden kautta maa- ja kallioperään sekä vesistöihin. Talvella auringon lämmittävä vaikutus on Suomen olosuhteissa niin vähäistä, että on turvaututtava maahan varastoituneeseen aurinkolämpöön, jossa n. 3 % osuus vuosittaisesta maahan varastoitumasta energiasta riittää vuotuisen maalämmön kattamiseen. Osa energiasta on maan geotermistä energiaa, jota hyödynnetään mm. porakaivoissa. (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2011, SULPU)

3.2 Reunaehdot

Maalämpöpumppuja suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon lämpöpumpun soveltuvuus kyseiseen kohteeseen, ja mitä vaatimuksia on pumpuille määritelty. Näitä vaatimuksia ovat mm. viranomaismääräykset, porakaivojen etäisyydet, mitoitus ja lämmitystilan tarve. Kohdetta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon tekijät, jotka vaikuttavat pumppujen toimintaan ja kokonaiskustannuksiin.

3.2.1 Viranomaismääräykset

Viranomaismääräykset ovat tässä työssä Tampereen kaupungin rakennusvalvonnan määräyksiä. Uudisrakennuksessa lämpökaivojen poraaminen sisällytetään rakennuslupaan ja saneerauskohteissa tarvitaan toimenpidelupa.

Lämpökaivon rakentamisessa on huomioitava:

- Lämpökaivon etäisyys on oltava vähintään 8 m tontin rajoista. Naapurin suostumuksella voi lämpökaivon tehdä lähemmäksi rajaa. Jos lämpökaivo porataan vinoon naapurin tontille, olisi suositeltavaa tehdä myös kiinteistörasitehakemus.
- Täytyy tehdä selvitys, onko kyseessä pohjavesi tai muu erityisalue. Pohjavesialueelle saatetaan asettaa rajoituksia, esimerkiksi lämpökeruuputkistona tulee

käyttää 10 bar putkea ja kumisia reikien suojahattuja. Vedenottamon suoja-alueilla ei voi hyödyntää maalämpöä.

- Keruuputkiston päälle ei voi rakentaa rakennuksia eikä alueeksi sovellu alue jota aurataan talvella.
- Hankkeeseen ryhtyvän velvollisuus on ottaa selvää mahdollisista maanalaisista johdoista, luolista tai teknisistä järjestelmistä.
- Vesistöön sijoitettava lämmönkeruuputkisto vaatii vesialueen omistajan luvan. Pirkanmaan ELY- keskukselle täytyy tehdä myös vesirakentamisolmoitus.

Rakennusluvan saamiseksi täytyy täyttää seuraavat asiakirjat:

- hakemuslomake, jossa tulee olla nimetty suunnittelija ja hänellä täytyy olla riittävä kokemus lämpötaloudellisuudesta ja rakentamisesta
- selvitys lämmönkeruuaineen ja lisäaineiden määrästä ja koostumuksesta
- naapurien kuulemislomakkeet, jos lämpökaivon etäisyys tontin rajasta on alle 8 m tai jos porataan vinoon naapurin tontille
- Asemapiirustus (2 kpl) jossa tulee olla porausreiän etäisyydet tontin rajoista ja merkittävä porauskulma, jos porataan vinoon
- Muutospohjapiirustukset (2 kpl), mikäli rakennuksessa tapahtuu muutoksia.

Loppukatselmuksessa suoritetaan sijaintikatselmus, jossa varmennetaan porareikien sijainnit, sekä luovutetaan porausraportti rakennusvalvontaan. (Brunnila 2011)

3.2.2 Kaavoitus

Kaavoituksessa kunnat määrittelevät tontille ja rakennukselle tiettyjä vaatimuksia. Tässä työssä tarkastellaan kaavoitusta lämmitysjärjestelmän valintaan liittyen. Tampereen rakennusvalvonnan mukaan Tampereen kaavoituksessa ei ole määritelty liittymistä tiettyyn lämmitysjärjestelmään. Joitain lämmitysjärjestelmiä voidaan kieltää perustellusti. Maalämpö on suunnitteilla kieltää Tampereen keskusta-alueilla, koska porakaivo rajoittaa mahdollisia tunneleiden tai maanalaisten parkkipaikkojen rakentamista sekä tonttien koot ovat pieniä verrattuna haja-asutusalueille, niin kaikille ei voida luvata maalämpökaivon poraamista, koska porakaivoja ei saa porata liian lähelle toisiaan. Keskusta-

alueen maalämmön kieltävää rajausta ei ole vielä päätetty, mutta asiaa käsitellään edelleen.

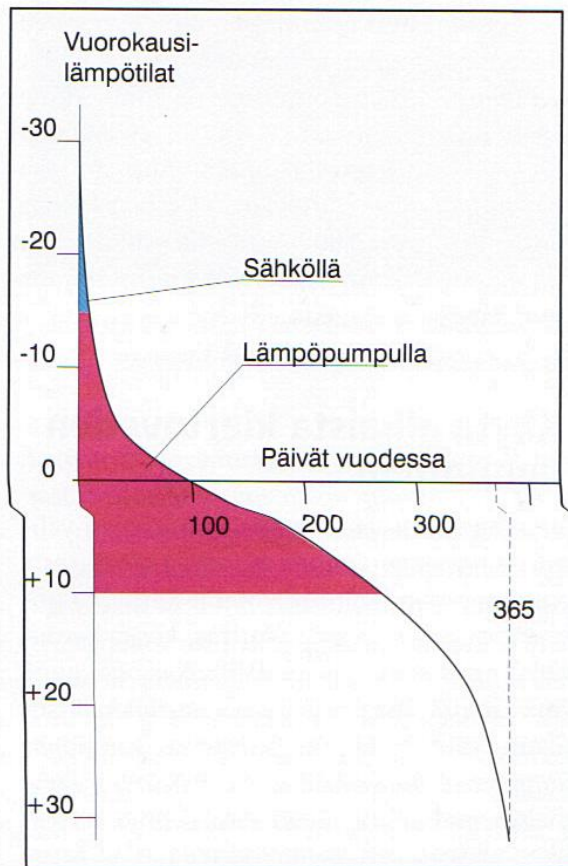
Tonttien luovutusehtoihin voidaan määritellä joissain alueilla esimerkiksi kaukolämpöön liittyminen, mutta tätäkään ei ole toteutettu Tampereella rakennusvalvonnan mukaan. Kilpailu on haluttu pitää vapaana, eikä ole ollut tarkoitus edistää jotain tiettyä lämmitysjärjestelmää. Muissa Pirkanmaan kunnissa kaavoitus ja luovutusehtojen määritelmät maalämpöön liittyen on myös kesken. (Brunnila 2011)

3.2.3 Osa- vai täysteho mitoitus

Rakennuksen lämmitystarve riippuu sääoloista. Rakennukset tarvitsevat lämmitystä vain niinä vuorokausina, joiden aikana keskimääräinen ulkolämpötila alittaa 10 astetta. Ulkoilman päivittäinen lämpötila vaihtelee paitsi vuodenajan myös sään mukaan.

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa täysi- tai osateholle. Täysteholle mitoitettaessa lämpöpumppu tuottaa rakennuksen ja lämpimän veden lämmityksen kokonaan aina ulkolämpötilan mitoittavaan lämpötilaan asti. Pirkanmaan alueella mitoittava ulkolämpötila on $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Osateholle mitoitettaessa lämpöpumppu kattaa pääosan rakennuksen lämmitysenergia tarpeesta, mutta tarvitsee tuekseen esimerkiksi sähkövastuksen kovilla pakkasilla. Alueilla joissa kovia pakkaspäiviä on verrattain harvoin, on mitä todennäköisimmin edullisempaa mitoittaa lämpöpumppu osateholle ja tuottaa huipputeho jollain toisella lämmitystavalla. (Perälä 2009, 65; Juvonen 2009, 23)

Jos lämpöpumppu tehoksi valitaan 50- 70 % huipputehosta, sillä saadaan tuotettua noin 85- 98 % tarvittavasta lämpöenergiasta. Kovia pakkasia on suhteellisen vähän vuodessa (KUVIO 2). Tällöin lämpöpumppu käy hyvällä lämpökertoimella pitkiä ajanjaksoja lämmityskaudella, ja muutamat päivät katetaan esimerkiksi sähkövastuksilla. Tämä lisävastuksella tuotettu sähköteho on merkittävästi pienempi, kuin mitä täystehoinen lämpöpumppu kuluttaisi vuodessa sähköä. Osateho mitoitus vähentää myös merkittävästi kompressorin käynnistyskertoja, koska osatehoinen lämpöpumppu joutuu käymään pidempiä ajanjaksoja saavuttaakseen saman lämpömäärän kuin täysitehoinen lämpöpumppu. Käynnistyskerrat aiheuttavat ylimääräistä sähkönkulutusta, kompressorin kulumista sekä lämpökertoimen alenemista. (SULPU 2011)



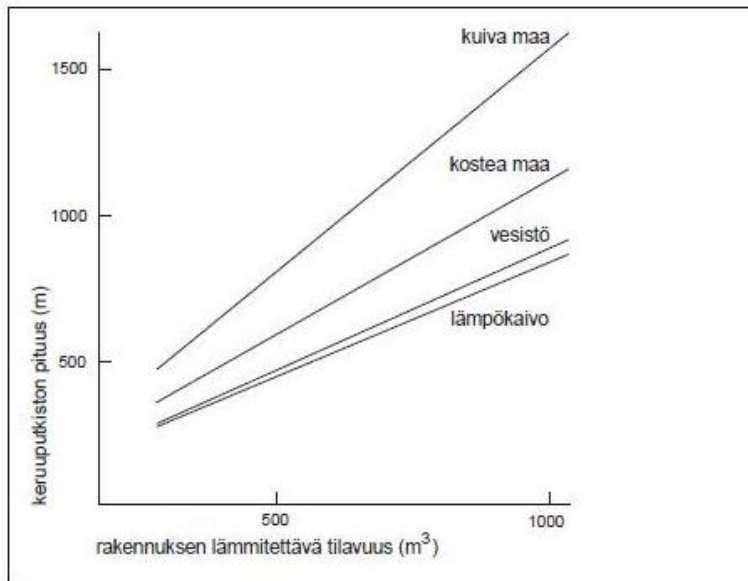
KUVIO 2. Maalämpöjärjestelmän osatehomytös ja lisälämmityksen tarve (Perälä 2009 , 65.)

3.2.4 Maaperä ja tontti

Maaperän kosteusolosuhteet, alueellinen sijainti ja maalajit vaikuttavat lämmönkeruuputken pituuteen ja lämpöenergian saantiin. Taulukossa 1 on esitetty maalajien ja sijainnin vaikutuksia lämpöenergian saantiin. Kuviossa 3 on esitetty lämmönkeruuputkiston pituus eri lämmönkeruujärjestelmillä. Mitä kosteampi maaperä sitä parempi on lämmöntuotto. (Juvonen 2009, 9)

TAULUKKO 1. Maasta vuotuisesti saatua lämpöenergian ohjeellisia arvoja (Rakennustietosäätiö, LVI-keskusliitto 2002)

Sijainti	Lämpöenergia kWh/putkimetri	
	Savi	Hiekka
Etelä-Suomi	50...60	30...40
Keski-Suomi	40...45	15...20
Pohjois-Suomi	30...35	0...10



KUVIO 3 lämmönkeruuputkiston pituuden eri lämmönkeruujärjestelmillä (Rakennustietosäätiö 2001)

Porakaivoja suunniteltaessa tulee ottaa huomioon maaperä ja kallioperän syvyys. Esimerkiksi savialueilla ja korkeilla harjuilla joudutaan laittamaan suojaputki kalliopintaan asti, joka nostaa porauskustannuksia. Poraus kustannukset maa-aineksessa ovat noin 80 €/m ja kalliassa noin 30 €/m. Normaalisti kallioperä on 10- 20 metrin syvyydessä, jolloin poraaminen on kannattavaa. Jos kalliopinta on edellä mainittua paljon syvempi voi porauskustannukset nousta odotettua korkeammaksi. Jokaiseen kohteeseen tulisi tehdä huolellinen maaperätutkimus ja kannattavuuslaskelma. (Suomen kiinteistölehti 1/2010, 32.)

Lämpökaivoille on määritelty suositeltuja minimietäisyyksiä muista kaivoista ja rakennelmista. (Taulukko 2) Lämpökaivojen välisistä minimietäisyyksistä voidaan poiketa, jos yksi tai useampi rei'istä on vinoreikä. Tällöin reikiä voidaan porata noin 5 metrin välein, jos porakaivojen kaltevuuskulma on riittävä. Sopiva kaltevuuskulma riippuu vierekkäisten reikien määrästä ja syvyydestä. Naapurin puolelle menevään vinoreikään tai tontin rajaa lähemmäksi kuin 8 metriä olevaan porakaivoon tulee olla naapurin suostumus.

Tontin pinta-ala voi olla este joissain kerrostalokohteissa, jos joudutaan poraamaan useita kymmeniä porakaivoja. Mitä suurempi lämmöntarve, sitä enemmän tarvitaan lämpökaivoja ja tontilta pinta-alaa. Lämpökaivoja ei tule sijoittaa rakennuksen alle, koska myöhemmät huoltotyöt vaikeutuisivat kohtuuttomasti. Rakennuksen viereen sijoitettuun lämpökaivoon tulee huolehtia, ettei kaivon paikka estä kulkua rakennukselle tai haittaa kunnossapitoa, eivätkä sade-, sulamis-, ja kuivatusvedet pääse kaivon kautta pohjaveteen. Pintavesien valuminen estetään kaivon suojaputkella, joka ulottuu kallioon asti sekä kaivon yläpään tehdään vajaan metrin syvyinen suojakannella varustettu huoltokaivo. Huoltokaivoa ei aina käytetä, vaan kaivonkohta voidaan peittää hiekalla.

TAULUKKO 2. Suositeltavia minimietäisyyksiä lämpökaivosta (Juvonen 2009, 22; SULPU 2011)

Kohde	Minimietäisyys
Lämpökaivo	15 m
Porakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Tontin raja	8 m
Rakennus	3 m
Viemärit ja vesijohdot	5 m
Kiinteistökohtainen jätevedenpuhdistamo	kaikki jätevedet 30 m, harmaat vedet 20 m

Tarvittava tontin pinta-ala lämpökaivoille on esitetty Taulukossa 3 sekä kuviossa 4

jossa

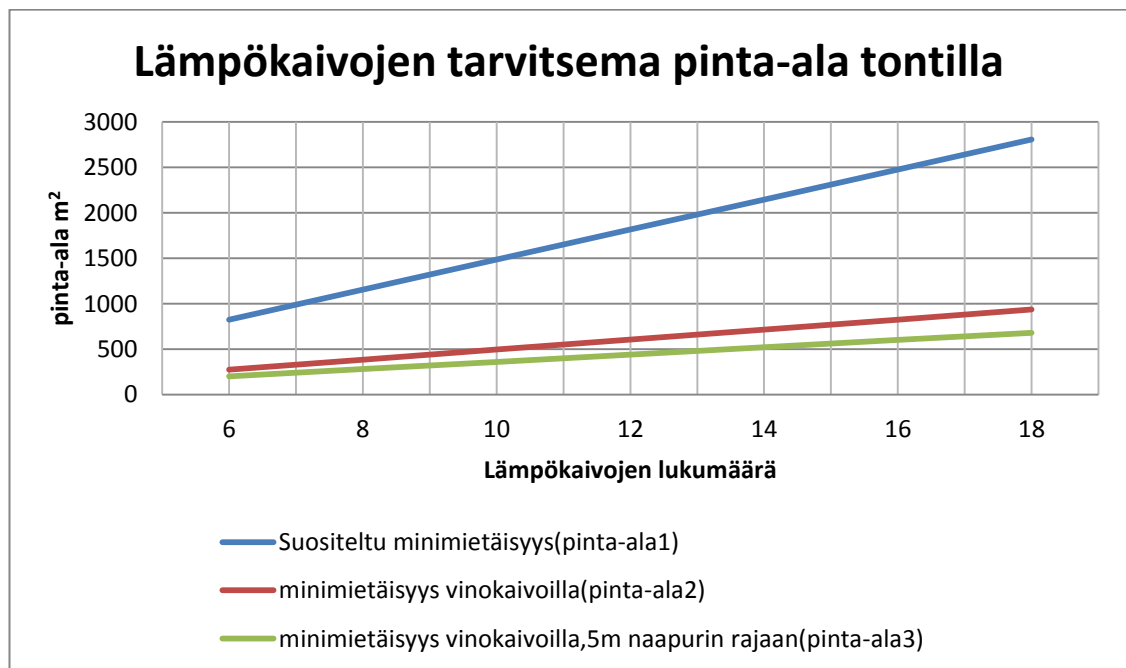
pinta-ala 1 on laskettu suositeltujen minimietäisyyksien mukaan (3 m rakennuksesta+8 m tontin raja * 15 m lämpökaivojen väli * lämpökaivojen välien lukumäärä)

pinta-ala 2 on laskettu vinoon poratuilla rei'illä (vaatii naapurin suostumuksen jos kaivo ylettyy naapurin puolelle) (3 m rakennuksesta+8 m tontin raja* 5 m lämpökaivojen väli * lämpökaivojen välien lukumäärä)

pinta-ala 3 on laskettu vinoon poratuilla rei'illä sekä 5 m naapurin rajaan (vaatii naapurin suostumuksen) (3 m rakennuksesta+5 m tontin raja* 5 m lämpökaivojen väli * lämpökaivojen lukumäärä)

TAULUKKO 3 Lämpökaivojen tarvitsema pinta-ala

Lämpökaivoja	6	8	10	12	14	16	18
pinta-ala 1 (m ²)	825	1155	1485	1815	2145	2475	2805
pinta-ala 2 (m ²)	275	385	495	605	715	825	935
pinta-ala 3 (m ²)	200	280	360	440	520	600	680



KUVIO 4 Lämpökaivojen tarvitsema pinta-ala

Kerrostalo-kohteissa tarvitaan monta porakaivoja, joten 15 m minietäisyys pyritään välttämään poraamalla kaivot vinoiksi. Tällöin pinta-ala 2 antaisi lämpökaivojen tarvitseman tontin pinta-alan. Kiinteistöt ja asukkaiden parkkipaikat vievät suurimman osan tonttialasta, joten suurilla kiinteistöillä voi olla ongelmia sijoittaa tarvittava määrä lämpökaivoja tontille.

3.2.5 Lämmitystilan tarve

Suuret lämpöpumput tulee sijoittaa tekniseen tilaan. Tekninen tila tulee suunnitella niin, että kaikilla tilaan sijoitettavilla laitteilla on niiden käytön ja huollon vaatimaa vapaata tilaa riittävästi ympärillä. Vesivaraajan sisältävä lämpöpumppu tarvitsee tilaa noin 1-2 m² ja erillisellä varaajalla varustettu tarvitsee tilaa noin 3-4 m². Suurissa kohteissa vesivaraajia ja lämpöpumppuja voi olla useampia. Tällöin lämpöpumput kytketään rinnan. Teknisen tilan oven leveyden tulisi olla moduulimitoiltaan vähintään 10M, jotta saadaan lämpöpumput kuljetettua tekniseen tilaan. (Rakennustietosäätiö 2001)

Maalämmityslaitteisto ei edellytä tilalta erityisiä vaatimuksia paloturvallisuuden tai ilmastoinnin suhteen, mutta mahdollisten vesivuotojen vuoksi tulisi lattia vedeneristää sekä varustaa tila lattiakaivolla ja vesipisteellä. Lämpöpumput voivat painaa jopa 800 kg käyttökunnossa. Paino tulisi ottaa huomioon alapohjaa suunniteltaessa. Kompressoireiden äänitaso voi edellyttää paremmin äänieristettyjä seiniä. Väliseinärakenteen ilmaääneneristysluku tulisi olla vähintään 43db. Runkoäänät tulisi estää pumppujen kelluvalla asennuksella. (Rakennustietosäätiö 2001)

3.3 Lämmönlähteet

Maalämpöä voidaan saada maaperästä, kalliosta, teollisuuden jätevesistä, pohjavesistä ja pintavesistä. Lämmönlähteestä lämpö siirtyy lämpöpumpulle keruuputkiston ja siinä kiertävää nestettä pitkin. Lämmönkeruuputkisto sijoitetaan suoraan lämmönlähteeseen. Lämmönkeruujärjestelmä tulee suunnitella alan ammattilainen, koska kustannuksiltaan lämmönkeruujärjestelmä on yksi suurimmista investoinneista maalämpöpumppua hankittaessa. Lämmönkeräysjärjestelmän valintaan vaikuttavat tontti, maaperä ja pintakallion syvyys. Pitkäaikaisen toiminnan varmistamiseksi keruupiiriä ei saa alimitoitaa. Mi-

toitus tulee tehdä rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen mukaan, ei lämpöpumpun tehon mukaan.

3.3.1 Lämpökaivo

Lämpökaivolla tarkoitetaan kallioon porattavaa porakaivoa, jota käytetään lämpöpumpun lämmönlähteenä. Lämpökaivon käyttö lämmönlähteenä perustuu pohjaveden ja peruskallion lämmönsiirtoon. Lämpökaivosta saatava energia riippuu kaivon veden tuotosta eli kuinka paljon vesi siirtää lämpöenergiaa peruskalliosta. Lämpö otetaan kallioon sijoitetulla suljetulla muoviputkistolla, jossa kiertää pakkasen kestävä keruuliuos. (SULPU, lämpöjärjestelmän suunnittelu 2011.)

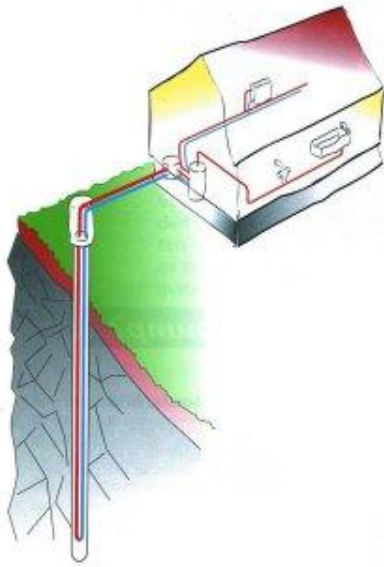
Lämpökaivon hyötyinä ovat muun muassa; lämpökaivosta saatava energia on ainakin kaksinkertainen verrattuna vaakaputkistoon, lisäksi vältetään mittavilta kaivaustöiltä tontilla ja saadaan pitkäikäinen, routimaton ja helposti ilmattava järjestelmä. (SULPU 2011.)

Suunnitteluvaiheessa on vaikea tietää porakaivon tarkkaa syvyyttä, sillä veden tuoton arviointi on lähes mahdotonta. Tyypillinen porareian halkaisija on 130- 160mm ja syvyys vaihtelee 100- 200m. Käytännössä porakaivoa ei kannata porata 200 metriä syvempään, vaan suurissa järjestelmissä tulee porata useita lämpökaivoja, jotka kytketään rinnakkaisiksi putkisilmukoiksi erillisessä ulkoisessa kytkentäkaivossa, jolloin pumpauskustannukset eivät kasva suhteettoman suuriksi. (SULPU 2011; Aittomäki 2001, 17–18.)

Kaivoon upotettavat putket voivat olla 2-, 3- tai 4-putkijärjestelmiä. Yleisin näistä on 2-putkijärjestelmä, jossa toisessa putkessa pumpataan liuos kaivon päin ja toisesta putkesta liuos palaa höyrystimelle. Putket liitetään alapäästään silmukaksi messinkisellä U-kappaleella, lisäksi putkistoon lisätään paino joka vetää putket alas. (SULPU 2011)

Lämpökaivon aktiivisella syvyydellä tarkoitetaan putkiston osaa, joka on vuodenaikasta riippumatta veden peitossa. Suunnittelussa tulisi olettaa kaivon olevan ns. kuivakaivo, jolloin siitä saatava energia on pienempi kuin märkä kaivosta. Tällöin vältetään alimitoitukselta. Kuivakaivo voidaan myös täyttää vedellä, mutta tällöin on otettava huomioon, ettei kaivo pääse jäätymään. (SULPU 2011). Kuviossa 5 on esitetty kallio lämmön-

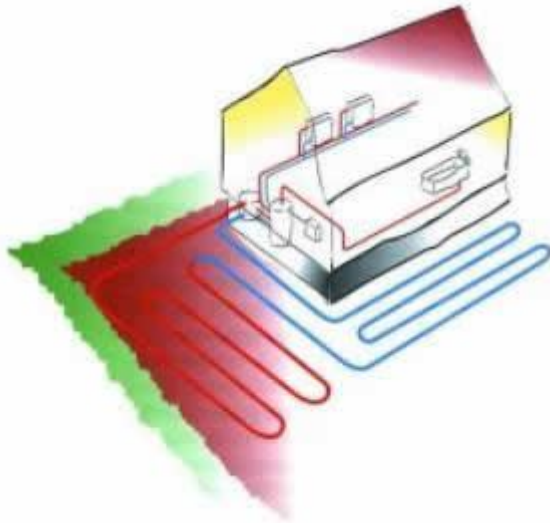
lähteenä. Kaupunki ja asemakaava-alueilla lämpökaivo on yleensä maalämmön keruujärjestelmistä ainoa vaihtoehto lämmönlähteeksi, johtuen tonttien koosta.



KUVIO 5 Porakaivo (SULPU 2011)

3.3.2 Vaakaputkisto

Vaakaputkistolla tarkoitetaan tontin pintakerrokseen asennettavaa lämmönkeruuputkistoa (Kuvio 6). Vaakaputkistoa suunniteltaessa tärkeimpiä asioita on maalaji sekä riittävän suuri tontin pinta-ala. Merkittävin mitoittava tekijä on lämmönjohtavuus ja kosteuspitoisuus, jotka vaihtelevat suuresti ja näiden selvittämiseen tulisi suunnittelu vaiheessa selvittää tarkasti. Vaakaputkisto asennetaan 1- 1,2 metrin syvyyteen maanpinnasta. Vaakasuunnassa putkien etäisyys tulee olla ainakin 1,5 metriä. Putkena käytetään yleensä normaalia vesijohtoputkea PELM NS32, NS40 ja NS50/NP 10 Putkien alla eikä päällä saa olla isoja kiviä, sekä keruuputkiston päälle ei saa rakentaa rakennuksia. Keruuputkiston alueeksi ei sovi myöskään alue, jota aurataan talvella, joten nämä ehdot rajaavat useimmiten pois vaakaputkiston käytän kerrostalokohteissa. (SULPU 2011)

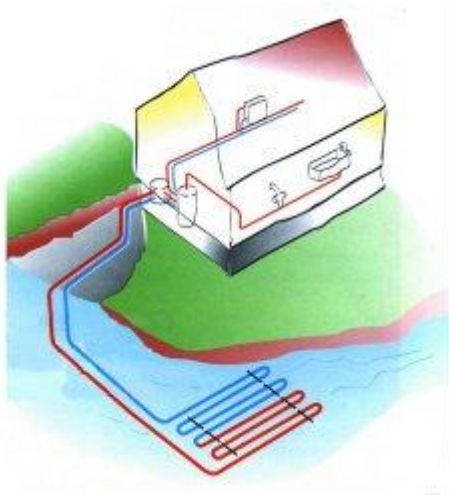


KUVIO 6 Maakeruuputkisto (SULPU 2011)

3.3.3 Vesistöt

Vesistöt soveltuvat lämmönlähteiksi, jos ne ovat jo rannasta 2 metriä syviä. Lämmönlähteiksi sopivat lammet, järvet ja merenrannat. Vesistöjä voidaan käyttää kahdella tavalla. Ensimmäiseen tapaan sovelletaan samaa tekniikkaa kuin maapiireissäkin, mutta putket täytyy ankkuroida hyvin vesistön pohjaan, ettei putkisto irtoa pohjasta ja mahdollinen putkivaurion riski kasvaa. Toinen mahdollinen tapa on vesistön suora pumppaaminen höyrystimeen ns. avoin järjestelmä. Veden pumppaaminen vaatii tarkkaa seuranta, joten tämä menetelmä ei ole kovin yleinen. Vesistöistä vuodessa saatu teho on noin 50- 70 kWh/m. Vesistöön asennettavan putkilenkin enimmäispituus on 400 metriä, ja jos tämä ylittyy, tulisi putkisto jakaa kahteen rinnakkaiseen lenkkiin. (SULPU 2011) Vesi- ja maakeruupiiri ovat kustannuksiltaan samaa hintaluokkaa, mutta pitkä matka rannasta kiinteistölle lisää vesistökeruupiirin kustannuksia. (Perälä 2009, 61.)

Vesialueeseen sijoitettu lämmönkeruuputkisto vaatii vesialueen omistajan suostumuksen. Pirkanmaalla vesistöön sijoitettavasti lämmönjakoputkistosta tulee tehdä vesirakennusilmoitus Pirkanmaan Ely- keskukselle. Tämän jälkeen Ely- keskus antaa lausunnon vaatiiko toimenpide aluehallintoviraston lupaa. (Brunnila 2011.) Virtaaviin jokiin ja laivaliikenteen alueille ei suositella rakentamaan keruuputkistoa, koska laivojen ankkurit voivat vahingoittaa putkistoa. Kuviossa 7 on esitetty vesistölämmönlähteenä.



KUVIO 7 Vesistölämmönlähteenä (SULPU 2011)

3.4 Lämmönjakojärjestelmä

Tässä työssä tarkastellaan lämmönjakojärjestelminä vesikiertoista lattialämmitys sekä patteriverkostoa. Hintatiedot on saatu YIT Rakennus Oy:ltä. Lämmönluvutuksella on tärkeä osa lämpökertoimella, koska mitä matalampi luovutuslämpötila, sitä parempi lämpökerroin. Lämpökertoimen huononeminen nostaa käyttökustannuksia, joka vaikuttaa kokonaiskustannuksiin. Taulukossa 4 on esitetty kompressorin lämpökertoimen muutokset luovutuslämpötilan noustessa.

”Lämpöpumppu toimii sitä paremmalla lämpökertoimella mitä matalammalla lämpötilatasolla se luovuttaa lämmön. Tämän vuoksi se on erityisen sopiva esimerkiksi lattialämmitykseen ja ilmalämmitykseen.” (Hakala 2007, 225)

TAULUKKO 4. Käyntiolosuhteiden vaikutus kompressorin lämpökertoimeen (Hakala 2007, 225)

Käyntiolosuhteet	Lämpökerroin
-5/+40°C	3,7
-5/+45°C	3,3
-5/+50°C	3,0
-5/+55°C	2,7
-5/+60°C	2,4

Seuraavassa tarkastelussa lasketaan Akaan Eemelin lämmönjakojärjestelmien kustannuksia, jossa lämmitettävän alueen pinta-ala on 1450 m².

Lattialämmitys 20 €/m² * 1450 m² = 29 000 €

Pintalattia 33 €/m²* 1450 m² = 47 850 €

Patteriverkosto 15 €/m²* 1450 m² = 21 750 €

Lattialämmityksen ja patteriverkoston hintaero Akaan Eemelissä on 7250€. Liitteenä olevissa energialaskelmissa lämpöpumpulla ostettava kokonaisenergia noin 50 000 kWh/vuosi. Jos Lämpöpumpun lämpökerroin pienenee 3,3 -> 2,7 nousee kokonaisenergiankulutus (3,3* 50000 kWh/2,7 = 61 000 kWh) noin 10 000 kWh/vuosi. Sähköenergianhinta on laskelmissa 0,12 €/kWh, niin vuotuinen käyttökustannus nousisi 1200€. Lattialämmitys maksaisi tällöin itsensä takaisin kuudessa vuodessa verrattuna patteriverkoston, jossa lämpökerroin on huonompi korkeamman käyntiolosuhteen vuoksi. Jos lämmitysjärjestelmän valinnassa mietitään mukavuustekijöitä, niin silloin lattialämmityksen etuina on ikkunoiden alla oleva vapaa tila sekä lattiasta saatu tasainen lämpö. Mielestäni lattialämmitys on parempi vaihtoehto lämmönjakojärjestelmänä kuin patteriverkosto, kun käytetään lämpöpumppua lämmönlähteenä.

Lattialämmityksen hintaa nostaa huomattavasti, jos lattiaan tehdään erillinen pintalattia, jolloin välipohjaan tulee eristys sekä toinen valukerta. Tämä nostaisi lattialämmityksen hinnan 77 850 €. Tällöin pintalattian takaisinmaksu patteriverkoston verrattuna nousee 45 vuoteen, jolloin pintalattian teko ei ole järkevää, kun mietitään pelkästään kustannuksia ja takaisinmaksua.

Pintalattian hyötyinä on lämmityksen hyvä säädettävyys, jolloin voidaan nopeasti muuttaa haluttu lämpötila. Mukavuustekijänä tämä on parempi vaihtoehto kuin suoraan välipohjaan laitettava lattialämmitys, jossa lämpötilan vaihtelu on hitaampaa kuin pintalattiasissa, koska lattialämmitys lämmittää koko välipohjaa ja näin ollen lämpötilan vaihtelu on hidasta. Lattialämmitys asennettuna suoraan välipohjaan lämmittää myös alakerran kattoa. Tämän ei kuitenkaan pitäisi nostaa alakerran asunnon lämpötilaa, koska kylmempi ilma on lämmintä ilmaa raskaampaa ja näin ollen se ei vaikuta huoneiston oleskeluvyöhykkeen lämpötilaan, joka mitataan 170cm korkeudelta lattianpinnasta.

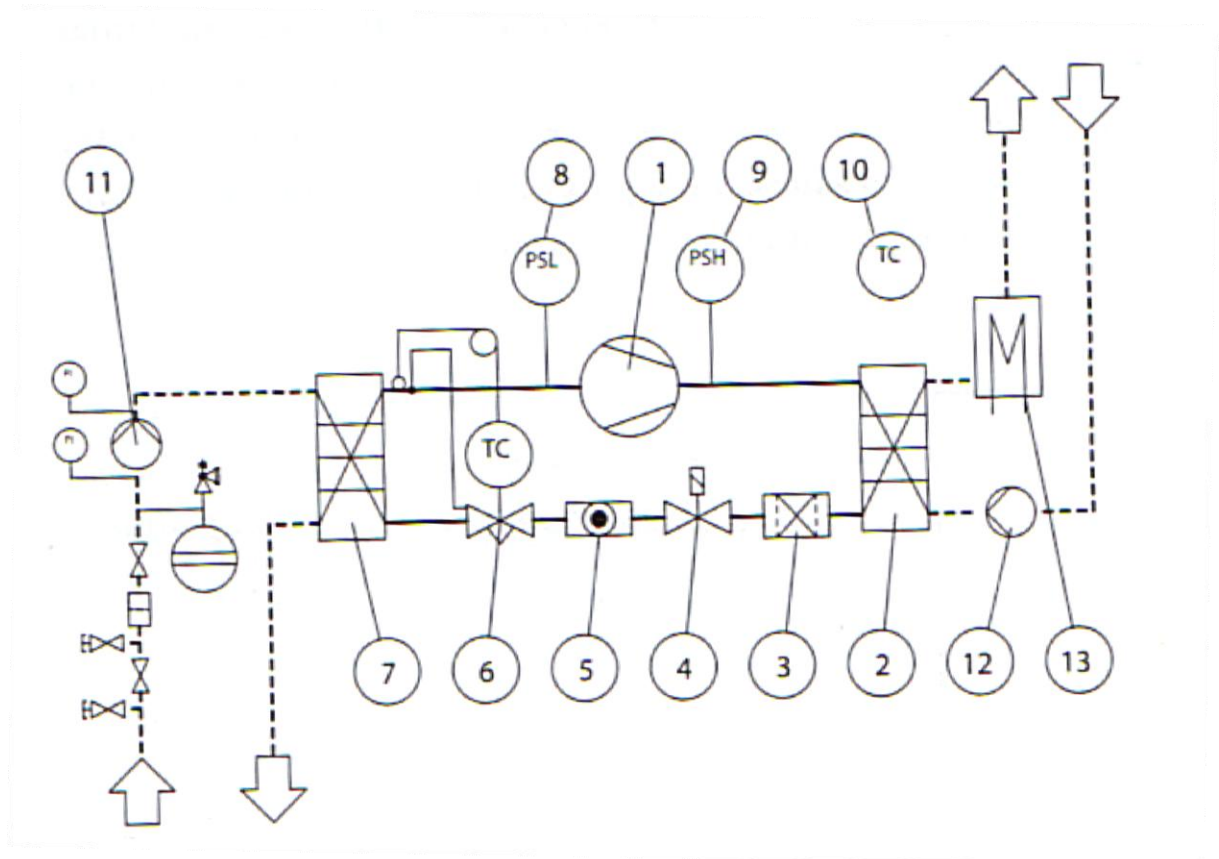
Markkinoilla on myös matalalämpöradiaattoreita, jotka on tarkoitettu maalämpöjärjestelmille sopiviksi. Niissä kiertävän veden lämpötila on matalampi kuin normaaleissa radiaattoreissa. Lämpöpumpun lämpökerroin ei tällöin laske samalla tavoin kuin normaaleissa radiaattoreissa. Matalalämpöradiaattorit ovat kooltaan suurempia ja hinnaan hieman kalliimpia kuin normaalit radiaattorit.

Lattialämmitys ja matalalämpöradiaattorien yhdistelmä voisi olla ratkaisu lämmityksen säädettävyyteen, koska radiaattoreilla voidaan säätää nopeammin haluttu lämpötila kuin lattialämmityksessä. Lattialämmitys ja matalalämpöradiaattorit voitaisiin pitää rinnakkaisina järjestelminä koska niissä kiertää saman lämpöinen lämmitysvesi. Yhdistelmäverkosto tulee luultavasti halvemmaksi kuin erillisen pintalattian teko.

3.5 Kytkenät

Pelkistetyn lämpöpumpun kytkennät on kuvattu kuviossa 8. Kuvan numeroidut osat esittävät:

- 1 kompressori
 - 2 lauhdutin
 - 3 suodatinkuivain
 - 4 mahdollisesti magneettiventtiili
 - 5 nestelasi
 - 6 paisuntaventtiili
 - 7 höyrystin
 - 8,9 matala- ja korkeapaine kytkimet
 - 10 säädin
- Lisäksi voi olla
- 11 lämmönkeruuputkiston pumppu
 - 12 lämmityspiirin pumppu
 - 13 sähkövastus, lisälämmitystä varten

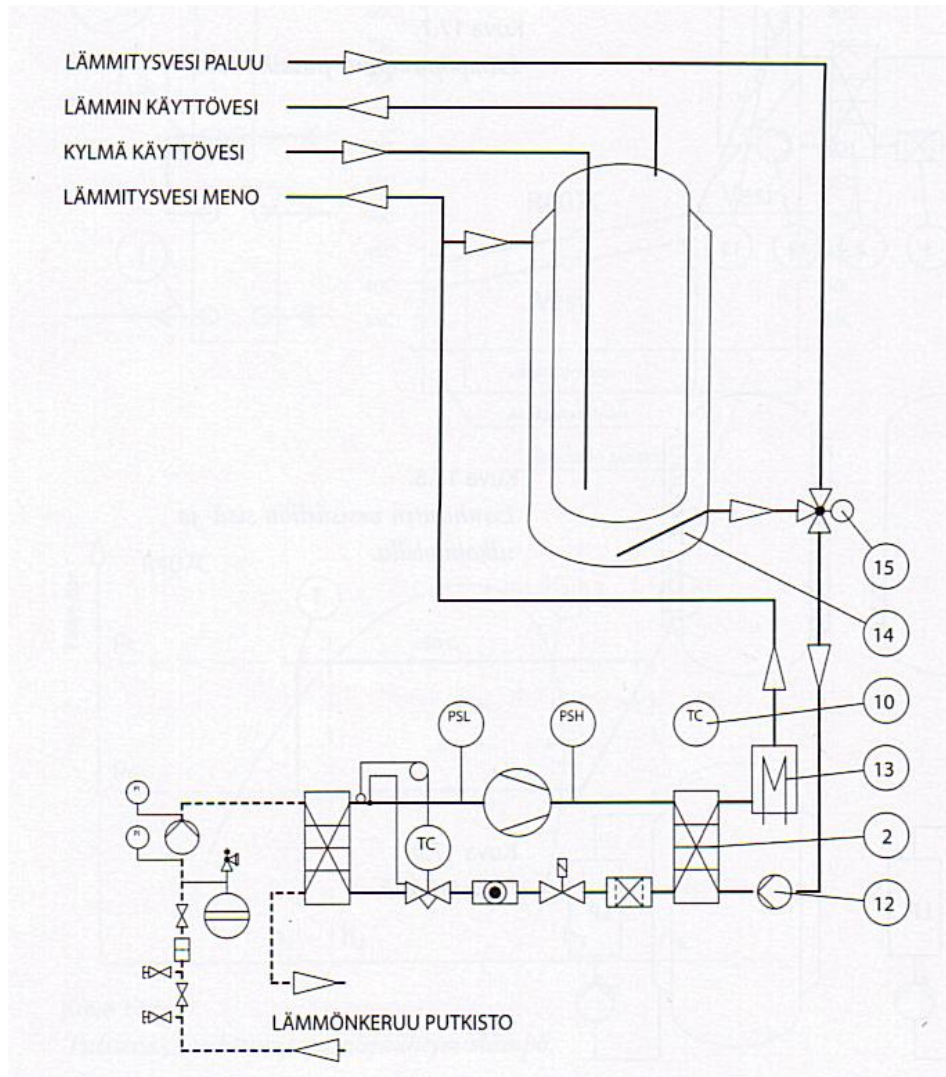


KUVIO 8 lämpöpumppu, putkikaavio (Hakala 2007, 229)

Tällä hetkellä myynnissä olevista lämpöpumpuista suurin osa on ns. ruotsalaismallisia lämpöpumppuja, mitkä toimivat kuvion 9 periaatteella. Perustana on kuvio 8, johon on lisätty:

14 Vaipallinen käyttövesisäiliö

15 käyttöveden lämmityksen 3- tieventtiili

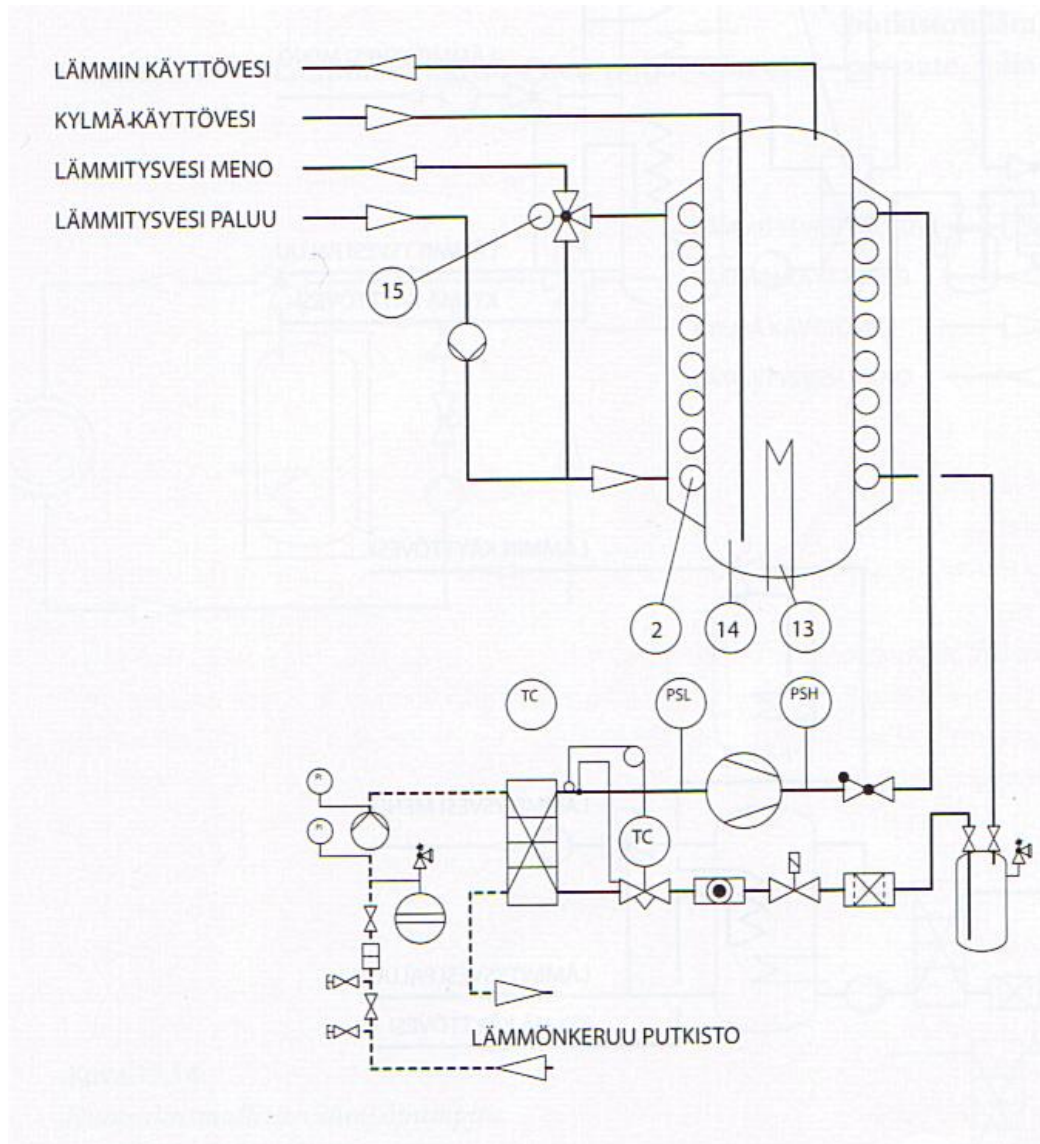


KUVIO 9 Lämpöpumppu, jossa vaipallinen käyttövesisäiliö (Hakala 2007, 230)

Lämpöpumpun säädin (10) priorisoi käyttöveden lämmityksen. Tämän jälkeen 3-tieventtiili ohjaa lämpöpumpun lämmittävän veden kiertämään käyttövesisäiliön vaipan kautta. Tarvittaessa voidaan lauhduttimessa (2) kiertävää lämmitysvettä lisä lämmittää sähkövastustuksella (13). Käyttövesisäiliön lämpötila tulisi nostaa ajoittain vähintään 55 °C lämpötilaan, jotta vältetään Legionella- bakteerin aiheuttamat riskit. Muulloin säädin ohjaa huonelämpötilan perusteella kompressorin ja sähkölämmittimien toimintaa sekä lämmityksen 3-tieventtiiliä. Tällä tavalla pyritään käyttämään kompressoria mahdollisimman matalalla lauhtumislämpötilalla. Lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa tulisi varmistaa, että lauhduttimen vesivirta pysyy lähes vakiona. Jos vesivirta pienenee, nousee taas lauhdutuslämpötila, jolloin koneiston lämpökerroin huononee. Osatehoisessa lämpöpumpussa käyttöveden loppulämmitys tehdään yleensä sähköllä. Täysitehoisella maalämpöpumpulla voidaan hyödyntää tulistuksen poistoa käyttöveden loppulämmityk-

seen. (Hakala 2007, 230.) Ruotsalaismallisessa lämpöpumpussa käyttövesi ja lämmitysverkoston vesi ovat erillisiä järjestelmiä, kuten kuviossa 9 on esitetty. Vaihtuvassa lauhdutuksessa lämmitykseen lämpötilataso tuotetaan lämpötila-antureiden perusteella, näissä ei ole kiinteää toimintapistettä jolloin höytysuhde paranee. Tällöin pyritään käyttämään kompressoria mahdollisimman matalalla lämpötilalla. 1 °C lauhtumislämpötilan nosto huonontaa lämpökerrointa 3 %. Käyttöveden lämmitys priimataan usein sähkövastuksella, joka taas nostaa hieman sähkönkulutusta. (Hakala 2007, 211)

Lauhdelämmöstä on 15- 20 % tulistuslämpöä, jolla vesi voidaan lämmittää jopa 85 °C lämpötilaan. Tulistuslämmön määrä riippuu kylmäaineesta ja käyttöolosuhteista. Kompressorista lähtevä kuuma, tulistunut höyry johdetaan tulistuslämmönvaihtimen kautta lauhduttimeen. Veden tulisi kiertää tulistuksen poistovaihtimen ja käyttöveden lämmitys säiliön yläosan kautta. Tätä kutsutaan kiinteäksi lauhdutukseksi, koska varaajaan ajetaan etukäteen syötettyä lämpötilaa. Tällä ratkaisulla voidaan säästää käyttöveden lämmittämisessä noin 10 % verrattuna järjestelmään, jossa lämpötilan loppunosto tehdään sähkövastuksilla. Tulistuslämpöä ei tule käyttää muuhun lämmittämiseen, koska sitä on vain pieni osa lauhdelämmöstä. (Hakala 2007, 232.) Kuviossa 10 on esitetty lämpöpumppu, jossa lauhdutin on käyttövesisäiliön vaipassa.



KUVIO 10. Varaajamallinen lämpöpumppu (Hakala 2007, 231)

Jossa

- 2 Lauhdutinputkisto
- 13 Lämmitysvastus, poikkeustilanteiden varalta
- 14 Käyttövesisäiliö
- 15 3-tiemoottoriventtiili, lämmitysveden lämpötilan säätämiseen

3.7 Kompressorit

Lämpöpumpuissa käytetään mäntä-, scroll- ja ruuvikompressoreita. Kompressoreiden valintaan vaikuttaa mm. lämpökerroin, kestävyys, tilantarve, äänitaso, eristettävyys sekä hinta. Kompressorin on kustannuksiltaan lämpöpumpun kallein osa. (Hakala 2007, 225.)

Kompressorin puristaa pumpussa kiertävän kylmäaineen korkeassa paineessa lauhduttimeen, jolloin kylmäaine kuumenee voimakkaasti. Kompressorin perustyyppi on mäntäkompressorin. Siinä kampiakseli ja kiertokanki liikuttavat mäntää edestakaisin sylinterissä ja kylmäaine virtaa venttiilien ohjaamana sylinteriin ja sieltä pois. (Perälä 2009, 48.)

Suurta kompressoritehoa vaativissa lämpöpumpuissa käytetään useimmiten scroll-kompressoreja. Kerrostalokohteissa tämä on yleisin kompressorityyppi. Rakenteeltaan scroll-kompressorin on melko yksinkertainen, ja siinä on vähän osia, joten se on luotettava ja pitkäikäinen. Venttiilejä ei tarvita lainkaan, joten sen käyntiääni on mäntäkompressorin hiljaisempi. (Perälä 2009, 48.)

Scroll-kompressorin eli toiselta nimeltään myös kierukkakompressorin puristaa kylmäaineen kokoon kahden toistensa kanssa kosketuksessa olevan kierukan väliin jäävässä tilassa. Toinen kierukka pysyy koko ajan paikallaan ja toinen tekee pientä kiertoa kääntymättä lainkaan. Toiminnan aikana ulkolaidalta avautuvaan tilaan imeytyy kylmäainetta, joka siirtyy kierukoiden välissä laidalta kierukoiden keskustaa. Välitila supistuu laidalta kohti keskustaa edetessään, jolloin tilaan jäänyt kylmäaine puristuu samalla kokoon, ja sen paine kasvaa ja lämpötila nousee. Kierukoiden keskelle puristunut kylmäaine purkautuu paineisena ja kuumentuneena eteenpäin lauhduttimeen. Scroll-kompressorin käy tasaisesti liikkuvien mäntien puuttuessa, sekä värinätön käynti vähentää kylmäaineputkien liitoksien vuotoja. Tarvitsemansa voitelun scroll-kompressorin saa kylmäaineen mukana kulkevasta öljystä. (Perälä 2009, 48.)

Ruuvikompressorin toiminta perustuu kahden rinnakkain pyörivän ruuvimaisen männän ja kompressorin kuoren jäävän puristustilaan. Ruuvien pyöriessä puristustila liikkuu päästä toiseen samalla pienentyen. Ruuvien harjojen ohitettua imuportin alkaa puristus, ja se päättyy tilan edettyä poistoporttiin. Ruuvikompressorin etuina ovat yksinkertainen tehonsäätö ja vaarattomuus nesteen joutumisesta kompressorin. Käytetään lähinnä suurissa kohteissa kuten tehtaiden lämpöpumpuissa.

Kompressoreita pyörittävät tavallisesti oikosulkumoottorit. Ne ovat luotettavia, eikä kaipaakaan huoltoa juuri lainkaan. Pienissä lämpöpumpuissa moottorit ovat yksivaihteisia, ja suuremmissa käytetään kolmivaihdemoottoreita. Kompressori ja moottori voivat olla suljettuina hermeettisesti tiiviiseen suojakuoreen, jolloin suojakuorta on käytännössä mahdoton avata, joten vioittunut kompressori on aina korvattava uudella. Vaihtoehtoinen rakenne on puolihhermeettinen kompressori, jota käytetään yleisemmin suuritehoisissa lämpöpumpuissa. (Perälä 2009, 48.)

4 ILMALÄMPÖPUMPUT

4.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumpun lämmönkeruu tapahtuu ulkoilmasta ulkoseinälle sijoitetun höyrystinyksikön avulla, ja lämmönluovutus tapahtuu joko yhden tai useamman lauhdutyksikön avulla rakennuksen sisäilmaan. Järjestelmän haittana on se, että se vaatii suurimman mahdollisen energiantarpeeseen mitoitettua rinnakkaisjärjestelmää. (SULPU 2011, Rakennustietosäätiö 2001)

Ilmalämpöpumppu on pitkälle kehitetty, helposti asennettava ja varmatoiminen laite, joka on ohjattavissa kaukosäätimellä. Haittana on ulkona olevan höyrystinyksikön ja sisätiloissa olevan puhallinkonvektorin puhallinäänet sekä ajoittainen höyrystinpatterin sulatus, joka alentaa lämpökerrointa. (SULPU 2011)

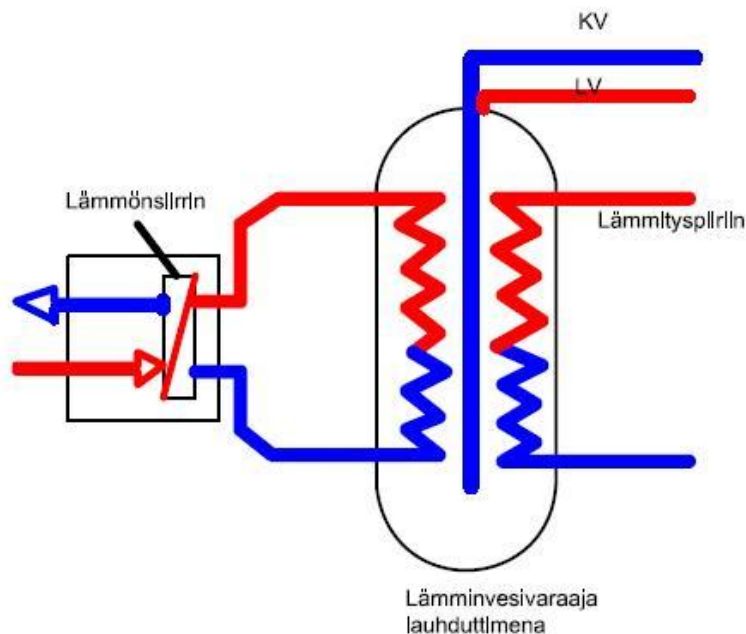
Hankintakustannus on maalämpöpumppua huomattavasti edullisempi, joten ilmalämpöpumppua voidaan asentaa alentamaan lämmityskustannuksia syksyisin ja keväisin, jolloin ulkolämpötila ei ylitä -15 °C . Kesäisin ilmalämpöpumppu toimii myös jäähdytyslaitteena. (SULPU 2011)

Uusissa ilmalämpöpumpuissa käytetään useasti invertteri ohjattuja kompressoreja ja R410 kylmäainetta ja elektronisia paisuntaventtiilejä. Invertteri muuttaa vaihtojännitteen taajuutta ja kompressorin käyntinopeutta vastaamaan lämmöntarvetta. Tällöin usein toistuvat pysähdykset ja käynnistykset jäävät pois, joka auttaa kompressoria kestäämään pidempään. (Perälä 2009, 51.)

4.2 Ilma/vesilämpöpumppu

Ilma/vesilämpöpumppu (ULVP), josta käytetään myös nimitystä ulkoilmalämpöpumppu, on toimintaperiaatteeltaan muuten sama kuin ilma-ilmalämpöpumppu, mutta ilma/vesilämpöpumpun lämpö luovutetaan lauhdutinlämmönsiirtimessä joko käyttöveden esilämmittämiseen ja/tai lämmitysverkoston veteen. Lämpöä voidaan jakaa normaalilla vesikiertoisella järjestelmällä huonetiloihin. Lämmönsiirtoon käytetään sisäyksikössä olevaa lämmönsiirintä. (SULPU 2011, Rakennustietosäätiö 2001)

Hankintakustannus on ilma-ilmalämpöpumpua hieman korkeampi. Ongelma on kookaan ulkoyksikön sijoitus kerrostalokohteissa. Ilma/vesilämpöpumpulla voi tuottaa lämmintä käyttövettä kesäaikaanakin, mutta se ei sovellu kesäaikaiseen jäähdyttämiseen. Lämpöpumpun kaappimallisessa sisäyksikössä on lämminvesivaraaja ja kierto-vesipumppu, joka kierrättää lämmintä vettä lämmitysputkistoissa. Varaajassa on myös sähkövastus, jolla vettä voi lämmittää kovimmilla pakkasilla. Ilma/vesipumpua voidaan ohjata paneelista, joka näyttää ulkoilman, veden ja sisätilojen lämpötilat. Kierto-veden lämpötilaa voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Kuviossa 11 on periaatekuva ilma/vesipumppu järjestelmästä. (Hakala 2007, 73.)



KUVIO 11 Ilma/vesilämpöpumppu toimintaperiaatekuva (Muokattu, SULPU 2011.)

4.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu kerää lämpöä rakennuksen jäteilmasta höyrystin- tai liuospat-
terin avulla. Lämpö luovutetaan lauhdutinpatterin avulla rakennuksen käyttöveden
lämmittämisen varaajaan, lämmitysverkoston veteen tai joissain tapauksissa tuloilmaan.
Kerrostalo kohteissa tuloilmanlämmitystä ei juurikaan käytetä, koska ilmanvaihtuvuus

asettaa rajoitteita ilmalämmitykselle. Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 mukaan rakennuksen ilman tulee vaihtua kahden tunnin aikana. Suurissa kohteissa voidaan joutua käyttämään useita poistoilmalämpöpumppuja, jotta ilmanvaihto saataisiin toimimaan määräysten vaatimalla tasolla. (SULPU 2011) Nykyisten rakennusmääräysten mukaan uudisrakennuksissa poistoilmasta tulee ottaa talteen vähintään 30 prosenttia. Useimmiten vaatimus täytetään ilmanvaihtokoneeseen liitetyllä lämmönvaihtimella, joka ottaa lämpöä poistoilmasta ja siirtää sen tuloilmaan. Poistoilmalämpöpumppu ottaa poistoilmasta lämpöä huomattavasti tarkemmin. (Perälä 2009, s.77)

Poistoilmalämpöpumppu ei vaadi rinnalleen täysimitoitettua rinnakkaisjärjestelmää, koska poistoilman lämpötila pysyy vakiona ulkolämpötilasta riippumatta. Laite kuitenkin tarvitsee rinnalleen toisen lämmitysjärjestelmän, koska poistoilman energiasisältö kattaa vain osan rakennuksen lämmintarpeesta. Hyvinä puolina voidaan pitää edullisempaa investointikustannusta kuin maalämmöllä. Laite sisältää ilmanvaihtolaitteiston ja kesäaikainen jäähdytys on myös mahdollista. (SULPU 2011)

4.4 Reunaehdot

4.4.1 Asennus ja sijoitus

Ilma/vesilämpöpumpun ulkoyksikön sijoitus on kerrostalokohteissa melko hankalaa. Ulkoyksikkö on kooltaan suuri, joten ainoa järkevä paikka olisi kerrostalon katolla. Katolla puhallinäänet ei häiritsisi asukkaita, sekä ulkoyksikön suojaritilä voi olla kevyempi. Katolle täytyy suunnitella kondenssiveden poisto sekä talviaikainen huolto jäätymissen varalle. Ilmalämpöpumpun asennus tulee suorittaa alan ammattilainen. Lämmitystilaa tarvitaan rinnakkaisen järjestelmää varten suunnitellut tekniset tilat. Ilma/vesilämpöpumpuissa kylmätekniikka sijaitsee kokonaisuudessaan ulkoyksikössä, joten erillistä tilaa ei tarvita rinnakkaisen järjestelmän lisäksi. Ilma/vesilämpöpumpun lämpö luovutetaan lauhdutinlämmönsiirtimessä lämmitysverkoston veteen. (Rakennustietosäätiö, LVI- keskusliitto 2002)

4.4.2 Lämpökerroin

Lämpökerroin vaihtelee ilmalämpöpumpuilla ulkoilman lämpötilan mukaan. Ilmalämpöpumpun lämpökerroin laskee -15 °C jälkeen huomattavasti, joten ilmalämpöpumpun käyttäminen alhaisemmissa lämpötiloissa ei ole kannattavaa. Suomen olosuhteissa ilma-ilmalämpöpumpun lämpökerroin vaihtelee vuositasolla malleista riippuen 1,8- 2,2 välillä. Ilma/vesilämpöpumpun lämpökerroin vaihtelee vuositasolla 1,7- 2,0 välillä. (Rakennustietosäätiö, LVI- keskusliitto 2002, SULPU 2011)

Poistoilmalämpöpumpun hyötysuhde ei riipu ulkoilman lämpötilasta, koska poistoilman lämpötila pysyy vakiona. Vuositasolla poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin asettuu 1,5- 2,2 välille. (SULPU 2011)

4.4.3 Lämmönluovutus

Ilma/vesilämpöpumpussa lämpö luovutetaan lämmitysputkistoissa kiertävään lämmitysveteen. Lämmönluovutuksessa voidaan tällöin käyttää lattialämmitystä tai radiaattoreita. Kohdassa 3.4 on käyty läpi tarkemmin lämmönluovutusta.

Ilmalämmitys ei sovellu suuriin kohteisiin, koska ilman täytyy vaihtua Suomen rakentamismääräyksen D2 mukaan kahden tunnin aikana. Ilmalämmitys heikentää tällöin ilmastointia. ((Rakennustietosäätiö, LVI- keskusliitto 2002)

5 JÄÄHDYTYKSEN/VIILENNYS

Jäähdytyksellä tarkoitetaan ilmastoinnin tuloilman jäähdyttämistä. Pääosin tässä työssä tarkastellaan viilennyksestä, koska ilmamäärät eivät riitä ilman kunnollista jäähdytyspalkkiverkosta tehokkaaseen jäähdytykseen.

5.1 Maalämpöpumpulla

Lämpökaivoon laskettua keruuputkistoa voidaan käyttää myös jäähdytykseen. Lämmityskauden aikana keruuputkisto toimii lämmönkerääjänä ja jäähdytystarpeen aikana kalliokyhmän siirtäjänä. Lämpöä ja kylmää voidaan tarvittaessa tuottaa myös samanaikaisesti. Jäähdytystarpeeseen käytetään liuospiirin alhaista lämpötilaa (+7...+10 °C.) Liuosta käytetään rakennuksen ilmastoinnin jäähdyttämiseen kierrättämällä liuospiirin viileää liuosta tuloilmakoneeseen jäähdytyspatterin kautta. Lämpöpumpun lämmönkeruupiiriin asennetaan ylimääräisellä haaroituksella viilennysjärjestelmä, jolloin lämmönkeruupiiriin nestettä kierrätetään ylimääräisen lämmönvaihtimen läpi. Lämmönvaihdin luovuttaa viilennysenergian huoneilmaan. (Rakennustietosäätiö, LVI- keskusliitto 2002.)

Jos viilennyksen yhteydessä on samanaikaisesti lämmitystarvetta, esimerkiksi käyttöveden lämmittämistä, ohjataan jäähdytyspatterilta palaava lämmin liuos maalämpöpumpun höyrystimelle, joka siirtää jäähdytyksessä liuokseen siirtyneen lämmön käyttöveden lauhduttimen kautta. Tällöin höyrystymislämpötila nousee huomattavasti ja lämpöpumppu käy hyvällä hyötysuhteella, jolloin jäähdyttäminen ja veden lämmittäminen on edullista. Käyttökustannus muodostuu ainoastaan kiertovesipumpun käytöstä. Pora-kaivosta saadaan jäähdytysenergiaa noin 20 kWh/m. (Rakennustietosäätiö, LVI- keskusliitto 2002.)

5.2 Ilmalämpöpumpulla

Ilma/vesilämpöpumppua ei voida käyttää rakennuksen jäähdyttämiseen. Poistolämpöpumppuja käytetään myös viilennystarkoitukseen, mutta ne maksavat hieman enemmän kuin pelkkään lämmitystarkoitukseen tarkoitettut poistoilmalämpöpumput.

Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää jäähdytykseen, mutta kerrostalokohteissa ilmalämpöpumppuja ei juurikaan käytetä. Ilmalämpöpumppu toimii 4- tieventtiilin ansiosta käänteisesti verrattuna lämmityskäyttöön. Jäähdytyskäytössä pumpun hyötysuhde ilmoitetaan EER – hyötykertoimella, joka tulee sanoista Energy efficiency ratio. Ilmalämpöpumppu poistaa tehokkaasti kosteutta, joka vaikuttaa sisäilman laatuun. Jäähdytys kustannukset ovat suuremmat kuin maalämmöllä, koska sähköä tarvitaan melkein saman verran kuin lämmittämiseenkin. (Rakennustietosäätiö, LVI- keskusliitto 2002.)

6 MITOITUS

Lämpökaivon keruuputkiston mitoituksessa tärkein yksittäinen tekijä on rakennuksen tilavuus. Mitoitukseen vaikuttavat myös rakennuksen eristystaso, mahdolliset muut lämmönlähteet ja maantieteellinen sijainti. Etelä-Suomessa lämmitystarve on pienempi talvella ja taas kesällä jäähdytystarve on suurempi kuin maan pohjoisosissa. Lisäksi mitoitettaessa tulee huomioida paikalliset pohjavesiolosuhteet ja maakerrosten paksuus. (Juvonen 2009, 23.)

Rakennuksen lämmöntarpeen selvittämisen jälkeen valitaan kooltaan sopiva lämpöpumppu ja mitoitetaan maalämpöjärjestelmän komponentit. Mitoituksessa huomioitavia komponentteja ovat keruuputkiston pituus, lämpökaivon syvyys sekä niiden määrä. Jos lämpökaivoa hyödynnetään käyttöveden lämmittämiseen ja huoneilman jäähdyttämiseen, tulee ne ottaa huomioon mitoituksessa. Myös keruuputkiston vaakaosuus kaivolta lämpöpumpulle voi vaikuttaa korottavasti kustannuksiin, jos niitä ei huomioida laskennassa. (Juvonen 2009, 23.)

Porattaessa lämpökaivon reikä saattaa jäädä kuivaksi, ja se joudutaan täyttämään vedellä. Tällöin tulee kuitenkin varmistaa, ettei vesi pääse jäätymään talvella. Täytön jälkeen tulee tarkistaa mille tasolle vesipinta asettuu täytön jälkeen, ja miten saavutettu tehollinen syvyys vaikuttaa lämmönsaantiin. (Juvonen 2009, 23.)

Lämmönkeruuputkisto kannattaa mieluiten hieman ylimitoittaa kuin alimitoittaa. Ylimitotettu putkisto kuluttaa käytössä enemmän sähköenergiaa suurentuneina pumppauskuiluina ja lisäksi investointikustannus on suhteessa suurempi. Alimitoitettu putkisto johtaa lämmönlähteen hiipumiseen ja sen myötä alhaisempaan höyrystymislämpötilaan ja kompressorin alapaineeseen, minkä seurauksena lämpökerroin huononee ja kompressorin pysäytyskerrat kasvaa. (SULPU 2011)

Lämpöpumppua mitoitettaessa päätetään mitoitetaanko lämpöpumppu osa- tai täysteholle. Osa- ja täystehomitoituksesta on käyty läpi kohdassa 3.2.3.

6.1 Lämpökaivon mitoitus

Lämpökaivon mitoituksesta vastaa yleensä maalämpöjärjestelmän suunnittelija. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että porakaivoa tarvitaan metri asuinneliötä kohti. Eli 1000 asuinneliön asuinkerrostalossa tarvitaan noin 1000 metrin pituudelta lämpökaivoja. Lämpökaivon syvyys vaihtelee 100- 200 metriin, mutta laskennassa voidaan käyttää 200 metriä kaivosyvyytenä. 2- ja 4-putkijärjestelmien eroina on, että 4-putkijärjestelmä pienentää kaivon lämpövastusta, jolloin kaivosta saadaan suurempi lämpövirta. Kaivon syvyyteen eri putkijärjestelmät ei vaikuta, koska kaivon syvyys mitoitetaan rakennuksen vuotuisen energiantarpeen mukaan. (Juvonen 2009, 23; Suomen kiinteistölehti 2010, 32.)

Porakaivosta voidaan saada energiaa jopa 100 kWh/m, riippuen kaivon veden määrästä, jota on vaikea arvioida. Suunnittelussa tulisikin porakaivo mitoittaa ns. kuiva kaivoksi (kerroin 0,5), jolloin energiantuotto on noin 50 kWh/m. Porakaivon todellinen syvyys selviää vasta porauksen ja koepumppauksen avulla. (SULPU 2011, lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu)

Esimerkki lämpökaivon mitoituksesta:

Rakennuksen lämpöenergiantarve 160 000 kWh/a

Lämmöntuotto maalämpöpumpulla, jonka COP = 3,2 -> kerroin $(1-1/3,2) = 0,69$

Lämpökaivoista kerättävä lämpömäärä lasketaan:

$$Q_{\text{maa}} = 160000 \text{ kWh/a} * 0,69 = 110400 \text{ kWh/a}$$

Lämpökaivojen aktiivinen syvyys lasketaan:

$$\text{Kaivo}_S = \left(\frac{110400 \text{ kWh}}{50 \text{ kWh/m}} \right) * 0,5 = 1104 \text{ m}$$

Lämpökaivon aktiivisella syvyydellä tarkoitetaan kaivon sitä pituutta, joka on kaikkina vuodenaikoina veden peitossa.

7 ENERGIALASKELMAT JA KUSTANNUKSET

7.1 Energialaskelmat

Rakennuksen energiankulutuksen laskenta tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon laskenta ohjeen 2007 mukaan. Työn esimerkkikohteena on YIT Rakennus Oy:n kohde Asunto Oy Akaan Eemeli. Energiaselvityslaskennan lähtötiedot ja saadut tulokset ovat ilmoitettu liitteessä 1 Energialaskelmat.

Laskentamenetelmä on energiatasemenetelmä, jossa energiakulutus lasketaan kuukausittain lähtötietojen perusteella. Energiatasemenetelmässä kuukauden aikana rakennuksen sisään tuleva energia on sama kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä. Kuukausien summasta lasketaan vuosikulutus.

Energialaskennan kulku lasketaan vaiheittain aloittaen lämpöhäviöenergioiden laskuisista. Lämpöhäviöenergioihin lasketaan vaipan kautta uloskulkeutuva energia, vuotoilman suuruus ja ilmanvaihdon lämpöhäviöenergiat.

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia lasketaan kaavalla 1.

$$Q_{Joht} = \sum H_{Joht}(T_s - T_u)\Delta t/1000 \quad (1)$$

Rakenteiden epätiiviyksien kautta virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 2.

$$Q_{vuotoilma} = H_{vuotoilma}(T_s - T_u)\Delta t/1000 \quad (2)$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 3.

$$Q_{iv} = H_{iv}(T_s - T_u)\Delta t/1000 \quad (3)$$

joissa

Q_{Joht}	Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh
$Q_{vuotoilma}$	Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh
Q_{iv}	Iltanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia kWh
H_{Joht}	Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö W/K
$H_{Vuotoilma}$	Vuotoilman ominaislämpöhäviö W/K
H_{iv}	Iltanvaihdon ominaislämpöhäviö W/k
T_s	Sisäilman lämpötila, °C
T_u	Ulkoilman lämpötila, °C
Δt	Ajanjakson pituus, h
1000	Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Lämpimän käyttöveden tarvitseva lämmitysenergia lasketaan joko henkilöiden lukumäärän perusteella tai rakennuksen bruttopinta-alan mukaan. Asuinrakennuksessa käytetään pääsääntöisesti henkilöperusteisia arvoja laskettaessa käyttöveden kulutusta.

Lämpöveden tarvitsema lämmitysenergia lasketaan kaavalla 4.

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (4)$$

Lämpimän käyttövedenkulutus lasketaan kaavalla 5.

$$V_{lkv} = V_{lkv,omin,henk} n \Delta t / 1000 \quad (5)$$

joissa

$Q_{lkv,netto}$	Käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia kWh
ρ_v	Veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	Veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
V_{lkv}	Lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{kv}	Kylmän käyttöveden lämpötila, °C
T_{lkv}	Lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
3600	Kerroin, jolla laatumuunnos kilowattitunniksi

$V_{lkv,omin,henk}$	Lämpimän käyttöveden kulutus, dm^3 henkilöä kohden vuoro- kaudessa
n	henkilöiden lukumäärä
Δt	ajanjakson pituus, vrk

Rakennuksen tilojen lämmitykseen kuuluvat huonetilojen ja ilmanvaihdon lämmitys. Laskennassa otetaan huomioon rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat. Lämpöhäviöitä syntyy lämmön kehityksen, siirron ja luovuttamisen aikana. Osa lämpöhäviöenergioista tulee hyödyksi rakennuksen lämmityksessä.

Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergia lasketaan kaavalla 6.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} = Q_{\text{lämmitys,tilat,kehityshäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,jakeluhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,luovutushäviöt}} + Q_{\text{lämmitystilat,säätöhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,varaajahäviöt}}$$

(6)

jossa

$Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}}$	Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat,kehityshäviöt}}$	Lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmön- siirtimien lämpöhäviöenergiat, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat,jakeluhäviöt}}$	Lämmönjakeluverkoston lämpöhäviöenergiat, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat,luovutushäviöt}}$	Lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimien lämpöhäviö- energiat, kWh
$Q_{\text{lämmitystilat,säätöhäviöt}}$	Säätöjärjestelmästä johtuva lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{lämmitys,tilat,varaajahäviöt}}$	Lämmitysvesivaraajan lämpöhäviöenergia, kWh

Laitesähköenergian kulutukseen lasketaan valaistussähkön, ilmanvaihtojärjestelmän sähkön ja muiden laitesähkö laitteiden yhteenlaskettu kulutus ilman lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettävää sähköä.

Laitteiden sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 7.

$$W_{\text{laitesähkö}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + W_{\text{muut laitteet}} \quad (7)$$

jossa

$W_{\text{laitesähkö}}$	Rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus, kWh
$W_{\text{valaistus}}$	Valaistuksen sähköenergiankulutus, kWh
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh
$W_{\text{muut laitteet}}$	muiden laitteiden sähköenergiankulutus, kWh

Lämpökuormien laskennassa otetaan huomioon henkilöiden luovuttama lämpöenergia sekä lämmityslaitteista, valaistuksesta ja sähkölaitteista vapautuva energia. Auringon säteilyenergia otetaan huomioon laskettaessa ikkunoiden läpi tulevaa energiaa. Lopuksi lasketaan rakennuksen lämmittämiseen hyödynnettävä energia.

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia lasketaan kaavalla 8.

$$Q_{\text{henk}} = \phi_{\text{henk}} n \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad (8)$$

jossa

Q_{henk}	Henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
ϕ_{henk}	Henkilön keskimääräisesti luovuttama lämpöteho, W/henkilö

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöstä osa jää vaipan ulkopuolelle ja noin 70 % tulee lämpökuormaksi rakennuksen sisään kaavan 9 mukaan.

$$Q_{\text{lämmityskuorma}} = 0,7 Q_{\text{lämmitystilat, häviöt}} \quad (9)$$

jossa

$Q_{\text{lämmityskuorma}}$	Rakennuksen sisälle tuleva lämpöenergia, kWh
-----------------------------	--

Lämpimän veden käytössä vapautuu rakennuksen sisään lämpöenergiaa, ennen kuin vesi johdetaan viemärin kautta pois rakennuksesta. Lämpimän käyttöveden lämpöhäviöenergia lasketaan kaavalla 10.

$$Q_{lkv,kuorma} = 0,3Q_{lkv,netto} + 0,5Q_{lkv,häviöt} \quad (10)$$

jossa

$Q_{lkv,kuorma}$	Käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{lkv,netto}$	Käyttöveden tarvitsema lämpöenergia, kWh
$Q_{lkv,häviöt}$	Käyttöveden lämpöhäviöenergia, kWh

Sähköenergiankulutuksesta tuleva lämpökuorma voidaan laskea taulukon avulla, jos ei ole tarkempaa tietoa sähkölaitteista ja sähkönkulutuksista. Auringon säteilyenergia oletetaan tulevan ikkunoista suoraan huoneeseen säteilyinä tai välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä. Auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 11.

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (11)$$

jossa

Q_{aur}	Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringonsäteilyenergia kWh/kk
$G_{säteily,vaakapinta}$	Vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-ala yksikköä kohden kWh/(m ² /kk)
$G_{säteily,pystypinta}$	Pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-ala yksikköä kohden kWh/(m ² /kk)
F_{suunta}	Muuntokerroin, jolla muutetaan vaakatasolle tuleva auringonsäteilyenergia pystypinnalle tulevaksi
$F_{läpäisy}$	Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
A_{ikk}	Ikkuna-aukon pinta-ala (karmeineen) m ²
g	Valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Lämpökuormien laskennan jälkeen lasketaan lämpökuormista hyödynnettävä energia. Lämpökuormien energiaa voidaan hyödyntää vain jos samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta sekä säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. Rakennuksen lämpökuormaenergia $Q_{\text{lämpökuorma}}$ lasketaan kaavalla 12.

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmitys,kuorma}} + Q_{\text{lkv,kuorma}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad (12)$$

Lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään lämmityksessä, lasketaan kaavalla 13.

$$Q_{\text{sis,lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (13)$$

jossa

$Q_{\text{sis,lämpö}}$	Lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh
$\eta_{\text{lämpö}}$	Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	Rakennuksen lämpökuormaenergia, kWh

Saatuja energialaskennan tuloksia käytetään laskettaessa rakennuksen lämmitysenergiankulutusta $Q_{\text{lämmitys}}$, joka on tilojen lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden yhteenlaskettu kulutus. Koko rakennuksen energiankulutukseen lasketaan yhteen lämmitysenergiankulutus, laitteiden sähkönenergiankulutus ja jäähdytyksenenergiankulutus.

Tässä työssä tutkitaan rakennuksen lämmityksen ostoenergiankulutusta, joka on lämmitysenergiankulutus jaettuna lämmönlähteen energiankulutuksella. Ostoenergiankulutus lasketaan kaavalla 14.

$$Q_{\text{lämmitys,osto}} = Q_{\text{lämmitys}} / \eta_{\text{lämmitys}} \quad (14)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys,osto}}$	Rakennukseen ostettavan lämmitysenergiankulutus
----------------------------	---

$Q_{\text{l\u00e4mmitys}}$

Rakennuksen l\u00e4mmitysenergiankulutus

 $\eta_{\text{l\u00e4mmitys}}$

L\u00e4mm\u00f6ntuottolaitteen vuosihy\u00f6tysuhde

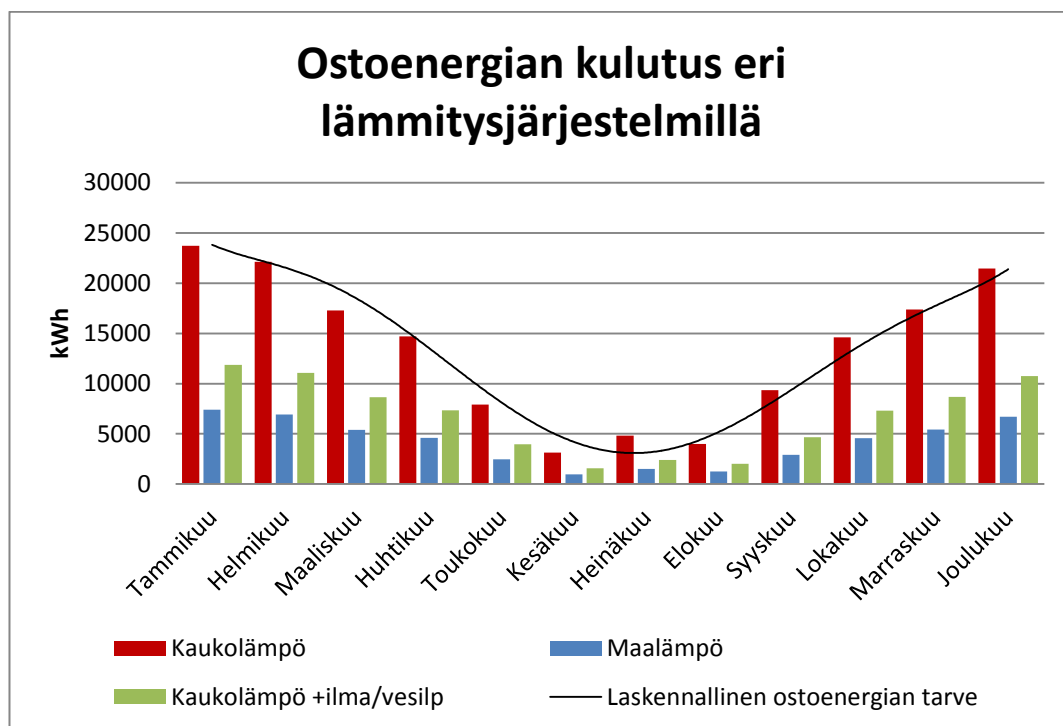
Ty\u00f6ss\u00e4 vertaillaan l\u00e4mmitysjarjestelmin\u00e4 kaukol\u00e4mp\u00f6\u00e4, maal\u00e4mp\u00f6\u00e4 ja ilma/vesil\u00e4mp\u00f6pumppua. Ostoenergiaa laskettaessa otetaan huomioon kiinteist\u00f6kohtainen energiantuotantotapa. T\u00e4m\u00e4 huomioidaan l\u00e4mp\u00f6kertoimina vuosihy\u00f6tysuhteessa (Taulukko 5).

TAULUKKO 5. L\u00e4mm\u00f6ntuottolaitteiden vuosihy\u00f6tysuhde

 $\eta_{\text{l\u00e4mmitys}}$

Maal\u00e4mp\u00f6pumppu		hy\u00f6tysuhde	3,2
Kaukol\u00e4mp\u00f6		hy\u00f6tysuhde	1
Ilma/vesil\u00e4mp\u00f6pumppu		hy\u00f6tysuhde	2

Akaan Eemelin ostettavan l\u00e4mmitysenergian kulutukset eri l\u00e4mmitysjarjestelmin\u00e4 on kuvattu kuviossa 12, jossa on huomioitu l\u00e4mm\u00f6ntuottolaitteiden vuosihy\u00f6tysuhteet.



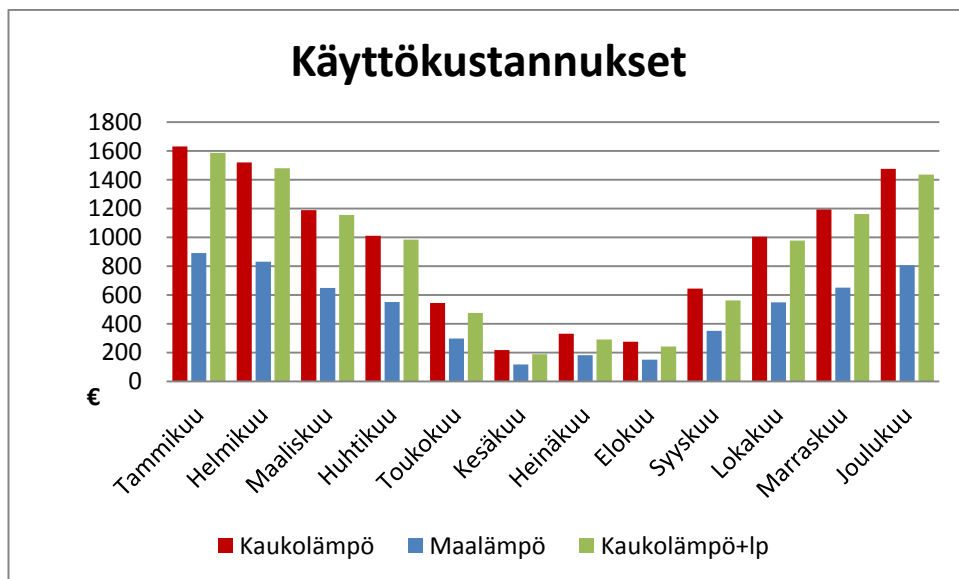
KUVIO 12. Ostoenergian m\u00e4r\u00e4 eri l\u00e4mmitysjarjestelmill\u00e4

7.2 Lämmitysjärjestelmien kustannukset

Lämmitysjärjestelmien valinta on yksi keskeisimmistä rakennussuunnittelun valinnoista. Valinnassa täytyy huomioida taloudelliset näkökohdat, ulkoiset olosuhteet, lämmitysjärjestelmän ominaisuudet sekä rakennuksen koko ja energiantarve. Suuren kiinteistön ylläpitokustannukset leikkaavat investointikustannukset säästetyllä energialla, mikäli valitaan lämmitysjärjestelmä, joka tuottaa edullista lämpöä, huolimatta kalliista investoinnista.

Lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannuksia laskettaessa tulee ottaa huomioon investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset. Lämmitysjärjestelmät tulee laskea aina tapauskohtaisesti. Tässä työssä lasketaan Akaan Eemelin lämmitysjärjestelmän kustannukset sekä vertailun saamiseksi lasketaan erikokoisten kohteiden arvioituja kustannuksia. Kustannukset on laskettu tämän hetken energianhinnan mukaan. Lämpöpumppujen hintatietoina on käytetty Carrier Oy:ltä saatuja hinta-arvioita ja kaukolämmön hinnat on Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpölaskurista, joka perustuu tyyppikäyttäjien keskimääräisiin tietoihin sekä työssä on käytetty energiateollisuus ry:n tilastoimia kaukolämmön hintoja.

Kuviossa 3 on esitetty Akaan Eemelin käyttökustannukset eri lämmitysjärjestelmillä. Käyttökustannukset on esitetty tarkemmin liitteessä 1. Sähkön hintana on käytetty 0,12 €/kWh ja kaukolämmön hintana 0,0687 €/kWh (energiateollisuus 2011)



KUVIO 13. Lämmitysjärjestelmien käyttökustannukset

7.2.1 Maalämpö

Maalämmössä investointikustannukset ovat melko suuri kustannuserä. Investointikustannuksiin luetaan lämmönkeruujärjestelmä, lämpöpumppu, lvi-asennukset ja mahdollinen sähköliittymän liittymismaksu, jos tarvitaan suurempi sähköliittymä. Laskuissa lämmönkeruujärjestelmänä on käytetty porakaivoa, jonka kustannukseksi on laskettu 30 €/m. Porakaivot ja lämpöpumppu mitoitetaan rakennuksen lämmöntarpeen mukaan. Lämpöpumpun hinta kasvaa tehon tarpeen mukaan, joten tulisi välttää ylimitoitusta, jotta saadaan kustannuksiltaan edullisin ja tehokkain ratkaisu.

Akaan Eemelin maalämmön investointikustannuksina on käytetty 45 kW lämpöpumpun hintaa 20 000 € ja poraus- ja asennuskuluina 40 000€ (Södeström, 2011). Huoltokustannukset ovat lyhyellä aikavälillä pääosin tarkastuskäyntejä, joita joudutaan myös muilla lämmitysjärjestelmillä suorittamaan. Laskenta-aikoina on käytetty 15 ja 30 vuotta, ja korkoprosenttina on käytetty 4 %, ja summa on tasattu nykyhetkeen. Taulukossa 6 on esitetty vuosittaiset lämmityskustannukset.

TAULUKKO 6 Maalämpöpumpun kokonaiskustannukset

15

30

investointikustannukset

Laite	20000 € (45kW lp+asennus)	20000 €
Poraus	40000 € (1,2 km)	40000 €
		60 000 € + huolto 20 000€ (laite X2)
Yhteensä	60 000 €	80 000 €
laskenta-aika	15 vuotta	30 vuotta
korko	4 %	4 %
	5396 €/vuosi	4626 €/vuosi
Käyttökustannukset	6020 €/vuosi	6020 €/vuosi
Vuosittaiset lämmityskulut yhteensä		
	11416 €/vuosi	10646 €/vuosi

7.2.2 Kaukolämpö

Kaukolämmön kustannuksia ovat liittymismaksu, laitemaksu ja mahdolliset johtomaksut. Liittymiskustannuksiin vaikuttaa rakennuksen energiantarve, jonka mukaan määritellään liittymiskustannukset. Kaukolämpöverkon alueen ulkopuolella kaukolämmön kustannukset nousee yleensä melko suureksi, joten tällöin on syytä miettiä muita lämmitysjärjestelmiä kuten maalämpöä.

Kaukolämmön hintana on käytetty Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpölaskurin liittymis- ja laite hintoja. Taulukossa 7 on esitetty vuosittaiset lämmityskustannukset.

TAULUKKO 7. Kaukolämmön kokonaiskustannukset

15

30

Investointikustannukset

liittymismaksu	8000 € (160kWh, kaukolämpölaskuri)	8000 €
johtomaksu	3000 € (20m tontilla, 10m rak.)	3000 €
laitteet	8700 € (160kWh, kaukolämpölaskuri)	8700 €
Yhteensä	19700 €	19700 €
laskenta-aika	15 vuotta	30 vuotta
korko	4 %	4 %
	1772 €/vuosi	1139 €/vuosi
käyttökustannukset	11028 €/vuosi	11028 €/vuosi
Vuosittaiset lämmityskulut yhteensä	12800 €/vuosi	12167 €/vuosi

7.2.3 Kaukolämpö ja ilma/vesilämpöpumppu

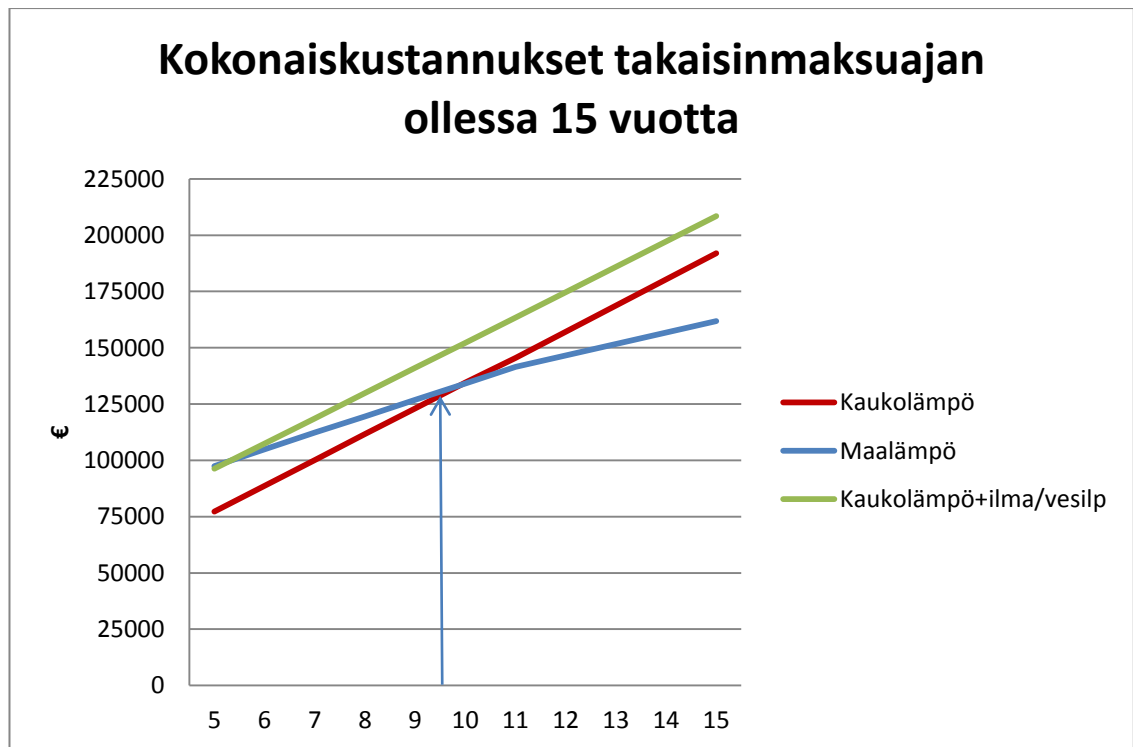
Ilma/vesilämpöpumpun hintana on käytetty käyttänyt asennuksineen 25 000€, ja tämän rinnalle täytyy ottaa kaukolämpö täysitehoiseksi mitoitettuna. Tämä laskee ilma/vesilämpöpumpun kannattavuutta, koska kaukolämpö on itsessään melko edullinen vaihtoehto lämmitysjärjestelmänä. Taulukossa 8 on esitetty vuosittaiset lämmityskustannukset.

TAULUKKO 8. Ilma/vesilämpöpumpun ja kaukolämmön kokonaiskustannukset.

15	30
Investointikustannukset	
liittymismaksu 8000 € (160kWh, kaukolämpölaskuri)	8000 €
johtomaksu 3000 € (20m tontilla, 10m rak.)	3000 €
laitteet 8700 € (160kWh, kaukolämpölaskuri)	8700 €
Lämpöpumppu 25 000 € (ilma/vesilp asennuksineen)	25 000€
Yhteensä 44700 €	44700 + huolto 20 000€ 64700 €
laskenta-aika 15 vuotta	30 vuotta
korko 4 %	4 %
4020 €/vuosi	3742 €/vuosi
käyttökustannukset 10533 €/vuosi	10533 €/vuosi
Vuosittaiset lämmityskulut yhteensä	
14779 €/vuosi	14275 €/vuosi

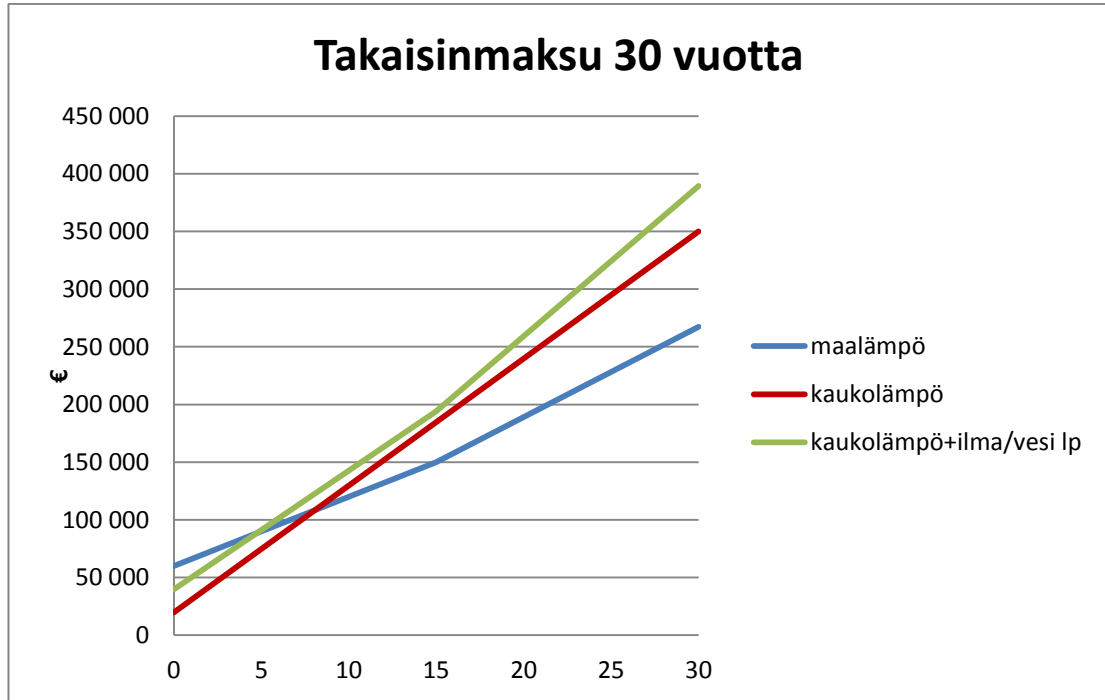
7.3 Takaisinmaksuajat

Takaisinmaksuajasta nähdään, mikä lämmitysjärjestelmä tulee tietyllä aikavälillä edullisimmaksi lämmitysjärjestelmäksi. Kohdan 7.2 mukaisilla kustannuksilla laskettuna nähdään, että maalämmön kokonaiskulut ovat edullisimmat yhdeksän vuoden jälkeen kun investointi on maksettu edullisimmalla käyttökustannuksella (Kuvio 15). Tässä työssä ei huomioitu energia hintojen nousua, jotka muuttaisivat takaisinmaksuaikoja.



KUVIO 15 Lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaika

Kaukolämpölaitteisto tarvitsee uusia noin 30 vuoden välein. Maalämpöpumpun käyttöikä on noin 15 vuotta. Lämpöpumppua ei yleensä uusita kokonaan, koska suuret lämpöpumput ovat puolihermiittisiä ja niistä voidaan vaihtaa esimerkiksi kompressorin jos se hajoaa. Kompressorin hinta on noin kolmannes lämpöpumpun hinnasta. Laskuissa on lämpöpumpun huoltokustannuksiksi laskettu lämpöpumpun hinta kahteen kertaan. Kuviossa 16 on esitetty takaisinmaksu 30 vuoden ajalle, jossa alkuinvestoinnit on kuoletettu 15 vuodelle.

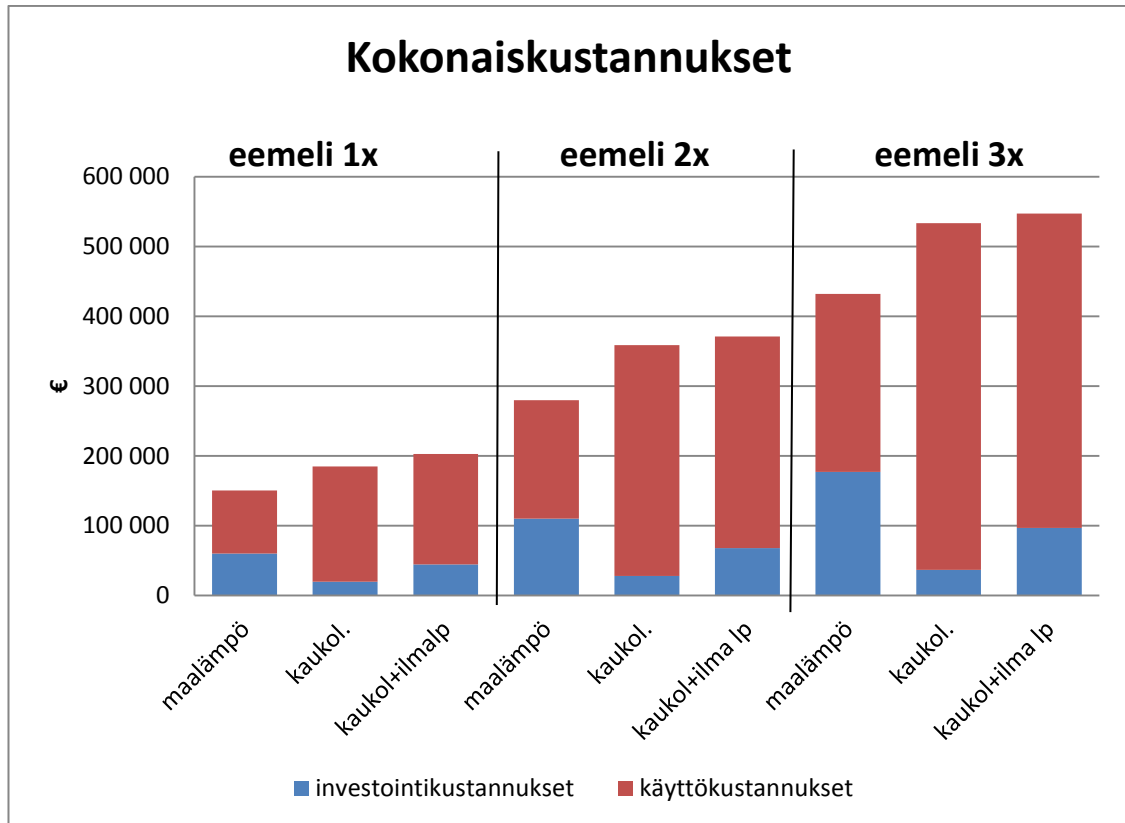


KUVIO 16. Lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaika

Taulukossa 9 ja kuviossa 17 tarkastellaan Akaan Eemelin kerrannaisia ja vertaillaan näiden kustannuksia. Tauloukossa on laskettu investointi ja käyttökustannukset 15 vuodelle eri lämmitysjärjestelmillä. Maalämmön kokonaiskustannuksia voi nostaa lämpökaivojen välille ja lämpöpumpulle tuleva vaakaputkisto, sekä voidaan joutua ottamaan suurempi sähköliittymä. Näitä ei ole huomioitu laskennassa.

Taulukko 9 Kokonaiskustannukset Akaan Eemelin kerrannaisissa

	eemeli1x			eemeli 2x			eemeli 3x		
	maalämpö	kaukol.	kaukol+ilma lp	maalämpö	kaukol.	kaukol+ilma lp	maalämpö	kaukol.	kaukol+ilma lp
alkuinvestointi	60 000	19 700	44 700	110 000	28 000	68 000	177 000	37 000	97 000
Käyttökustannukset	90300	165420	157995	169965	330840	302910	254955	496260	450300
yhteensä	150 300	185120	202 695	279 965	358 840	370 910	431 955	533 260	547 300
maalämmöllä säästöä		34 820	52 395		78 875	90 945		101 305	115 345



KUVIO 17. Kokonaiskustannukset Akaan Eemelin kerrannaisissa

8 UUSIUTUVIEN ENERGIÖIDEN HUOMIOIMINEN 2012 ENERGIAMÄÄRÄYKSISSÄ

Euroopan unionin tarkoituksena on nostaa uusiutuvien energioiden osuus 20 %:iin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Tätä asiaa käsitellään RES- direktiivissä tarkemmin. Uusiutuvia energioita ovat aurinkoenergia, vesivoima, tuuli-voima, puuenergia, biovoima ja lämpöpumput. Jokaiselle jäsenvaltiolle on kirjattu omakohtaiset tavoitteet, ja maat voivat itse päättää toimista joilla tavoitteisiin päästään. Suomen tulee komission ehdotuksen mukaan nostaa uusiutuvan energian osuuden 28,5 prosentista 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Suomi on tehnyt uudet energiamääräykset vuodelle 2012. (Motiva 2011)

Uudet Energiamääräykset tulevat voimaan näillä näkymin 1.7.2012. Määräysten keskeisin ajatus on raja-arvojen asettaminen rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle. Uutta määräyksissä on myös primäärienergiakertoimet lämmitysjärjestelmille. Tällä hetkellä suunniteltuja primäärikertoimia ovat:

- Kaukolämpö 0,7
- Uusiutuvat energiat 0,5
- sähkö 1,7
- fossiiliset polttoaineet 1

Kertoimet katsotaan päälämmitysmuodon mukaan. Lämpöpumpuilla saatu energia otetaan huomioon uusiutuvana energiana, jos lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin on vähintään kaksi. Lämpöpumpuista katsotaan uusiutuvaksi energiaksi vain se osa mikä otetaan maasta. Poistoilmalämpöpumpun energia ei ole uusiutuvaa energiaa. (Rakennuslehti 2010, 6.) Energiaverotuksessa otetaan huomioon rakennuksen energiatehokkuusluku, johon primäärienergiakertoimet vaikuttaa. Tällöin lämpöpumpun kilpailukyky paranee entisestään.

9 TULOSTEN TARKASTELO JA TULKINTA

Rakennuksen lämmitysjärjestelmää valittaessa tulee ottaa huomioon monia asioita kuten soveltuvuus, määräykset ja kustannukset. Jokaisen kohteen alkuvaiheessa tulisi miettiä rakennuksen lämmitysjärjestelmää, koska siinä voidaan säästää selvästi kustannuksia.

Maalämpö osoittautui kustannuksiltaan edullisimmaksi lämmitysjärjestelmäksi, kun takaisinmaksu ajaksi valittiin yli kymmenen vuotta ja paikkakunnaksi Tampere. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa energiahinnat, joiden nousua ei tässä työssä ole huomioitu. Kaukolämmön hinnat vaihtelevat suuresti eri kaupungeissa esimerkiksi Helsingissä on Suomen halvin kaukolämpöverkosto liittymis- ja energiahinnoiltaan, jolloin maalämmön ottaminen sinne ei olisi niin kannattavaa. Lämpöpumppujen investointikustannuksia oli vaikea saada lämpöpumpputoimittajilta. Carrier oli ainoa josta sain hinta-arvion. Tämä vaikuttaa hieman laskujen tarkkuuteen, koska ei ole mitään vertailuhintaa lämpöpumpuille.

Lämmitysjärjestelmän mitoituksen tulisi aina tehdä alan ammattilainen. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon rakennuksen lämmitystarve, jolloin voidaan mitoittaa lämpökaivot ja lämpöpumput riittäviksi rakennuksen lämmittämiseen. Suurimmat ongelmat lämpöpuissa ovat olleet mitoituksessa, jolloin lämpöä ei ole saatu tarpeeksi rakennuksen lämmittämiseen tai kustannukset ovat nousseet kannattamattomiksi.

Ilma/vesilämpöpumppu ja kaukolämmönyhdistelmä osoittautuivat kalleimmaksi vaihtoehdoksi, koska investointeihin laskettiin kaukolämmön liittyminen täysitehoisena sekä ilma/vesilämpöpumppu asennuksineen. Käyttökustannukset olivat pienemmät kuin pelkällä kaukolämmöllä, mutta ne eivät riittäneet nostamaan edullisemmaksi kokonaiskustannuksia, koska kaukolämmön ja sähkön hinta ero on niin suuri. Ilmalämpöpumppuja ei juurikaan käytetä kerrostalokohteissa. Poistoilmalämpöpumpuilla saadaan talteen poistuvasta jäteilmasta energiaa, mutta ilmanvaihtuvuus voi tulla ongelmalliseksi suurissa kohteissa, ja poistoilmasta otetaan nykyiselläänkin talteen jo 30 % joten en ole ottanut kannattavuus laskelmiin poistoilmalämpöpumppuja.

Lämpökaivo osoittautuu kerrostalokohteisiin parhaiten soveltuvaksi lämmönlähteeksi. Lämpökaivoja tulee kerrostalokohteisiin useita, riippuen lämmön tarpeesta, joten täytyy aina tarkastaa tontin koko, että tarvittavat kaivot saadaan sijoitettua omalle tontille vaadittavat etäisyydet huomioiden.

Lämmönjaossa vertailtiin lattia- ja patterilämmitystä. Ilmalämmitystä ei tarkemmin tutkittu, koska kerrostalokohteissa sitä ei juurikaan käytetä ilman vaihtuvuuden takia. Lattialämmitys on maalämpöpumpulla lämmittäessä paras vaihtoehto, koska matalalämpöinen lämmitysvesi parantaa lämpöpumpun hyötysuhdetta. Lämmön säädettävyys on huonompi kuin patterilämmityksellä. Tämän ongelman voisi ratkaista matalalämpö radiaattoreilla jotka toimisivat lattialämmityksen rinnalla. Tällöin säästyttäisiin erilliseltä pinta-lattian teolta.

Energiamääräysten kiristyminen johtaa yhä kriittisempään energiatarpeeseen. Mahdollisia ratkaisuja voisi olla kaukolämmön ja maalämmön yhdistyminen, jolloin kaukolämmön paluuedestä saataisiin otettua lämpöä. Lämpöpumpun höyrytintä sijoitettaisiin paluulinjaan ja lauhdutin paluu ja menolinjan väliin tällöin lämpöä pumpattaisiin kaukolämmön paluuputkesta menoputkeen, jolloin voitaisiin säästää kustannuksia tietyissä tapauksissa. Myös aurinkopaneelit yhdistettyinä maalämpö ratkaisuihin voisi olla järkevä ratkaisu, kunhan aurinkopaneelien kustannukset laskevat kannattavalle tasolle. Energiansäästö tarkastelu on jatkuva prosessi joka kehittyy kokoajan jonka tavoitteena on päästä ympäristöystävälliseen ja energiatehokkaaseen lopputulokseen.

LÄHTEET

Aittomäki, A. 1982. Jäähdytystekniikka. Teoreettiset perusteet. Tampere TTKK. Opintomoniste 81.

Brunnila, J. LVI-tarkastusinsinööri. Haastattelu 1.2.2011. Haastattelija Kuisma, I. Tampereen kaupungin rakennusvalvonta

D5, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus 2007: Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Luettu 11.2.2011 <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Energiateollisuus, Kaukolämmön hinnat 1.1.2011. Luettu 12.3.2011 <http://www.energia.fi/fi/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammonhinta>

Hakala, P. & Kaappola, E. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus. Jyväskylä 2.painos: Gummerus

Juvonen, J. 2009. Ympäristöopas 2009: Lämpökaivo- Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki. Suomen Ympäristökeskus. Saatavissa myös: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=108367&lan=fi>

Lehto H. & Luoma T. 1996. Fysiikan kertauskirja. Termodynamiikka. Jyväskylä 4.-6, uudistettu painos: Gummerus

Motiva. Lämmitysjärjestelmien valinta. Maalämpö. Luettu 17.3.2011 http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampo/

Perälä, R. 2009. Lämpöpumput. Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Tallinna: Alfamer Oy

Rakennustietosäätiö, RTS 2001. Maalämmitys. Ohjetiedosto RT 50-10755

Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto 2002. Lämpöpumput. Ohjetiedosto. LVI 11-10332

Rakennuslehti 30.9.2010, 6. Vuonna 2012 ohjataan kokonaisenergiankulutusta ja energianmuotojen valintaa.

Suomen lämpöpumppuyhdistys, Sulpu, lämpöpumput. Luettu. 16.2.2011. <http://www.sulpu.fi/>

Suomen kiinteistölehti 1/2010. Energiatalkoita talleilla. Luettu 15.3.2011 <http://www.teeparannus.fi/attachements/2010-03-09T14-17-3514834.pdf>

Södeström, J, Carrier Oy aluepäällikkö. Haastattelu 4.1.2011. Haastattelija Kuisma, I. Tampere.

Tampereen sähkölaitos, Kaukolämpölaskelma. Luettu 14.3.2011. <http://www.tampereensahkolaitos.fi>

LIITE 1

Energialaskelmat

Värikoodi

	Lähtöarvo/ taulukkoarvo		Laskettu arvo
--	----------------------------	--	---------------

Lähtöarvot 1

$A_{\text{alapohja1}}$	246	m^2	
$A_{\text{alapohja2}}$	73,6	m^2	
$A_{\text{yläpohja}}$	315,6	m^2	
$A_{\text{ulkoseinä}}$	671,9	m^2	
A_{ikkuna}	137,6	m^2	
A_{ovi}	10,4	m^2	
$A_{\text{parvekeovi}}$	37,3	m^2	
A_{brutto}	1420	m^2	
Henkilöm.	44		
$U_{\text{alapohja2}}$	0,22	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	
$U_{\text{yläpohja}}$	0,09	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	
$U_{\text{ulkoseinä}}$	0,17	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	
U_{ikkuna}	1,2	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	
U_{ovi}	1,2	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	
$U_{\text{parvekeovi}}$	1	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	
T_{S}	21	$^{\circ}\text{C}$	Sisäilman lämpötila
T_{U}	*	$^{\circ}\text{C}$	Ulkoilman lämpötila (erillinen taulukko)
Δt	**	h	Ajanjakson pituus (erillinen taulukko)
$T_{\text{u,vuosi}}$	3,72	$^{\circ}\text{C}$	Ulkoilman vuotuinen keskilämpötila
$T_{\text{maa,vuosi}}$	8,72	$^{\circ}\text{C}$	maan vuotuinen keski- lämpötila
$\Delta T_{\text{maa,vuosi}}$	5	$^{\circ}\text{C}$	maan ja ulkoilman keski- lämpötilan erotus
$\Delta T_{\text{maa,kuukausi}}$	***	$^{\circ}\text{C}$	maan kuukausittainen ja vuotuisen lämpötilan ero
ρ_{i}	1,2	kg/m^3	ilman tiheys
c_{pi}	1000	$\text{Ws}/(\text{kgK})$	ilman ominaislämpöka- pasiiteetti
V_{ilma}	3240	m^3	rakennuksen ilmatila- vuus
$n_{\text{vuotoilma}}$	0,0364	1/h	rakenn. vuotoilmakerroin

n_{50}	0,91	1/h	rakennuksen vaipan il- manvuotoluku
$Q_{v,poisto}$	0,82	m^3/s	poistoilmavirta
t_d	1	24h/24h	vuorokautinen käyntiai- kasuhde
r	1		muuntokerroin, huomioi iv vrk käyntiajan
t_v	1	7vrk/7vrk	viikoittainen käyntiai- kasuhde
η_a	59,97	%	Iv:n poistoilman LTO:n hyötysuhde
$V_{lkv,omin,henk}$	50	$dm^3/henk$	lämpimän käyttöveden kulutus/ vrk
ρ_v	1000	kg/m^3	ilman tiheys
c_{pv}	4,2	kJ/kgK	ilman ominaislämpökapa- siteetti
$T_{lkv}-T_{kv}$	50	$^{\circ}C$	lämpimän ja kylmän ve- den lämpötilaero
$Q_{v,lkv,kierto}$	0,0003	m^3/s	lämpimän käyttöveden kiertopiirin vesivirta

Säävyöhyke 2 (Pirkanmaa)

	$*T_U (^{\circ}C)$	** Δt (h)	*** $\Delta T_{maa,kuukausi} (^{\circ}C)$
Tammikuu	-9,16	744	8,72
Helmikuu	-10,4	672	7,72
Maaliskuu	-1,8	744	6,72
Huhtikuu	1,68	720	5,72
Toukokuu	10,5	744	5,72
Kesäkuu	15,5	720	6,72
Heinäkuu	14,2	744	8,72
Elokuu	15,2	744	9,72
Syyskuu	9,08	720	10,72
Lokakuu	3,37	744	11,72
Marraskuu	0,81	720	11,72
Joulukuu	-5,25	744	10,72

Lämpöhäviöenergiat

$Q_{\text{lämmitys,tilat,kehityshäviöt}}$	2	$kWh/brm^2/vuosi$	lämmönkehityslaitteet
$Q_{\text{lämmitys,tilat,jakeluhäviöt}}$	5	$kWh/brm^2/vuosi$	lämmönjakeluverkosto
$Q_{\text{lämmitys,tilat,luovutushäviöt}}$	15	$kWh/brm^2/vuosi$	lämmönluovuttimet (lattialämmitys)
$Q_{\text{lämmitys,tilat,säätöhäviöt}}$	4	$kWh/brm^2/vuosi$	säätöjärjestelmä
$Q_{\text{lämmitys,tilat,varaajahäviöt}}$	206	kWh/kk	lämmivesivaraaja

$W_{\text{valaistus}}$	7	kWh/brm ² /vuosi	valaistuksen sähköenergian kulutus
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	10	kWh/brm ² /vuosi	IV:n sähköenergian kulutus
$W_{\text{muutlaitteet}}$	33	kWh/brm ² /vuosi	muiden laitteiden sähköenergian kulutus

$\sum H_{\text{joht}}=$	357,527	W/K	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö
$q_{v,\text{vuotoilma}}=$	0,03276	m ³ /s	vuotoilmavirta
$H_{\text{vuotoilma}}=$	39,312	W/K	vuotoilman ominaislämpöhäviö
$H_{\text{iv}}=$	393,8952	W/K	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö
$V_{\text{lkv}}=$	803	m ³	lämpimän käyttöveden kulutus
$Q_{\text{lkv,kierthäviö}}=$	907,2	kWh	Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöenergia
$Q_{\text{lämpöhäviö}}$	125895	kWh	johtumisen, vuotoilman ja IV:n lämpöhäviöenergia

C_{rak}	312400	Wh/K	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti
τ	0,043		rakennuksen aikavakio
a	0,997		numeerinen parametri
$\eta_{\text{lämpö}}$	0,47		lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

LÄMPÖHÄVIÖENERGIAT

	Rakanteiden läpi johtuva lämpöenergia	AP:n kautta maahan johtuva lämpöenergia	Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	Käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia	Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat	Rakennuksen laitteiden sähköenergian kulutus	Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat	
	Q_{joht}	$Q_{\text{joht,maa}}$	$Q_{\text{vuotoilma}}$	Q_{iv}	$Q_{\text{lkv,netto}}$	$Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}}$	$W_{\text{laitesähkö}}$	$Q_{\text{lkv,häviö}}$	$Q_{\text{lämpöhäviöenergiat}}$
Tammikuu	8023	530	882	8839	3903	5772	5917	1113	34979
Helmikuu	7544	518	830	8312	3903	5749	5917	1113	33885
Maaliskuu	6065	616	667	6682	3903	3997	5917	1113	28960
Huhtikuu	4973	638	547	5479	3903	3989	5917	1113	26560
Toukokuu	2793	659	307	3077	3903	2222	5917	1113	19992
Kesäkuu	1416	596	156	1560	3903	439	5917	1113	15101
Heinäkuu	1809	530	199	1993	3903	447	5917	1113	15911
Elokuu	1543	487	170	1700	3903	447	5917	1113	15280
Syyskuu	3068	429	337	3381	3903	2214	5917	1113	20364
Lokakuu	4690	401	516	5167	3903	3997	5917	1113	25703
Marraskuu	5197	388	571	5726	3903	5764	5917	1113	28580
Joulukuu	6983	444	768	7693	3903	5772	5917	1113	32592
YHTEENSÄ	54103	6236	5949	59606	46842	40812	71000	13358	297907

Lähtöarvot 2

$\Delta t_{\text{oleskelu}}$	14,4	h/vrk	keskimääräinen oleskelu-aika
Φ_{henk}	70	W/henk	henkilön luovuttama lämpöteho
$Q_{\text{sähk,omin,kk}}$	32	kWh/brm ² /vuosi	Sähkölaitteista tuleva ominaislämpöenergia
g	0,45		ikkunan valoaukon aurin- gon läpäisykerroin
$F_{\text{läpäisy}}$	0,75		ikkunan säteilyn läpäisyn korjauskerroin
γ	1,12		lämpökuormien suhde lämpöhäviöihin
$C_{\text{rak,omin}}$	220	Wh/(brm ² K)	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen ominaisläm- pökapasiteetti

Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain

	ikkuna		parvekeovien ikkunat	
koillinen	6,4	m ²	1,5	m ²
kaakko	55,1	m ²	9,9	m ²
lounas	6,8	m ²		m ²
luode	65,3	m ²	5,7	m ²

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin

vyöhyke 2 (Pirkanmaa) (kWh/m²)

$G_{\text{säteily,pystypinta}}$

	koillinen	kaakko	lounas	luode
Tammikuu	6,2	9,3	9,8	6,24
Helmikuu	19,7	45,8	47,6	19,8
Maaliskuu	39	60,7	63,7	39,9
Huhtikuu	41,2	78	73,1	41,1
Toukokuu	72,4	106,8	108,2	76
Kesäkuu	97,2	127,7	123,6	96,5
Heinäkuu	68,9	82,8	77,9	66,4
Elokuu	63,1	106,7	94,7	59,8
Syyskuu	32,8	62,4	65,6	33,2
Lokakuu	13,3	40,4	37	13,4
Marraskuu	4,4	9,6	8,9	4,4
Joulukuu	2,3	2,3	2,3	2,3

Lämpökuormat

	henkilöiden luovuttama lämpöenergia	lämmitysjärjestelmästä sisälle tuleva lämpökuormaenergia	käyttöveden lämmitysjärjestelmästä sisälle tuleva energia	sähkölaitteista sisälle tuleva ominaislämpöenergia	ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia	Rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia	lämpökuormien lämpöenergia jota hyödynnetyään lämmityksessä
	Q_{henk}	$Q_{\text{lämmitys,kuorma}}$	$Q_{\text{lkv,kuorma}}$	$Q_{\text{sähk,omin}}$	Q_{aur}	$Q_{\text{lämpökuorma}}$	$Q_{\text{sis,lämpö}}$
Tammikuu	1375	4036	1725	3787	393	11315	5334
Helmikuu	1242	4020	1725	3787	1641	12414	5852
Maaliskuu	1375	2794	1725	3787	2538	12218	5760
Huhtikuu	1331	2788	1725	3787	2974	12604	5942
Toukokuu	1375	1551	1725	3787	4605	13043	6149
Kesäkuu	1331	303	1725	3787	5657	12802	6035
Heinäkuu	1375	309	1725	3787	3770	10965	5169
Elokuu	1375	309	1725	3787	4159	11354	5353
Syyskuu	1331	1546	1725	3787	2402	10790	5087
Lokakuu	1375	2794	1725	3787	1328	11008	5189
Marraskuu	1331	4031	1725	3787	348	11221	5290
Joulukuu	1375	4036	1725	3787	117	11040	5204
YHTEENSÄ	16188	28518	20696	45440	29932	140774	66365

Energian kulutus

Q_{Ikv}	60200	kWh	Lämpimän käyttöveden energi- ankulutus
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	59511	kWh	Rakennuksen tilojen lämmityk- sen nettoenergian tarve
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	100323	kWh	Rakennuksen tilojen lämmi- tysenergian kulutus
E_{rakennus}	231523	kWh	Rakennuksen energiankulutus
$Q_{\text{lämmitys}}$	160523	kWh	Rakennuksen lämmitysener- gianskulutus

Ostoenergian määrä eri lämmitysjärjestelmillä

$Q_{\text{lämmitys,osto}}$	50163	kWh	maalämpöpumppu	hyötysuhde	3,2
$Q_{\text{lämmitys,osto}}$	160523	kWh	kaukolämpö	hyötysuhde	1
$Q_{\text{lämmitys,osto}}$	80261	kWh	ilma/vesilämpöpumppu	hyötysuhde	2

Käyttökustannukset

Kaukolämpö			Maalämpöpumppu			Kaukolämpö (20% kokonais kWh:sta, kun T<0°C)				
	kWh	hinta €/kWh		kWh	hinta €/kWh	ilma/vesilp+kaukolämpö	€/kWh	sähkö	Yhteensä	
		0,0687			0,12		0,0687	0,12		
Tammikuu	23726	1630	Tammikuu	7414	890	Tammikuu	11863	163	1424	1587
Helmikuu	22115	1519	Helmikuu	6911	829	Helmikuu	11057	152	1327	1479
Maaliskuu	17282	1187	Maaliskuu	5401	648	Maaliskuu	8641	119	1037	1156
Huhtikuu	14700	1010	Huhtikuu	4594	551	Huhtikuu	7350	101	882	983
Toukokuu	7925	544	Toukokuu	2477	297	Toukokuu	3963	0	476	476
Kesäkuu	3147	216	Kesäkuu	984	118	Kesäkuu	1574	0	189	189
Heinäkuu	4823	331	Heinäkuu	1507	181	Heinäkuu	2412	0	289	289
Elokuu	4009	275	Elokuu	1253	150	Elokuu	2004	0	241	241
Syyskuu	9358	643	Syyskuu	2924	351	Syyskuu	4679	0	561	561
Lokakuu	14595	1003	Lokakuu	4561	547	Lokakuu	7298	100	876	976
Marraskuu	17372	1193	Marraskuu	5429	651	Marraskuu	8686	119	1042	1162
Joulukuu	21470	1475	Joulukuu	6709	805	Joulukuu	10735	147	1288	1436
YHTEENSÄ	160523	11028	YHTEENSÄ	50163	6020	YHTEENSÄ	80261	902	9631	10533

